

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO
DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

(Tese para a obtenção do grau de doutor no ramo Ciências e Tecnologias do Ambiente,
especialidade de Tecnologias do Ambiente)

PAULA ALEXANDRA REBELO VIEIRA

Orientadoras: Doutora Maria João Filipe Rosa
Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre
Co-orientadora: Doutora Maria Margarida da Cruz Godinho Ribau Teixeira

Constituição do Júri:

Presidente: Reitor da Universidade do Algarve
Vogais: Doutor José Carlos Tentúgal Valente
Doutora Maria João Filipe Rosa
Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre
Doutor António Jorge Silva Guerreiro Monteiro
Doutora Maria Margarida da Cruz Godinho Ribau Teixeira

A meus pais

"Others may show you the way, but you must walk it yourself."

Hassam Massoudy, Exposição no Instituto do Mundo Árabe, Paris, 2005

NOME: Paula Alexandra Rebelo Vieira

FACULDADE: Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente

ORIENTADORAS: Doutora Maria João Filipe Rosa, Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre

CO-ORIENTADORA: Doutora Maria Margarida da Cruz Godinho Ribau Teixeira

DATA: 12 de Junho de 2009

TÍTULO DA TESE:

Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano

RESUMO

Os serviços de abastecimento de água (SAA) têm vindo a incorporar princípios de sustentabilidade na sua prática de gestão. O estado da arte em metodologias de avaliação de desempenho de SAA mostrou a necessidade de abordar especificamente o tratamento, considerado insatisfatoriamente nas abordagens sistematizadas existentes.

Na presente dissertação desenvolveu-se um sistema de avaliação de desempenho (PAS) de estações de tratamento de água (ETA), orientado por objectivos, normalizado e quantitativo, destinado a apoiar a tomada de decisão, e cobrindo os domínios qualidade da água tratada, eficiência/fiabilidade, utilização de água, energia e materiais, gestão de subprodutos, segurança, recursos humanos e económico financeiros.

O PAS integra uma componente para avaliação do desempenho global, baseada em indicadores de desempenho, e uma componente para avaliação do desempenho operacional, baseada em índices de desempenho que avaliam, numa escala 0-300, a qualidade da água tratada, eficiências das várias operações/processos unitários (OPU) e sua relação com condições de operação.

Foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo automático do PAS.

A aplicação do PAS a cinco ETA de características diversas permitiu avaliar a evolução temporal do seu desempenho, comparar estações e OPU, e identificar oportunidades de melhoria na operação das OPU, na qualidade da água tratada e utilização de recursos.

Palavras-chave: avaliação de desempenho, indicador de desempenho, índice de desempenho, operação de ETA, ferramenta de apoio à decisão, tratamento de água para consumo humano

Performance assessment of drinking water treatment plants

ABSTRACT

Water supply services (WSS) have been incorporating sustainability principles in their management practices. State of the art on WSS performance assessment has shown the need to improve the way treatment plants are considered so far.

In the present thesis a performance assessment system (PAS) for water treatment plants has been developed with the purpose of being used as a decision support tool. This objective oriented, quantitative, standardized PAS covers the following domains: water quality; plant efficiency and reliability; water, energy and materials use; by-products management; safety; human resources and economic-financial resources.

The PAS comprises the overall performance assessment, based on performance indicators, and the operational performance assessment, based on performance indexes that evaluate (in a 0-300 scale) water quality, unit processes (UOP) efficiency as well as their relation with process control parameters.

An EXCEL spreadsheet application has been developed for automatic calculation of the PAS.

To validate the methodology, the PAS was tested in five full scale treatment plants with different characteristics. This allowed the evaluation of plant performance over time, the comparison between plants and between UOP and the identification of potential improvements in routine plant operation, on treated water quality and on resources use.

Keywords: performance assessment, performance indicator, performance index, drinking water treatment, decision support tool, treatment plant operation

AGRADECIMENTOS

Começo por dirigir à Doutora Maria João Rosa e à Doutora Helena Alegre um agradecimento muito especial pela orientação científica. A sua valiosa contribuição e apoio, a par da disponibilidade, ao longo de todo o trabalho traduziram-se ainda no empenho na criação de condições para a concretização da componente de validação da metodologia desenvolvida, na partilha de conhecimentos e na colaboração na cuidada revisão deste texto. À Doutora Margarida Ribau Teixeira agradeço igualmente os contributos dados a este trabalho.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil agradeço a oportunidade de formação, assim como os meios facultados para a realização deste trabalho de investigação.

São também devidos agradecimentos à Águas do Algarve, S.A. (Eng. Artur Ribeiro, Eng.^a Helena Lucas, Eng. Rui Sancho, Eng.^a Marisa Viriato, Eng. Nuno Martins, Dra. Rosário Coelho, Sr. Canelas, Eng.^a Ana Pina, Eng.^a Margarida Duarte, Eng.^a Diana Morais, Eng.^a Vanda Jorge, Eng.^a Patrícia Remédios, Eng. Cláudio e todos os outros técnicos que ajudaram na recolha e compilação de dados) pelas discussões frutuosas no decurso do desenvolvimento do sistema de avaliação de desempenho e que foram importantes para a incorporação dos pontos de vista de uma entidade gestora no referido sistema. Agradeço ainda a disponibilização de dados de operação das ETA de Alcantarilha, Tavira, Fontainhas e Beliche na fase de validação da metodologia.

À Eng.^a Catarina Silva e ao Eng. Pedro Ramalho (bolseiros BI da FCT no LNEC) agradeço a colaboração na recolha de dados e na aplicação aos casos de estudo do sistema de avaliação de desempenho desenvolvido no âmbito da presente tese. Ao Eng. Pedro Ramalho devo ainda agradecer a ajuda na programação da ferramenta de cálculo.

Ao INAG (Eng. Adérito Mendes e Eng.^a Gisela Robalo) e à Águas de Portugal, S.G.P.S., S.A.

(Eng.^a Alexandra Serra, Eng. Tiago Carvalho, Eng.^a Rosário Cancelino, Eng.^a Joana Pinto Coelho e Eng. Miguel Carreira) agradeço a cedência de informação necessária para efectuar a caracterização da situação nacional em termos de estações de tratamento existentes.

À Eng. Rafaela Matos (LNEC) agradeço o apoio e incentivo ao longo de todo o trabalho mas, em especial, na sua fase final. Agradeço também a disponibilidade para revisão de alguns capítulos do texto.

Ao Dr. José Menaia (LNEC) agradeço as sugestões na construção das funções de desempenho relativas aos parâmetros microbiológicos na componente da avaliação de desempenho operacional/qualidade da água tratada.

Ao Sr. João Vale (Técnico Especialista do LNEC) agradeço a ajuda na recolha de parte da informação para caracterização da situação nacional em termos de ETA a partir da base de dados do INSAAR.

Dirijo um agradecimento conjunto a todos os outros que de forma directa ou indirecta contribuíram para a presente tese.

Por último, agradeço aos meus pais, ao António e aos meus verdadeiros amigos o estímulo, a motivação e o apoio incondicional nesta longa jornada.

O presente estudo foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projecto POCI/ECM/57909/2004 – “Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água e de estações de tratamento de águas residuais”, pela Águas do Algarve, S.A. através do projecto ETA21 – “Estudos de avaliação de desempenho e de optimização das estações de tratamento de água da Águas do Algarve” e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P..

ÍNDICE GERAL DO TEXTO

1. Introdução.....	1
2. Revisão do estado actual do conhecimento	19
3. Âmbito de aplicação da metodologia de avaliação de desempenho	111
4. Avaliação de desempenho global de ETA	151
5. Avaliação de desempenho operacional de ETA.....	203
6. Ferramenta de cálculo automático da avaliação de desempenho de ETA.....	241
7. Descrição dos casos de estudo	255
8. Aplicação do sistema de avaliação de desempenho global a casos de estudo.....	269
9. Aplicação do sistema de avaliação de desempenho operacional a casos de estudo	309
10. Integração das componentes do sistema de avaliação de desempenho	419
11. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	429
Bibliografia	443

ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Justificação do tema.....	3
1.3. Objectivos e estratégia da investigação.....	8
1.4. Estrutura da dissertação	10
1.5. Proposta de estrutura do sistema de avaliação de desempenho de ETA	14
2. REVISÃO DO ESTADO ACTUAL DO CONHECIMENTO	19
2.1. Sistemas de avaliação de desempenho.....	19
2.1.1. Considerações gerais.....	19
2.1.2. Avaliação de desempenho em serviços de abastecimento de água e serviços de águas residuais	19
2.1.2.1. Tipos de medidas de desempenho.....	19
2.1.2.2. Áreas de avaliação de desempenho abrangidas pelos sistemas de indicadores de desempenho.....	21
2.1.2.3. Definição de indicadores de desempenho.....	23
2.1.2.4. Dados para o cálculo de indicadores de desempenho	25
2.1.2.5. Factores explicativos nos sistemas de indicadores de desempenho.....	27
2.1.2.6. Utilização da informação de avaliação de desempenho	27
2.1.2.7. Abordagens sistematizadas de avaliação de desempenho baseadas em indicadores de desempenho	29
2.1.2.8. Abordagens sistematizadas de avaliação de desempenho operacional	49
2.1.3. Avaliação de desempenho em outras áreas – a indústria química.....	59
2.1.4. Relevância e limitações do estado actual do conhecimento.....	64
2.2. Tratamento de água para consumo humano	68
2.2.1. Considerações gerais.....	68
2.2.2. Operações e processos unitários em estações de tratamento de água – objectivos, monitorização e controlo.....	69
2.2.2.1. Coagulação.....	69
2.2.2.2. Flocculação.....	77
2.2.2.3. Decantação.....	79
2.2.2.4. Filtração	88

2.2.3. Operações e processos unitários em estações de tratamento de água – deficiências usuais	99
3. ÂMBITO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	111
3.1. Considerações gerais	111
3.2. Caracterização da situação nacional em termos de estações de tratamento de água existentes.....	111
3.2.1. Dados de base e metodologia.....	111
3.2.2. Situação de funcionamento e capacidade das ETA em Portugal Continental.....	112
3.2.3. Localização das ETA em Portugal Continental	116
3.2.4. Origens de água de abastecimento em Portugal Continental.....	117
3.2.5. Tipos de tratamento nas ETA de Portugal Continental.....	121
3.2.6. Sequências de tratamento mais comuns nas ETA de Portugal Continental	133
3.2.7. Tipos de tratamento da fase sólida em Portugal Continental.....	138
3.2.8. Estações de tratamento das Regiões Autónomas da Madeira e Açores	141
3.3. Identificação das sequências de tratamento a estudar no âmbito da metodologia de avaliação de desempenho	144
4. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO GLOBAL DE ETA.....	151
4.1. Metodologia para definição e implementação do sistema de indicadores de desempenho	151
4.1.1. Metodologia para definição de um sistema de ID de uso geral	151
4.1.2. Metodologia para implementação de um sistema de ID em casos concretos.....	153
4.2. Proposta de sistema de indicadores de desempenho para ETA.....	155
4.2.1. Estrutura do sistema de ID.....	155
4.2.2. Codificação dos ID.....	156
4.2.3. Período de cálculo dos ID e período de análise dos resultados	157
4.2.4. Domínio de avaliação <i>Qualidade da água tratada</i>	158
4.2.5. Domínio de avaliação <i>Eficiência e fiabilidade da ETA</i>	162
4.2.6. Domínio de avaliação <i>Utilização de água, energia e materiais</i>	180
4.2.7. Domínio de avaliação <i>Gestão de subprodutos</i>	183
4.2.8. Domínio de avaliação <i>Segurança</i>	188
4.2.9. Domínio de avaliação <i>Recursos humanos</i>	191
4.2.10. Domínio de avaliação <i>Recursos económico-financeiros</i>	195
4.2.11. Factores explicativos	199

5. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO OPERACIONAL DE ETA.....	203
5.1. Metodologia geral	203
5.2. Avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada	206
5.2.1. Metodologia para avaliação de desempenho.....	206
5.2.2. Funções de desempenho.....	207
5.2.2.1. Parâmetros físico-químicos.....	207
5.2.2.2. Parâmetros microbiológicos	212
5.3. Avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento	215
5.3.1. Metodologia para avaliação de desempenho.....	215
5.3.2. Funções de desempenho.....	215
5.4. Avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos.....	221
5.4.1. Metodologia para avaliação de desempenho.....	221
5.4.2. Identificação dos parâmetros de operação relevantes.....	221
5.4.3. Funções de desempenho.....	224
5.4.3.1. Considerações iniciais	224
5.4.3.2. Coagulação.....	226
5.4.3.3. Flocculação.....	230
5.4.3.4. Decantação.....	232
5.4.3.5. Filtração	234
6. FERRAMENTA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ETA.....	241
6.1. Considerações gerais.....	241
6.2. Estrutura da ferramenta de cálculo	241
6.3. Os diferentes módulos da ferramenta de cálculo.....	242
6.3.1. Módulos de introdução de dados	242
6.3.1.1. Módulo de introdução de dados de qualidade da água.....	242
6.3.1.2. Módulo de introdução de dados de operação.....	244
6.3.1.3. Introdução de dados para o cálculo de indicadores de desempenho	245
6.3.2. Módulos de cálculo e visualização de resultados	245
6.3.2.1. Módulo de cálculo de indicadores de desempenho.....	245
6.3.2.2. Módulo de cálculo da avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada	247

6.3.2.3. Módulo de cálculo da avaliação de desempenho operacional em termos da eficiência do tratamento	248
6.3.2.4. Módulo de cálculo da avaliação de desempenho operacional em termos do funcionamento dos órgãos.....	250
6.4. Considerações finais	251
7. DESCRIÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO.....	255
7.1. Considerações gerais	255
7.2. Estações de tratamento de água da Águas do Algarve	257
7.2.1. ETA de Alcantarilha.....	257
7.2.2. ETA de Fontainhas.....	259
7.2.3. ETA de Tavira.....	260
7.2.4. ETA de Beliche	262
7.3. ETA A (anónima)	263
7.4. Objectivos das operações e processos unitários do tratamento	264
7.5. Período estudado e dados de base.....	265
8. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO GLOBAL A CASOS DE ESTUDO	269
8.1. Considerações iniciais	269
8.2. ETA de Alcantarilha	270
8.2.1. Domínio de avaliação <i>Qualidade da água tratada</i>	270
8.2.2. Domínio de avaliação <i>Eficiência e fiabilidade da ETA</i>	274
8.2.3. Domínio de avaliação <i>Utilização de água, energia e materiais</i>	282
8.2.4. Domínio de avaliação <i>Gestão de subprodutos</i>	282
8.2.5. Domínio de avaliação <i>Segurança</i>	283
8.2.6. Domínio de avaliação <i>Recursos humanos</i>	284
8.3. Análise comparativa das ETA da Águas do Algarve	286
8.3.1. Domínio de avaliação <i>Qualidade da água tratada</i>	286
8.3.2. Domínio de avaliação <i>Eficiência e fiabilidade da ETA</i>	290
8.3.3. Domínio de avaliação <i>Utilização de água, energia e materiais</i>	300
8.3.4. Domínio de avaliação <i>Gestão de subprodutos</i>	301
8.3.5. Domínio de avaliação <i>Segurança</i>	302
8.3.6. Domínio de avaliação <i>Recursos humanos</i>	303
8.4. Considerações finais	304

9. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO OPERACIONAL A CASOS DE ESTUDO.....	309
9.1. Avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada	309
9.1.1. Funções de desempenho, limites de quantificação e valores-limite usados.....	309
9.1.2. Resultados e discussão	312
9.1.2.1. Turvação	313
9.1.2.2. Alumínio	318
9.1.2.3. Manganês e ferro.....	323
9.1.2.4. Cloro residual e trihalometanos (THM)	331
9.1.2.5. Bromato	337
9.1.2.6. pH.....	341
9.1.2.7. Cálcio e magnésio	344
9.1.2.8. Índice de Saturação de Langelier	350
9.1.2.9. Cloreto e nitrato.....	350
9.1.2.10. Microcistina-LR	357
9.1.2.11. Restantes parâmetros físico-químicos	359
9.1.2.12. Parâmetros microbiológicos.....	360
9.1.2.13. Análise do desempenho em termos da qualidade da água tratada na globalidade	369
9.2. Avaliação de desempenho operacional em termos da eficiência do tratamento.....	379
9.2.1. Funções de desempenho.....	379
9.2.2. Resultados e discussão	380
9.2.2.1. Remoção global de turvação.....	380
9.2.2.2. Remoção de turvação na C/F/D e na filtração	384
9.2.2.3. Remoção de alumínio na filtração.....	390
9.2.2.4. Agregação dos índices de desempenho	392
9.3. Avaliação de desempenho operacional em termos do funcionamento dos órgãos.....	396
9.3.1. Funções de desempenho.....	396
9.3.2. Resultados e discussão	396
9.3.2.1. Tempo de mistura rápida	397
9.3.2.2. pH da água a coagular	399
9.3.2.3. Tempo de mistura lenta	400

9.3.2.4. Turvação da água decantada.....	400
9.3.2.5. Carga hidráulica superficial e carga hidráulica nos decantadores	400
9.3.2.6. Turvação da água filtrada.....	403
9.3.2.7. Velocidade de filtração	406
9.3.2.8. Duração do ciclo de filtração.....	408
9.3.2.9. Ciclos de lavagem de filtros	408
9.3.2.10. Características do meio filtrante	411
9.3.3. Avaliação de desempenho com funções de desempenho atendendo a gamas óptimas dos parâmetros de operação – exemplo.....	411
9.4. Considerações finais	413
10. INTEGRAÇÃO DAS COMPONENTES DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	419
10.1. Considerações gerais	419
10.2. Integração da componente de avaliação de desempenho global e da componente de avaliação de desempenho operacional	420
10.3. Integração das componentes da avaliação de desempenho operacional.....	427
11. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO	429
11.1. Conclusões	429
11.2. Sugestões para futuros desenvolvimentos.....	434
BIBLIOGRAFIA	443
Anexo 1 – Fichas dos indicadores de desempenho.....	A1.1
Anexo 2 – Relação entre eficiências de remoção e concentrações afluentes	A2.1
Anexo 3 – Fórmulas de cálculo de alguns parâmetros de operação	A3.1
Anexo 4 – Avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada - funções de desempenho, limites de quantificação e valores-limite usados.....	A4.1
Anexo 5 – Modelos de ajuste de eficiências do tratamento	A5.1
Anexo 6 (digital) – Avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada - variação temporal dos índices de desempenho	A6.1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da dissertação	11
Figura 2 – Estrutura do sistema de avaliação de desempenho de ETA.....	14
Figura 3 – Domínios de avaliação de desempenho de ETA.....	17
Figura 4 – Componentes do sistema de indicadores da IWA (Alegre, 2007)	31
Figura 5 – Cálculo do subíndice de eficiência de tratamento na metodologia proposta por Santana <i>et al.</i> (1996).....	59
Figura 6 – Determinação gráfica do índice global na metodologia de avaliação expedita de ETA proposta por Santana <i>et al.</i> (1996)	59
Figura 7 – Zonas de coagulação óptima para águas de vários tipos (adaptado de AWWA, 1999).....	73
Figura 8 – Produtos de hidrólise do sulfato de alumínio (adaptado de AWWA, 1999)	75
Figura 9 – Fluxo total de sólidos em decantação retardada (Droste, 1997; AWWA, 1999).....	85
Figura 10 – Exemplo da evolução da perda de carga e da turvação da água filtrada num ciclo de filtração (AWWA, 2003).....	91
Figura 11 – Deficiências usuais em ETA (adaptado de Park <i>et al.</i> , 2006).....	101
Figura 12 – Caracterização das ETA em termos de dimensão	113
Figura 13 – Distribuição das ETA por classes de população servida no ano de referência	114
Figura 14 – Distribuição das ETA por classes de capacidade máxima instalada	115
Figura 15 – População servida por ETA de diferentes capacidades	116
Figura 16 – Localização das ETA por região hidrográfica (total das ETA e localização em função da dimensão)	117
Figura 17 – Origens de água das ETA.....	118
Figura 18 – Origens de água das ETA em função da dimensão das estações (dados INSAAR).....	119
Figura 19 – Origens de água das ETA do grupo AdP em função da dimensão das estações (dados AdP).....	120
Figura 20 – Ocorrência de processos de tratamento nas ETA (em percentagem do número de ETA).....	122
Figura 21 – Tipos de tratamento das ETA em função da dimensão	122
Figura 22 – Tipos de tratamento das ETA em função do tipo de origem (dados INSAAR).....	124
Figura 23 – Tipos de tratamento das ETA em função do tipo de origem (dados AdP)	127
Figura 24 – Reagentes utilizados na pré-oxidação de águas superficiais.....	129

Figura 25 – Reagentes utilizados na desinfecção final de águas subterrâneas.....	130
Figura 26 – Reagentes utilizados na desinfecção final de águas superficiais	130
Figura 27 – Reagentes utilizados na coagulação/floculação de águas subterrâneas.....	130
Figura 28 – Reagentes utilizados na coagulação/floculação de águas superficiais	130
Figura 29 – Reagentes utilizados na correcção de agressividade em águas subterrâneas	131
Figura 30 – Reagentes utilizados na correcção de agressividade em águas superficiais.....	131
Figura 31 – Reagentes utilizados na correcção de pH em águas subterrâneas.....	131
Figura 32 – Reagentes utilizados na correcção de pH em águas superficiais	131
Figura 33 – Tipos de decantadores utilizados em ETA de águas superficiais	132
Figura 34 – Tipos de filtros usados em ETA de águas subterrâneas	133
Figura 35 – Tipos de filtros usados em ETA de águas superficiais.....	133
Figura 36 – Tipos de tratamento das lamas (dados INSAAR)	141
Figura 37 – Tipos de desidratação das lamas (dados AdP).....	141
Figura 38 – Origens de água nos Açores (em termos de número de ETA).....	142
Figura 39 – Origens de água na Madeira	143
Figura 40 – Esquema de tratamento típico para origens superficiais (fase líquida).....	145
Figura 41 – Esquema de tratamento típico para origens subterrâneas (fase líquida)	145
Figura 42 – Esquema de tratamento típico da fase sólida.....	145
Figura 43 – Integração de OPU associados a tratamento de águas superficiais e de águas subterrâneas.....	147
Figura 44 – Metodologia geral de definição do sistema de indicadores de desempenho de ETA.....	151
Figura 45 – Metodologia de implementação do sistema de indicadores de desempenho de ETA.....	154
Figura 46 – Codificação de um indicador do sistema de ID para ETA	157
Figura 47 – Exemplos de <i>outsourcing</i> numa EG.....	192
Figura 48 – Indicadores relativos à qualificação dos recursos humanos, em Portugal, no período em estudo (2001-2007)	193
Figura 49 – Metodologia do desenvolvimento da avaliação de desempenho operacional de ETA.....	203
Figura 50 – Exemplo de função de desempenho	205
Figura 51 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar às concentrações de todos os parâmetros físico-	

químicos com VL superior (<i>i.e.</i> , todos com exceção do cloro, pH e Índice de Saturação de Langelier) considerando apenas aspectos técnicos	208
Figura 52 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar às concentrações de todos os parâmetros físico-químicos com VL superior (<i>i.e.</i> , todos com exceção do cloro, pH e Índice de Saturação de Langelier) considerando aspectos técnicos e económicos.....	209
Figura 53 – Funções de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar ao parâmetro cloro em a) ETA para distribuição em baixa, b) ETA para distribuição em alta.....	211
Figura 54 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar ao parâmetro pH	212
Figura 55 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar ao parâmetro Índice de Saturação de Langelier	212
Figura 56 – Funções de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar aos parâmetros microbiológicos	214
Figura 57 – Modelos de ajuste de eficiências de remoção em função da concentração afluente	220
Figura 58 – Determinação de parâmetros para a construção da função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento	220
Figura 59 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos de eficiência do tratamento	220
Figura 60 – Forma geral de uma função de desempenho para avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos.....	225
Figura 61 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>gradiente de velocidade</i> da mistura rápida	226
Figura 62 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>tempo de mistura</i> na mistura rápida.....	227
Figura 63 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>Número de Camp</i> da mistura rápida.....	227
Figura 64 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>Número Froude</i> da mistura rápida.....	228
Figura 65 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>altura de queda</i> da mistura rápida.....	228
Figura 66 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>pH da água a coagular</i>	229

Figura 67 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>alcalinidade da água a coagular</i>	229
Figura 68 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>dose de coagulante</i>	230
Figura 69 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>gradiente de velocidade na mistura lenta</i>	231
Figura 70 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>tempo de mistura na mistura lenta</i>	231
Figura 71 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>Número de Camp da mistura lenta</i>	232
Figura 72 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>dose de floculante</i>	232
Figura 73 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>turvação da água decantada</i>	232
Figura 74 – Funções de desempenho a aplicar aos parâmetros <i>carga hidráulica e carga hidráulica superficial da decantação</i>	233
Figura 75 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>concentração do manto de lamas da decantação</i>	234
Figura 76 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>taxa de descarga por metro de caleira da decantação</i>	234
Figura 77 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>turvação da água filtrada</i>	235
Figura 78 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>velocidade de filtração</i>	236
Figura 79 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>duração do ciclo de filtração</i>	236
Figura 80 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>perda de carga no fim do ciclo de filtração</i>	237
Figura 81 – Funções de desempenho a aplicar aos parâmetros <i>velocidade de lavagem com água, velocidade de lavagem com ar, duração da lavagem com água e duração da lavagem com ar</i>	237
Figura 82 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>expansão do leito na lavagem do filtro</i>	238
Figura 83 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>quantidade de água gasta num ciclo de lavagem</i>	238
Figura 84 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>tempo de recuperação após lavagem/limpeza do filtro</i>	239
Figura 85 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>coeficiente de uniformidade do meio de enchimento dos filtros</i>	239

Figura 86 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>diâmetro efectivo do meio de enchimento</i> dos filtros	240
Figura 87 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>altura do leito do filtro</i>	240
Figura 88 – Estrutura da ferramenta de cálculo automático <i>PAStool_WTP</i> para avaliação do desempenho de estações de tratamento de água para consumo.....	242
Figura 89 – <i>Screenshot</i> de uma folha de introdução de dados no módulo <i>Input_Wat_Q.xls</i>	243
Figura 90 – <i>Screenshot</i> de uma folha de introdução de dados no módulo <i>Input_Op.xls</i>	244
Figura 91 – <i>Screenshot</i> da folha de cálculo dos indicadores de desempenho do módulo <i>Calc_PI.xls</i>	245
Figura 92 – <i>Screenshots</i> das folhas de introdução dos dados das variáveis para o cálculo de indicadores de desempenho do módulo <i>Calc_PI.xls</i>	246
Figura 93 – <i>Screenshot</i> de uma folha de cálculo do módulo <i>Calc_Wat_Q.xls</i> e do formulário para selecção de critérios de avaliação pelo utilizador.....	247
Figura 94 – <i>Screenshots</i> de uma folha de cálculo do módulo <i>Calc_Treat_Ef.xls</i> e de visualização de resultados	249
Figura 95 – <i>Screenshot</i> de uma folha de cálculo do módulo <i>Calc_UOP.xls</i>	250
Figura 96 – Sistema de abastecimento da Águas do Algarve, S.A.	256
Figura 97 – Esquema geral de tratamento da ETA de Alcantarilha.....	258
Figura 98 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Alcantarilha	258
Figura 99 – Esquema geral de tratamento da ETA de Fontainhas.....	260
Figura 100 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Fontainhas	260
Figura 101 – Esquema geral de tratamento da ETA de Tavira.....	261
Figura 102 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Tavira	262
Figura 103 – Esquema geral de tratamento da ETA de Beliche	263
Figura 104 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Beliche.....	263
Figura 105 – Esquema geral de tratamento da ETA A.....	264
Figura 106 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA A	264
Figura 107 – Resultados dos ID do domínio <i>Qualidade da água tratada</i> para a ETA de Alcantarilha	271
Figura 108 – Resultados de ID do domínio <i>Eficiência e fiabilidade da ETA</i> para a ETA de Alcantarilha	274
Figura 109 – Resultados de ID do domínio <i>Utilização de água, energia e materiais</i> na ETA de Alcantarilha.....	282

Figura 110 – Resultados de ID do domínio <i>Gestão de subprodutos</i> para a ETA de Alcantarilha	283
Figura 111 – Resultados de ID do domínio <i>Segurança</i> para a ETA de Alcantarilha	284
Figura 112 – Resultados de ID do domínio <i>Recursos humanos</i> para a ETA de Alcantarilha ...	285
Figura 113 – Conformidade das análises da água tratada nas ETA da AdA (indicador tWQ01)	286
Figura 114 – Conformidade das análises de sete parâmetros-chave nas ETA da AdA (indicador tWQ02).....	287
Figura 115 – Parâmetros analisados nas ETA da AdA (indicador tWQ03).....	288
Figura 116 – Qualidade da água nos pontos de entrega das ETA da AdA com menor teor de cloro (indicador tWQ05).....	289
Figura 117 – Qualidade da água nos pontos de entrega das ETA da AdA com maior teor de cloro (indicador tWQ06).....	289
Figura 118 – Qualidade da água nos pontos de entrega das ETA da AdA com maior teor de THM (indicador tWQ07)	289
Figura 119 – Qualidade da água nos pontos de entrega da ETA de Beliche com valores mais elevados de bactérias coliformes (indicador tWQ08)	289
Figura 120 – Utilização das origens de água das ETA de Tavira, Beliche e Fontainhas (indicador tER01)	290
Figura 121 – Utilização das ETA da AdA (indicador tER04).....	291
Figura 122 – Utilização das ETA da AdA no dia de maior produção (indicador tER04.1)	291
Figura 123 – Utilização das ETA da AdA no dia de menor produção (indicador tER04.2).....	292
Figura 124 – Utilização da capacidade de bombeamento a jusante das ETA da AdA (indicador tER07)	293
Figura 125 – Capacidade de reserva de água tratada nas ETA da AdA (indicador tER05)	293
Figura 126 – Controlo do doseamento de reagentes nas ETA da AdA (indicador tER14)	294
Figura 127 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos nas ETA da AdA (indicador tER19)	295
Figura 128 – Calibração de doseadores nas ETA da AdA (indicador tER21)	296
Figura 129 – Inspeção de bombas nas ETA da AdA (indicador tER22)	296
Figura 130 – Inspeção de equipamento de emergência nas ETA da AdA (indicador tER23)	297
Figura 131 – Inspeção de equipamento de transmissão de sinal nas ETA da AdA (indicador tER24)	297
Figura 132 – Inspeção de quadros eléctricos nas ETA da AdA (indicador tER25).....	298

Figura 133 – Calibrações de medidores de caudal nas ETA da AdA (indicador tER27)	298
Figura 134 – Calibrações de medidores de nível de água nas ETA da AdA (indicador tER28)	298
Figura 135 – Calibrações de medidores de pressão nas ETA da AdA (indicador tER29).....	299
Figura 136 – Calibração de medidores em linha da qualidade da água nas ETA da AdA (indicador tER30)	299
Figura 137 – Avarias em bombas nas ETA da AdA (indicador tER32)	300
Figura 138 – Eficiência de utilização de água nas ETA da AdA (indicador tRU01)	301
Figura 139 – Quantidade de lamas produzidas nas ETA da AdA (indicador tBP01).....	301
Figura 140 – Qualidade de lamas produzidas nas ETA da AdA (indicador tBP02).....	302
Figura 141 – Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas a parâmetros físico-químicos	310
Figura 142 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação.....	313
Figura 143 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação	317
Figura 144 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha.....	317
Figura 145 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - alumínio	319
Figura 146 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - alumínio.....	321
Figura 147 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - alumínio - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha.....	322
Figura 148 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - ferro	323
Figura 149 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - manganês	325
Figura 150 – Proveniência do manganês na água bruta da ETA de Alcantarilha no período de seca 2004-2005.....	328
Figura 151 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - manganês e ferro.....	329
Figura 152 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - manganês e ferro - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha	330
Figura 153 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloro.....	333
Figura 154 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - THM	334

Figura 155 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloro	336
Figura 156 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloro - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha.....	336
Figura 157 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - bromato.....	338
Figura 158 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - bromato	340
Figura 159 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - bromato - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha.....	340
Figura 160 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - pH.....	342
Figura 161 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - pH	343
Figura 162 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cálcio	345
Figura 163 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - magnésio.....	347
Figura 164 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cálcio e magnésio	349
Figura 165 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cálcio e magnésio - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha	349
Figura 166 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - Índice de Langelier.....	350
Figura 167 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloreto.....	352
Figura 168 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - nitrato	354
Figura 169 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloreto e nitrato.....	356
Figura 170 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloreto e nitrato - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha	356
Figura 171 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - microcistinas (expressas como microcistina-LR).....	357
Figura 172 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - microcistinas (expressas como microcistina-LR)	359
Figura 173 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - bactérias coliformes	360
Figura 174 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - <i>Escherichia coli</i>	362
Figura 175 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - <i>Clostridium perfringens</i> ..	364

Figura 176 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - N.º colónias a 22°C.....	366
Figura 177 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - N.º colónias a 37°C.....	367
Figura 178 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Alcantarilha em 2001-2007	371
Figura 179 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Fontainhas em 2001-2007	372
Figura 180 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Tavira em 2001-2007	373
Figura 181 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Beliche em 2001-2007	374
Figura 182 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - média com todos os parâmetros estudados	377
Figura 183 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - média dos sete parâmetros chave	378
Figura 184 – Funções de desempenho a aplicar a eficiências de remoção do alumínio na filtração para concentrações de alumínio afluentes $[Al]_{AD}$ de 25 µg/L e 1000 µg/L	372
Figura 185 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção global de turvação	381
Figura 186 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção global de turvação.....	383
Figura 187 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção global de turvação - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha	383
Figura 188 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na C/F/D.....	384
Figura 189 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na C/F/D	386
Figura 190 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na C/F/D - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha.....	387
Figura 191 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na filtração.....	387

Figura 192 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na filtração.....	389
Figura 193 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na filtração - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha.....	389
Figura 194 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de alumínio na filtração	391
Figura 195 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de alumínio na filtração	393
Figura 196 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de alumínio na filtração - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha.....	393
Figura 197 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - médias anuais, medianas e percentis 25 e 75	394
Figura 198 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - tempo de mistura rápida.	398
Figura 199 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - pH da água a coagular....	399
Figura 200 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - tempo de mistura lenta...	400
Figura 201 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água decantada.....	401
Figura 202 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - carga hidráulica superficial nos decantadores	402
Figura 203 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - carga hidráulica nos decantadores.....	402
Figura 204 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água filtrada.....	403
Figura 205 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água filtrada - da ETA de Tavira	404
Figura 206 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - velocidade de filtração ...	407
Figura 207 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - duração do ciclo de filtração	408
Figura 208 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - quantidade de água gasta num ciclo de lavagem	410
Figura 209 – Relação entre o índice de desempenho em termos de eficiência da filtração e a velocidade de filtração (ETA de Alcantarilha)	412

Figura 210 – Função de desempenho do funcionamento dos órgãos a aplicar ao parâmetro velocidade de filtração, considerando uma gama óptima de operação (ETA de Alcantarilha)	413
Figura 211 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - velocidade de filtração - na ETA de Alcantarilha, considerando uma gama óptima de operação na definição da função de desempenho	413
Figura 212 – Identificação de áreas problemáticas através da OvPA	421
Figura 213 – Relação entre medidas de desempenho da OvPA e da OpPA nos domínios tWQ, tBP, tRU e tFi	422
Figura 214 – Representação conceptual das três subcomponentes da OpPA	428

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Publicações associadas à presente dissertação	13
Quadro 2 – Critérios do Ofwat para classificação da qualidade dos dados (Ofwat, 1998).....	26
Quadro 3 – Critérios da IWA para classificação da qualidade dos dados (Alegre <i>et al.</i> , 2006)	26
Quadro 4 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da IWA para sistemas de abastecimento (Alegre <i>et al.</i> , 2000; Alegre <i>et al.</i> , 2004; Alegre <i>et al.</i> , 2006).....	32
Quadro 5 – Indicadores de desempenho do sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2004; Alegre <i>et al.</i> , 2006)	32
Quadro 6 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da IWA para sistemas de águas residuais (Matos <i>et al.</i> , 2003)	36
Quadro 7 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do Banco Mundial (adaptado de WorldBank, 2006)	37
Quadro 8 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do Ofwat (Ofwat, 2004)	38
Quadro 9 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da AWWA/WEF (Crotty, 2003).....	40
Quadro 10 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do <i>Six-Cities Group</i> (Stahre e Adamsson, 2002)	42
Quadro 11 – Indicadores de desempenho do sistema do IRAR (IRAR, 2008).....	44
Quadro 12 – Projectos nacionais relacionados com avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água e serviços de águas residuais (adaptado de Alegre, 2002; Merkel, 2002).....	45
Quadro 13 – Indicadores de desempenho propostos por Nunes <i>et al.</i> (2003).....	47
Quadro 14 – Índice de qualidade da água tratada proposto por Nunes <i>et al.</i> (2003).....	49
Quadro 15 – Exemplos de variáveis de estado e medidas de desempenho incluídas nos sistemas de avaliação de desempenho técnico	51
Quadro 16 – Exemplos de funções de desempenho previstas nos sistemas de avaliação de desempenho técnico.....	52
Quadro 17 – Exemplos de funções de generalização previstas nos sistemas de avaliação de desempenho técnico	53
Quadro 18 – Exemplos de representações gráficas de resultados utilizados nos sistemas de avaliação de desempenho técnico	54

Quadro 19 – Sistema de indicadores de desempenho usados na indústria química - indicadores principais (CEFIC, 2006a).....	62
Quadro 20 – Sistema de indicadores de desempenho usados na indústria química - indicadores opcionais (CEFIC, 2006a).....	63
Quadro 21 – Análise comparativa dos sistemas de avaliação de desempenho existentes face aos objectivos da tese.....	66
Quadro 22 – Grau de coagulação em função do potencial zeta (AWWA, 2003).....	71
Quadro 23 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da mistura rápida.....	76
Quadro 24 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da floculação.....	80
Quadro 25 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da decantação convencional.....	86
Quadro 26 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da decantação acelerada.....	87
Quadro 27 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da decantação com manto de lamas.....	87
Quadro 28 – Velocidades de lavagem de filtros rápidos monocamada com água para se conseguir 10-20% de expansão do leito (WRc, 1997).....	93
Quadro 29 – Velocidades de lavagem de filtros rápidos de dupla camada (antracite-areia) com água (Twort <i>et al.</i> , 2000).....	93
Quadro 30 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da filtração rápida.....	96
Quadro 31 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da filtração lenta.....	98
Quadro 32 – Deficiências usuais observadas em ETA.....	109
Quadro 33 – Situação de funcionamento das ETA do Continente.....	113
Quadro 34 – Caracterização das ETA em termos de origens de água.....	118
Quadro 35 – Caracterização das ETA em termos de operações/processos unitários de tratamento.....	122
Quadro 36 – Número médio de operações/processos unitários nas ETA em função da dimensão.....	124
Quadro 37 – Número médio de operações/processos unitários nas ETA em função do tipo de origem.....	125

Quadro 38 – Tipos de reagentes e órgãos usados nas ETA (número de ETA em que são usados)	128
Quadro 39 – Sequências de tratamento em ETA cuja origem são aquíferos	134
Quadro 40 – As seis sequências de tratamento responsáveis pela produção de maior volume de água a partir de aquíferos.....	135
Quadro 41 – Sequências de tratamento em ETA cuja origem são albufeiras	139
Quadro 42 – As seis sequências de tratamento responsáveis pela produção de maior volume de água a partir de albufeiras.....	139
Quadro 43 – Sequências de tratamento em ETA cuja origem são rios.....	140
Quadro 44 – As seis sequências de tratamento responsáveis pela produção de maior volume de água a partir de rios	140
Quadro 45 – Esquemas de tratamento nas ETA dos Açores.....	142
Quadro 46 – Esquemas de tratamento nas ETA da Madeira.....	144
Quadro 47 – Estrutura do Sistema de ID para ETA	155
Quadro 48 – Sistema de indicadores proposto – Domínio <i>Qualidade da água tratada</i>	159
Quadro 49 – Origem dos ID para ETA – Domínio <i>Qualidade da água tratada</i>	162
Quadro 50 – Sistema de indicadores proposto – Domínio <i>Eficiência e fiabilidade da ETA</i>	163
Quadro 51 – Origem dos ID para ETA – Domínio <i>Eficiência e fiabilidade da ETA</i>	179
Quadro 52 – Sistema de indicadores proposto – Domínio <i>Utilização de água, energia e materiais</i>	180
Quadro 53 – Origem dos ID para ETA – Domínio <i>Utilização de água, energia e materiais</i>	183
Quadro 54 – Sistema de indicadores proposto – Domínio <i>Gestão de subprodutos</i>	184
Quadro 55 – Origem dos ID para ETA – Domínio <i>Gestão de subprodutos</i>	188
Quadro 56 – Sistema de indicadores proposto – Domínio <i>Segurança</i>	188
Quadro 57 – Origem dos ID para ETA – Domínio <i>Segurança</i>	191
Quadro 58 – Sistema de indicadores proposto – Domínio <i>Recursos humanos</i>	191
Quadro 59 – Sistema de indicadores proposto – Domínio <i>Recursos económico-financeiros</i>	196
Quadro 60 – Combinações OPU/conjunto de OPU e parâmetro de qualidade estudadas para definição dos níveis de desempenho em termos de eficiência do tratamento	217
Quadro 61 – Modelos de ajuste de eficiências de remoção em função da concentração afluente.....	219

Quadro 62 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da mistura rápida	222
Quadro 63 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da floculação	222
Quadro 64 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da decantação	222
Quadro 65 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da filtração.....	223
Quadro 66 – Parâmetros de operação para avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos da ETA.....	223
Quadro 67 – Valores-limite das funções de desempenho a aplicar aos parâmetros <i>velocidade de lavagem com água, velocidade de lavagem com ar, duração da lavagem com ar e duração da lavagem com água</i>	238
Quadro 68 – Valores-limite das funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>diâmetro efectivo do meio de enchimento</i> dos filtros rápidos	240
Quadro 69 – Valores-limite das funções de desempenho a aplicar ao parâmetro <i>altura do leito</i> do filtro	240
Quadro 70 – Caracterização comparativa dos casos de estudo.....	256
Quadro 71 – Objectivos das OPU de tratamento existentes nas ETA estudadas.....	265
Quadro 72 – Aplicação do sistema de avaliação de desempenho aos casos de estudo - período estudado.....	265
Quadro 73 – Dados de processo e dados relativos à infra-estrutura recolhidos nos casos de estudo.....	266
Quadro 74 – Dados relativos à operação, manutenção, gestão de subprodutos, segurança, recursos humanos e recursos económico-financeiros recolhidos nos casos de estudo.....	266
Quadro 75 – Balanço dos ID calculados nos casos de estudo	269
Quadro 76 – Cálculo individual do indicador tWQ01 para vários parâmetros de qualidade (ETA de Alcantarilha).....	272
Quadro 77 – Monitorização (indicador tER18) e monitorização em contínuo (indicador tER13) da qualidade da água nas ETA da AdA (2001-2006)	294
Quadro 78 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos (indicador tSa01) e acidentes de trabalho (indicador tSa02) nas ETA da AdA (2004-2006)	303

Quadro 79 – Resultados dos indicadores do domínio <i>Recursos Humanos</i> para as ETA da AdA (2006)	304
Quadro 80 – Gamas dos indicadores de desempenho observadas nos casos de estudo.....	306
Quadro 81 – Classificação dos parâmetros de qualidade da água tratada em termos de desempenho.....	375
Quadro 82 – Parâmetros de operação aos quais foi aplicada a avaliação de desempenho nos casos de estudo.....	396
Quadro 83 – Índice de desempenho de parâmetros de operação associados à lavagem dos filtros.....	411
Quadro 84 – Índice de desempenho dos parâmetros de operação associados às características do meio filtrante.....	411

ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

Utilizaram-se abreviaturas em Português, sempre que tenham sido adoptadas pela legislação nacional ou por outros documentos oficiais, e sempre que se considerou tratar-se de abreviaturas consagradas em Portugal. Nos restantes casos, adoptaram-se as abreviaturas anglo-saxónicas, de utilização generalizada na literatura internacional de referência e no léxico técnico-científico nacional.

Símbolo	Descrição
AdA	Águas do Algarve, S.A.
ADERASA	Associação de Entidades Reguladoras de Sistemas de Água e de Águas Residuais da América do Sul
AdP	Águas de Portugal, S.G.P.S., S.A.
AOC	Carbono orgânico assimilável (<i>assimilable organic carbon</i>)
AOP	Processos de oxidação avançados (<i>advanced oxidation processes</i>)
AOX	Compostos organohalogenados adsorvíveis (<i>adsorbable organic halogens</i>)
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
BWSU	<i>Benchmarking Water and Sanitation Utilities</i>
CEFIC	<i>European Chemical Industry Council/Conseil Européen de l'Industrie Chimique</i>
C/F/D	Coagulação/floculação/decantação (<i>coagulation/flocculation/decantation</i>)
C _{in}	Concentração afluente
CML	Câmara de mistura lenta
CMR	Câmara de mistura rápida
COD	Carbono orgânico dissolvido
COT	Carbono orgânico total
D ₁₀	Diâmetro efectivo do meio de enchimento - Abertura teórica da malha do peneiro, através da qual passariam 10% das partículas
D ₆₀	Abertura teórica da malha do peneiro, através da qual passariam 60% das partículas
DAF	Flutuação (vulgo, flotação) por ar dissolvido (<i>dissolved air flotation</i>)
EG	Entidade gestora
EOCl	Compostos organoclorados extraíveis (<i>extractable organic chlorides</i>)
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
Er	Eficiência de remoção
Er _{max}	Eficiência de remoção máxima
Er _{min}	Eficiência de remoção mínima
ERP	Especificação de Requisitos de Produto
ETA	Estação de tratamento de água para consumo humano

Símbolo	Descrição
Fr	Número de Froude
G	Gradiente de velocidade médio
G x t	Número de Camp
GAC	Carvão activado granulado (<i>granular activated carbon</i>)
HACCP	<i>Hazard Analysis and Critical Points Control</i>
I _{WatQ}	Índice de desempenho relativo à componente OpPA em termos da qualidade da água tratada
I _{TreatEf}	Índice de desempenho relativo à componente OpPA em termos da eficiência do tratamento
I _{UOP}	Índice de desempenho relativo à componente OpPA em termos do funcionamento dos órgãos
IBNET	<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities</i>
ICCA	<i>International Council of Chemical Associations</i>
ID	Indicador de desempenho
IL	Índice de saturação de Langelier
INAG	Instituto da Água
INSAAR	Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais
IRAR	Instituto Regulador de Águas e Resíduos
IWA	<i>International Water Association</i>
L	Altura do leito do filtro
LC	Limite crítico
LQ	Limite de quantificação
MCLG	<i>Maximum Contaminant Level Goal</i>
MF	Microfiltração (<i>microfiltration</i>)
NF	Nanofiltração (<i>nanofiltration</i>)
NOM	Matéria orgânica natural (<i>natural organic matter</i>)
OBP	Subprodutos da oxidação (<i>oxidation by-products</i>)
Ofwat	<i>Office of Water Services</i>
ONG	Organização não governamental
OPU	Operação/processo unitário
OpPA	Avaliação de desempenho operacional (<i>Operational Performance Assessment</i>)
OpPA_TreatEf	Avaliação de desempenho operacional em termos da eficiência do tratamento (<i>Operational Performance Assessment_ Treatment Efficiency</i>)

Símbolo	Descrição
OpPA_UOP	Avaliação de desempenho operacional em termos do funcionamento dos órgãos (<i>Operational Performance Assessment_ Unit Operation Process</i>)
OpPA_WatQ	Avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada (<i>Operational Performance Assessment_ Water Quality</i>)
OvPA	Avaliação de desempenho global (<i>Overall Performance Assessment</i>)
P	Potência dissipada para agitar o volume de água V
P25	Percentil 25
P75	Percentil 75
PAC	Carvão activado em pó (<i>powdered activated carbon</i>)
PAH	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (<i>polycyclic aromatic hydrocarbons</i>)
PAS	Sistema de Avaliação de Desempenho (<i>Performance Assessment System</i>)
PAS_WTP	Sistema de Avaliação de Desempenho de ETA (<i>Performance Assessment System_ Water Treatment Plants</i>)
PCC	Ponto de Controlo Crítico
PSA	Plano de Segurança da Água
RH	Região hidrográfica
SAA	Sistema de abastecimento de água
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SST	Sólidos suspensos totais
SUVA	Absorvência específica a 254 nm (<i>specific UV_{254nm} absorbance</i>)
t	Tempo de mistura
tBP	Domínio de avaliação: Gestão de subprodutos (<i>By-products management domain in PAS_WTP</i>)
tER	Domínio de avaliação: Eficiência e fiabilidade da ETA (<i>Efficiency and reliability in PAS_WTP</i>)
tFi	Domínio de avaliação: Recursos económico-financeiros (<i>Financial resources domain in PAS_WTP</i>)
tPe	Domínio de avaliação: Recursos humanos (<i>Personnel domain in PAS_WTP</i>)
tWQ	Domínio de avaliação: Qualidade da água tratada (<i>Water quality domain in PAS_WTP</i>)
tRU	Domínio de avaliação: Utilização de água, energia e materiais (<i>Resources use domain in PAS_WTP</i>)
tSa	Domínio de avaliação: Segurança (<i>Safety domain in PAS_WTP</i>)
THM	Trihalometanos
U	Coefficiente de uniformidade do leito do filtro

Símbolo	Descrição
UNL	Universidade Nova de Lisboa
UF	Ultrafiltração (<i>ultrafiltration</i>)
ufc	Unidades formadoras de colónias
UNT	Unidade nefelométrica de turvação
UV ₂₅₄	Absorvência a 254 nm
UV	Radiação ultravioleta (<i>ultraviolet radiation</i>)
V	Volume de água agitada
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VL	Valor-limite
VL1	Valor-limite inferior
VL2	Valor-limite superior
VLe	Valor-limite economicamente viável
v _t	Velocidade de sedimentação
WEF	<i>Water Environment Federation</i>
μ	Viscosidade absoluta da água

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água e de gestão de águas residuais é um tema que tem vindo a revestir-se de importância crescente em todo o mundo. A abordagem tradicionalmente usada no fornecimento deste tipo de serviços, na qual a preocupação principal era proporcionar ao utilizador, no presente, um serviço com quantidade e qualidade adequadas, está a ser substituída por uma visão orientada também por princípios de sustentabilidade, na qual se procura assegurar a sustentabilidade da prestação de serviços e a sustentabilidade ambiental.

Apesar de a concorrência neste sector ser baixa devido às suas características de monopólio natural (Walker e Marr, 2002), a consciência do público, relativa a aspectos ambientais e económicos relacionados com a água, a par da crescente participação do sector privado têm questionado esse tipo de abordagem, constituindo simultaneamente um incentivo para o aumento de eficiência das entidades gestoras (EG) dos serviços de água. A participação do sector privado reforça a necessidade de regulação do sector, através da definição de regras e objectivos claros, recorrendo-se, por exemplo, a metodologias de avaliação de desempenho. Os processos de melhoria contínua das actividades empresariais exigem a adopção de abordagens estruturadas e sistemáticas. A avaliação de desempenho é uma destas abordagens, uma vez que permite obter informação de apoio à tomada de decisão sobre acções correctivas ou melhorias a realizar. No âmbito desta tese, considera-se que o desempenho traduz o grau de eficiência e o grau de eficácia de um aspecto particular do serviço prestado aos utilizadores. A eficácia mede até que ponto os objectivos, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para o cumprimento dos objectivos.

Na última década, a necessidade da definição de objectivos de gestão por parte das EG, e a correspondente necessidade de posterior verificação do cumprimento dos objectivos estabelecidos, conduziram ao surgimento de algumas iniciativas para o estudo e desenvolvimento de metodologias no domínio da avaliação de desempenho dos serviços de abastecimento de água e dos serviços de águas residuais. Os trabalhos mais relevantes neste domínio e de aplicação consolidada a nível internacional foram promovidos pelo Banco Mundial (Yepes e Dianderas, 1996; WorldBank, 1999; 2006) e pela *International Water Association* (IWA) (Alegre *et al.*, 2000; Matos *et al.*, 2003; Alegre *et al.*, 2006), mas podem ser referidos outros como, por exemplo, o trabalho desenvolvido pelo *Six Scandinavian Cities Group* (Stahre e Adamsson, 2002), o projecto *QualServe* da *American Water Works Association* (AWWA) (Crotty, 2003), o trabalho do *Office of Water Services* (Ofwat) (Ofwat, 1998; 2003; 2004; 2005) e uma série de outros projectos desenvolvidos a nível nacional (referidos em Alegre, 2002 e em Merkel, 2002) e que constituíram versões adaptadas dos sistemas internacionais, sobretudo, do sistema de indicadores da IWA.

Neste contexto, os resultados da investigação internacional desenvolvida até ao momento consistiram essencialmente em sistemas de indicadores de desempenho (ID) que englobam áreas tão diversas como ambiente, economia, qualidade de serviço, organização, recursos humanos e tecnologia.

A nível internacional, estes desenvolvimentos motivaram já a normalização de conceitos e metodologias de avaliação de desempenho de entidades gestoras de serviços de águas, estando a Comissão Técnica Internacional *ISO/TC224 Service activities relating to drinking water supply systems and wastewater systems* a desenvolver actividade neste domínio e tendo sido já publicadas três normas da série ISO 24500.

Assim, é reconhecido que a utilização de ID constitui um instrumento fundamental para as EG dos sistemas de abastecimento de água cujo objectivo de gestão seja a prestação de um serviço

de boa qualidade, fazendo um uso eficiente dos recursos disponíveis em termos tecnológicos, humanos, ambientais e financeiros. O facto de os ID proporcionarem um mecanismo de auto-diagnóstico, de suportarem a definição de prioridades de actuação e de permitirem a avaliação das acções implementadas são vantagens evidentes para a EG a nível interno, podendo dizer-se que são uma peça-chave em todo o processo de optimização da gestão dos sistemas. Os resultados deste processo interno podem, complementarmente, ser utilizados nas relações externas da EG com outras EG, com os consumidores, com outros utilizadores indirectos, com entidades financiadoras, com entidades reguladoras e com a administração local, regional e nacional para demonstração do nível de serviço efectivamente prestado.

1.2. Justificação do tema

Não obstante os desenvolvimentos referidos na secção 1.1, os sistemas de ID actualmente disponíveis estão fortemente direccionados para a avaliação de desempenho sob uma perspectiva de gestão, não sendo, em geral, considerados os aspectos associados a uma análise mais técnica e pormenorizada dos processos. Existem estudos que consideram aspectos essenciais de engenharia, mas que restringem o seu âmbito às redes de distribuição (Coelho, 1997) e às redes de drenagem (Cardoso, 2007). Outros há relativos a estações de tratamento de água (ETA) (Santana *et al.*, 1996; AWWA *et al.*, 2004a) mas que, conforme se analisa no capítulo 2, são pouco flexíveis em termos da selecção de critérios de avaliação, não cobrindo aspectos essenciais como fiabilidade do tratamento, segurança de pessoas e instalações, gestão de subprodutos, e utilização de recursos naturais, humanos e económico-financeiros.

As abordagens de avaliação de desempenho ainda não conheceram desenvolvimentos significativos no seio da comunidade científica de forma a abranger de modo específico os sistemas de tratamento, sobretudo devido à grande especificidade das diversas operações/processos unitários que compõem a linha de tratamento numa estação de tratamento

de água para consumo humano (ETA) e à dificuldade em encontrar indicadores e uma metodologia universal que permitam a comparação de processos aparentemente distintos. De referir que nos sistemas de ID actuais e internacionalmente consagrados, como por exemplo o sistema da IWA, o desempenho relacionado com aspectos de qualidade da água de abastecimento é, em geral, avaliado apenas em termos do “número de análises que cumprem a legislação em vigor” e do “número de análises realizadas”.

No entanto, a avaliação de desempenho nesta área do tratamento reveste-se de grande interesse, uma vez que oferece todas as vantagens anteriormente referidas para a globalidade do serviço de abastecimento de água. A produção de água de qualidade para consumo humano é condicionada, além da correcta selecção e projecto da tecnologia de tratamento, pela adequada operação do tratamento. A utilização de um sistema de avaliação de desempenho aplicado ao nível da ETA beneficiará a optimização dessa operação e a identificação das necessidades de reabilitação da estação de tratamento, quer em termos de aumento de capacidade nominal (*up-rate*), quer em termos de aumento do nível de tratamento ou de actualização tecnológica (*up-grade*).

As deficiências mais comuns encontradas em ETA são a não optimização do uso de reagentes (em termos de dosagens, condições de mistura e tempos de contacto), a operação não optimizada de determinadas unidades, como por exemplo os filtros (em termos da duração dos ciclos de filtração e lavagem, das velocidades de filtração e lavagem, e dos critérios para início e finalização das lavagens) e os decantadores (em termos de cargas, tempos de retenção e condições hidráulicas) e a não minimização do consumo energético e da produção de lamas (AWWA, 1985; EPA, 1990; Ambrósio de Sousa *et al.*, 2000; Black&Veatch, 2002; Vieira *et al.*, 2004). Apesar da ocorrência destes problemas, a abordagem tradicional de avaliação de eficiência dos processos de tratamento limita-se, em geral, à verificação do cumprimento da legislação em vigor que define os limites máximos permitidos para as concentrações de vários parâmetros de qualidade da água e, em alguns casos, é feito o cálculo de percentagens de

remoção dos contaminantes (Ingildsen *et al.*, 2001; Campinas *et al.*, 2003; Vieira *et al.*, 2004). Além disso, não existe um consenso entre os vários países relativamente ao modo de avaliar o desempenho de processos de tratamento, verificando-se uma óbvia lacuna neste domínio do conhecimento.

As estratégias actuais de reabilitação de ETA são essencialmente do tipo reactivo, não se elaborando, em geral, planos a longo prazo. Os critérios subjacentes à tomada de decisão de reabilitar restringem-se ao cumprimento da legislação e à necessidade de aumento de capacidade de tratamento para responder ao aumento da procura (Ambrósio de Sousa *et al.*, 2000), verificando-se que raramente são aplicados critérios técnicos directamente relacionados com condições operacionais. O facto de não existirem metodologias para avaliar de modo sistemático o funcionamento das estações contribui, certamente, para esta situação. Num contexto de gestão patrimonial de infra-estruturas, os sistemas de avaliação de desempenho constituem uma ferramenta de grande utilidade para que as entidades gestoras possam, de modo pró-activo, efectuar diagnósticos das ETA, identificar necessidades de reabilitação e definir prioridades para a implementação de medidas correctivas. Este aspecto é particularmente relevante em Portugal, onde um número significativo de estações de tratamento funciona ainda deficientemente e necessita de reabilitação (MAOT, 2000; Franco, 2004; MAOTDR, 2007).

As políticas ambientais europeia e nacional constituem factores de mudança para a criação de sistemas de avaliação de desempenho para ETA.

Com a adopção da Directiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE) é exigido aos Estados Membros que apliquem o princípio da recuperação de custos e que atinjam melhores níveis de desempenho ambiental, o que requer uma optimização da gestão de recursos nos sistemas de abastecimento na globalidade e em cada um dos seus componentes, sendo a ETA um ponto crítico, com significativos custos associados. Mas, também neste contexto, é reconhecida a inexistência de indicadores fiáveis para sectores específicos como o tratamento.

Em Portugal, os Planos Estratégicos de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais, PEAASAR I (MAOT, 2000) e PEAASAR II (MAOTDR, 2007), estabelecem como objectivos, para além do aumento da cobertura em termos de abastecimento para 95%, a optimização da gestão operacional e a eliminação de custos de ineficiência, ou seja, um aumento significativo do desempenho dos sistemas já existentes. Justifica-se, também neste âmbito, a necessidade de criar medidas desse desempenho.

São de referir ainda, em relação a aspectos ambientais, as questões associadas às alterações climáticas e a sua influência nos sistemas de abastecimento de água, em particular, nas ETA. Neste domínio, a existência de metodologias de avaliação de desempenho pode ter um contributo positivo em duas vertentes. Por um lado, porque permitem, de certa forma, avaliar a pegada ecológica dos sistemas de tratamento, abordando, por exemplo, questões de uso eficiente da água e energia. Por outro lado, estas metodologias permitem avaliar a capacidade de resposta dos sistemas às alterações climáticas, através, por exemplo, da análise de fiabilidade e resiliência das estações de tratamento.

Nos últimos anos, tem-se verificado um interesse crescente na certificação de qualidade dos serviços de abastecimento de acordo, por exemplo, com a norma ISO 9001, tendo algumas EG conseguido já esse reconhecimento. Para garantir essa qualidade, é necessário quantificá-la e avaliá-la. Assim, na implementação efectiva dos sistemas de garantia de qualidade é necessário recorrer a indicadores apropriados para os processos internos da entidade (Peixoto, 2004), alguns dos quais se relacionam com a ETA, mas que são ainda abordados de forma incipiente.

A edição revista das recomendações da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006) aconselha que, além da prática corrente de controlo final de produto, as EG de sistemas de abastecimento de água adoptem procedimentos pró-activos para o controlo de todo o processo de produção e distribuição de água. Esta abordagem deve ser concretizada através da elaboração de Planos de Segurança da Água (PSA) e da adopção de conceitos de avaliação e gestão do risco, entendendo

o sistema de tratamento de água como uma sequência de barreiras múltiplas de protecção à contaminação da água.

Os PSA assentam no método HACCP (*Hazard Analysis and Critical Points Control*) utilizado na indústria alimentar e incluem como passos principais: i) a identificação dos perigos potenciais que podem prejudicar a qualidade da água fornecida ao consumidor; ii) a avaliação dos perigos previamente identificados através de uma metodologia de classificação dos riscos com base na sua probabilidade de ocorrência e na gravidade das suas consequências – daqui resulta a identificação de Pontos de Controlo Críticos (PCC), ou seja, locais onde é essencial reduzir um perigo até limites aceitáveis; iii) o estabelecimento de medidas de controlo para mitigar o risco; iv) o estabelecimento do tipo de monitorização de cada medida de controlo (parâmetros operacionais a monitorizar e respectiva frequência) e dos correspondentes Limites Críticos (LC) (valores a cumprir de modo a garantir o cumprimento das imposições da legislação relativas à qualidade da água no ponto de consumo) e v) a definição das acções correctivas a implementar caso os LC sejam ultrapassados, no sentido de, atempadamente, reduzir os perigos nos PCC e repor o funcionamento do sistema dentro da gama de valores estabelecidos. Pode dizer-se, portanto, que os PSA incluem uma componente de avaliação do funcionamento do sistema. No entanto, esta avaliação é feita, apenas, na perspectiva do cumprimento de critérios de qualidade da água consumida (avaliação de eficácia, ou seja, de cumprimento de objectivos), não sendo incorporada a perspectiva de optimização de recursos para cumprimento desses objectivos (avaliação de eficiência). Para satisfazer princípios de sustentabilidade dos sistemas de tratamento, é necessário incorporar estes aspectos de eficiência, o que pode ser conseguido através de abordagens de avaliação de desempenho.

Face ao exposto, e beneficiando da experiência adquirida através da investigação já desenvolvida no domínio dos serviços de abastecimento de água e dos serviços de águas residuais, afigura-se de grande interesse e oportunidade o alargamento das abordagens de desempenho ao campo do

tratamento de água e a investigação de metodologias de avaliação de desempenho específicas. O desenvolvimento de uma metodologia objectiva, sistemática e normalizada de avaliação de desempenho de ETA tem carácter inovador e, em última análise, contribui para a optimização e inovação tecnológicas bem como para a sustentabilidade da indústria da água.

1.3. Objectivos e estratégia da investigação

O presente trabalho tem como objectivo geral o desenvolvimento de uma metodologia uniformizada de avaliação do desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano. Esta metodologia é orientada por objectivos e destina-se a ser usada de modo sistemático no âmbito da operação e gestão técnica da ETA, nomeadamente para apoio à tomada de decisão.

Constituem objectivos específicos:

- a definição do nível a que deve ser efectuada a avaliação do desempenho de um sistema de tratamento – operação/processo unitário de tratamento (OPU), conjunto de OPU ou globalidade da linha de tratamento;
- a identificação dos domínios em relação aos quais é necessário medir o desempenho e a definição dos parâmetros relevantes para a avaliação do desempenho, atendendo às características de funcionamento do sistema de tratamento e à disponibilidade/meios de obtenção de dados necessários à sua determinação;
- a proposta de um sistema de avaliação de desempenho que integre os parâmetros previamente seleccionados;
- a avaliação e melhoria da metodologia proposta como instrumento de apoio à rotina da operação das estações de tratamento.

Tendo em vista a prossecução dos objectivos atrás enunciados, seguiu-se uma estratégia de investigação que compreende duas fases principais: a concepção e desenvolvimento de um

sistema de avaliação de desempenho de ETA e a validação deste sistema. A concepção e desenvolvimento do sistema de avaliação incluiu a definição do seu âmbito de aplicação, o desenvolvimento propriamente dito do sistema e a criação de uma ferramenta de cálculo automático que agiliza a aplicação do sistema. A validação do sistema consistiu na sua aplicação a casos de estudo.

Para a **definição do âmbito de aplicação** do sistema de avaliação de desempenho, procedeu-se, inicialmente, à identificação do tipo de sequências de tratamento para os quais ele poderia ser desenvolvido. Foram seleccionadas sequências representativas da situação nacional, considerando as unidades de tratamento em funcionamento. Esta selecção foi feita com base numa caracterização da situação nacional, em termos dos tipos de tratamento existentes, dos tipos de origens de água utilizadas para abastecer as ETA e das capacidades de tratamento instaladas. Como fontes de informação usaram-se os resultados do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR) e informação cedida pelo grupo Águas de Portugal, S.G.P.S., S.A.

A **definição do sistema de avaliação de desempenho** baseou-se na sustentabilidade técnica, ambiental e económico-financeira da ETA e, portanto, atendeu aos objectivos do processo de tratamento (*i.e.*, remoção de contaminantes), em função da eficiência e fiabilidade do tratamento, dos recursos usados (utilização de água, reagentes e energia; recursos humanos e económico-financeiros), dos subprodutos gerados (*e.g.*, produção de lamas) e com segurança de pessoas e instalações. Além disso, uma vez que o desenvolvimento de um sistema de avaliação de ETA requer um conhecimento aprofundado das OPU, foi feita, para cada OPU, uma análise pormenorizada dos aspectos de dimensionamento e de operação que reflectem e que estão directamente relacionados com o desempenho conseguido por essa OPU. Nesta análise foram tidas em consideração a natureza, a extensão e as causas das deficiências mais comuns neste tipo de instalações, ou seja, procuraram identificar-se aspectos que constituem barreiras a uma

operação eficiente. Nesta fase, avaliou-se a possibilidade de transferência de conhecimento de outras áreas mais tradicionais da indústria química, cujos processos apresentam algumas semelhanças com os processos de tratamento de água. Finalmente, foram identificadas as medidas de desempenho a integrar o sistema de avaliação. Estas medidas dividem-se em indicadores de desempenho e em índices de desempenho obtidos pela aplicação de funções de desempenho a variáveis de estado.

Com o objectivo de validar o sistema de avaliação de desempenho previamente desenvolvido para uso na rotina da operação de estações de tratamento, procedeu-se à sua **aplicação a cinco casos de estudo** constituídos por ETA à escala real. Estes casos de estudos possuem sequências de tratamento que se enquadram nas sequências-tipo de tratamento previamente identificadas. Com base na análise dos resultados desta aplicação, foram melhorados aspectos do sistema de avaliação de desempenho.

O trabalho de investigação que se apresenta nesta dissertação foi realizado no âmbito dos seguintes projectos de investigação:

- “Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água e de estações de tratamento de águas residuais” (POCI/ECM/57909/2004; projecto nacional financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e pelo LNEC; 2005-2009) e
- “ETA21 – Estudos de avaliação de desempenho e de optimização das ETA da Águas do Algarve” (projecto nacional financiado pela Águas do Algarve, S.A.; 2007-2009).

1.4. Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação, esquematicamente apresentada na Figura 1, reflecte a estratégia de investigação descrita na secção 1.3. A dissertação é composta por 11 capítulos.

Neste primeiro capítulo, além de uma introdução ao tema da tese, é apresentado o seu enquadramento e as motivações que o justificam, a estrutura da dissertação (para guiar o leitor ao

longo da investigação desenvolvida e dos trabalhos já publicados) e, finalmente, a estrutura geral proposta para o sistema de avaliação de desempenho de ETA (PAS_WTP). Considerou-se adequado apresentar logo neste capítulo introdutório a proposta da estrutura geral do PAS_WTP (incluindo uma descrição sucinta das suas componentes principais), uma vez que esta condiciona a estrutura da dissertação e contextualiza os capítulos 4 e 5 sem necessidade de se introduzir previamente um pequeno capítulo.

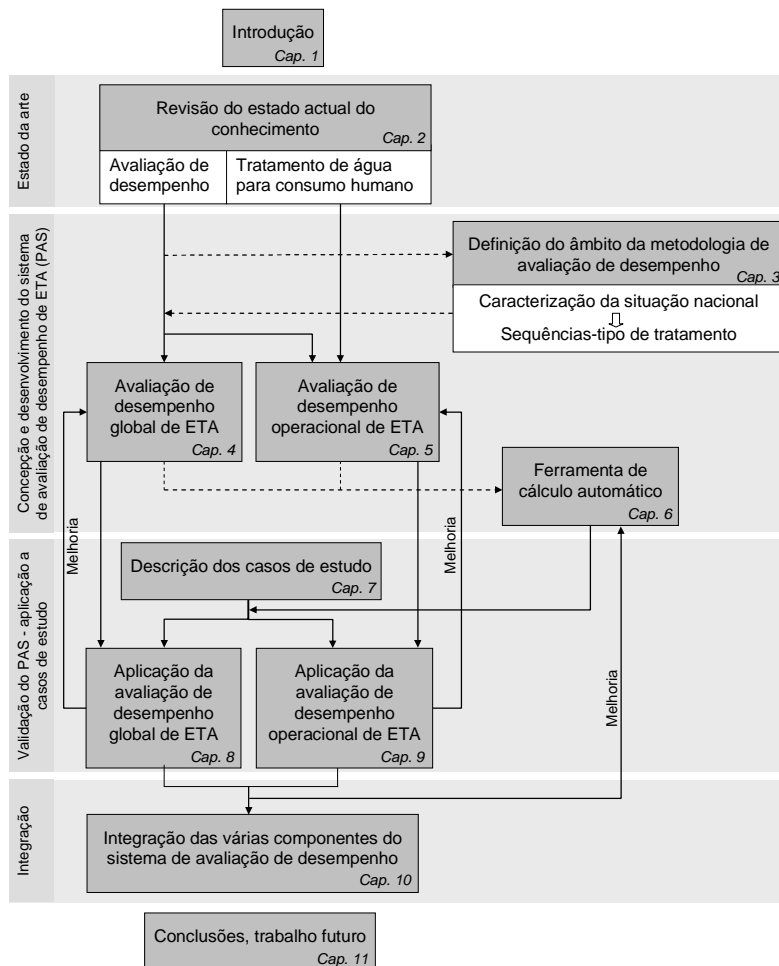


Figura 1 – Estrutura da dissertação

O capítulo 2 apresenta o estado actual do conhecimento em domínios relevantes para o tema em estudo, em particular, a avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água, de serviços de águas residuais e da indústria química, e o tratamento de água para consumo. Relativamente à avaliação de desempenho, são descritas as abordagens sistematizadas mais

relevantes já existentes, referindo-se as áreas de avaliação de desempenho, os diversos tipos de medidas de desempenho disponíveis, as diversas formas de utilização da informação de desempenho e os aspectos de qualidade dos dados de base. Relativamente ao tratamento de água, apresentam-se alguns aspectos relacionados com os objectivos das OPU convencionais, os parâmetros de monitorização e/ou controlo do processo e as deficiências usuais de funcionamento, ou seja, é feito um levantamento de factores limitantes do desempenho.

Os capítulos 3, 4, 5 e 6 são dedicados à concepção e ao desenvolvimento do sistema de avaliação de desempenho. No capítulo 3 identificam-se sequências-tipo de tratamento com base numa caracterização da situação nacional em termos dos sistemas de tratamento existentes. Nos capítulos 4 e 5 apresenta-se, em pormenor, a proposta de metodologia de avaliação de desempenho de ETA. O capítulo 4 descreve a componente de avaliação de desempenho global do sistema de avaliação, incluindo a estrutura do sistema de indicadores de desempenho propostos, as características dos ID, as variáveis necessárias para a sua determinação e os factores explicativos a considerar na análise de resultados. No capítulo 5 descreve-se a componente de avaliação de desempenho operacional do sistema de avaliação, referindo-se as variáveis que traduzem o desempenho, assim como as funções de desempenho a aplicar individualmente a cada uma delas. Esta descrição é feita para as três subcomponentes da avaliação de desempenho operacional: qualidade da água tratada, eficiência do tratamento e funcionamento dos órgãos. No capítulo 6 apresenta-se a estrutura e descrevem-se os módulos da aplicação informática para cálculo do desempenho de ETA.

Os capítulos 7, 8 e 9 são relativos à validação do sistema de avaliação de desempenho, através da sua aplicação a casos de estudo. Os cinco casos de estudo aos quais a metodologia de avaliação de desempenho foi aplicada são descritos no capítulo 7. Os resultados dessa aplicação são apresentados e discutidos nos capítulos 8 e 9, que se referem à avaliação de desempenho global e à avaliação de desempenho operacional, respectivamente. Em ambas as componentes, estudou-se

a evolução temporal do desempenho e efectuaram-se análises comparativas do desempenho entre os vários casos de estudo. Esta aplicação a casos de estudo permitiu a melhoria do próprio sistema de avaliação.

No capítulo 10 apresenta-se uma proposta para integração das várias componentes do sistema de avaliação de forma a permitir uma avaliação completa do desempenho da ETA.

Finalmente, no capítulo 11 sintetizam-se as conclusões mais relevantes do trabalho desenvolvido e fazem-se algumas sugestões de desenvolvimentos futuros da presente investigação.

Partes de capítulos da presente dissertação foram já objecto de publicação. Estas publicações encontram-se listadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Publicações associadas à presente dissertação

Tipo de publicação	N.º	Título	Relação com a dissertação
Livros	1	VIEIRA, P.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H. (2007). <i>Estações de tratamento de água para consumo humano em Portugal</i> . Informação Técnica Hidráulica ITH 44. LNEC, Lisboa. ISBN 978-972-49-2102-3. 29 pp.	Parte do <u>capítulo 3</u>
Capítulos em livros	1	VIEIRA, P.; SILVA, C.; ROSA, M. J.; ALEGRE, H.; LUCAS, H.; SANCHO, R.; RAMALHO, P. (2008). A PI system for drinking water treatment plants – framework and case study application. <i>In Performance Assessment of Urban Infrastructure Services</i> . Eds E. Cabrera and M. Pardo. IWA Publishing. London. ISBN 978-18-433-9191-3. 389-402	Parte do <u>capítulo 8</u>
Relatórios LNEC	1	VIEIRA, P., ALEGRE, H., ROSA, M.J. (2007). <i>Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. Revisão do estado da arte e proposta de sistema de avaliação de desempenho</i> . Relatório 215-NES. LNEC, Lisboa. 82 pp.	Parte dos <u>capítulos 2, 4</u> e do <u>Anexo 1</u> (constitui a primeira proposta de ID)
Artigos em revistas internacionais	1	VIEIRA, P.; ALEGRE, H.; ROSA, M. J.; LUCAS, H.; (2008). Drinking water treatment plants assessment through performance indicators. <i>Water Science and Technology: Water Supply</i> . 8(3). 245-253.	Parte do <u>capítulo 4</u>
Artigos em revistas nacionais	2	VIEIRA, P.; QUADROS, S.; PIMENTEL, F.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H. (2006). Estações de tratamento de águas e de águas residuais: caracterização da situação nacional. <i>Revista Águas e Resíduos</i> . Série III. n.º 2. 28-39.	Parte do <u>capítulo 3</u>
		VIEIRA, P.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H., RAMALHO, P., SILVA, C., LUCAS, H. (2009). Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. <i>Revista Águas e Resíduos</i> . Série III. n.º 9. 4-17. (no prelo)	Parte dos <u>capítulos 5, 6, 7, 8 e 9</u>
Comunicações apresentadas em congressos internacionais	2	VIEIRA, P.; SILVA, C.; ROSA, M. J.; ALEGRE, H.; LUCAS, H.; SANCHO, R.; RAMALHO, P. (2008). A PI system for drinking water treatment plants – framework and case study application. <i>Actas do Pi08 - International Conference on Performance Assessment of Urban Infrastructure Services</i> , Valência, Espanha, 12-14 Março 2008. 12 pp. (comunicação oral, publicado como capítulo de livro)	Parte do <u>capítulo 8</u>
		VIEIRA, P.; ALEGRE, H.; ROSA, M. J.; LUCAS, H.; (2008). Drinking water treatment plants assessment through performance indicators. <i>Actas do IWA World Water Congress</i> , Viena, Áustria, 7-12 Setembro 2008. 8 pp. (<i>Long Platform Presentation</i> ; publicado na revista <i>Water Science and Technology: Water Supply</i>)	Parte do <u>capítulo 4</u>

Quadro 1 (cont.) – Publicações associadas à presente dissertação

Tipo de publicação	N.º	Título	Relação com a dissertação
Comunicações apresentadas em congressos nacionais	5	VIEIRA, P.; QUADROS, S.; PIMENTEL, F.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H. (2006). Estações de tratamento de águas e de águas residuais: caracterização da situação nacional. <i>Actas do 12.º Encontro Nacional de Saneamento Básico</i> , Cascais, Portugal, 24-27 Outubro 2006. 16 pp. (publicado na revista <i>Águas e Resíduos</i>)	Parte do <u>capítulo 3</u>
		VIEIRA, P.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H.; LUCAS, H. (2006). Proposta de indicadores de desempenho de estações de tratamento de água. <i>Actas do 12.º Encontro Nacional de Saneamento Básico</i> , Cascais, Portugal, 24-27 Outubro 2006. 17 pp.	Parte dos <u>capítulos 2, 4</u> e do <u>Anexo 1</u> (constitui a primeira proposta de ID)
		VIEIRA, P.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H.; LUCAS, H. (2008). Metodologia para avaliação de desempenho operacional de ETA. <i>Actas do 13.º Encontro Nacional de Saneamento Básico</i> , Covilhã, Portugal, 14-17 Outubro 2008. 14 pp.	Parte dos <u>capítulos 5 e 9</u>
		VIEIRA, P.; RAMALHO, P.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H.; SILVA, C.; LUCAS, H. (2008). Uma ferramenta de cálculo automático para avaliação de desempenho de ETA. <i>Actas do 13.º Encontro Nacional de Saneamento Básico</i> , Covilhã, Portugal, 14-17 Outubro 2008. 14 pp.	Parte do <u>capítulo 6</u>
		VIEIRA, P.; SILVA, C.; ROSA, M.J.; ALEGRE, H.; LUCAS, H.; SANCHO, R.; RAMALHO, P. (2008). Indicadores de desempenho para ETA – Teste e validação num caso de estudo. <i>Actas do 13.º Encontro Nacional de Saneamento Básico</i> , Covilhã, Portugal, 14-17 Outubro 2008. 13 pp.	Parte do <u>capítulo 8</u>

1.5. Proposta de estrutura do sistema de avaliação de desempenho de ETA

Na Figura 2 apresenta-se a estrutura geral do sistema de avaliação de desempenho proposto para ETA (PAS_WTP – *Performance Assessment System – Water Treatment Plants*). Este sistema tem duas componentes principais – uma componente de *avaliação de desempenho global* e uma componente de *avaliação de desempenho operacional*.

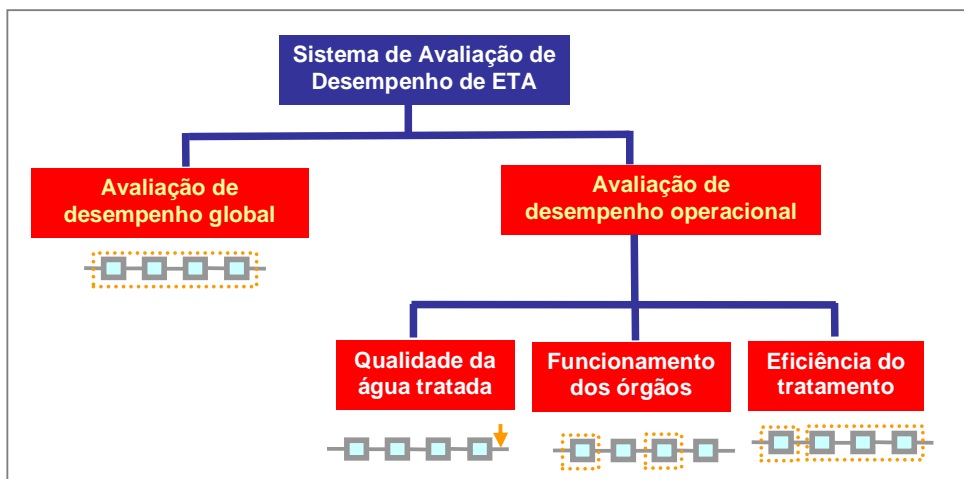


Figura 2 – Estrutura do sistema de avaliação de desempenho de ETA

A componente de **avaliação de desempenho global** (OvPA – *Overall Performance Assessment*) destina-se ao apoio à decisão a um nível elevado de gestão técnica da ETA no seio de uma entidade gestora. A abordagem seguida foi a da IWA, ou seja, esta componente é baseada em indicadores de desempenho. As medidas de desempenho aqui incluídas são determinadas com base em informação de registos históricos e que existe, em geral, numa forma agregada ao nível da ETA. A informação de desempenho obtida é também agregada ao nível da estação.

A componente de **avaliação de desempenho operacional** (OpPA – *Operational Performance Assessment*) pretende apoiar sobretudo a decisão ao nível operacional, sendo adequada para utilização, por exemplo, pelo responsável técnico da ETA. Ao contrário do desempenho global, neste caso a avaliação de desempenho pode ser feita com maior pormenor, obtendo-se informação ao nível da OPU ou etapa de tratamento¹. No entanto, através de métodos de normalização e agregação, é possível obter valores de desempenho para a ETA. Também os dados de base usados são mais desagregados ao nível de OPU ou etapa de tratamento. Estes dados podem ser provenientes de registos históricos e de ferramentas previsionais, como modelos de simulação, o que confere a esta componente a possibilidade de analisar cenários futuros. As análises da evolução temporal do desempenho podem também ser feitas para escalas de tempo mais apropriadas a uma rápida tomada de decisão e à implementação de acções correctivas para melhoria do desempenho em tempo útil. A avaliação de desempenho operacional baseia-se, essencialmente, em índices de desempenho e nos conceitos já desenvolvidos por Alegre (1992) e Coelho (1997) para sistemas de distribuição de água e por Cardoso (2007) para sistemas de drenagem de águas residuais. Consideram-se três subcomponentes do desempenho operacional: *desempenho em termos da qualidade da água tratada* (OpPA_WatQ – *Water Quality*), *desempenho em termos do funcionamento dos órgãos*

¹Considera-se etapa de tratamento uma OPU ou um conjunto de OPU necessários ao cumprimento de um dado objectivo de tratamento; *e.g.*, a clarificação convencional é feita na etapa de coagulação/floculação/decantação (não podendo estas OPU ser analisadas individualmente), enquanto a afinação do teor de matéria particulada constitui uma etapa de tratamento que pode ter uma OPU (filtração) ou um conjunto de OPU (coagulação/filtração).

da estação (OpPA_UOP – *Unit Operation Process*) e *avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento* (OpPA_TreatEf – *Treatment Efficiency*).

A selecção e a definição das medidas de desempenho para ETA tiveram por base o objectivo geral de uma entidade gestora para uma estação de tratamento sob a sua responsabilidade: a produção eficaz e eficiente de água, *i.e.*, a produção de uma água com qualidade, fazendo um uso eficiente dos recursos disponíveis (recursos naturais, tecnológicos, humanos e económico-financeiros) e causando o menor impacte ambiental. A tradução deste objectivo em objectivos parcelares permitiu identificar os grandes domínios em relação aos quais é necessário avaliar o desempenho. Os objectivos identificados foram os seguintes:

- Proteger a saúde pública, ou seja, produzir uma água com qualidade adequada ao consumo humano que cumpra os requisitos da legislação no ponto de consumo;
- Garantir a fiabilidade da ETA;
- Minimizar a utilização de matérias-primas e energia;
- Minimizar os impactes ambientais associados à produção de resíduos;
- Minimizar os acidentes com produtos químicos ou acidentes de outro tipo;
- Optimizar os recursos humanos;
- Optimizar os recursos económico-financeiros.

Assim, os domínios de avaliação de desempenho propostos são:

- Qualidade da água tratada;
- Eficiência e fiabilidade da ETA;
- Utilização de água, energia e materiais;
- Gestão de subprodutos;
- Segurança;
- Recursos humanos;
- Recursos económico-financeiros.

As várias componentes do sistema de avaliação de desempenho atrás referidas enquadram-se nestes domínios do modo indicado na Figura 3.

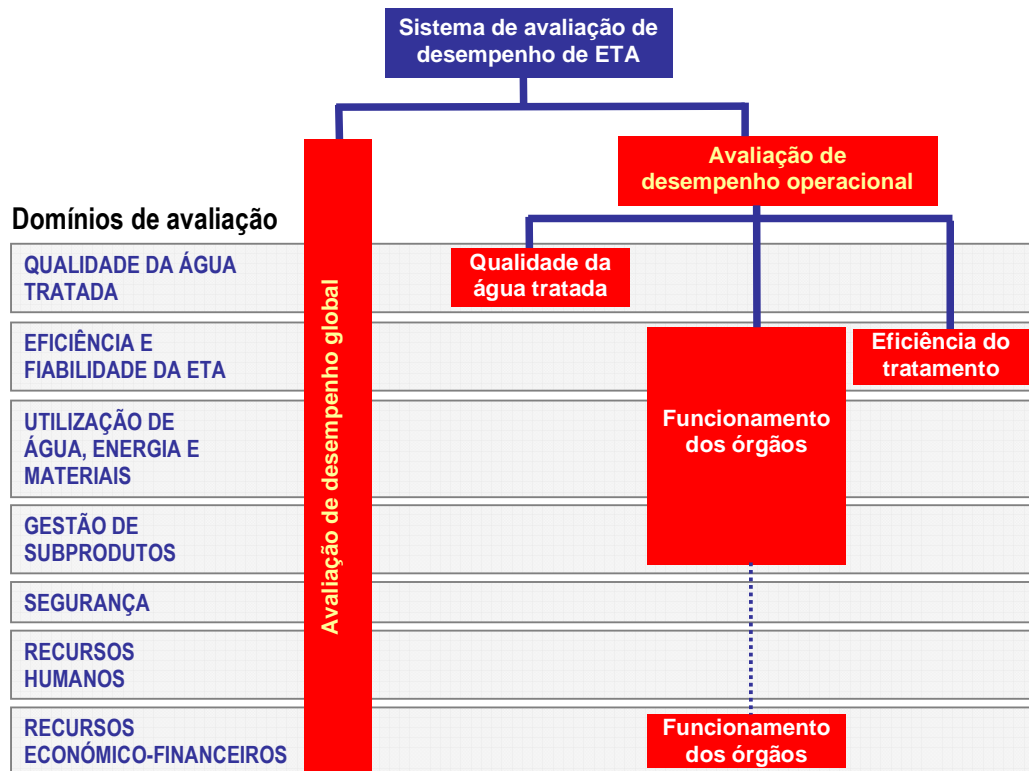


Figura 3 – Domínios de avaliação de desempenho de ETA

2. Revisão do estado actual do conhecimento

2.1. Sistemas de avaliação de desempenho

2.1.1. Considerações gerais

Nesta secção é feita a apresentação do estado da arte relativamente aos sistemas de avaliação de desempenho, com vista a: i) justificar a necessidade de desenvolvimentos na área específica do tratamento de água para consumo humano e ii) fundamentar a metodologia de avaliação de desempenho de ETA apresentada nos capítulos 4 e 5. Em primeiro lugar, apresentam-se as abordagens sistematizadas mais relevantes já desenvolvidas para os serviços de abastecimento de água e para os serviços de águas residuais, salientando as áreas de avaliação de desempenho, os diversos tipos de medidas de desempenho disponíveis, as diversas formas de utilização da informação de desempenho e os aspectos de qualidade dos dados de base usados para a determinação das medidas de desempenho. Apresenta-se também a metodologia uniformizada de avaliação de desempenho actualmente implementada no sector da indústria química. Finalmente, faz-se uma análise crítica comparativa dos sistemas de avaliação de desempenho existentes face aos objectivos da presente tese, identificando-se os seus pontos fortes e, sobretudo, as suas limitações, que constituem lacunas do conhecimento no estado da arte.

2.1.2. Avaliação de desempenho em serviços de abastecimento de água e serviços de águas residuais

2.1.2.1. Tipos de medidas de desempenho

De acordo com Alegre (2007) as medidas de desempenho classificam-se em três tipos:

- Indicadores de desempenho – No contexto do sector da água, um indicador de desempenho é

uma medida quantitativa de eficiência (grau de optimização dos recursos disponíveis para a produção de um serviço) ou de eficácia (grau de cumprimento dos objectivos de gestão) de um aspecto particular do serviço prestado por uma entidade gestora de um sistema de abastecimento de água ou de um sistema de águas residuais (Alegre *et al.*, 2004). Os indicadores até hoje desenvolvidos são, na maioria dos casos, calculados pela razão entre duas variáveis da mesma natureza ou de natureza distinta, sendo, assim, adimensionais (*e.g.*, expressos em percentagem) ou intensivos (*e.g.*, expresso em kWh/m³), respectivamente (Stahre e Adamsson, 2002; Ofwat, 2005; Alegre *et al.*, 2006; WorldBank, 2006). Neste último caso, o denominador está relacionado com a dimensão do sistema, devendo ser evitadas variáveis susceptíveis de variarem de ano para ano devido a factores fora do controlo da entidade gestora, excepto se o numerador variar na mesma proporção. Os indicadores de desempenho são o principal tipo de medida até agora usada.

- Índices de desempenho – São medidas que resultam da combinação de medidas individuais de desempenho, como por exemplo indicadores de desempenho, e que, portanto, agregam informação. Também se incluem nesta categoria medidas obtidas por outras vias, como as ferramentas de simulação. Assim, ao contrário dos indicadores de desempenho, os índices podem ser usados para análise de cenários futuros, mas têm a desvantagem de lhes estar associado um processo de cálculo mais complexo e menos auditável. Enquanto que os indicadores, *per se* não emitem qualquer tipo de juízo em termos do maior ou menor desempenho, os índices já o podem fazer. Os índices de desempenho não necessitam de cumprir todos os requisitos definidos para os indicadores de desempenho (identificados mais adiante nesta secção).
- Níveis de desempenho – Ao contrário dos indicadores e índices, são medidas de carácter qualitativo expressas na forma de categorias (*e.g.*, mau, satisfatório, bom, muito bom). Podem resultar da agregação das medidas de outro tipo ou, directamente, de processos de avaliação

qualitativos (*e.g.*, inquéritos para avaliação do grau de satisfação dos consumidores). Em geral, recorre-se a níveis de desempenho quando não é viável calcular medidas quantitativas.

2.1.2.2. Áreas de avaliação de desempenho abrangidas pelos sistemas de indicadores de desempenho

Das medidas de desempenho atrás referidas, os indicadores são os mais usados, pelo que neste texto se desenvolvem mais as correspondentes áreas de avaliação de desempenho.

A avaliação de desempenho no sector da água tem sido levada a cabo nas áreas de *produção de água para consumo, adução, armazenamento e distribuição de água de consumo, drenagem de águas residuais e tratamento de águas residuais*, sendo estes domínios considerados individualmente ou integrados na área de negócio da entidade gestora como um todo. As áreas de distribuição de água e drenagem de águas residuais foram objecto de um maior número de trabalhos, sendo o desenvolvimento nas áreas de tratamento ainda incipiente, podendo citar-se como exemplo o sistema de indicadores de AWWA *et al.* (2004b; 2004a). Estes domínios usualmente são integrados nos sistemas de avaliação com muito menor pormenor do que os restantes.

Em todas as áreas atrás referidas foram identificados inúmeros aspectos em relação aos quais interessa quantificar o desempenho. Estes aspectos variam de entidade gestora para entidade gestora e de país para país, consoante os objectivos específicos, o grau de desenvolvimento e os utilizadores em cada caso. Como consequência, os próprios indicadores que integram os diferentes sistemas de avaliação existentes são consideravelmente distintos, existindo, no entanto, um número significativo que é comum a vários sistemas. Os aspectos de avaliação de desempenho identificados podem estruturar-se nas seguintes categorias: economia e finanças, tecnologia, organização e recursos humanos, qualidade do produto, qualidade do serviço e ambiente.

A avaliação de desempenho usando **indicadores económico-financeiros** é o ponto de partida na

maioria dos sistemas de avaliação de desempenho. Por exemplo, no sistema da *International Water Association (IWA)* é esta a categoria com o maior número de indicadores (Alegre *et al.*, 2006). Também no sistema do Banco Mundial (WorldBank, 2006) e do *Six-Cities Group* (Stahre e Adamsson, 2002) esta componente tem uma importância significativa. Os indicadores económico-financeiros correspondem a rácios de uso corrente neste domínio e relacionam-se com proveitos, custos correntes, custos de capital, investimentos, liquidez e rentabilidade, incorporando, por vezes, informação de preços de venda de água. Este último aspecto é considerado indispensável nos sistemas de indicadores propostos por entidades reguladoras (Ofwat, 2004; IRAR, 2005; 2008). As componentes de custos correntes podem ser avaliadas ao nível da entidade gestora (WorldBank, 2006), podem estar desagregadas por tipo de função (gestão global, gestão de recursos humanos, funções financeiras e comerciais, funções de gestão de clientes, funções de gestão técnica) ou por tipo de actividade da entidade gestora (gestão de recursos hídricos, captação e tratamento, adução, armazenamento e distribuição, monitorização da qualidade da água, gestão de contadores, serviços de apoio) (Stahre e Adamsson, 2002; Alegre *et al.*, 2006).

Os **indicadores tecnológicos** cobrem aspectos relativos à operação e manutenção dos sistemas, reabilitação de infra-estruturas, monitorização de qualidade da água e perdas de água (Stahre e Adamsson, 2002; Crotty, 2003; Alegre *et al.*, 2006).

A optimização da utilização dos recursos organizacionais e humanos de uma entidade gestora é avaliada através de **indicadores organizacionais e de recursos humanos**, que cobrem aspectos como a adequação do número e da qualificação dos funcionários adstritos aos diversos tipos de actividade da entidade, e aspectos de higiene e segurança no trabalho. Alegre *et al.* (2006) e Crotty (2003) consideram com grande pormenor este tipo de indicadores, mas Stahre e Adamsson (2004) consideram apenas um indicador global de número total de empregados por 1000 consumidores.

Os indicadores relacionados com a **qualidade do produto** são incluídos na maioria dos sistemas de avaliação devido à relevância da qualidade do produto em termos de saúde pública e por se tratar de um aspecto com requisitos legais em praticamente todos os serviços de águas e águas residuais. Alegre *et al.* (2006) e WorldBank (2006) consideram indicadores de qualidade da água de consumo, e Matos *et al.* (2003) e Stahre e Adamsson (2004) consideram indicadores de níveis de poluição em descargas de águas residuais.

O desempenho em termos de **qualidade de serviço** relaciona-se com a disponibilidade e fiabilidade dos serviços efectivamente prestados pela entidade gestora e com a satisfação do consumidor, sendo um aspecto contemplado em todos os sistemas de avaliação de desempenho existentes através de indicadores de cobertura de serviço, pressão e continuidade de serviço de abastecimento de água, inundações com origem em redes de águas residuais e reclamações de clientes.

Os **impactes ambientais** causados pelos sistemas de águas e de águas residuais são avaliados em Alegre *et al.* (2000; 2006) e Matos *et al.* (2003) por indicadores específicos de depleção de recursos hídricos, volume e frequência de descargas de águas residuais no meio receptor, reutilização de águas residuais, produção de resíduos e consumo de energia.

2.1.2.3. Definição de indicadores de desempenho

A definição dos indicadores a incluir num sistema de avaliação de desempenho tem-se baseado nos seguintes critérios gerais (Alegre *et al.*, 2000; Matos *et al.*, 2003; Ofwat, 2004; Molinari, 2005; Alegre *et al.*, 2006; ISO/DIS24510, 2006; WorldBank, 2006; WSAA *et al.*, 2006):

- Os indicadores devem ser adequados para representar apenas os aspectos relevantes do desempenho da entidade gestora; assim, o número total de indicadores do sistema deve ser o estritamente necessário, evitando-se a inclusão de aspectos não essenciais;
- Os indicadores devem, sempre que possível, ser aplicáveis a entidades gestoras com diferentes características, dimensões e graus de desenvolvimento;

- Deve existir a possibilidade de comparação com critérios legais e/ou outros requisitos existentes ou a definir;
- Os indicadores devem permitir a identificação antecipada de problemas e situações de emergência;
- Os indicadores devem originar resultados verificáveis;
- A determinação dos indicadores deve ser fácil e rápida, permitindo que o valor do indicador seja facilmente actualizado;
- Deve ser tido em consideração o público-alvo que utilizará os resultados dos indicadores;
- O sistema de indicadores deve incluir indicadores independentes entre si, ou seja, não devem ser incluídos indicadores que possam ser deduzidos a partir de outros.

A coerência de resultados de avaliação de desempenho e a sua aplicabilidade em análises comparativas dependem fortemente da existência de definições claras dos indicadores e de a cada indicador ser atribuído um significado conciso, uma interpretação única e uma clara regra de processamento. Esta última deve especificar todas as variáveis necessárias ao cálculo e o período de tempo a que se refere o cálculo e que é, em geral, um ano (Stahre e Adamsson, 2002; Alegre *et al.*, 2004). De modo a que se verifiquem estas condições, os procedimentos para redefinição dos indicadores em alguns dos sistemas de avaliação de desempenho existentes são já parte integrante do próprio sistema (Stahre e Adamsson, 2002; Ofwat, 2004). Apesar destes esforços, os resultados de diversas iniciativas internacionais de avaliação de desempenho não são, em geral, comparáveis devido a diferentes definições dos indicadores, assim como a diferentes metodologias de recolha dos dados de base. A experiência demonstrou ainda que, em primeiro lugar, não é fácil o acordo relativamente aos conjuntos comuns de indicadores e às suas definições (WorldBank, 1999).

A disponibilidade de dados de base é um factor decisivo na própria definição de indicadores (WorldBank, 2006), sendo também tidos em consideração os custos associados à criação de

meios necessários à obtenção de informação que ainda não existe. Assim, a obtenção de informação para o cálculo dos indicadores deve requerer apenas meios (*e.g.*, equipamento) de que a generalidade das entidades gestoras possam dispor.

2.1.2.4. Dados para o cálculo de indicadores de desempenho

Sendo um indicador de desempenho o resultado da aplicação de regras de cálculo a duas ou mais variáveis, a sua qualidade é decisiva para uma correcta interpretação dos resultados e nunca é superior à qualidade dos dados de partida. Assim, foram propostos alguns procedimentos normalizados de classificação da informação de base usada na determinação dos sistemas de indicadores, nos quais a qualidade dos dados é avaliada simultaneamente em termos da fiabilidade da fonte (*i.e.*, até que ponto os resultados de repetidas observações efectuadas nas mesmas condições são consistentes e estáveis) e da exactidão dos dados (*i.e.*, proximidade do resultado do valor tido como verdadeiro). Os graus de confiança devem reflectir o estado actual dos dados e não estados futuros, possivelmente tidos como objectivo da entidade gestora. Estes aspectos foram abordados com pormenor pelo Ofwat – *Office of Water Services* (entidade reguladora do sector da água de Inglaterra e País de Gales) que estipula a existência de quatro bandas de fiabilidade e de sete bandas de exactidão, de acordo com as quais os dados são classificados (Quadro 2) (Ofwat, 1998). Mais tarde, a IWA adoptou uma metodologia semelhante no essencial, mas diferindo no número de bandas disponíveis como se pode ver no Quadro 3 (Alegre *et al.*, 2006). O Banco Mundial segue a classificação da IWA (WorldBank, 2006). A experiência prática de aplicação destes métodos de classificação por estas instituições demonstrou que, em geral, as entidades gestoras não dispõem de informação detalhada relativamente à qualidade dos dados que fornecem para cálculo de indicadores de desempenho, mas que conseguem estimá-la em muitos casos. Geralmente, os dados económicos estão facilmente disponíveis com uma exactidão elevada, enquanto que os dados técnicos como, por exemplo, a idade de condutas, têm associada uma confiança menor. A qualidade dos dados no

caso de entidades gestoras que operam simultaneamente sistemas de águas e águas residuais é, por vezes, prejudicada devido à dificuldade em identificar os recursos adstritos a cada uma das componentes. No seu sistema de indicadores, a IWA teve a preocupação adicional de incorporar a propagação da incerteza dos dados no cálculo dos indicadores (Alegre *et al.*, 2006). Da acção COST C18 resultou uma recomendação que ressalva o facto de, em estatísticas macro ou internacionais, a fiabilidade de dados não auditados ser baixa, excepto em situações nas quais o fornecedor dos dados é também o utilizador dos resultados dos indicadores e que está, portanto, motivado para assegurar a qualidade dos dados (Sjøvold *et al.*, 2008).

Quadro 2 – Critérios do Ofwat para classificação da qualidade dos dados (Ofwat, 1998)

Bandas de fiabilidade da fonte dos dados	
A	Os dados são provenientes de registos, procedimentos, investigações ou análises documentadas e que são reconhecidos como os melhores métodos de cálculo
B	Como em A, mas os métodos de obtenção dos dados têm algumas falhas não significativas (<i>e.g.</i> , falta de documentação, cálculos antigos)
C	Os dados são provenientes de extrapolação de amostras limitadas
D	Os dados são provenientes de relatórios orais não confirmados, de inspecções ou análises superficiais
Bandas de exactidão dos dados	
1	Erro associado ao dado: $\pm 1\%$
2	Erro associado ao dado: $\pm 5\%$
3	Erro associado ao dado: $\pm 10\%$
4	Erro associado ao dado: $\pm 25\%$
5	Erro associado ao dado: $\pm 50\%$
6	Erro associado ao dado: $\pm 100\%$
X	O erro associado ao dado é superior a 100% ou os valores são tão baixos que não é possível calcular a exactidão

Quadro 3 – Critérios da IWA para classificação da qualidade dos dados (Alegre *et al.*, 2006)

Bandas de fiabilidade da fonte dos dados	
***	Os dados são provenientes de registos, procedimentos, investigações ou análises documentadas e que são reconhecidos como os melhores métodos de cálculo
**	Os dados têm fiabilidade pior do que *** mas melhor do que *
*	Os dados são provenientes de estimativas ou extrapolação de amostras limitadas
Bandas de exactidão dos dados	
[0-5%]	Incerteza associada ao dado: igual ou inferior a 5%
]5-20%]	Incerteza associada ao dado: superior a 5% e igual ou inferior a 20%
]20-50%]	Incerteza associada ao dado: superior a 20% e igual ou inferior a 50%
> 50%	Incerteza associada ao dado: superior a 50%

Relativamente ao processamento dos dados para cálculo de indicadores, em praticamente todos os sistemas de avaliação de desempenho o grande volume de dados a manipular justificou a adopção de ferramentas de cálculo automático específicas, que podem ser simples folhas de cálculo como as disponibilizadas pelo Banco Mundial ou programas mais complexos como o

Sigma desenvolvido pelo *Instituto Tecnológico del Agua* da Universidade Politécnica de Valência para o cálculo do sistema de indicadores da IWA.

2.1.2.5. Factores explicativos nos sistemas de indicadores de desempenho

Para além da qualidade dos dados e, conseqüentemente, dos resultados dos indicadores, outros factores devem ser tidos em consideração em análises comparativas de diferentes entidades gestoras feitas com base nesses indicadores. O desempenho de uma entidade gestora depende do contexto específico da sua actividade e, como tal, a IWA introduziu o conceito de *factores explicativos* agrupando o tipo de dados que podem não ser necessários para o cálculo dos indicadores, mas que permitem explicar diferenças no desempenho obtido em diferentes sistemas. Alguns tipos de factores explicativos correspondem a características inalteráveis pelo modo de gestão da entidade gestora (*e.g.*, factores demográficos e geográficos), mas outros podem ser influenciados por políticas de gestão a longo prazo (*e.g.*, estado da infra-estrutura física).

2.1.2.6. Utilização da informação de avaliação de desempenho

A informação disponibilizada pela aplicação de sistemas de avaliação de desempenho é de utilidade reconhecida e tem sido usada por diversos intervenientes no sector da água, apesar de ainda não constituir uma prática generalizada.

Estes sistemas constituem uma ferramenta fundamental para uso interno das entidades gestoras uma vez que: i) permitem verificar o cumprimento de objectivos de gestão pré-definidos e ajudam na própria definição realística desses objectivos; ii) fornecem informação que suporta a tomada de decisões a nível de gestão; iii) permitem monitorizar os efeitos dessas decisões; iv) colocam em evidência os sectores da entidade gestora aos quais é necessário aplicar medidas correctivas para aumentar a produtividade; v) facilitam a implementação de modelos de Gestão pela Qualidade Total e a implementação de procedimentos de *benchmarking*. Estes procedimentos de *benchmarking* podem ser implementados no seio da entidade gestora –

comparando-se o desempenho entre diferentes unidades operacionais ou entre diferentes subsistemas de águas e águas residuais, ou comparando-se o desempenho passado com o desempenho actual de modo a identificar tendências de evolução – e/ou externamente, comparando-se o desempenho com outras entidades gestoras com características idênticas, de modo a verificar se estão a ser usadas as melhores práticas disponíveis no sector (Stahre e Adamsson, 2002; Alegre *et al.*, 2006). Para o sucesso deste processo interno de auto-diagnóstico, são essenciais o envolvimento, a motivação e a participação activa de todos os eventuais contribuidores até ao mais elevado nível de gestão (Alegre, 2002; Stahre e Adamsson, 2002), bem como a qualidade dos relatórios de síntese de informação e o modo como esta informação é difundida dentro da entidade (disponibilização de informação específica aos correctos utilizadores e divulgação da informação para além do nível de administração da entidade) (Merkel, 2002). Em quase todas as experiências de aplicação de sistemas de avaliação de desempenho, a sistematização da recolha e do processamento de informação são apontados como o primeiro benefício para a entidade gestora (Alegre *et al.*, 2001).

Além de uniformizar a informação recolhida, a utilização continuada de sistemas de avaliação de desempenho permite a uma entidade reguladora tomar decisões sustentadas que protegem, num contexto de serviços-monopólio, os interesses dos consumidores – através, por exemplo, do estabelecimento de tarifários adequados à qualidade do serviço prestado (Molinari, 2005) – e permite, ainda, verificar o cumprimento de condições contratualizadas. Pode citar-se o caso do regulador Ofwat (Inglaterra e País de Gales) que reflecte os resultados da avaliação de desempenho na autorização de alteração de tarifas das entidades avaliadas, sendo recompensadas as entidades com melhor desempenho (Ofwat, 2005). A nível nacional, também a entidade reguladora do sector (IRAR) assenta a sua avaliação de desempenho de serviços de água e de águas residuais num sistema de 40 indicadores derivados do sistema da IWA (Melo Baptista *et al.*, 2004).

As entidades financiadoras como o Banco Mundial recorrem à avaliação de desempenho de entidades gestoras para a identificação de oportunidades de mercado, para a selecção de projectos de investimento e para o posterior acompanhamento dos projectos implementados (Yepes e Dianderas, 1996).

Alguns órgãos da administração nacional e regional suportam a definição de políticas e programas para o sector da água em resultados de avaliação de desempenho de entidades gestoras, como acontece na Austrália, onde parte dos indicadores que integram os sistemas de avaliação são dirigidos especificamente para utilizadores políticos (WSAA *et al.*, 2006). O sucesso da implementação dessas políticas e eventuais medidas de ajuste podem também ser monitorizados com base em resultados de desempenho.

Não existe ainda um consenso geral relativamente à vantagem da divulgação pública de resultados de avaliação de desempenho junto dos consumidores e de outros utilizadores indirectos, como as ONG, pois se, por um lado, é transmitida informação quantitativa sobre a qualidade do serviço recebido (Alegre *et al.*, 2006), por outro, existe alguma preocupação relativamente ao uso abusivo dessa informação e à dificuldade de compreensão de informação técnica mesmo agregada na forma de indicadores simples (Merkel, 2002). Contudo, nas cidades nórdicas participantes no *Six-Cities Group* existem já exemplos deste tipo de utilização da informação proveniente de sistemas de avaliação de desempenho (Stahre e Adamsson, 2002).

2.1.2.7. Abordagens sistematizadas de avaliação de desempenho baseadas em indicadores de desempenho

Descrevem-se seguidamente e de forma resumida algumas abordagens sistematizadas da avaliação de desempenho que tiveram lugar nas últimas décadas e que consistiram, essencialmente, na definição de sistemas de indicadores de desempenho e sua aplicação. Alguns dos sistemas apresentados incluem, mas não se restringem, ao abastecimento de água. Nestes casos, optou-se por referir, além desta componente, a componente dos sistemas de águas

residuais de modo a ser possível ter uma visão global do sistema de indicadores.

O sistema da *International Water Association*

Alegre *et al.* (2006) descrevem o sistema de indicadores desenvolvido, desde 1997, pela IWA, o qual pretende responder às necessidades das entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água ao nível mais elevado de gestão. O sistema foi concebido de modo a ser, na medida do possível, aplicável a serviços de água independentemente da sua dimensão, estado de evolução, tipo de gestão, situação geográfica e contexto cultural em que estão inseridos. Apesar de ter sido inicialmente planeado apenas para sistemas de distribuição, o sistema da IWA sofreu alterações que garantem actualmente a sua aplicabilidade também a sistemas de produção e adução. Os principais destinatários deste sistema são as entidades gestoras. Porém, foi já demonstrada a possibilidade e o interesse da sua utilização por entidades reguladoras ambientais e financeiras, por entidades que definem políticas regionais e nacionais, por organizações não governamentais e pelos consumidores.

O sistema de indicadores de desempenho da IWA para serviços de abastecimento de água tem quatro componentes principais (Alegre *et al.*, 2006), que estão esquematicamente representadas na Figura 4:

- *Variáveis* – dados obtidos no sistema de abastecimento por medições ou registos e que, através de regras de cálculo, são usados para calcular os indicadores de desempenho;
- *Indicadores de desempenho* – medidas de eficiência ou de eficácia do serviço prestado pela entidade gestora, durante um período de tempo, e que permitem a comparação com objectivos pré-definidos;
- *Factores explicativos* – dados que ajudam a interpretar os resultados dos indicadores de desempenho. Os factores explicativos podem ser indicadores de desempenho, variáveis, informação de contexto ou outro tipo de dados da entidade gestora. Existem factores explicativos que são de contexto e que não podem ser alterados pela entidade gestora a curto e

médio prazo (*i.e.*, durante o período no qual se está a proceder à avaliação de desempenho). Existem também factores explicativos que são alteráveis por opções de gestão de curto e médio prazo (estes factores são também designados por *factores de mudança*). Eventuais acções a desenvolver no sentido de aumentar o desempenho da entidade gestora estão associadas a modificações nestes últimos;

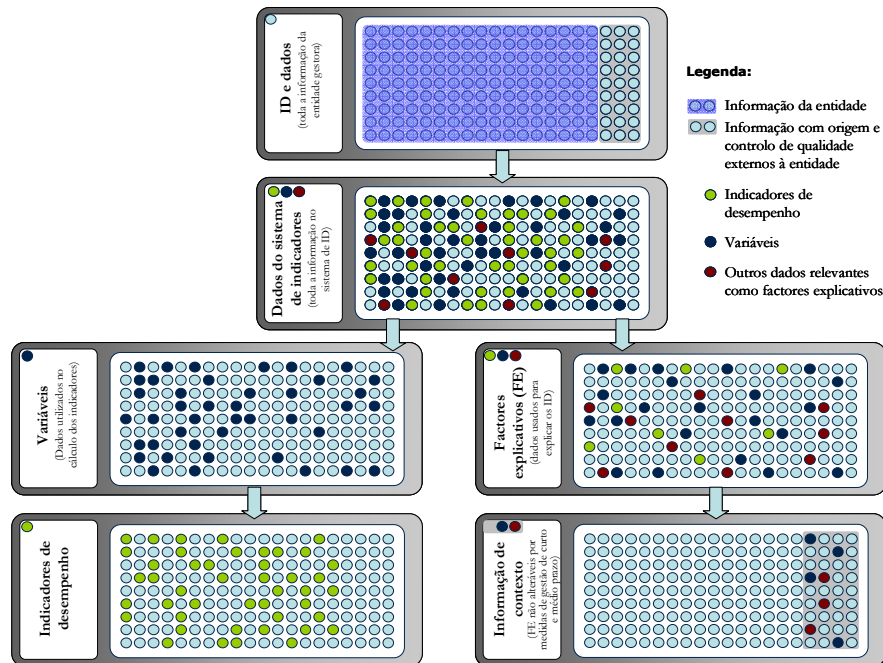


Figura 4 – Componentes do sistema de indicadores da IWA (Alegre, 2007)

- **Informação de contexto** – dados que fornecem informação relativa a características inerentes ao caso em avaliação e que, apesar de não serem controláveis pela entidade gestora durante o período em análise, podem ser condicionantes do seu desempenho. Esta informação permite que seja feita uma correcta interpretação dos resultados dos indicadores e uma justa comparação entre serviços de abastecimento distintos. A informação de contexto é o subconjunto dos factores explicativos que não dependem de acções de curto e médio prazo da entidade gestora (*e.g.*, topografia, demografia, idade da infra-estrutura), mas que, em alguns casos, podem ser alterados por políticas de gestão e acções de longo prazo (*e.g.*, idade da infra-estrutura). A informação de contexto contempla as seguintes categorias: perfil da entidade gestora (dimensão, âmbito de actividade, estrutura, organização, tarifas, etc.), perfil do sistema

(tipo, dimensão, consumidores, pressões de serviço, etc.), infra-estruturas (recursos hídricos, estações de tratamento, reservatórios, estações elevatórias, rede de distribuição, etc.), consumos (consumos por tipo de consumidor, factores de ponta), demografia e economia (densidade populacional, taxa de inflação, etc.), factores ambientais (precipitação, temperatura).

Aos valores das variáveis e dos indicadores de desempenho estão associados graus de confiança que traduzem a qualidade dos dados. Os 170 indicadores previstos pela IWA cobrem as áreas de recursos hídricos, recursos humanos, infra-estruturas, operação, qualidade de serviço e economia-finanças, correspondendo cada uma destas áreas a um grupo de indicadores (Quadro 4). Cada um destes grupos é dividido em subgrupos e alguns indicadores prevêem também o cálculo de subindicadores com eles relacionados (Quadro 5). Apesar da aparente extensão da lista de indicadores, o sistema foi desenvolvido na perspectiva de constituir um ponto de partida para a definição de sistemas específicos através da selecção de alguns indicadores mais adequados e relevantes para cada situação particular. Pode também ser complementado com novos indicadores a nível departamental, de carácter mais específico.

Quadro 4 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da IWA para sistemas de abastecimento (Alegre *et al.*, 2000; Alegre *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2006)

Grupo de indicadores	N.º de indicadores	Objectivo
Indicadores de recursos hídricos	4	Avaliar a eficiência de utilização da água captada ou adquirida a terceiros e a existência de uma margem de segurança entre os recursos disponíveis e os recursos utilizados
Indicadores de recursos humanos	26	Avaliar a eficiência de utilização dos recursos humanos da entidade gestora, analisando simultaneamente a informação sobre <i>outsourcing</i>
Indicadores infra-estruturais	15	Avaliar o estado e capacidade da infra-estrutura, incluindo aspectos relativos à captação, ao tratamento, ao armazenamento, à elevação, à adução e à distribuição
Indicadores operacionais	44	Avaliar o desempenho no âmbito da operação e da manutenção dos sistemas
Indicadores de qualidade de serviço	34	Avaliar a qualidade do serviço efectivamente prestado aos consumidores, em termos de cobertura de serviço, da qualidade e da quantidade da água distribuída
Indicadores económico-financeiros	47	Avaliar o desempenho da entidade gestora em termos financeiros

Quadro 5 – Indicadores de desempenho do sistema da IWA (Alegre *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2006)

Código	Indicador (unidade)
Indicadores de recursos hídricos	
WR1	Ineficiência na utilização de recursos hídricos (%)
WR2	Disponibilidade de recursos hídricos (%)
WR3	Disponibilidade de recursos hídricos próprios (%)
WR4	Água reutilizada no abastecimento (%)

NOTA: os códigos identados correspondem a subindicadores.

Quadro 5 (cont.) – Indicadores de desempenho do sistema da IWA (Alegre *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2006)

Código	Indicador (unidade)
Indicadores de recursos humanos	
Pessoal total	
Pe1	Empregados por ramal (n.º/1000 ramais)
Pe2	Empregados por volume de água produzida (n.º/(10 ⁶ m ³ .ano))
Pessoal por função principal	
Pe3	Pessoal afecto à gestão global (%)
Pe4	Pessoal afecto à gestão de recursos humanos (%)
Pe5	Pessoal afecto à gestão financeira e comercial (%)
Pe6	Pessoal afecto à gestão de clientes (%)
Pe7	Pessoal afecto à gestão técnica (%)
Pe8	Pessoal afecto ao planeamento, ao projecto e à construção (%)
Pe9	Pessoal afecto à operação e à manutenção (%)
Pe10	Pessoal afecto à gestão dos recursos hídricos e origens de água (n.º/(10 ⁶ m ³ .ano))
Pe11	Pessoal afecto à captação e ao tratamento (n.º/(10 ⁶ m ³ .ano))
Pe12	Pessoal afecto aos sistemas de adução, armazenamento e distribuição (n.º/100 km)
Pe13	Pessoal afecto à monitorização da qualidade da água (n.º/(10000 testes.ano))
Pe14	Pessoal afecto à gestão de contadores (n.º/1000 contadores)
Pe15	Pessoal dos serviços de apoio (%)
Qualificação do pessoal	
Pe16	Pessoal com formação universitária (%)
Pe17	Pessoal com a escolaridade mínima obrigatória (%)
Pe18	Pessoal com outras qualificações (%)
Formação do pessoal	
Pe19	Tempo total de formação (horas/(empregado.ano))
Pe20	Formação interna (horas/(empregado.ano))
Pe21	Formação externa (horas/(empregado.ano))
Saúde e segurança do pessoal	
Pe22	Acidentes de trabalho (n.º/(empregado.ano))
Pe23	Absentismo (dias/(empregado.ano))
Pe24	Absentismo por acidente de trabalho ou doença (dias/(empregado.ano))
Pe25	Absentismo por outras razões (dias/(empregado.ano))
Horas extraordinárias	
Pe26	Horas extraordinárias (%)
Indicadores infra-estruturais	
Tratamento	
Ph1	Utilização das estações de tratamento (%)
Armazenamento	
Ph2	Capacidade de reserva de água bruta (dias)
Ph3	Capacidade de reserva de água tratada (dias)
Bombeamento	
Ph4	Utilização da capacidade de bombeamento (%)
Ph5	Consumo de energia normalizado (kWh/(m ³ .100 m))
Ph6	Consumo de energia reactiva (%)
Ph7	Recuperação de energia (%)
Adução e distribuição	
Ph8	Densidade de válvulas (n.º/km)
Ph9	Densidade de hidrantes (n.º/km)
Ph10	Densidade de medidores de zonas de medição e controlo (n.º/1000 ramais)
Ph11	Densidade de contadores de clientes (n.º/ramal)
Ph12	Clientes com contador (n.º/cliente)
Ph13	Clientes domésticos com contador (n.º/cliente)
Ph14	Grau de automação (%)
Ph15	Grau de controlo remoto (%)
Indicadores operacionais	
Inspeção e manutenção de infra-estruturas	
Op1	Inspeção de grupos electrobomba (n.º/ano)
Op2	Limpeza de reservatórios (n.º/ano)
Op3	Inspeção das redes (%/ano)
Op4	Controlo de fugas (%/ano)
Op5	Reparações por controlo activo de fugas (n.º/(100 km.ano))
Op6	Inspeção de hidrantes (n.º/ano)
Op7	Calibração de medidores de caudal do sistema (n.º/ano)
Op8	Substituição de medidores de caudal (n.º/ano)
Op9	Calibração de medidores de pressão (n.º/ano)
Op10	Calibração de medidores de nível (n.º/ano)
Op11	Calibração de equipamento de monitorização da qualidade da água em linha (n.º/ano)
Op12	Inspeção de equipamentos de emergência (n.º/ano)
Op13	Inspeção de equipamentos de transmissão de sinal (n.º/ano)
Op14	Inspeção de quadros eléctricos (n.º/ano)
Op15	Disponibilidade de veículos (n.º/100 km)
Reabilitação de condutas, válvulas e ramais	
Op16	Reabilitação de condutas (%/ano)

Quadro 5 (cont.) – Indicadores de desempenho do sistema da IWA (Alegre *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2006)

Código	Indicador (unidade)
Op17	Renovação de condutas (%/ano)
Op18	Substituição de condutas (%/ano)
Op19	Substituição de válvulas (%/ano)
Op20	Reabilitação de ramais (%/ano)
Reabilitação de grupos electrobomba	
Op21	Recuperação de grupos electrobomba (%/ano)
Op22	Substituição de grupos electrobomba (%/ano)
Perdas de água	
Op23	Perdas de água por ramal (m^3 /(ramal.ano))
Op24	Perdas de água por comprimento de conduta (m^3 /(km.dia))
Op25	Perdas aparentes (%)
Op26	Perdas aparentes por volume de água entrada no sistema (%)
Op27	Perdas reais por ramal (L/(ramal.dia com sistema em pressão))
Op28	Perdas reais por comprimento de conduta (L/(km.dia com sistema em pressão))
Op29	Índice infra-estrutural de fugas (-)*
Avarias	
Op30	Avarias em grupos electrobomba (dias/(grupo.ano))
Op31	Avarias em condutas (n.º/(100 km.ano))
Op32	Avarias em ramais (n.º/(1000 ramais.ano))
Op33	Avarias em hidrantes (n.º/(1000 hidrantes.ano))
Op34	Falhas de abastecimento eléctrico (horas/(estação elevatória.ano))
Op35	Falhas de fontanários (%)
Medição de caudal	
Op36	Eficiência de leitura dos contadores dos clientes (n.º)
Op37	Eficiência de leitura dos contadores domésticos (n.º)
Op38	Percentagem de contadores operacionais (%)
Op39	Água não medida (%)
Monitorização da qualidade da água tratada	
Op40	Análises realizadas (%)
Op41	Análises organolépticas realizadas (%)
Op42	Análises microbiológicas realizadas (%)
Op43	Análises físico-químicas realizadas (%)
Op44	Análises à radioactividade realizadas (%)
Indicadores de qualidade de serviço	
Serviço	
QS1	Alojamentos servidos (%)
QS2	Edifícios servidos (%)
QS3	População servida (%)
QS4	População servida por ramais (%)
QS5	População servida por fontanários ou outros pontos de consumo público (%)
QS6	Pontos de consumo público operacionais (%)
QS7	Distância média dos pontos de consumo público aos consumidores (m)
QS8	Capitação de água consumida em pontos de consumo público (L/(hab.dia))
QS9	População por torneira pública (hab./torneira)
QS10	Adequação da pressão de serviço (%)
QS11	Adequação do abastecimento na adução (%)
QS12	Continuidade do abastecimento (%)
QS13	Interrupções de fornecimento (%)
QS14	Interrupções por ramal (n.º/(1000 ramais.ano))
QS15	Interrupções por ponto de entrega (n.º/(ponto de entrega.ano))
QS16	População sujeita a restrições ao uso de água (%)
QS17	Dias com restrições ao uso de água (%)
QS18	Qualidade da água fornecida (%)
QS19	Qualidade organoléptica (%)
QS20	Qualidade microbiológica (%)
QS21	Qualidade físico-química (%)
QS22	Qualidade relativa à radioactividade (%)
QS23	Eficiência no estabelecimento de ligações (dias)
QS24	Tempo de instalação de novos contadores (dias)
QS25	Eficiência na reparação de ligações (dias)
Reclamações	
QS26	Reclamações de serviço por ramal (n.º reclamações/(1000 ramais.ano))
QS27	Reclamações de serviço por cliente (n.º reclamações/(cliente.ano))
QS28	Reclamações sobre a pressão (%)
QS29	Reclamações sobre a continuidade do serviço (%)
QS30	Reclamações sobre a qualidade da água (%)
QS31	Reclamações sobre restrições ou interrupções (%)
QS32	Reclamações e pedidos de esclarecimento relativos à facturação (n.º/(cliente.ano))
QS33	Outras reclamações e pedidos de esclarecimento (n.º/(cliente.ano))
QS34	Resposta a reclamações escritas (%)

* A IWA refere que este parâmetro não cumpre todos os requisitos de um indicador, tendo sido incluído neste sistema de avaliação de desempenho por recomendação do Grupo de Trabalho da IWA sobre Perdas de Água.

Quadro 5 (cont.) – Indicadores de desempenho do sistema da IWA (Alegre *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2006)

Código	Indicador (unidade)
Indicadores económico-financeiros	
Proveitos	
Fi1	Proveito unitário (US\$/m ³)
Fi2	Proveitos de vendas (%)
Fi3	Outros proveitos (%)
Custos	
Fi4	Custo unitário total (US\$/m ³)
Fi5	Custos unitários correntes (US\$/m ³)
Fi6	Custos unitários de capital (US\$/m ³)
Fi7	Custos de pessoal (%)
Fi8	Custos de serviços externos (%)
Fi9	Custos da água importada (bruta e tratada) (%)
Fi10	Custos de energia eléctrica (%)
Fi11	Outros custos correntes (%)
Fi12	Custos das funções de gestão global (%)
Fi13	Custos das funções de gestão de recursos humanos (%)
Fi14	Custos das funções financeiras e comerciais (%)
Fi15	Custos das funções de gestão de clientes (%)
Fi16	Custos das funções de gestão técnica (%)
Fi17	Custos da gestão dos recursos hídricos e origens de água (%)
Fi18	Custos da captação e do tratamento (%)
Fi19	Custos da adução, do armazenamento e da distribuição (%)
Fi20	Custos da monitorização da qualidade da água (%)
Fi21	Custos da gestão de contadores (%)
Fi22	Custos dos serviços de apoio (%)
Fi23	Amortizações (%)
Fi24	Custos financeiros líquidos (%)
Investimentos	
Fi25	Investimento unitário (US\$/m ³)
Fi26	Investimento para construção de sistemas ou reforço dos existentes (%)
Fi27	Investimento para substituição e renovação de infra-estruturas existentes (%)
Preço médio de venda da água	
Fi28	Preço médio de venda para consumo directo (US\$/m ³)
Fi29	Preço médio de venda de água exportada (US\$/m ³)
Indicadores de eficiência	
Fi30	Rácio de cobertura dos custos (-)
Fi31	Rácio de cobertura dos custos correntes (-)
Fi32	Atraso médio de recebimentos (dias equivalentes)
Fi33	Rácio de reposição do imobilizado (-)
Fi34	Taxa de cobertura do investimento (%)
Fi35	Idade média do imobilizado corpóreo (%)
Fi36	Rácio anual médio de amortizações (-)
Fi37	Rácio de aumento de dívida dos clientes (-)
Fi38	Valor do inventário (-)
Fi39	Taxa de cobertura do serviço da dívida (%)
Fi40	Rácio de solvabilidade (-)
Fi41	Rácio de liquidez geral (-)
Fi42	Rendibilidade do imobilizado (%)
Fi43	Rendibilidade dos capitais próprios (%)
Fi44	Rendibilidade do capital investido (%)
Fi45	Rácio de rotação do activo (-)
Fi46	Água não facturada em termos de volume (%)
Fi47	Água não facturada em termos de custo (%)

O sistema da IWA foi extensivamente testado no âmbito de um projecto internacional que contou com a participação de cerca de 70 entidades gestoras de países de quase todo o mundo (Alegre *et al.*, 2001) e no âmbito de inúmeros projectos nacionais (*e.g.*, Alegre *et al.*, 2005) e é já uma referência no sector da água.

Sob responsabilidade da IWA, foi também desenvolvido um sistema de indicadores para sistemas de águas residuais (Matos *et al.*, 2003) cuja filosofia e princípios orientadores gerais são

análogos aos dos sistemas de abastecimento. Daqui resultou também uma estrutura semelhante para o sistema e que se apresenta no Quadro 6.

Quadro 6 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da IWA para sistemas de águas residuais (Matos *et al.*, 2003)

Grupo de indicadores	N.º de indicadores	Objectivo
Indicadores ambientais	15	Avaliar o desempenho da entidade gestora em termos de impactes ambientais
Indicadores de recursos humanos	25	Avaliar a eficiência de utilização dos recursos humanos da entidade gestora
Indicadores infra-estruturais	12	Avaliar o estado e capacidade da infra-estrutura, incluindo aspectos relativos à rede de drenagem e estação de tratamento
Indicadores operacionais	56	Avaliar o desempenho no âmbito da operação e da manutenção dos sistemas
Indicadores de qualidade de serviço	29	Avaliar a qualidade do serviço efectivamente prestado aos consumidores, em termos de cobertura de serviço, inundações e relacionamento com clientes
Indicadores económico-financeiros	45	Avaliar o desempenho da entidade gestora em termos financeiros

O sistema do Banco Mundial

O projecto inicialmente designado por *BWSU – Benchmarking Water and Sanitation Utilities* foi uma iniciativa internacional de *benchmarking* promovida pelo Banco Mundial que envolveu a criação de um conjunto uniformizado de indicadores de desempenho e a definição pormenorizada dos conceitos associados à sua determinação, do seu modo de cálculo e de divulgação de resultados (Yepes e Dianderas, 1996). Actualmente, sob a designação de *IBNET – International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities*, o projecto privilegia a partilha e disseminação de informação de diferentes países através de uma rede de *websites* (www.ib-net.org) que constitui uma base de dados de acesso livre para todos os profissionais do sector da água (entidades gestoras, reguladores, agências de financiamento, consultores, etc.).

Os diversos gestores dos dados – que podem ser, por exemplo, entidades reguladoras, associações de entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água ou de sistemas de águas residuais, ou associações de consumidores – recolhem, de forma voluntária e de acordo com um formato predefinido pelo Banco Mundial, a informação relativa aos indicadores, sendo esta posteriormente sujeita a um controlo de qualidade pelo coordenador central do Banco Mundial, que também é responsável pela actualização da base de dados. Os indicadores definidos neste âmbito foram concebidos para regiões em desenvolvimento e destinam-se, sobretudo, a entidades

que distribuem água e/ou recolhem águas residuais. O IBNET inclui 42 indicadores principais e 37 subindicadores, agrupados nas categorias de cobertura de serviço, consumo e produção de água para consumo, água não facturada, práticas de medição, desempenho das redes, custos de operação e recursos humanos, qualidade de serviço, facturação e finanças. O Quadro 7 apresenta a estrutura deste sistema de indicadores (sendo omitidos os subindicadores), cuja descrição pormenorizada pode ser encontrada em WorldBank (2006). O Banco Mundial disponibiliza folhas de cálculo para a recolha de informação de base e para o cálculo automático dos indicadores. Da base de dados constam, actualmente, os resultados da aplicação deste sistema de indicadores em cerca de 100 países de todos os continentes.

Quadro 7 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do Banco Mundial (adaptado de WorldBank, 2006)

Indicador principal	Unidades	Categoria do ID
01.1 Cobertura de serviço - água	%	A
02.1 Cobertura de serviço - águas residuais	%	A
03.1 Produção de água	L/(pessoa.dia)	B
03.2 Produção de água	m ³ /(ramal.mês)	B
04.1 Consumo total de água	L/(pessoa.dia)	B
04.2 Consumo total de água	m ³ /(ramal.mês)	B
06.1 Água não facturada	%	C
06.2 Água não facturada	m ³ /(km.dia)	C
06.3 Água não facturada	m ³ /(ramal.dia)	C
07.1 Nível de medição	%	D
08.1 % da água vendida que é medida	%	D
09.1 Roturas	n.º/(km.ano)	E
10.1 Obstruções em colectores	n.º/(km.ano)	E
11.1 Custos operacionais unitários AG+AR	US\$/m ³ água vendida	F
11.2 Custos operacionais unitários AG+AR	US\$/m ³ água produzida	F
12.2 Funcionários AG+AR/1000 ligações AG+AR	n.º/1000 ligações AG+AR	F
12.3 Funcionários AG+AR/1000 habitantes servidos AG+AR	n.º/1000 habitantes servidos AG+AR	F
13.1 Relação custos recursos humanos e custos operacionais	%	F
13.2 Relação custos de energia e custos operacionais	%	F
14.1 Relação custos de <i>outsourcing</i> e custos operacionais	%	F
15.1 Continuidade de serviço	Horas/dia	G
15.2 Consumidores com descontinuidade de serviço	%	G
15.3 Qualidade da água distribuída - n.º de análises de cloro	% do n.º de análises exigido	G
15.4 Qualidade da água distribuída - n.º de resultados de cloro conformes	%	G
16.1 Reclamações relacionadas com o serviço AG+AR	% de ligações AG+AR	G
17.1 Tratamento de nível primário ou superior de águas residuais	%	G
18.1 Proveito unitário AG+AR	US\$/m ³ de água vendida	H
18.2 Proveito unitário AG+AR	US\$/(ramal AG.ano)	H
19.1 Proveito total por população servida/PIB	% PIB per capita	H
19.2 Factura mensal de um consumidor doméstico que consome 6 m ³ /mês	US\$/ano	H
20.1 Componente fixa da tarifa para consumidores domésticos	US\$/(ramal.ano)	H
20.2 Componente fixa da tarifa para consumidores domésticos	% da factura total	H
21.1 Relação tarifa industrial e tarifa doméstica	razão	H
22.1 Taxa de ligação - água	US\$/ligação	H
22.2 Taxa de ligação - água	% PIB per capita	H
22.3 Taxa de ligação - águas residuais	US\$/ligação	H
22.4 Taxa de ligação - águas residuais	% PIB per capita	H
23.1 Período de facturação	dias	H
23.2 Razão de facturação	%	H
24.1 Cobertura de custos correntes	razão	I
25.1 Taxa de cobertura do serviço da dívida	%	I
27.1 Valor do imobilizado (sem amortizações) AG+AR	US\$/população servida AG+AR	I

A: cobertura de serviço, B: consumo e produção de água para consumo, C: água não facturada, D: práticas de medição, E: desempenho das redes, F: custos de operação e recursos humanos, G: qualidade de serviço, H: facturação, I: finanças; AG: água; AR: águas residuais

O sistema do Ofwat

Desde 1991, as entidades gestoras de Inglaterra e do País de Gales reportam, obrigatoriamente, à entidade reguladora do sector (Ofwat – *Office of Water Services*) o seu desempenho no fornecimento de serviços de água e de águas residuais, submetendo a informação na forma de indicadores de desempenho relativos a quatro categorias – serviço ao consumidor, distribuição de água, drenagem de águas residuais e impactes ambientais. O sistema de indicadores está direccionado para a avaliação da satisfação do consumidor, como se pode ver pela relevância dada aos aspectos relacionados com o nível de serviço ao consumidor (Quadro 8) comparativamente com outros sistemas de indicadores descritos neste capítulo. A descrição pormenorizada dos indicadores e o modo de cálculo podem ser consultados em Ofwat (2004).

Quadro 8 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do Ofwat (Ofwat, 2004)

Categoria	Indicador	Peso
Distribuição de água	DG2: Número de pontos de consumo com baixa pressão	0,75
	DG3: Consumidores afectados por interrupções no abastecimento não planeadas	0,75
	DG4: População sujeita a restrições ao uso de água	0,5
	Qualidade da água de consumo ¹	1
Drenagem de águas residuais	DG5: Número de propriedades afectadas por inundações	1,5
Serviço ao consumidor	DG6: Resposta a contactos dos consumidores relativos a facturação	0,75
	DG7: Resposta a reclamações escritas	0,75
	DG8: Facturas enviadas a consumidores que têm por base a medição do consumo	0,75
	DG9: Facilidade de contacto telefónico com a entidade gestora	0,75
	Outros aspectos (modo de pagamento de facturas, informação ao consumidor, política de indemnização de consumidores, serviços para consumidores idosos)	0,75
Impactes ambientais	Número de acidentes de poluição decorrentes da drenagem e tratamento de águas residuais	0,75
	Deposição de lamas	0,25
	População servida por ETAR que não cumprem normas de descarga	1
	Número de acidentes de poluição decorrentes do tratamento e distribuição de água de consumo	0,25
	Fugas de água no sistema de abastecimento	0,5

¹Corresponde ao índice OPI (Operational Performance Index) do *Drinking Water Inspectorate* que avalia a presença de ferro, manganês, alumínio, turvação, coliformes fecais e trihalometanos.

Num processo de avaliação anual das entidades gestoras, o Ofwat calcula uma pontuação global para cada entidade gestora. Cada resultado de um indicador é convertido numa pontuação de 5 a 50 com base em gamas de desempenho de referência (Ofwat, 2004), sendo posteriormente atribuídos pesos (Quadro 8) a estas pontuações individuais. A soma ponderada dos valores assim obtidos corresponde a uma medida global do desempenho. Esta avaliação consta de relatórios públicos e compara o desempenho entre entidades gestoras, assim como as tendências de

evolução dentro de cada entidade. Em Ofwat (2005) apresentam-se os resultados de uma destas avaliações.

O sistema de indicadores do Ofwat foi criado na sequência da privatização dos sistemas de águas e de águas residuais e da exigência do regulador para que as entidades gestoras efectuem os investimentos necessários nos sistemas, mas mantendo tarifas adequadas. Assim, para além da referida comparação anual, os resultados de todos os indicadores obtidos, durante um período de cinco anos, para cada entidade gestora são usados na autorização para revisão das suas tarifas.

O sistema da *American Water Works Association*

QualServe é um programa voluntário de *benchmarking* promovido pela AWWA (*American Water Works Association*) e pela WEF (*Water Environment Foundation*) que utiliza um sistema de cerca de 30 indicadores de desempenho em cinco áreas de negócio de entidades gestoras de sistemas de águas e de águas residuais: desenvolvimento organizacional, relação com o consumidor, gestão, operação dos sistemas de água e operação dos sistemas de águas residuais. Os resultados da recolha da informação de base e do cálculo anual destes indicadores constam, de forma anónima, de um relatório divulgado apenas entre os participantes. O desenvolvimento e a definição pormenorizada dos indicadores resultaram de um projecto de investigação da AWWA *Research Foundation* (Crotty, 2003). O Quadro 9 resume a estrutura deste sistema.

O sistema do *Six-Cities Group*

Em 1995, visando a melhoria da operação dos sistemas, as entidades gestoras dos sistemas de abastecimento de água e de águas residuais de seis cidades escandinavas (Estocolmo, Gotemburgo, Malmö, Copenhaga, Oslo e Helsínquia) iniciaram um projecto de cooperação, cujo objectivo principal era desenvolver indicadores de desempenho para efectuar comparações entre os participantes e identificar tendências internas de evolução. Esta iniciativa constitui um exemplo de utilização voluntária de indicadores de desempenho por parte de entidades gestoras, uma vez que tal não é exigido pelas autoridades ou reguladores dos respectivos países.

Quadro 9 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho da AWWA/WEF (Crotty, 2003)

Categoria	Indicador
Desenvolvimento organizacional	Indicador de melhores práticas organizacionais Dias perdidos devido a acidentes de trabalho por empregado Horas de formação por empregado Volume de água de consumo distribuída por empregado Volume de água residual processada por empregado
Relação com o consumidor	Reclamações relacionadas com o serviço por 1000 clientes Reclamações relacionadas com aspectos técnicos por 1000 clientes % de consumidores afectados por interrupções no abastecimento de água 6 indicadores relacionados com o custo dos serviços de água e água residual para consumidores domésticos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Factura mensal de serviço de água de um consumidor que consome 34 m³/mês ▪ Factura mensal média de consumo de água ▪ Factura mensal de serviço de águas residuais de um consumidor que consome 34 m³/mês de água ▪ Factura mensal média de serviço de águas residuais ▪ Factura mensal de serviço de água e águas residuais de um consumidor que consome 34 m³/mês de água (aplicável nos casos em que não é possível ter custos individualizados) ▪ Factura mensal média de serviço de água e águas residuais (aplicável nos casos em que não é possível ter custos individualizados) Custo de gestão do contrato de um cliente durante 1 ano Rigor da facturação
Gestão	Taxa de cobertura do serviço de dívida Taxa de renovação e taxa de substituição de infra-estruturas (calculada individualmente para: sistema de distribuição de água, ETA, sistema de drenagem de águas residuais, ETAR) Rendibilidade do activo
Operação dos sistemas de água	N.º de dias em que houve cumprimento total de valores limite da qualidade da água de consumo Perdas de água no sistema de distribuição N.º de roturas no sistema de distribuição por 160 km de tubagem Custo de operação e manutenção por consumidor Custo de operação e manutenção por volume de água produzida Custos de manutenção planeada no sistema de abastecimento
Operação dos sistemas de águas residuais	N.º de descargas de excedentes por 160 km de colector N.º de falhas por 160 km de colector Cumprimento de normas de descarga nas ETAR Custo de operação e manutenção por volume de água residual processada Custos de manutenção planeada no sistema de águas residuais

O grupo criou indicadores para medição do desempenho em sete áreas – gestão global, produção de água de consumo, distribuição de água, drenagem de águas residuais, tratamento de águas residuais, construção e reabilitação de infra-estruturas, finanças – tendo em cada uma definido indicadores que se estruturam em seis categorias (Stahre e Adamsson, 2002):

- satisfação do cliente – indicadores que reflectem as expectativas dos consumidores relativamente ao serviço prestado;
- qualidade – indicadores que traduzem a qualidade do serviço e complementam os indicadores de satisfação do cliente e os indicadores económicos;
- fiabilidade – indicadores que traduzem a fiabilidade da operação do sistema;
- ambiente – indicadores que ilustram o cumprimento de objectivos ambientais;
- organização/recursos humanos – indicadores de eficiência em termos de *outsourcing* de actividades da entidade gestora;

- economia – indicadores relacionados com custos de operação do sistema.

A definição de todos os indicadores teve por base os objectivos dos serviços de águas e de águas residuais em termos de desenvolvimento a longo prazo. O Quadro 10 apresenta a estrutura deste sistema de indicadores, sendo que alguns indicadores enquadram-se em várias das categorias atrás indicadas. Inicialmente, o sistema destinava-se a efectuar comparações a um nível de gestão no âmbito de *benchmarking* métrico, tendo sido, entre 1996 e 2001, feitas recolhas de dados para o cálculo dos indicadores e avaliações anuais cujos resultados constam de relatórios internos do grupo dirigidos aos administradores das entidades gestoras. Este *benchmarking* métrico resultou na necessidade de uma análise mais aprofundada dos diversos processos que constituem o negócio global da entidade gestora, tendo sido posteriormente criados vários grupos de trabalho com o objectivo de desenvolver projectos de *benchmarking* de processo para os seguintes casos: perdas de água nos sistemas de abastecimento, interrupções de serviço de abastecimento de água, obstruções nos sistemas de drenagem de águas residuais e reabilitação de infra-estruturas. No seio do *Six-Cities Group* esteve também em discussão a definição de um índice a nível da entidade gestora, para classificar o desempenho de forma quantitativa. Em Stahre *et al.* (2008) é apresentado este índice, que tem como componentes ID seleccionados do sistema de indicadores de desempenho do *Six-Cities Group*. Para cada indicador, é calculado um subíndice, comparando o resultado obtido com o pior valor e com o melhor valor de desempenho do conjunto das EG avaliadas. O índice que traduz o desempenho global de uma EG é, depois, obtido pela soma ponderada dos vários subíndices. Neste estudo de 2008, a avaliação de desempenho de EG é feita segundo três dimensões: i) *qualidade, serviço ao consumidor e ambiente*, ii) *custos* e iii) *sustentabilidade a longo prazo* (Stahre *et al.*, 2008).

Quadro 10 – Estrutura do sistema de indicadores de desempenho do *Six-Cities Group* (Stahre e Adamsson, 2002)

Indicador	Categoria do ID					
	S	Q	F	A	O	E
Gestão global						
Inquéritos aos consumidores (indicador em desenvolvimento)	x					
Consumo de energia/consumidor				x		
Produção de energia/consumidor				x		
Custo de reagentes/m ³ de água de consumo produzida				x		
Custo de reagentes/m ³ de água residual tratada				x		
N.º de empregados/1000 consumidores					x	
Custo com pessoal/consumidor					x	
Custo do <i>outsourcing</i> /custo total *100					x	
Custo do m ³ de água de consumo facturada						x
Custo do m ³ de água residual tratada						x
Lucro						x
Produção de água de consumo						
Custo de O&M/m ³ de água produzida						x
Volume de água produzida/capacidade instalada de tratamento *100				x		
Distribuição de água						
Custo de O&M/comprimento de tubagem						x
Duração de interrupções/consumidor	x	x	x			
N.º de rupturas/10 km de comprimento de tubagem		x	x			
Fugas/(km.dia)		x	x			
Drenagem de águas residuais						
Custo de O&M/m de colector						x
N.º de obstruções/10 km de colector		x	x			
N.º de inundações/1000 consumidores	x	x	x			
Tratamento de águas residuais						
Custo de O&M/m ³ de água tratada						x
% de remoção de pesticidas organoclorados				x		
% de remoção de Carência Bioquímica de Oxigénio (7 dias)				x		
% de remoção de azoto total				x		
% de remoção de fósforo total				x		
Teor em metais nas lamas		x		x		
% de lamas utilizadas na agricultura				x		
Volume de água residual tratada/capacidade instalada de tratamento *100				x		
Construção e reabilitação de infra-estruturas						
Custo de construção e reabilitação/m ³ de água facturada						x
Comprimento de tubagem de água sujeito a construção e reabilitação/comprimento total de tubagem *100		x				
Comprimento de colectores sujeito a construção e reabilitação/comprimento total de tubagem *100		x				
Finanças						
Coefficiente de liquidez						x
Coefficiente de exploração						x
Índice de produtividade					x	x
Índice de eficiência total					x	x
Total de indicadores	3	8	5	12	5	12

O&M: operação e manutenção, S: satisfação do cliente, Q: qualidade, F: fiabilidade, A: ambiente, O: organização/recursos humanos, E: economia

O sistema do Instituto Regulador de Águas e Resíduos

O IRAR, enquanto regulador das entidades gestoras concessionárias municipais e multimunicipais de serviços de águas e de resíduos, desenvolveu um sistema de indicadores de desempenho que tem por base o sistema da IWA, tendo sido feitas as devidas adaptações (IRAR, 2005; 2008). A selecção deste conjunto de indicadores atendeu aos objectivos do modelo de

regulação português, em particular, ao objectivo de protecção dos interesses dos consumidores através da promoção da qualidade de serviço prestado pelas entidades gestoras. Assim, foram definidos três grupos de indicadores de desempenho (IRAR, 2005):

- Indicadores que traduzem a *defesa dos interesses dos utilizadores*: avaliam o nível de salvaguarda dos interesses dos utilizadores, nomeadamente ao nível da maior ou menor acessibilidade que têm ao serviço e da qualidade com que o mesmo lhes é fornecido;
- Indicadores que traduzem a *sustentabilidade da entidade gestora*: avaliam o nível de salvaguarda da sustentabilidade técnico-económica da entidade gestora e dos seus legítimos interesses, independentemente do seu estatuto público, privado ou misto; este grupo subdivide-se em aspectos económico-financeiros, infra-estruturais, operacionais e de recursos humanos;
- Indicadores que traduzem a *sustentabilidade ambiental*: avaliam o nível de salvaguarda dos aspectos ambientais associados às actividades da entidade gestora.

O sistema contempla 20 indicadores para cada um dos sectores de actividade regulados – abastecimento de água, saneamento de águas residuais urbanas e resíduos sólidos urbanos. No Quadro 11 apresentam-se os indicadores relativos ao abastecimento de água. Para além dos indicadores, o sistema do IRAR incorpora também os factores de contexto e os dados de base associados a cada indicador.

Desde 2005, o sistema do IRAR é aplicado com uma periodicidade anual, sendo os resultados divulgados publicamente no Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos de Portugal (RASARP), podendo citar-se como exemplo IRAR (2007). Neste relatório é feita uma avaliação conjunta do desempenho das entidades gestoras reguladas – através de comparações entre entidades gestoras comparáveis entre si e tendo em conta os factores de contexto – e uma avaliação individual do desempenho de cada entidade gestora, onde são analisados os seus resultados, comparando-os com os parâmetros estatísticos referentes ao conjunto das entidades

gestoras. Actualmente, a avaliação inclui ainda uma análise da evolução do desempenho das entidades gestoras ao longo do tempo.

Quadro 11 – Indicadores de desempenho do sistema do IRAR (IRAR, 2008)

Código	Indicador (unidade)
Indicadores relativos à defesa de interesses dos utilizadores	
Acessibilidade de serviço aos utilizadores	
AA01	Cobertura do serviço (%)
AA02	Preço médio do serviço (Euro/m ³)
Qualidade do serviço prestado aos utilizadores	
AA 03	Falhas no abastecimento (n.º/(ponto de entrega.ano) ou n.º/(1000 ramais.ano))
AA 04	Análises de água realizadas (%)
AA 05	Qualidade da água fornecida (%)
AA 06	Resposta a reclamações escritas (%)
Indicadores relativos à sustentabilidade da EG	
Sustentabilidade económico-financeira da EG	
AA 07	Rácio de cobertura dos custos operacionais (-)
AA 08	Custos operacionais unitários (Euro/m ³)
AA 09	Rácio de solvabilidade (-)
AA 10	Água não facturada (%)
Sustentabilidade infra-estrutural da EG	
AA 11	Cumprimento do licenciamento das captações de água (%)
AA 12	Utilização das estações de tratamento (%)
AA 13	Capacidade de reserva de água tratada (dias)
AA 14	Reabilitação de condutas (%/ano)
AA 15	Reabilitação de ramais (%/ano)
Sustentabilidade operacional da EG	
AA 16	Avárias em condutas (n.º/(100 km.ano))
Sustentabilidade em recursos humanos da EG	
AA 17	Recursos humanos (n.º/(10 ⁶ m ³ .ano) ou n.º/(1000 ramais.ano))
Indicadores relativos à sustentabilidade ambiental	
AA 18	Ineficiência da utilização de recursos hídricos (%)
AA 19	Eficiência energética de instalações elevatórias (kWh/(m ³ /100 m))
AA 20	Destino final de lamas do tratamento (%)

Outras abordagens

A nível internacional, foram recentemente desenvolvidos trabalhos no sentido de normalizar conceitos e metodologias relacionados com a avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água e serviços de águas residuais, tendo a *International Standards Organization* atribuído esta missão à Comissão Técnica ISO/TC224 *Service activities relating to drinking water supply systems and wastewater systems*, criada em 2002. Foram elaborados três documentos normativos que incluem a definição das características dos elementos do serviço que permitem a melhoria contínua do serviço aos utilizadores, a identificação dos objectivos do serviço no que diz respeito às necessidades dos utilizadores, uma listagem de recomendações para satisfazer as necessidades dos utilizadores, a definição de critérios de avaliação do serviço prestado aos utilizadores e os correspondentes indicadores de desempenho (ISO/DIS24510,

2006; ISO/DIS24511, 2006; ISO/DIS24512, 2006). Tal como nos sistemas de indicadores existentes, a abordagem neste âmbito é também orientada para a avaliação de desempenho ao nível de gestão.

A Associação de Entidades Reguladoras de Sistemas de Água e de Águas Residuais da América do Sul (ADERASA) definiu um sistema comum de indicadores de desempenho para uso dos reguladores de vários países da América do Sul, tendo sido seleccionado um subconjunto de 80 indicadores da IWA (Molinari, 2005). Anualmente, é levado a cabo um exercício de *benchmarking* com base nesses indicadores e que envolve mais de 55 entidades gestoras (ADERASA, 2007).

O Quadro 12 faz referência a um conjunto de outros projectos relacionados com avaliação de desempenho de serviços de águas e de águas residuais baseados em indicadores de desempenho, que foram desenvolvidos a nível nacional e que constituem, em geral, versões adaptadas dos sistemas internacionais de avaliação de desempenho, sobretudo, do sistema de indicadores da IWA e do sistema do Banco Mundial.

Quadro 12 – Projectos nacionais relacionados com avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água e serviços de águas residuais (adaptado de Alegre, 2002; Merkel, 2002)

País	Âmbito	Projecto
África do Sul	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relatórios anuais do <i>Department of Water Affairs, ZA Association of Water Boards e Water Research Comission</i> ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Alemanha	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projectos anuais de avaliação de desempenho englobando 300 EG de sistemas de água; projectos de <i>benchmarking</i> de EG de sistemas de águas residuais ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Austrália	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relatórios anuais de avaliação de desempenho da responsabilidade conjunta da <i>Water Services Association of Austrália</i>, da <i>National Water Commission</i> e da <i>National Water Initiative</i>, com base num conjunto de indicadores relativos a recursos hídricos, infra-estruturas, clientes, ambiente, saúde, tarifas e finanças (WSAA <i>et al.</i>, 2008) ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Áustria	A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projectos trianuais de avaliação de desempenho englobando EG de sistemas de água (Theuretzbacher-Fritz <i>et al.</i>, 2007)
Brasil	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relatórios de diagnóstico dos serviços com resultados de indicadores no âmbito do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SEDU e IPEA, 2006) ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Canadá	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relatórios anuais de avaliação de desempenho de cerca de 40 EG no âmbito da <i>Canadian National Water & Wastewater Benchmarking Initiative</i> (NBC, 2005; EarthTech e NRC/IRAP, 2007)
Dinamarca	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participação no <i>Six-Cities Group</i>
Noruega		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Suécia		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema nacional de <i>benchmarking</i> (em desenvolvimento) ▪ Base de dados sueca de indicadores (VASS) ▪ Projecto de <i>benchmarking</i> da Associação da Água dinamarquesa envolvendo mais de 40 EG
Eslovénia	A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projecto de <i>benchmarking</i> promovido pelo Ministério do Ambiente, envolvendo 81 EG (2004-2006)
Espanha	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004 ▪ Desenvolvimento do <i>software SIGMA</i> para apoio ao cálculo do sistema de indicadores da IWA

A: Serviços de abastecimento de água, AR: Serviços de águas residuais

Quadro 12 (cont.) – Projectos nacionais relacionados com avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água e serviços de águas residuais (adaptado de Alegre, 2002; Merkel, 2002)

País	Âmbito	Projecto
França	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projectos de gestão de qualidade em algumas EG de sistemas de água, incluindo a aplicação de indicadores de desempenho (ENGREF, 2004) ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Holanda	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relatórios periódicos com indicadores económicos, de qualidade da água, qualidade de serviço e ambientais elaborados para todas as EG, sendo a iniciativa promovida pela associação de EG de sistemas de águas e águas residuais (VEWIN)
Hungria	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento de sistema de ID para aplicação a nível nacional, tendo a primeira aplicação decorrido em 2008 (Laky <i>et al.</i>, 2008)
Itália	A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iniciativa de <i>benchmarking</i> de EG de sistemas de água, promovida pelo <i>Federgasaqua</i> ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Malásia	A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definição e cálculo anual de sistema de indicadores pela <i>Malaysian Water Association</i> (MWA, 2005) ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004
Portugal	A+AR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participação no teste do sistema de indicadores da IWA em 2001-2004 ▪ Projecto PI-Waters com a participação de 15 EG de sistemas de água (Alegre <i>et al.</i>, 2001) ▪ Projecto PI-COMP com a participação de 13 EG de sistemas de água (Alegre <i>et al.</i>, 2005) ▪ Elaboração das versões portuguesas dos manuais de indicadores da IWA (Alegre <i>et al.</i>, 2004; Matos <i>et al.</i>, 2004) ▪ Sistema de indicadores do Instituto Regulador de Águas e Resíduos que tem por base o sistema da IWA (IRAR, 2005; 2008)
República checa	A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementação dos ID da IWA a nível nacional (iniciada em 2006)
Roménia	A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinação periódica de 19 indicadores para algumas EG

A: Serviços de abastecimento de água, AR: Serviços de águas residuais

No âmbito de um trabalho final de licenciatura², Nunes *et al.* (2003) aplicaram parte dos indicadores da IWA ao sistema de abastecimento em alta da Águas do Algarve, S.A., em particular, à ETA de Alcantarilha e respectiva rede de distribuição a jusante, e desenvolveram algumas medidas de desempenho adicionais para a componente do tratamento. As áreas analisadas foram: recursos hídricos, qualidade da água bruta, infra-estruturas, operação dos sistemas, qualidade da água tratada, eficiências de remoção, produção de lamas e qualidade do serviço de distribuição. Em todas as áreas foram propostos, como medidas de desempenho, indicadores (Quadro 13). Na área *qualidade da água tratada* foi, além dos indicadores, desenvolvido um índice de qualidade da água tratada construído, como se apresenta no Quadro 14, a partir de três subíndices determinados por normalização à escala decrescente das concentrações dos parâmetros de qualidade da água previstos no Decreto-Lei n.º 243/2001, em vigor à data.

Contudo, considera-se que alguns dos parâmetros classificados como indicadores de desempenho são, na realidade, parâmetros que permitem caracterizar o contexto em que o sistema de

² Este trabalho foi realizado por sugestão da EG, a quem interessava caracterizar o mais exaustivamente possível o sistema de Alcantarilha (ETA+rede até aos pontos de entrega).

abastecimento se insere (capacidade do recurso, total de água captada, consumo total, caracterização da água bruta, capacidade de captação, capacidade de tratamento, capacidade de distribuição e comprimento do sistema de adução). Por outro lado, as medidas de desempenho propostas não cobrem todos os domínios (*e.g.*, segurança, pessoal, económico-financeiro), nem todos os aspectos de engenharia (*e.g.*, funcionamento dos órgãos) considerados essenciais. Além disso, considera-se que o sistema de avaliação proposto incluindo a ETA e a rede até aos pontos de entrega é de difícil aplicação dado ser frequente a mesma rede ser alimentada (regular ou excepcionalmente) por mais do que uma ETA (aliás, foi esta a evolução do próprio caso de estudo). O sistema de avaliação de desempenho deve, portanto, restringir-se à ETA e não incluir os indicadores relativos às redes de adução e distribuição (total de água medida, inspecção das redes de adução e distribuição, reabilitação de condutas, perdas e fugas na adução e distribuição, avarias nas condutas de adução e distribuição, interrupções nos pontos de entrega, reclamações dos clientes, grau de satisfação relativo à qualidade da água fornecida, grau de satisfação relativo à continuidade do abastecimento).

Quadro 13 – Indicadores de desempenho propostos por Nunes *et al.* (2003)

INDICADOR Código	EXPRESSÃO DE CÁLCULO
Indicadores de disponibilidade e utilização dos recursos hídricos	
Taxa de utilização do recurso <i>Rh1</i>	(Volume de água entrada na ETA/capacidade volúmica disponível do recurso) x100
Satisfação da capacidade máxima de tratamento <i>Rh2</i>	(Capacidade volúmica disponível do recurso no período de produção máxima/caudal de água entrada na ETA à capacidade máxima de tratamento no período de produção máxima) x100
Capacidade do recurso <i>Rh3</i>	Volume de água disponível no recurso
Água recirculada na ETA <i>Rh4</i>	(Caudal de água recirculada na ETA/caudal de água entrada na ETA) x100
Total de água captada <i>Rh5</i>	Volume total anual de água captada pela ETA/população servida
Consumo total <i>Rh6</i>	Volume total anual de água distribuída/população servida
Total de água medida <i>Rh7</i>	(Volume total de água medida nos pontos de entrega/volume total de água fornecida) x100
Eficiência de utilização de água na ETA <i>Rh8</i>	(Caudal de água tratada que sai da ETA/caudal de água entrada na ETA) x100
Indicadores de qualidade da água bruta	
Caracterização da água bruta <i>Qb1</i>	Classificação A1, A2, A3 de acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98
Indicadores infra-estruturais	
Utilização da ETA <i>Ie1</i>	(Volume total de água tratada na ETA ao longo do ano/capacidade volúmica máxima de tratamento da ETA num ano) x100
Capacidade de reserva de água tratada <i>Ie2</i>	Volume total dos reservatórios de distribuição e cisternas da ETA/capitação diária máxima permitida x população servida
Capacidade de captação <i>Ie3</i>	Capacidade volúmica máxima diária de captação de água
Capacidade de tratamento <i>Ie4</i>	Capacidade volúmica máxima de tratamento da ETA
Capacidade de distribuição <i>Ie5</i>	Capacidade volúmica máxima diária de distribuição
Comprimento do sistema de adução <i>Ie6</i>	Comprimento da rede de adução

Quadro 13 (cont.) – Indicadores de desempenho propostos por Nunes *et al.* (2003)

INDICADOR <i>Código</i>	EXPRESSÃO DE CÁLCULO
Indicadores operacionais	
Inspeção de grupos electrobomba <i>Op1</i>	$(N.º \text{ de grupos electrobomba inspeccionados num ano} / n.º \text{ total de grupos electrobomba}) \times 100$
Limpeza de reservatórios <i>Op2</i>	$(\text{Volume das células dos reservatórios limpas ao longo do ano} / \text{volume total das células dos reservatórios}) \times 100$
Inspeção das redes de adução e distribuição <i>Op3</i>	$(\text{Comprimento das redes de adução e de distribuição inspeccionadas durante o ano} / \text{comprimento total da rede}) \times 100$
Controlo de fugas <i>Op4</i>	$(\text{Comprimento de redes sujeito ao controlo activo de fugas} / \text{comprimento total da rede}) \times 100$
Reparações por controlo activo de fugas <i>Op5</i>	$(N.º \text{ de fugas detectadas e reparadas num ano devido ao controlo activo de fugas} / \text{comprimento total da rede}) \times 100$
Calibração de medidores de caudal de sistema <i>Op6</i>	N.º de calibrações dos medidores de caudal realizadas durante o ano/n.º de medidores de caudal instalados
Calibração de medidores de pressão <i>Op7</i>	N.º de calibrações dos medidores de pressão realizadas durante o ano/n.º de medidores de pressão instalados
Calibração de medidores de nível <i>Op8</i>	N.º de calibrações dos medidores de nível de água realizadas durante o ano/n.º de medidores de nível instalados
Calibração de equipamento de medição para monitorização de qualidade da água, instalado em linha <i>Op9</i>	N.º de calibrações de instrumentos de monitorização da qualidade da água realizadas durante o ano/n.º de instrumentos de monitorização da qualidade da água instalados no sistema
Inspeção de equipamentos de emergência e de transmissão de sinal <i>Op10</i>	$(N.º \text{ de equipamentos de emergência e de transmissão de sinal inspeccionados num ano} / n.º \text{ total de equipamentos de emergência e de transmissão de sinal}) \times 100$
Inspeção de quadros eléctricos <i>Op11</i>	$(N.º \text{ de quadros eléctricos inspeccionados num ano} / n.º \text{ total de quadros eléctricos}) \times 100$
Reabilitação de condutas <i>Op12</i>	$(\text{Comprimento de condutas de adução e distribuição reabilitada durante o ano} / \text{comprimento total da rede}) \times 100$
Tempo médio de resolução de problemas <i>Op13</i>	Tempo total decorrido entre a detecção de problemas e a sua resolução/n.º total de problemas
Avarias nas condutas <i>Op14</i>	$(N.º \text{ de avarias nas condutas durante o ano} / \text{comprimento total da tubagem}) \times 100$
Avarias nos sistemas electrobomba <i>Op15</i>	$(N.º \text{ de avarias em grupos electrobomba durante o ano} / n.º \text{ total de grupos electrobomba}) \times 100$
Falhas de abastecimento eléctrico <i>Op16</i>	N.º de horas durante o ano que a ETA esteve fora de serviço ou funcionou alimentada por um gerador, devido a falhas no abastecimento de energia
Perda de água na adução à ETA <i>Op17</i>	$[(\text{Volume de água extraída da fonte} - \text{volume de água entrada na ETA}) / \text{volume de água extraída da fonte}] \times 100$
Total de perdas de água <i>Op18</i>	$(\text{Perdas reais anuais} + \text{perdas aparentes anuais}) / \text{comprimento total da tubagem}$
Perdas reais <i>Op19</i>	$\text{Volume anual de água perdida no sistema de abastecimento} / \text{comprimento total da tubagem}$
Perdas aparentes <i>Op20</i>	$(\text{Volume anual de água não medida} + \text{volume anual de água de consumo não autorizado}) / \text{comprimento total da tubagem}$
Análises realizadas <i>Op21</i>	$(N.º \text{ de análises realizadas à água tratada durante o ano} / n.º \text{ de análises à água tratada requeridas pelas normas ou legislação aplicável}) \times 100$
Indicadores de qualidade da água tratada	
Inconformidade das análises <i>Qal</i>	$(N.º \text{ de análises não conformes realizadas na água tratada a cada parâmetro num ano} / n.º \text{ total de análises realizadas na água tratada a cada parâmetro}) \times 100$
Indicadores de eficiências de remoção	
Eficiência de remoção global para cada parâmetro <i>Er</i>	$[(\text{[Parâmetro]}_{AB} - \text{[Parâmetro]}_{AT}) / \text{[Parâmetro]}_{AB}] \times 100$ AB: água bruta; AT: água tratada
Eficiência de remoção parcial para cada parâmetro <i>Er</i>	$[(\text{[Parâmetro]}_{AS} - \text{[Parâmetro]}_{AE}) / \text{[Parâmetro]}_{AE}] \times 100$ AS: água à saída de uma OPU ou etapa; AE: água à entrada de uma OPU ou etapa
Indicadores de gestão de lamas	
Produção específica de lamas <i>Pgl1</i>	Caudal mássico de lamas desidratadas produzidas/caudal de água tratada
Produção específica de lamas em função da turvação da água bruta <i>Pgl2</i>	Varição gráfica do caudal mássico de lamas desidratadas produzidas/caudal de água bruta com a turvação da água bruta
Concentração de lamas após decantação <i>Pgl3</i>	$(\text{Peso de matéria seca das lamas} / \text{peso total das lamas}) \times 100$
Concentração das lamas após desidratação <i>Pgl4</i>	Peso das lamas/volume das lamas

Quadro 13 (cont.) – Indicadores de desempenho propostos por Nunes *et al.* (2003)

INDICADOR Código	EXPRESSÃO DE CÁLCULO
Destino final das lamas <i>Pg15</i>	(Quantidade de lamas produzidas com determinado destino final/total de lamas produzidas) x100
Indicadores de qualidade do serviço de distribuição	
Interrupções por ponto de entrega <i>Qs1</i>	N.º total de interrupções do serviço/n.º de pontos de entrega
Reclamações dos clientes <i>Qs2</i>	N.º total de reclamações directas, telefónicas, por fax e escritas efectuadas anualmente/cliente
Grau de satisfação relativo à qualidade da água fornecida <i>Qs3</i>	(N.º de clientes satisfeitos relativamente à qualidade da água fornecida/n.º total de clientes inquiridos) x100
Grau de satisfação relativo à continuidade do abastecimento <i>Qs4</i>	(N.º de clientes satisfeitos relativamente à continuidade do abastecimento/n.º total de clientes inquiridos) x100
Residual de cloro nos sistemas de transporte e distribuição <i>Qs5</i>	Concentração de cloro residual em vários pontos de amostragem do sistema de distribuição
Índice de Saturação de Langelier <i>Qs6</i>	pH – pH _{saturação}

Quadro 14 – Índice de qualidade da água tratada proposto por Nunes *et al.* (2003)

ÍNDICE Código	EXPRESSÃO DE CÁLCULO
Normalização à escala decrescente	$I_j = 1 - \frac{x_j}{x_{\max}}$ I _j : valor normalizado do parâmetro x na medição j; x _j : valor do parâmetro x na medição j; x _{max} : valor paramétrico do Decreto-Lei n.º 243/2001 para o parâmetro x
Subíndice de qualidade da água tratada - Parâmetros microbiológicos <i>sIQa1</i>	Média ponderada $sIQa1 = \sum_{j=1}^n p_j \times I_j$ e operador mínimo $sIQa1 = \min\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ I _j : valor normalizado do parâmetro microbiológico; p _j : factor de ponderação
Subíndice de qualidade da água tratada - Parâmetros químicos <i>sIQa2</i>	Média ponderada $sIQa2 = \sum_{j=1}^n p_j \times I_j$ e operador mínimo $sIQa2 = \min\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ I _j : valor normalizado do parâmetro químico, p _j : factor de ponderação
Subíndice de qualidade da água tratada - Parâmetros indicadores <i>sIQa3</i>	Média ponderada $sIQa3 = \sum_{j=1}^n p_j \times I_j$ e operador mínimo $sIQa3 = \min\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ I _j : valor normalizado do parâmetro indicador, p _j : factor de ponderação
Índice de qualidade da água tratada <i>IQa</i>	Média ponderada $IQa = sIQa1 \times p_1 + sIQa2 \times p_2 + sIQa3 \times p_3$ p _i : factor de ponderação

2.1.2.8. Abordagens sistematizadas de avaliação de desempenho operacional

Metodologia de avaliação de desempenho proposta pelo LNEC para redes de distribuição de água de consumo e para redes de drenagem de águas residuais

Os aspectos de avaliação de desempenho mais específicos de engenharia foram incorporados nos sistemas de avaliação de desempenho desenvolvidos inicialmente por Alegre (1992) e Coelho (1997) para as redes de distribuição de água e, posteriormente, adaptados por Cardoso (2007) para as redes de drenagem. Assim, estes sistemas destinam-se a avaliar as redes do ponto de vista técnico – por isso, estes sistemas foram também designados pelos seus autores de *avaliação de*

desempenho técnico – constituindo uma ferramenta de apoio à gestão técnica dos sistemas de abastecimento e sistemas de águas residuais. Esta ferramenta permite, não só, a caracterização da situação actual das redes mas, também, a previsão do seu comportamento em função de diferentes condições de operação (condições de funcionamento ou configuração da rede), uma vez que incorpora módulos de cálculo automático que podem ser utilizados como complemento de modelos de simulação hidráulicos e de qualidade da água. A avaliação de desempenho técnico foi já aplicada a um número considerável de casos de estudo e os resultados foram extensivamente publicados (Alegre, 1992; Coelho, 1997; Coelho e Alegre, 1999; Cardoso *et al.*, 2001; Cardoso *et al.*, 2004; Dias, 2004; Araújo, 2005; Jacob, 2006; Cardoso, 2007; Sousa, 2007).

A avaliação de desempenho técnico baseia-se numa metodologia normalizada que contempla as seguintes etapas:

a) *Identificação dos pontos de vista em relação aos quais interessa medir o desempenho*

Coelho (1997) identificou como relevante a avaliação de desempenho do ponto de vista hidráulico, de qualidade da água e fiabilidade (Quadro 15). No caso dos sistemas de águas residuais, foram estudados os pontos de vista hidráulico e ambiental (Cardoso, 2007) (Quadro 15).

b) *Para cada ponto de vista, definição dos objectivos expressos em termos de variáveis de estado e cálculo destas*

Uma variável de estado traduz quantitativamente o comportamento da rede sob o ponto de vista específico em avaliação. O seu cálculo é feito ao nível dos elementos da rede – nó de rede ou troço de tubagem. Os dados para este cálculo são provenientes de modelos de simulação ou outro tipo de ferramentas de análise de redes ou, ainda, de medições efectuadas na própria rede, quando disponíveis no formato adequado e em quantidade suficiente. Para além de variáveis de estado, Cardoso (2007) considera ainda outro tipo de parâmetros que medem o desempenho mas que não são variáveis de estado da rede. Do Quadro 15 constam exemplos de variáveis de estado

ou medidas de desempenho previstas nos sistemas de avaliação de desempenho técnico existentes.

Quadro 15 – Exemplos de variáveis de estado e medidas de desempenho incluídas nos sistemas de avaliação de desempenho técnico

Sistema de avaliação de desempenho	Ponto de vista	Variável de estado ou medida de desempenho
Alegre (1992), Coelho (1997) [Sistemas de distribuição de água]	Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pressão ▪ Flutuação diária de pressão ▪ Velocidade
	Qualidade da água	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo de percurso ▪ Concentração de cloro residual
	Fiabilidade hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entropia
Cardoso (2007) [Sistemas de drenagem de águas residuais]	Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altura do escoamento ▪ Velocidade ▪ Utilização da capacidade da secção cheia por infiltração
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Percentagem de volume descarregado ▪ CBO₅ descarregado ▪ Concentração de sulfuretos no colector ▪ Caudal unitário de exfiltração por comprimento de colector

c) *Conversão do valor da variável de estado num valor de desempenho*

Esta conversão é feita através da aplicação de uma função de desempenho, também usualmente designada por curva de desempenho, função de penalidade ou curva de penalidade. Como o nome indica, esta função penaliza qualquer desvio a uma situação óptima em que o serviço prestado pela rede tem um desempenho máximo. A função associa a cada valor de uma variável de estado o valor de um índice de desempenho. Este índice é uma medida do desempenho de um elemento da rede e os sistemas de avaliação de desempenho de Alegre (1992), Coelho (1997) e Cardoso (2007) convencionaram que se situa numa gama de 0 e 4. O valor 4 corresponde a uma situação em que o serviço prestado é óptimo, o valor 3 corresponde a um desempenho adequado, o valor 2 corresponde ao desempenho mínimo aceitável e valores inferiores a 1 correspondem a um desempenho já inaceitável. Quando se verifica ausência ou interrupção de serviço adopta-se o valor 0. Dias (2004), Jacob (2006) e Sousa (2007) redefiniram esta escala e adoptaram valores entre 0 e 100%.

No Quadro 16 apresentam-se exemplos de funções de desempenho adoptadas na avaliação de desempenho técnico de sistemas de distribuição de água e de sistemas de drenagem de águas

residuais. De referir que o formalismo das funções de desempenho tem também vindo a ser utilizado em outras áreas do conhecimento, tão diversas como: gestão da quantidade de água armazenada e transportada no seio de redes de albufeiras (Needham, 2007), redes informáticas (Oppenheimer *et al.*, 2005) e saúde (Hovorka *et al.*, 1992).

Quadro 16 – Exemplos de funções de desempenho previstas nos sistemas de avaliação de desempenho técnico

Sistema de avaliação de desempenho	Variável de estado ou medida de desempenho	Função de desempenho
Alegre (1992), Coelho (1997) [Sistemas de distribuição de água]	Pressão	
	Flutuação diária de pressão	
	Tempo de percurso	
	Concentração de cloro residual	
Cardoso (2007) [Sistemas de drenagem de águas residuais]	Altura do escoamento	
	Velocidade	
	Concentração de sulfuretos	

d) *Agregação espacial dos valores dos elementos da rede para obtenção do desempenho de toda a rede*

Através da aplicação de uma função de generalização aos valores elementares de desempenho de todas as variáveis de estado, é possível obter um índice que traduz o desempenho global da rede ou de uma parte dela. O tipo de função usada depende do objectivo da análise que se está a fazer, pode ser diferente para diferentes variáveis de estado, pode assumir a seguinte forma (Alegre, 2007):

$$P = W(p_i) = \sum_{i=1}^N (\omega_i \times p_i) \quad (1)$$

em que:

P: índice de desempenho global;

W: função de generalização dos valores elementares de desempenho;

ω_i : peso de cada componente elementar;

p_i : valor do desempenho no elemento i .

Um exemplo de função de generalização é a média simples, mas o Quadro 17 apresenta outros exemplos de funções de generalização adoptadas na avaliação de desempenho técnico.

Quadro 17 – Exemplos de funções de generalização previstas nos sistemas de avaliação de desempenho técnico

Sistema de avaliação de desempenho	Variável de estado ou medida de desempenho	Função de generalização	
		Tipo	Pesos
Alegre (1992), Coelho (1997) [Sistemas de distribuição de água]	Pressão	Média ponderada	Consumo médio no nó
	Flutuação diária de pressão	Média ponderada	Consumo médio no nó
[Sistemas de distribuição de água]	Velocidade	Média ponderada	Diâmetro do troço x comprimento do troço
	Concentração de cloro residual	Percentil 5%	Consumo médio no nó
Cardoso (2007) [Sistemas de drenagem de águas residuais]	Altura do escoamento	Média ponderada	Caudal da secção cheia x comprimento do colector x factor de risco
	Velocidade	Média ponderada	Diâmetro do colector x comprimento do colector
	Caudal unitário de infiltração por câmara de visita	Média simples	1

Os passos c) e d) são executados para cada cenário em estudo, ou seja, para um conjunto definido de condições de operação da rede.

Quadro 18 – Exemplos de representações gráficas de resultados utilizados nos sistemas de avaliação de desempenho técnico

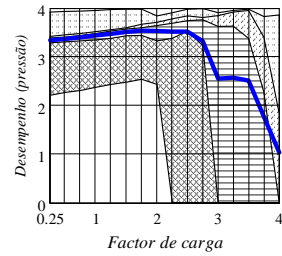
Sistema de avaliação de desempenho

Alegre (1992), Coelho (1997)
[Sistemas de distribuição de água]

Representações gráficas de resultados da avaliação de desempenho técnico

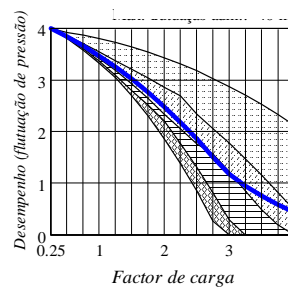
Variável de estado: Pressão

Tipo de representação: Diagrama de sistema



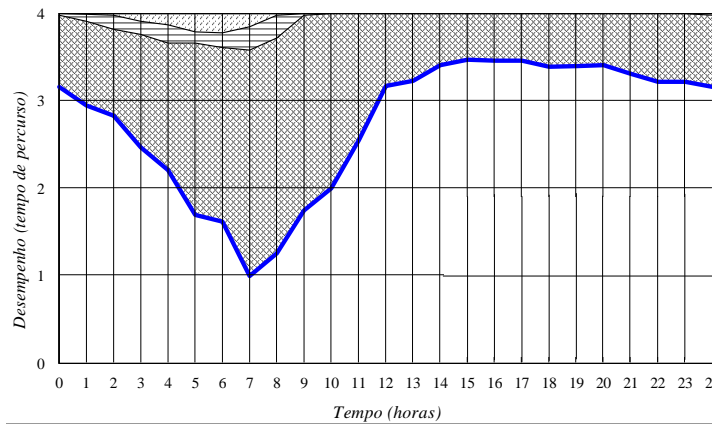
Variável de estado: Flutuação diária de pressão

Tipo de representação: Diagrama de sistema



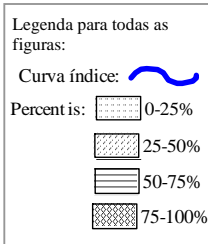
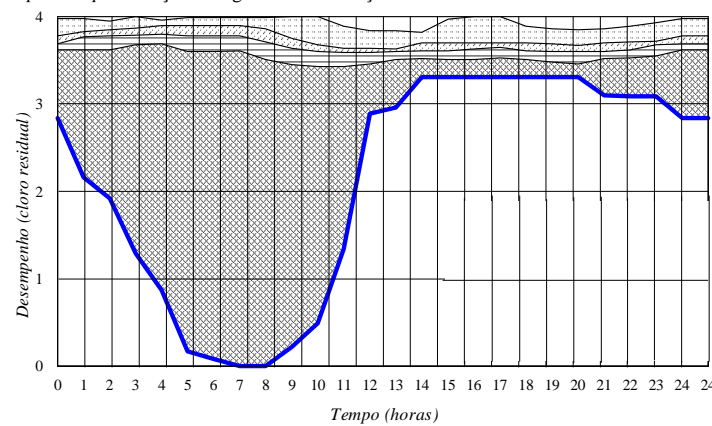
Variável de estado: Tempo de percurso

Tipo de representação: Diagrama de simulação dinâmica

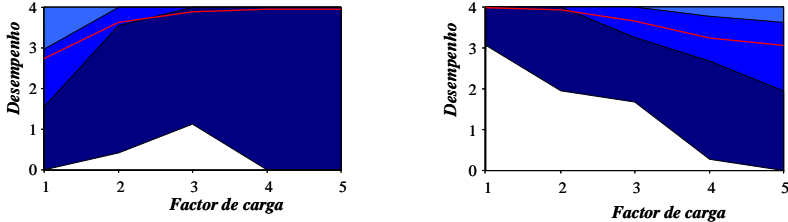
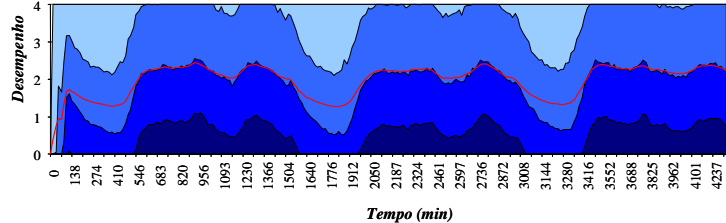
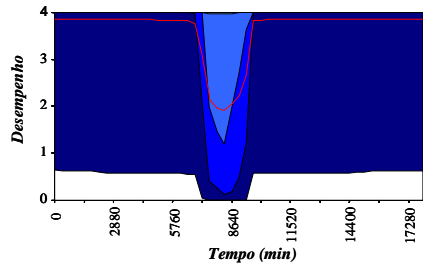
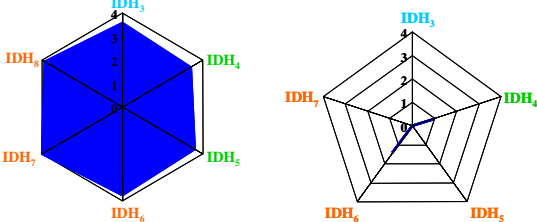


Variável de estado: Concentração de cloro residual

Tipo de representação: Diagrama de simulação dinâmica



Quadro 18 (cont.) – Exemplos de representações gráficas de resultados utilizados nos sistemas de avaliação de desempenho técnico

Sistema de avaliação de desempenho	Representações gráficas de resultados da avaliação de desempenho técnico	
Cardoso (2007) [Sistemas de drenagem de águas residuais]	Variável de estado: Velocidade Tipo de representação: Diagrama de sistema	Variável de estado: Altura do escoamento Tipo de representação: Diagrama de sistema
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Legenda para as 4 primeiras figuras: 75% - 100% 50% - 75% 25% - 50% 0% - 25% Média ponderada </div>		
	<p>Variável de estado: Velocidade Tipo de representação: Gráfico de evento</p> 	
	<p>Variável de estado: Altura de escoamento Tipo de representação: Gráfico de evento</p> 	
	<p>Medida de desempenho: Várias Tipo de representação: Gráfico de estrela</p> 	

e) Representação e análise dos resultados

A análise dos resultados finais deste procedimento pode ser feita com base em diagramas de sistema (ou gráficos de sistema) e em diagramas de simulação dinâmica (ou gráficos de evento) (Quadro 18). O diagrama de sistema é uma representação gráfica do índice de desempenho em função de uma gama de condições de operação que correspondem a diferentes graus de

solicitação da rede (*e.g.*, factores de carga sobre o consumo médio no caso das redes de água, períodos de retorno no caso das redes de águas residuais). No diagrama de simulação dinâmica representa-se o índice de desempenho em função do tempo – em geral, o tempo correspondente a um período de simulação da rede de 24 horas. Os dois tipos de diagrama têm em consideração a dispersão estatística da população de valores elementares através de bandas de percentis (em geral, 0-25%, 25-50%, 50-75% e 75-100%).

Outro tipo de representação é o gráfico de estrela (Quadro 18) utilizado por Cardoso (2007) no qual é possível incluir simultaneamente os resultados de diferentes medidas de desempenho.

As características das redes de água de abastecimento e de águas residuais prestam-se também a uma representação geográfica das medidas de desempenho (Duarte e Alegre, 2006).

O programa *Partnership for Safe Water* da *American Water Works Association*

O *Partnership for Safe Water* é outro programa de avaliação de desempenho da responsabilidade da AWWA, em colaboração com a EPA (*United States Environmental Protection Agency*), mas que, ao contrário do programa *QualServe*, não se baseia em indicadores de desempenho e analisa somente a componente de tratamento de água para consumo humano. Actualmente, participam voluntariamente neste programa *ca.* 400 estações de tratamento localizadas nos EUA. Esta iniciativa tem como âmbito as estações de tratamento de água que utilizam águas superficiais e que têm instalado um esquema de tratamento convencional composto por coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção final. O objectivo final da criação deste programa é a implementação de medidas de segurança que aumentem a qualidade da água para consumo humano, sendo a ênfase colocada na protecção contra a contaminação biológica. O processo de avaliação tem uma componente de auto-diagnóstico e uma componente de avaliação externa por um grupo de peritos da AWWA. No primeiro caso, a entidade gestora responsável pela ETA efectua uma avaliação do desempenho da estação e tenta identificar os aspectos que podem estar na origem de um baixo desempenho, sendo analisados os seguintes aspectos (AWWA *et al.*,

2004b; 2004a):

- cumprimento do limite de 1 UNT para a turvação da água decantada e do limite de 0,1 UNT estabelecido para a turvação da água filtrada;
- influência da alteração da qualidade e da quantidade da água bruta no funcionamento dos órgãos, tendo por base a análise de dados de turvação entre as várias etapas do tratamento;
- adequação da capacidade dos vários órgãos ao caudal de água tratado;
- outras características dos órgãos para além da capacidade, *e.g.*, distribuição de caudal entre filtros, câmaras de floculação ou decantadores em paralelo, adequação de condições de mistura para coagulação e floculação, disponibilidade de pontos de doseamento de reagentes e flexibilidade e fiabilidade de doseadores;
- práticas de operação, *e.g.*, procedimentos de lavagem de filtros, controlo e monitorização do processo e formação dos recursos humanos;
- práticas de gestão, *e.g.*, políticas de gestão, disponibilidade de recursos humanos e financiamento.

Esta avaliação é essencialmente qualitativa, exceptuando-se a análise de valores de turvação em várias etapas do tratamento. Os resultados de turvação da água bruta e da água filtrada são também submetidos, anualmente, para análise por peritos da AWWA que compilam os dados a nível nacional e identificam tendências de evolução.

Metodologia proposta pela UNL para avaliação de ETA

Santana *et al.* (1996) propuseram uma metodologia para avaliação do funcionamento de ETA baseada no cálculo de índices de qualidade da água e de funcionamento dos sistemas de tratamento. A metodologia aplica-se a sete sequências-tipo de tratamento – correspondentes às sequências preconizadas no Decreto-Lei n.º 74/90 (em vigor à data) – e prevê duas formas de avaliação, *expedita* e *técnica*.

A *metodologia de avaliação expedita* exige um menor volume de dados de base para a sua

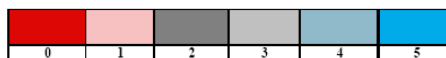
aplicação e consiste na determinação de um índice global a partir do somatório ponderado de dois subíndices – um relativo à qualidade da água tratada e outro relativo à eficiência do tratamento. Os subíndices são determinados através da definição de classes de qualidade (para o subíndice de qualidade da água tratada: 0-mau, 1-insuficiente, 2-razoável, 3-bom; para o subíndice de eficiência do tratamento: 0-mau, 1-razoável, 2-bom). No caso do subíndice de qualidade da água tratada, é atribuída, a cada parâmetro de qualidade da água, uma classificação de 0 a 5 em função da gama de valores que o parâmetro assume face aos valores máximos recomendados e aos valores máximos admissíveis do Decreto-Lei n.º 74/90. O subíndice de qualidade da água tratada é o somatório ponderado das classificações de todos os parâmetros. O valor assim obtido é convertido numa das classes de qualidade já referidas. No caso do subíndice de eficiência do tratamento, o procedimento é análogo, sendo a classificação de 0 a 5 atribuída com base na comparação da gama de valores de eficiência observados para seis parâmetros (turvação, cor, oxidabilidade, dióxido de carbono, ferro e manganês) com valores máximos e mínimos de eficiência referidos na bibliografia (duas referências bibliográficas – AGHTM, 1987 e Degrémont, 1989).

A *metodologia de avaliação técnica* considera, adicionalmente, as características dos órgãos de tratamento e trata de modo mais pormenorizado a qualidade da água tratada (avaliando um maior número de parâmetros do Decreto-Lei n.º 74/90). O procedimento de determinação dos três subíndices e, a partir destes, do índice total é análogo ao descrito na *avaliação expedita*. O subíndice relativo às características dos órgãos é obtido por comparação dos valores obtidos para diferentes parâmetros de controlo dos órgãos com valores mínimos e máximos adequados a um funcionamento aceitável, não sendo identificada a proveniência destes valores (*e.g.*, bibliografia, experiência com casos reais).

Na Figura 5 apresenta-se um exemplo do cálculo de um subíndice e na Figura 6 apresenta-se um modo gráfico de determinação do índice global.

ÁGUAS SUPERFICIAIS DE CLASSE A3 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO						
Parâmetro	Água Bruta	Água Tratada	EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO (%)			Peso do Parâmetro
			Ef. mínima admissível		Ef. máxima esperada	
Turvação			< 50	60 70 80	90 > 9	2
Cor			< 80	83.3 85 87.5	90 > 9	1
Oxidabilidade			< 60	67.5 75 82.5	90 > 9	3

Classificação a atribuir a cada padrão



Subíndice para avaliação do processo de tratamento			
Mau	Razoável		Bom
0	12	24	30
0	1	2	

Figura 5 – Cálculo do subíndice de eficiência de tratamento na metodologia proposta por Santana *et al.* (1996)

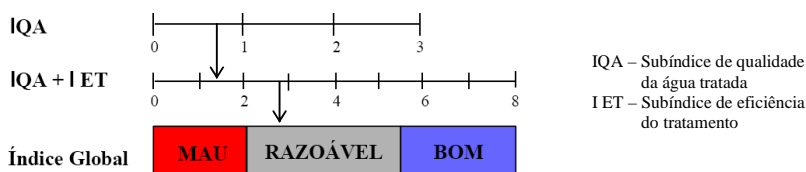


Figura 6 – Determinação gráfica do índice global na metodologia de avaliação expedita de ETA proposta por Santana *et al.* (1996)

2.1.3. Avaliação de desempenho em outras áreas – a indústria química

Inclui-se neste capítulo de revisão do estado da arte a avaliação de desempenho no sector da indústria química pela similitude que este tipo de indústrias apresenta com as estações de tratamento de água do ponto de vista processual. Efectivamente, uma ETA não é mais do que uma unidade industrial química que, através de processos tecnológicos, transforma uma matéria-prima principal (água bruta) num produto final (água tratada) usando matérias-primas secundárias (reagentes) e outros *inputs* (energia, etc.). Outro aspecto de semelhança consiste no facto do produto final ter de ser submetido a testes de controlo para verificação da sua qualidade. O próprio processo industrial está também, em ambos os casos, sob um rigoroso controlo de qualidade durante as várias fases de produção.

No sector da indústria química, a avaliação de desempenho de forma sistematizada é actualmente

feita no âmbito da iniciativa “Actuação Responsável” (*Responsible Care*), que constitui um compromisso voluntário mediante o qual as empresas se comprometem a melhorar continuamente o seu desempenho nas áreas da saúde, segurança e ambiente, contribuindo para um desenvolvimento sustentável. As empresas adoptam linhas gerais de actuação, que incluem os seguintes aspectos e em relação aos quais o seu desempenho é avaliado (ICCA, 2005):

▪ **Saúde e segurança dos trabalhadores**

Protecção e promoção da saúde e segurança das pessoas que trabalham na empresa ou visitam as suas instalações da empresa, através de programas de saúde e segurança. Identificação e avaliação de perigos, prevenção de condições e acções inseguras, levando os trabalhadores, subcontratados e visitantes a proceder de acordo com práticas seguras de trabalho.

▪ **Prevenção da poluição**

Redução da emissão de poluentes para o ambiente, de forma progressiva e sustentada; redução consistente da quantidade de resíduos e desperdícios gerados e gestão adequada dos que são produzidos.

▪ **Segurança dos processos**

Prevenção de incêndios, explosões e derrames acidentais de substâncias químicas, através de: i) projecto e construção de unidades segundo as boas práticas de engenharia; ii) operação e manutenção correctas e iii) programas de inspecções de conformidade, periódicas, documentadas. Previsão de sistemas de retenção/impermeabilização adequados à protecção de eventuais derrames. Formação em segurança de operação, para todos os trabalhadores. Inspecções periódicas de todos os dispositivos de segurança.

▪ **Consciencialização da comunidade e procedimentos de resposta a emergência**

Promoção do planeamento da resposta a emergência, incluindo programas que visam a comunidade fora da unidade fabril. Coordenação e verificação anual dos planos de resposta de emergência e planos de ajuda para apoio à comunidade na recuperação de incidentes do foro

ambiental, de saúde e de segurança.

▪ **Distribuição**

Redução dos riscos associados ao transporte, manipulação nas operações de armazenamento, transferências e re-embalagem de substâncias químicas, a que os trabalhadores, o ambiente e o público possam ser expostos, com avaliação regular dos riscos de distribuição e das metodologias para minimizar tais riscos.

O *International Council of Chemical Associations* (ICCA) faz a gestão global da iniciativa “Actuação Responsável”, que integra uma componente de avaliação do desempenho baseada na determinação dos 19 indicadores principais, indicados no Quadro 19, e que se agrupam em três categorias – higiene e segurança no trabalho, protecção ambiental e segurança na distribuição dos produtos (CEFIC, 2006a). Foram ainda definidos 12 indicadores adicionais (Quadro 20) que podem ser opcionalmente monitorizados pelas empresas. Todos estes indicadores traduzem os esforços das empresas para minimizarem os resíduos produzidos, a utilização de recursos naturais e as emissões poluentes para o ar e água, e para aumentarem a segurança dos trabalhadores e das populações envolvidas às suas instalações. Apesar de ainda não serem totalmente avaliadas de modo quantitativo, através de indicadores, existem também preocupações de *Product Stewardship*, ou seja, de alargamento dos esforços atrás referidos a todo o ciclo de vida do produto (concepção, produção, distribuição, utilização, reciclagem e deposição) e não os restringindo ao processo de fabrico.

Este sistema de avaliação de desempenho resultou da exigência legal (*e.g.*, directiva IPPC – 96/61/EC) de publicação de informação nos domínios atrás referidos por parte das empresas químicas. Foi, posteriormente, útil em projectos de *benchmarking* entre diferentes unidades industriais, entre diferentes empresas e entre diferentes países, e na consequente adopção das melhores práticas de fabrico, no aumento da confiança das populações envolvidas das empresas, no reforço positivo da imagem de empregadores responsáveis, no aumento da

satisfação e produtividade dos trabalhadores e na melhoria da comunicação com todos os parceiros da empresa (clientes, fornecedores, entidades reguladoras e fiscalizadoras, etc.) e com o público em geral. Actualmente, implementaram este sistema indústrias químicas localizadas em 52 países de todo mundo e cuja produção corresponde a *ca.* 90% da produção total do sector químico.

Quadro 19 – Sistema de indicadores de desempenho usados na indústria química - indicadores principais (CEFIC, 2006a)

Categoria	Indicador
Higiene e segurança no trabalho	<p>Número de mortes em consequência de acidentes de trabalho – calculado individualmente para:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ empregados da empresa ▪ empregados subcontratados, visitantes ou outras pessoas presentes temporariamente nas instalações da fábrica <p>Frequência de acidentes (n.º de acidentes que resultam num período de ausência do trabalho superior a 1 dia/1 milhão de horas de trabalho) – calculado individualmente para:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ empregados da empresa ▪ empregados subcontratados <p>Taxa de absentismo de empregados por doença não decorrente directamente de acidente (n.º de doenças diagnosticadas/1 milhão de horas de trabalho)</p>
Protecção ambiental	<p>Produção de resíduos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade produzida de resíduos perigosos ▪ Quantidade produzida de resíduos não perigosos <p>Emissões gasosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade emitida de dióxido de enxofre (SO₂) ▪ Quantidade emitida de óxidos de azoto (NO e NO₂) ▪ Quantidade equivalente de dióxido de carbono (CO₂) emitida (tem em consideração a emissão de CO₂ e de outros gases com efeito de estufa listados no protocolo de Kyoto: metano, óxido nitroso, fluorcarbonetos, perfluorcarbonetos e hexafluoreto de enxofre) ▪ Quantidade emitida de compostos orgânicos voláteis <p>Descargas para a água:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade descarregada de fósforo ▪ Quantidade descarregada de azoto ▪ Quantidade descarregada de matéria orgânica expressa em Carência Química de Oxigénio ▪ Quantidade descarregada de metais (calculada individualmente para As, Cd, Cr, Cu, Pd, Hg, Ni e Zn) <p>Consumo de energia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade consumida de combustíveis fósseis e de electricidade <p>Eficiência energética:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energia por unidade de produto produzido
Segurança na distribuição dos produtos	N.º de acidentes envolvendo produtos químicos ocorridos durante o transporte/ton de produto distribuído

Em cada país, as associações de empresas químicas definem os programas a nível nacional, devendo adoptar como mínimo os indicadores propostos pelo ICCA, mas podendo eventualmente definir indicadores adicionais de modo a reflectir condicionantes específicas locais. Portugal adoptou todos os indicadores principais recomendados pelo ICCA e alguns dos opcionais, como o consumo de água por tonelada de produto (APEQ, 2002). Desde 1993, inúmeras empresas tornam públicos os resultados da aplicação da matriz de indicadores,

evidenciando o seu desempenho. Uma destas aplicações é descrita por Linde (2002). Anualmente, as associações nacionais recolhem e agregam, ao nível do país, a informação reportada por todas as empresas associadas e, por sua vez, o *European Chemical Industry Council* (CEFIC) agrega, ao nível europeu, a informação enviada por todas as associações nacionais, sendo publicados relatórios com os resultados obtidos (CEFIC, 2006b).

Quadro 20 – Sistema de indicadores de desempenho usados na indústria química - indicadores opcionais (CEFIC, 2006a)

Categoria	Indicador
Higiene e segurança no trabalho	N.º de danos em propriedades causados por fogo, derrames de produtos químicos, libertação de gases tóxicos ou explosões
	Gravidade dos acidentes com os trabalhadores (n.º de dias de ausência do trabalho devido a acidente/1 milhão de horas de trabalho)
Protecção ambiental	Emissões gasosas:
	▪ Quantidade emitida de partículas
	▪ Quantidade emitida de metais (calculada individualmente para As, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb e Zn)
	▪ Quantidade emitida de monóxido de carbono (CO)
	Descargas para a água:
	▪ Quantidade descarregada de sólidos suspensos
	▪ Quantidade descarregada de sais solúveis
	▪ Quantidade emitida de compostos organohalogenados adsorvíveis (AOX) e de compostos organoclorados extraíveis (EOCI)
	Consumo de recursos naturais:
	▪ Consumo de água por unidade de produto produzido
Despesas relacionadas com a protecção ambiental:	
▪ Custos de capital relacionados com a protecção ambiental	
▪ Custos correntes relacionados com a protecção ambiental	

Tal como no domínio do abastecimento de água e dos sistemas de águas residuais, a experiência da vasta aplicação do sistema de indicadores da indústria química a unidades industriais em diferentes países com legislação e práticas de higiene e segurança diversas demonstrou a necessidade de uma definição clara e coerente dos indicadores que permita efectuar análises comparativas e agregar a informação, por exemplo, ao nível da empresa, do país ou ao nível europeu.

Outras iniciativas de avaliação de desempenho da indústria química levadas a cabo fora do âmbito da “Actuação Responsável”, como a descrita por Morales *et al.* (2006), focam a sua atenção nos mesmos aspectos de saúde, segurança e protecção ambiental considerados neste programa, mas avaliam, adicionalmente, o rendimento do processo de produção, determinando

razões entre consumo de matérias-primas e quantidade de produto produzida.

2.1.4. Relevância e limitações do estado actual do conhecimento

A avaliação de desempenho através de indicadores é utilizada em muitas áreas do conhecimento, incluindo aquelas relacionadas com a água nas suas diversas vertentes, como são exemplos os indicadores de desempenho ambiental propostos em 1997 em França (IFEN, 1997), os indicadores de desenvolvimento sustentável propostos pela DGA (DGA, 2000), os indicadores da Agência Europeia do Ambiente para avaliação do estado da água na Europa (EEA, 2003), os indicadores da Organização Mundial de Saúde e da Unicef para avaliação do acesso a água potável e saneamento (WHO e UNICEF, 2004) os indicadores para a gestão sustentável de estuários propostos por Silva (2002), além dos anteriormente referidos indicadores para serviços de abastecimento de água e sistemas de águas residuais. Nesta dissertação, apresentou-se o estado da arte relativamente apenas à utilização de sistemas de avaliação de desempenho na indústria da água (serviços de abastecimento de água e serviços de águas residuais), pelo enquadramento próximo do tema da tese, e na indústria química, pela sua similitude com uma ETA. No Quadro 21 apresenta-se uma análise comparativa crítica dos principais sistemas de avaliação apresentados, identificando-se os aspectos relevantes e as suas limitações face aos objectivos da presente tese e na perspectiva da avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano.

Os sistemas de avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água de utilização mais consolidada a nível nacional ou internacional consistem basicamente em sistemas de indicadores de desempenho direccionados para o nível de gestão (IWA, Banco Mundial, *Ofwat*, *Six-Cities Group*, *QualServe* da AWWA e IRAR), não tendo sido, em geral, considerados os aspectos associados a uma análise mais técnica e detalhada da operação. Além disso, o objecto da avaliação é, em geral, a entidade gestora desses serviços, verificando-se que, nos casos em que é feita uma análise por componente do sistema de abastecimento (captação, tratamento,

adução, distribuição), é dada ênfase à componente de distribuição do sistema de abastecimento, sendo a percentagem de indicadores directamente relacionados com o tratamento muito reduzida. Como tal, mesmo quando existem indicadores relativos ao tratamento, nem todos os aspectos relevantes do desempenho global de uma ETA são cobertos. No entanto, estes sistemas de indicadores são robustos, de aplicação consolidada num elevado número de entidades gestoras com características muito diversas e têm preocupações com a qualidade dos dados de base e com o desenvolvimento de ferramentas de cálculo dos indicadores.

Os sistemas de Coelho (1997) e de Cardoso (2007), apesar de contemplarem já aspectos técnicos e de adoptarem uma abordagem metodológica adequada aos objectivos da avaliação de desempenho operacional, não são aplicáveis a ETA, tendo sido desenvolvidos especificamente para redes de distribuição de água e para redes de drenagem de águas residuais, respectivamente.

Os restantes sistemas de avaliação de desempenho (Santana *et al.*, 1996; AWWA *Partnership for Safe Water*; Nunes *et al.*, 2003), apesar de serem aplicáveis a ETA, têm também limitações: não consideram simultaneamente todos os aspectos relevantes do desempenho de uma ETA e da sua sustentabilidade ambiental e económico-financeira, são, em geral, pouco robustos e testados, são pouco flexíveis em termos da possibilidade de adaptação de critérios de avaliação em função dos objectivos específicos da entidade gestora, e, em alguns casos, efectuam uma avaliação apenas qualitativa.

Em face do estado da arte descrito, justifica-se a necessidade de desenvolver uma metodologia objectiva, sistematizada e normalizada de avaliação de desempenho específica para ETA, que possa ser usada de modo sistemático no âmbito da operação e gestão técnica das estações de tratamento. O sistema de avaliação de desempenho a desenvolver deve articular-se e poder ser usado em complemento dos principais sistemas de avaliação nacionais e internacionais já existentes para o sistema de abastecimento. De modo a permitir o apoio à tomada de decisão a diferentes níveis, o sistema deve ser suficientemente abrangente, considerando aspectos globais

do desempenho e aspectos técnicos de operação mais pormenorizados, para que seja possível obter informação de desempenho quer ao nível da ETA, quer ao nível das OPU ou das etapas de tratamento que a constituem. O sistema deve ser suficientemente flexível para possibilitar a sua aplicação a ETA com diferentes características (*e.g.*, dimensão, tipo de tratamento, complexidade tecnológica, inseridas em diferentes contextos), atendendo aos objectivos específicos da avaliação de desempenho em cada caso particular. A aplicação de um tal sistema deve ser facilitada através de ferramentas de cálculo automático das medidas de desempenho nele previstas. Finalmente, o sistema desenvolvido deve ser tornado robusto e consolidado através da sua aplicação a vários casos de estudo (ETA).

Quadro 21 – Análise comparativa dos sistemas de avaliação de desempenho existentes face aos objectivos da tese

Sistema de avaliação de desempenho	Aspectos relevantes	Limitações
Indústria da água		
IWA_Abastecimento de água	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robustez ▪ Aplicação consolidada em EG de águas a nível internacional ▪ Conjunto de domínios de avaliação relevante, considerando todos os aspectos do desempenho ▪ Avaliação da qualidade (fiabilidade, exactidão) dos dados de base ▪ Desenvolvimento de ferramentas de cálculo automático 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA de forma específica (apenas 1 ID em 170 refere-se exclusivamente à ETA: <i>Ph1 – Utilização das estações de tratamento</i>) ▪ Abordagem orientada para avaliação de desempenho a nível de gestão, pelo que não cobre aspectos operacionais
Banco Mundial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robustez ▪ Aplicação consolidada em EG de águas a nível internacional ▪ Disseminação da informação a nível mundial, com livre acesso ▪ Desenvolvimento de ferramentas de cálculo automático 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA (não inclui ID específicos para ETA) ▪ Abordagem orientada para avaliação de desempenho a nível de gestão, pelo que não cobre aspectos operacionais ▪ Não considera aspectos relevantes do desempenho como a utilização do recurso energia
Six-Cities Group	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conjunto de domínios de avaliação relevante, considerando todos os aspectos do desempenho ▪ Aplicação consolidada a um número significativo de EG 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA de forma específica (apenas 3 ID em 35 referem-se exclusivamente a ETA: <i>Custo de reagentes, Custo de O&M relativo à água produzida, Utilização da capacidade instalada de tratamento</i>) ▪ Abordagem orientada para avaliação de desempenho a nível de gestão, pelo que não cobre aspectos operacionais
Ofwat	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicação consolidada em EG de águas a nível nacional (Inglaterra e País de Gales) ▪ Avaliação da qualidade (fiabilidade, exactidão) dos dados de base ▪ Disseminação pública da informação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA (não inclui ID específicos para ETA) ▪ Abordagem orientada para avaliação de desempenho em termos da satisfação do consumidor, pelo que não cobre aspectos da avaliação de desempenho operacional ▪ Não considera aspectos relevantes do desempenho como a utilização do recurso energia
AWWA_QualServe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicação consolidada em EG de águas a nível nacional (EUA) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA de forma específica (apenas 1 ID em 30 se refere exclusivamente à ETA: <i>Taxa de substituição de infra-estruturas</i>) ▪ Abordagem orientada para avaliação de desempenho a nível de gestão, pelo que não cobre aspectos operacionais

Quadro 21 (cont.) – Análise comparativa dos sistemas de avaliação de desempenho existentes face aos objectivos da tese

Sistema de avaliação de desempenho	Aspectos relevantes	Limitações
Indústria da água (cont.)		
IRAR_Abastecimento de água	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicação consolidada em EG de águas a nível nacional (Portugal) ▪ Robustez ▪ Avaliação da qualidade (fiabilidade, exactidão) dos dados de base ▪ Disseminação pública da informação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA de forma específica (apenas 2 ID em 20 referem-se exclusivamente a ETA: AA12 – <i>Utilização das estações de tratamento</i>, AA20 – <i>Destino final das lamas do tratamento</i>) ▪ Abordagem orientada para avaliação de desempenho a nível de gestão, pelo que não cobre aspectos operacionais
Nunes <i>et al.</i> (2003)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cobre ETA ▪ Domínios de avaliação relevantes ▪ Considera alguns aspectos operacionais (<i>e.g.</i>, eficiências de remoção) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não considera aspectos relevantes do desempenho (utilização de recursos humanos, económico-financeiros e energia; segurança) ▪ Abordagem incluindo ETA e rede em alta – associação que deve ser evitada porque frequentemente uma rede é abastecida por mais de uma ETA ▪ Propõe medidas de desempenho que podem ser melhoradas: <ul style="list-style-type: none"> – os ID relativos à rede não devem ser considerados – alguns parâmetros classificados como ID devem ser considerados informação de contexto – a abordagem relativa a eficiências de remoção pode atender às características da água a tratar e às condições de operação
Coelho (1997) Cardoso (2007)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considera aspectos operacionais ▪ Abordagem metodológica baseada em funções de desempenho ▪ Pode ser utilizado como complemento de modelos de simulação 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA ▪ Não considera aspectos relevantes do desempenho global dos sistemas como a utilização dos recursos humanos, económico-financeiros, água e energia, a segurança e a fiabilidade
AWWA <i>Partnership for Safe Water</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Específico para ETA ▪ Considera aspectos operacionais ▪ Aplicação consolidada em EG de águas a nível nacional (EUA) ▪ Conjunto de domínios de avaliação relevante, considerando todos os aspectos do desempenho 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliação qualitativa (com excepção da análise dos valores de turvação em várias etapas do tratamento)
Santana <i>et al.</i> (1996)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Específico para ETA ▪ Considera aspectos operacionais ▪ Domínios de avaliação relevantes ▪ Avalia a qualidade da água tratada e as eficiências de remoção globais (<i>i.e.</i>, entre a entrada e a saída da ETA) - dados mais facilmente disponíveis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não considera aspectos relevantes do desempenho global dos sistemas (utilização dos recursos humanos, económico-financeiros, água, energia e reagentes; segurança; fiabilidade da estação; gestão de subprodutos) ▪ Formalismo de construção dos índices baseia-se em bibliografia, não considerando dados de campo; os critérios para atribuição de classificações não estão fundamentados ▪ Avaliação restrita a determinadas sequências-tipo de tratamento (as que constam do DL n.º 74/90) ▪ Não avalia a qualidade da água entre OPU nem as eficiências de remoção parcelares de cada OPU/etapa, aspectos relevantes para a optimização do tratamento ▪ Não é flexível no sentido de o utilizador poder definir os seus próprios critérios de avaliação, em função dos seus objectivos específicos de operação da ETA ▪ Não foram encontradas referências à sua aplicação a casos reais
Indústria química		
<i>Responsible Care</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robustez ▪ Aplicação consolidada em empresas do sector químico a nível internacional ▪ Domínios de avaliação relevantes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não cobre ETA de forma específica (22 ID do total de 30 poderiam ser aplicados a ETA; os restantes, relativos a emissões gasosas, não são aplicáveis) ▪ Abordagem orientada para avaliação de desempenho a nível de gestão, pelo que não cobre aspectos operacionais

2.2. Tratamento de água para consumo humano

2.2.1. Considerações gerais

Nesta secção apresenta-se o estado da arte relativamente a alguns aspectos do tratamento de água para consumo humano. Decorrente da caracterização da situação nacional apresentada no capítulo 3, contemplam-se as OPU habituais do tratamento convencional de água, com particular incidência em águas de origem superficial. Começa-se por apresentar os principais objectivos das várias OPU e os principais fundamentos relacionados com os aspectos a monitorizar e/ou controlar (secção 2.2.2). De seguida, apresenta-se uma síntese das deficiências usualmente encontradas durante a operação de cada OPU de uma ETA (secção 2.2.3). As questões teóricas e práticas aqui apresentadas servirão de base à identificação dos aspectos que constituem barreiras a uma operação eficiente, ou seja, dos factores limitantes do desempenho. Adicionalmente, permitirão definir os parâmetros de operação a usar na avaliação de desempenho operacional, em particular, na componente de *funcionamento dos órgãos*.

No âmbito desta tese, os *parâmetros de operação* a monitorizar e/ou controlar incluem *parâmetros de qualidade da água* e *parâmetros de processo*. Os *parâmetros de qualidade da água* incluem os parâmetros de qualidade da água que são monitorizados à entrada da OPU e sobre os quais não se pode actuar para melhorar o desempenho da OPU, assim como os parâmetros de qualidade da água monitorizados à saída da OPU. Correspondem, portanto, aos contaminantes que se prevê sejam removidos ou indesejavelmente formados na OPU em questão. Os *parâmetros de processo* são parâmetros sobre os quais se pode actuar para melhorar o desempenho da OPU e para os quais existem gamas de referência correspondentes a situações de desempenho óptimo. Os *parâmetros de processo* incluem, por vezes, parâmetros de qualidade da água sobre os quais é possível actuar (*e.g.*, pH, alcalinidade).

2.2.2. Operações e processos unitários em estações de tratamento de água – objectivos, monitorização e controlo

2.2.2.1. Coagulação

A coagulação destina-se a desestabilizar partículas de reduzida dimensão não sedimentáveis (coloidais, hidrófobas, usualmente com carga eléctrica superficial negativa) de modo a aumentar a tendência para se agregarem umas às outras e a superfícies (como o meio de enchimento de um filtro). Assim, esta OPU é usada na remoção de matéria particulada (*e.g.*, partículas de sílica, vírus, bactérias, cistos e oocistos de protozoários patogénicos). Além disso, contribui para a remoção de espécies dissolvidas (*e.g.*, NOM, ferro, manganês, microcontaminantes orgânicos, dureza) que estão adsorvidas às partículas presentes na água bruta ou que são adsorvidas ou precipitadas durante a coagulação. Finalmente, actua também na remoção de cor (que é devida à presença na água de hidróxidos metálicos coloidais, NOM, etc.) (WRc, 1997; AWWA, 1999; Twort *et al.*, 2000). De referir que a tradicional preocupação de remoção de partículas nas etapas iniciais do tratamento de modo a não haver uma redução da eficácia da desinfecção final da água (conceito de barreiras múltiplas) está, actualmente, a ser acompanhada pela preocupação de remoção de NOM para minimização da formação de subprodutos de desinfecção. Ou seja, a optimização da coagulação é feita agora não só para se maximizar a remoção de turvação, mas também para se maximizar a remoção de NOM.

O **pH** é um parâmetro operacional de extrema importância na optimização da coagulação. O pH mínimo da gama habitualmente usada na coagulação é o pH ao qual ocorre a hidrólise do coagulante e esta gama inclui o pH de solubilidade mínima dos produtos de hidrólise. O pH óptimo corresponde ao valor que maximiza a desestabilização e agregação de partículas e NOM e que minimiza a dose de coagulante e o seu residual na água tratada. Quando o coagulante é um sal de ferro, o pH de coagulação é superior a 5 (pH de solubilidade mínima do hidróxido férrico: 8,0 a 25°C; gama usual: 6-8) e, no caso de sais de alumínio, encontra-se na gama 5,8 - 7,2 (pH de

solubilidade mínima do hidróxido de alumínio: 6,3 a 25°C) (Degrémont, 1989; Droste, 1997; AWWA, 1999; Twort *et al.*, 2000; Gebbie, 2005). Para a coagulação de NOM, usa-se a *enhanced coagulation*, na qual se doseia um excesso de coagulante ao pH ideal de 4,5 e 5 para sais de ferro e alumínio, respectivamente (AWWA, 1999; Twort *et al.*, 2000). Portanto, as condições que proporcionam uma remoção máxima de NOM não são as mesmas que favorecem uma remoção máxima de turvação e muitas ETA operam em gamas mais baixas de pH (5,0-5,5) de modo a favorecerem a remoção de NOM (AWWA, 2000). Uma vez que o pH óptimo de coagulação depende da qualidade da água a coagular, este valor deve ser determinado em laboratório (*e.g.*, através de testes *batch* de bancada) para cada ETA e deve ser actualizado caso as características da água a coagular se alterem.

A reacção de hidrólise do coagulante consome espécies que conferem **alcalinidade** à água e, caso estas não existam naturalmente na água a tratar, são adicionadas no tratamento antes do coagulante monomérico (*e.g.*, na forma de cal ou carbonato de cálcio) ou em simultâneo com o coagulante (*e.g.*, usando policloreto de alumínio e/ou ferro) para se conseguirem condições que maximizam a coagulação. Se for usada uma dose de coagulante superior à alcalinidade disponível, nem todo o coagulante reage originando elevados residuais na água tratada e eventualmente problemas de precipitação na fase final de ajuste do pH (AWWA, 2000). Assim, é necessário controlar este parâmetro para se ter uma coagulação óptima, ou seja, a alcalinidade é um parâmetro de operação relevante desta OPU, em especial, quando se usam coagulantes monoméricos de alumínio ou ferro. Cada mg/L de sulfato de alumínio consome 0,5 mg CaCO₃/L de alcalinidade e cada mg/L de cloreto férrico consome 0,93 mg CaCO₃/L de alcalinidade (AWWA, 2000). Os coagulantes pré-hidrolisados (*e.g.*, policloreto de alumínio e/ou ferro) já não exigem esta adição de alcalinidade, pelo que, nesse caso, a alcalinidade não é um parâmetro de operação tão relevante na coagulação.

De acordo com a teoria da dupla camada eléctrica, uma partícula coloidal tem, em geral, carga

negativa e, caso existam em solução íões positivos, forma-se uma camada de carga positiva em torno da partícula que, por sua vez, é rodeada por uma segunda camada difusa na qual existe um gradiente de concentração de íões positivos. Na zona de separação das duas camadas existe um potencial designado por **potencial zeta** que dá uma medida das forças de repulsão entre partículas. Na coagulação, um dos mecanismos de desestabilização das partículas coloidais é a neutralização de cargas, que diminui a repulsão entre partículas, permitindo a sua atracção e agregação. Verifica-se, portanto, que quando o potencial zeta se anula, a coagulação é máxima (AWWA, 2000; 2003). Apesar de vários autores referirem que as medições do potencial zeta são úteis no controlo da adição de coagulantes (por análise da água coagulada de modo a verificar se a dose de coagulante originou o potencial zeta adequado) (Degrémont, 1989; AWWA, 2003; Quadro 22), este parâmetro não teve até hoje uma utilização generalizada na rotina da operação de ETA devido à morosidade das determinações, à incoerência de resultados e à dificuldade na sua interpretação (AWWA, 2000). Além disso, quando o mecanismo de desestabilização predominante é a coagulação por arrastamento nos flocos do coagulante (*sweep coagulation*) e não a neutralização de cargas, o potencial zeta não dá nenhuma indicação da dose de coagulante a partir da qual se começa a ter agregação de partículas. Assim, o potencial zeta não tem sido considerado como um parâmetro de operação nesta OPU, sendo utilizado sobretudo em testes laboratoriais de determinação das condições óptimas de coagulação nos quais é analisado conjuntamente com dados de residuais de turvação, de alumínio e de outros parâmetros a remover (AWWA, 2000).

Quadro 22 – Grau de coagulação em função do potencial zeta (AWWA, 2003)

Potencial zeta	Grau de coagulação
+3 a 0	Máximo
-1 a -4	Excelente
-5 a -10	Razoável
-11 a -20	Fraco
-21 a -31	Quase nulo

A **dose de coagulante** necessária para desestabilização das partículas depende da qualidade da

água a tratar (em particular, da concentração dos contaminantes a coagular, temperatura, pH e alcalinidade da água), do tipo de coagulante usado e do tipo de floco que se pretende obter na floculação (que, por sua vez, é função do tipo de tratamento a jusante da floculação – filtração directa, remoção de flocos por sedimentação ou remoção de flocos por flutuação). Existe uma dose óptima que resulta na desestabilização máxima, ou seja, que é uma condição necessária para que o desempenho desta OPU seja elevado. A dose óptima corresponde à quantidade necessária para neutralizar todas as cargas das partículas coloidais (mecanismo de neutralização de cargas), para se ligar aos sítios activos das partículas (mecanismo de formação de pontes químicas) ou para precipitar a quantidade de coagulante suficiente para que os flocos assim produzidos sejam capazes de arrastar as espécies que conferem turvação à água (*sweep coagulation*). Caso seja doseada uma concentração inferior ao óptimo nem todas as partículas são desestabilizadas, diminuindo o desempenho uma vez que as partículas que não reagiram passam as etapas de tratamento a jusante, surgindo na água tratada. Por outro lado, a sobredosagem de coagulante pode originar a re-estabilização da suspensão que não será removida a jusante, surgindo também na água tratada (na *enhanced coagulation* trabalha-se intencionalmente com doses elevadas, podendo haver perdas de eficiência de remoção de turvação face à coagulação convencional, embora se propiciem condições de remoção de partículas por *sweep coagulation*). Além disso, resultam, neste caso, uma produção excessiva de lamas e elevados residuais de coagulante na água tratada (coagulante em excesso que não reagiu).

A Figura 7 mostra que, para águas de tipo 1 (elevada turvação e baixa alcalinidade), concentrações relativamente baixas de coagulante conseguem a coagulação por neutralização de cargas e existe apenas uma zona de coagulação óptima, sendo, portanto, necessário usar uma dose de coagulante suficiente para que se atinja essa zona (zona 2). Como a concentração de colóides é elevada, a dose que originaria a inversão de carga e a re-estabilização é também

elevada (não observável na figura). Em águas de tipo 2 (elevada turvação, elevada alcalinidade) existe uma primeira zona de coagulação (zona 2) onde actua o mecanismo de neutralização de cargas. Se a dose de coagulante aumentar, ocorre a inversão de carga e deixa de haver coagulação (zona 3). Para doses superiores, ocorre a formação de precipitado (e.g., $Al(OH)_3$) e a coagulação ocorre novamente por arrastamento dos colóides pelos flocos (zona 4). No caso de águas tipo 3 e 4 (baixa turvação) existe somente coagulação por arrastamento (*sweep coagulation*) (zona 4).

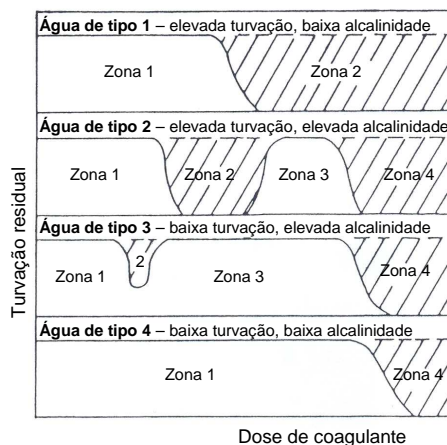


Figura 7 – Zonas de coagulação óptima para águas de vários tipos (adaptado de AWWA, 1999)

A dose de coagulante (e o pH da água) que proporciona a melhor coagulação é determinada através de ensaios laboratoriais (*jar tests*) para cada ETA e deve ser actualizada sempre que as características da água a tratar se alterem.

O objectivo principal da mistura rápida é dispersar o coagulante na massa de água de forma muito rápida e uniforme. Para que o objectivo seja atingido é necessário que exista uma agitação rápida e vigorosa da água a tratar e que os reagentes sejam adicionados na zona de maior turbulência.

A turbulência e o grau de mistura criados no ponto de adição do coagulante são medidos pela intensidade de mistura ou **gradiente de velocidade** médio (G), que, independentemente do tipo de misturador usado (hidráulico ou mecânico), é definido de acordo com a equação (2) (WRC,

1997; AWWA, 1999):

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}} \quad (2)$$

em que:

G: gradiente de velocidade médio (s^{-1});

P: potência dissipada para agitar o volume de água V (W, *i.e.*, N.m/s);

V: volume de água agitada (volume útil da câmara de mistura) (m^3);

μ : viscosidade absoluta da água ($N.s/m^2$).

Uma vez que a velocidade e a frequência de choque entre espécies que reagem é proporcional à turbulência e, conseqüentemente, ao gradiente de velocidade, para uma coagulação eficiente os valores de G devem ser superiores a determinados valores mínimos. Contudo, o G não pode ser aumentado sem limite uma vez que, para além dos custos energéticos associados, para intensidades de mistura excessivas pode ocorrer a destruição dos flocos iniciais já formados (ASCE, 1990). Assim, para uma coagulação eficiente, G deve situar-se numa gama óptima. O Quadro 23 apresenta as gamas recomendadas por diversos autores. Alguns autores sugerem a verificação individual dos valores óptimos de G e do tempo de retenção (t), mas outros definem adicionalmente critérios a verificar pelo **Número de Camp** ($G \times t$) (Quadro 23).

No caso de misturadores hidráulicos, como o ressalto hidráulico ou o canal Parshall, alguns autores referem o **Número de Froude** e a **altura de queda** como parâmetros de operação que avaliam a qualidade da mistura. O Quadro 23 apresenta os valores recomendados.

Para cada ETA, dentro destas gamas recomendadas, devem ser determinadas as condições óptimas de mistura (G e tempo de mistura) específicas através de ensaios laboratoriais (*jar tests*), uma vez que os tempos de reacção dependem das características da água a tratar e dos reagentes usados em cada caso.

Quando são usados sais metálicos como coagulantes, as reacções químicas que ocorrem nesta OPU (Figura 8), como a reacção de hidrólise do coagulante, estão completas em menos de 7 segundos (Swartz, 2000; Twort *et al.*, 2000). Como tal, caso predomine o mecanismo de coagulação por neutralização de cargas, é essencial para um bom desempenho na coagulação que

a mistura do coagulante permita que o contacto entre as partículas e os produtos de hidrólise mais simples (*e.g.*, AlOH^{2+}) ocorra antes da formação do hidróxido metálico (*e.g.*, Al(OH)_3 sólido). Uma vez que estes produtos de hidrólise se formam em menos de 1 segundo (Droste, 1997; AWWA, 1999), a intensidade de mistura no primeiro segundo deve ser suficientemente elevada para colocar em contacto os produtos de hidrólise e as partículas a coagular. No caso da coagulação por arrastamento (*sweep coagulation*), uma vez que o hidróxido metálico se forma em 1-7 s (AWWA, 1999), não é tão crucial garantir mistura eficiente logo nos primeiros instantes, sendo mais importante otimizar a etapa de floculação a jusante (Droste, 1997). Por outras palavras, a intensidade de mistura é crítica quando o mecanismo predominante é a neutralização de cargas, enquanto que para a *sweep coagulation* este parâmetro é menos relevante, devendo limitar-se a permitir uma distribuição homogénea do coagulante na massa de água. No primeiro caso, os valores óptimos do gradiente de velocidade referidos na bibliografia variam, em geral, entre 700 s^{-1} e 2.000 s^{-1} (Quadro 23), havendo autores que referem valores até 7.000 s^{-1} (Vargas, 2004; Di Bernardo e Dantas, 2005).

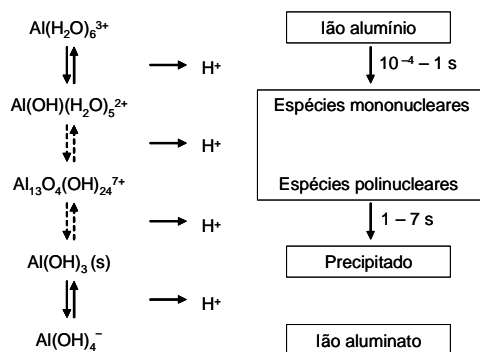


Figura 8 – Produtos de hidrólise do sulfato de alumínio (adaptado de AWWA, 1999)

Tempos da ordem de minutos são referidos por Bolto e Gregory (2007) como necessários para se estabelecer o equilíbrio de adsorção de polímeros orgânicos às partículas a coagular/flocular em águas de baixa turvação e tempos inferiores a 1 s em águas de turvação elevada. Também neste caso é essencial uma primeira etapa de mistura em condições que impeçam a formação de zonas localizadas de concentração em excesso de polímero que originam adsorção não uniforme e,

eventualmente, a re-estabilização de algumas partículas. No entanto, não é crucial a existência de valores de intensidade de mistura tão elevados como no caso de coagulantes inorgânicos (Sanks, 1978) uma vez que não há necessidade de rápido contacto com produtos intermediários de hidrólise, tendo sido recomendados gradientes de velocidade de 400 a 800 s⁻¹ e tempos de retenção de 30 a 60 s (Quadro 23). Para polímeros de baixo peso molecular, os valores de G situam-se na gama 300-650 s⁻¹ (Quadro 23).

Resumindo o exposto nesta secção, o desempenho da coagulação é função da qualidade da água a coagular, do tipo e dose de coagulante usado e de parâmetros de operação do processo como as condições de mistura (intensidade de mistura e tempo durante o qual se deve aplicar essa intensidade de mistura à água). No Quadro 23 sintetizam-se as gamas de valores óptimos recomendados na bibliografia para os parâmetros de operação identificados no texto.

Quadro 23 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da mistura rápida

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Dose de coagulante	Dose óptima determinada em <i>jar test</i> e verificada à escala real	
pH da água a coagular	5,8-7,2 (coagulante: sal de alumínio; objectivo: remoção de turvação) 6-8 (coagulante: sal de ferro; objectivo: remoção de turvação) 5 (coagulante: sal de alumínio; objectivo: remoção de NOM por <i>enhanced coagulation</i>) 4,5 (coagulante: sal de ferro; objectivo: remoção de NOM por <i>enhanced coagulation</i>)	Degrémont, 1989; Droste, 1997; AWWA, 1999; Gebbie, 2005
Alcalinidade da água a coagular	1 mg/L de sulfato de alumínio adicionado consome 0,5 mg CaCO ₃ /L 1 mg/L de cloreto férrico adicionado consome 0,93 mg CaCO ₃ /L	AWWA, 2000 AWWA, 2000
Potencial zeta	+3 a 0: coagulação máxima -1 a -4: coagulação excelente -5 a -10: coagulação razoável -11 a -20: coagulação má -21 a -30: coagulação praticamente inexistente	AWWA, 2003
Gradiente de velocidade, G (s ⁻¹)	400-1.000 600-1.000 1.000 500-2.000 (misturadores mecânicos) 300-600 (misturadores mecânicos ¹) 700-1.000 (misturadores mecânicos ¹) 1.000 (misturadores hidráulicos) 800-1.000 (misturadores hidráulicos) 3.000-5.000 (misturadores em linha; coagulação por adsorção/neutralização de cargas) 3.000-7.000 (coagulação por adsorção/neutralização de cargas) 500-1.200 (<i>sweep coagulation</i>) 300-800 (polímeros orgânicos)	Degrémont, 1989 ASCE, 1990 WRc, 1997 MDE, 2000 Twort <i>et al.</i> , 2000 Vargas, 2004 MDE, 2000 Twort <i>et al.</i> , 2000 Vargas, 2004 Di Bernardo e Dantas, 2005 Di Bernardo e Dantas, 2005 Vargas, 2004

¹ câmara com agitador mecânico de turbina ou hélice; ² aplicável a misturadores hidráulicos tipo ressalto hidráulico ou canal Parshall

Quadro 23 (cont.) – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da mistura rápida

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Tempo de mistura, t (s)	1	WRc, 1997
	20-30 (misturadores mecânicos ¹)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	2-3 (misturadores hidráulicos)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	< 5 (coagulação por adsorção/neutralização de cargas)	Di Bernardo e Dantas, 2005
	< 60 (<i>sweep coagulation</i>)	Di Bernardo e Dantas, 2005
N.º de Camp, G x t	30-60 (polímeros orgânicos)	Vargas, 2004
	30-60 (polímeros orgânicos catiónicos)	Di Bernardo e Dantas, 2005
Altura da queda ² (m)	1.000-2.000	ASCE, 1990
	500-1.600	Kawamura, 2000
N.º de Froude ²	0,2-0,3	WRc, 1997
	0,3-0,4	Twort <i>et al.</i> , 2000
	0,1-0,15	WHO, 2001
	4,5-9,0 (ideal); 1,7-2,5 (aceitável)	Richter e Netto, 1991; MDE, 2000

¹câmara com agitador mecânico de turbina ou hélice; ²aplicável a misturadores hidráulicos tipo ressalto hidráulico ou canal Parshall

2.2.2.2. Floculação

A agitação lenta da água, em geral, numa câmara de mistura onde ocorre a floculação favorece as colisões entre as partículas desestabilizadas na coagulação para que se formem e cresçam flocos. O objectivo da floculação é a formação de partículas de dimensões e densidade adequadas para que sedimentem nos decantadores, flutuem nas câmaras de flutuação e/ou sejam retidas nos filtros situados a jusante na linha de tratamento. A filtração directa está normalmente associada a flocos pequenos e densos, enquanto que flocos densos e maiores sedimentam melhor (ASCE, 1990).

A energia a fornecer na floculação (medida através do **gradiente de velocidade**, equação (2)) deve ser suficiente para que exista contacto entre as partículas coaguladas e ocorra crescimento do floco, e para que não haja sedimentação de flocos no floculador. Uma vez que as colisões aumentam com o aumento da energia fornecida à água, a velocidade inicial de crescimento do floco é proporcional ao gradiente de velocidade, ou seja, o crescimento do floco pode ser acelerado aumentando o G. No entanto, G não deve exceder um valor máximo a partir do qual pode ocorrer a ruptura dos flocos já formados. Vários estudos mostraram que o tamanho máximo dos flocos varia inversamente com G. Assim, o gradiente de velocidade deve situar-se em determinada gama para que se tenha um bom desempenho na floculação. Dentro das gamas apresentadas no Quadro 24, verifica-se que a formação de flocos a remover por filtração directa

deve ocorrer com G mais elevados, pois os flocos assim desenvolvidos são mais densos e de menor dimensão (Kawamura, 2000). A formação de flocos a remover por decantação necessita de G inferiores, que originam flocos com maior dimensão (ASCE, 1990; Kawamura, 2000). Caso o floculador possua vários compartimentos, o G deve diminuir faseadamente (diferenças de cerca de 20 s^{-1}) assumindo valores mais elevados na primeira câmara (onde se pretende favorecer o crescimento inicial de flocos densos) e valores mais baixos na última (onde se pretende evitar a ruptura dos flocos já com maior dimensão) (Kawamura, 2000).

O **tempo de retenção** nos tanques de floculação é outro parâmetro de operação importante, uma vez que determina o tempo durante o qual as partículas estão sujeitas ao gradiente de velocidade. O Quadro 24 apresenta as gamas óptimas reportadas na bibliografia, e que são determinadas pela necessidade de ser proporcionado um tempo de reacção suficiente para que os flocos cresçam (valor mínimo de tempo de retenção) e pela necessidade de não se verificarem tempos de permanência demasiado longos que poderiam originar a ruptura dos flocos (valor máximo de tempo de retenção). A formação de flocos a remover por decantação deve ocorrer com tempos de retenção mais elevados e a formação de flocos a remover por filtração directa necessita de tempos de retenção inferiores (ASCE, 1990). Os tempos aqui apresentados referem-se ao tempo total na floculação e corresponde à soma dos tempos de retenção em cada um dos compartimentos em série que constituem o floculador.

Alguns autores sugerem a verificação individual dos valores óptimos de G e do tempo de retenção (t), mas outros definem também critérios a verificar pelo **Número de Camp** ($G \times t$) (Quadro 24).

A **velocidade periférica das pás** de agitadores mecânicos é também considerada como um parâmetro a controlar (ASCE, 1990; Richter e Netto, 1991; 2000), não devendo ser demasiado elevada de modo a não originar forças de atrito significativas que destruam os flocos (Quadro 24). Pela mesma razão, no caso de misturadores hidráulicos, WRC (1997), Twort (2000) e MDE

(2000) recomendam que a **velocidade nos canais** entre chicanas seja usada como parâmetro de operação (Quadro 24).

Tal como na mistura rápida, cada ETA deverá encontrar os valores óptimos de G e de tempo de floculação para o seu caso (através de *jar tests*), uma vez que estes dependem da qualidade da água a tratar e da operação de separação sólido-líquido instalada a jusante (decantação, flutuação ou filtração) para a remoção dos flocos.

Por vezes são utilizados floculantes (polielectrólitos neutros ou aniónicos) para estimular o crescimento dos flocos e/ou neutralizar o excesso de carga positiva do coagulante. Tal como no caso do coagulante, a **dose de floculante** é um parâmetro de operação a controlar, existindo uma dose óptima que permite obter o melhor desempenho na floculação. Esta dose, em conjunto com a optimização do valor do pH e da dose e tipo de coagulante, é determinada através de ensaios laboratoriais (*jar tests*) para cada ETA e deve ser actualizada sempre que as características da água a tratar se alterem.

No Quadro 24 resumem-se as gamas de valores óptimos recomendados na bibliografia para os parâmetros de operação habitualmente usados nas ETA para a monitorização e controlo da floculação de águas superficiais.

2.2.2.3. Decantação

A decantação é um processo de separação sólido-líquido que tem como objectivo a remoção de matéria em suspensão na água por sedimentação dos flocos naturalmente presentes na água ou formados na floculação ou de partículas individuais não floculadas mas que possuem maior sedimentabilidade (*e.g.*, areia).

Assim, um maior desempenho da decantação corresponde ao cumprimento de objectivos para valores de turvação mínimos na água decantada e a elevadas remoções de partículas da água floculada. Um bom desempenho da coagulação/floculação é essencial para um bom desempenho

da decantação. De acordo com AWWA (2001), uma operação eficaz de um decantador permite obter turvações inferiores, em média, a 1 UNT (máximo de 5 UNT) na água decantada. Estes critérios são usados no programa nacional de avaliação de ETA da AWWA (*Partnership for Safe Water*) descrito no capítulo 2 desta tese (AWWA *et al.*, 2004a; 2004b). No Quadro 25, no Quadro 26 e no Quadro 27 indicam-se critérios de outras fontes bibliográficas para a turvação.

Quadro 24 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da floculação

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Gradiente de velocidade, G (s ⁻¹)	20-100	WRc, 1997
	100	Degrémont, 1989
	20-100	Twort <i>et al.</i> , 2000
	20-70	ASCE, 1990; Swartz, 2000; Vargas, 2004
	10-60 (decantação a jusante)	ASCE, 1990; Droste, 1997
	30-70 (decantação a jusante)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	20-75 (filtração directa)	ASCE, 1990
	100 (filtração directa)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	50-70 (DAF a jusante)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	10-70 (misturadores mecânicos)	Richter e Netto, 1991; MDE, 2000; Di Bernardo e Dantas, 2005
	10-50 (misturadores mecânicos eixo vertical)	Kawamura, 2000
	10-70 (misturadores mecânicos eixo horizontal)	Kawamura, 2000
	10-100 (misturadores hidráulicos ¹)	Sanks, 1978
	10-50 (misturadores hidráulicos ¹)	Kawamura, 2000
	20-70 (misturadores hidráulicos)	MDE, 2000
10-50 (misturadores hidráulicos)	Di Bernardo e Dantas, 2005	
Tempo de mistura, t (min)	10-30	ASCE, 1990; Swartz, 2000; Vargas, 2004
	15-45	Droste, 1997
	10-40	WRc, 1997; Twort <i>et al.</i> , 2000
	18-25 (decantação a jusante)	ASCE, 1990
	20-40 (decantação a jusante)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	15-25 (filtração directa)	ASCE, 1990
	10 (filtração directa)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	15-20 (DAF a jusante)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	30-40 (misturadores mecânicos)	Richter e Netto, 1991
	30-40 (misturadores mecânicos eixo vertical)	Kawamura, 2000
	20-40 (misturadores mecânicos eixo horizontal)	Kawamura, 2000
	20-60 (misturadores mecânicos)	Di Bernardo e Dantas, 2005
	30-45 (misturadores hidráulicos ¹)	Kawamura, 2000
	20-30 (misturadores hidráulicos)	MDE, 2000
	20-40 (misturadores mecânicos)	MDE, 2000
5-30 (misturadores hidráulicos)	Di Bernardo e Dantas, 2005	
Número de Camp, G x t	10.000-100.000	Sanks, 1978; Droste, 1997
	20.000-200.000	Kawamura, 2000; Twort <i>et al.</i> , 2000
	30.000-60.000 (decantação a jusante)	ASCE, 1990
	40.000-75.000 (filtração directa)	ASCE, 1990
	15.000-80.000 (misturadores mecânicos)	Di Bernardo e Dantas, 2005
	6.000-40.000 (misturadores hidráulicos)	Di Bernardo e Dantas, 2005
Velocidade periférica das pás (misturadores mecânicos) (m/s)	0,6-1,2	Richter e Netto, 1991
	< 3 (floculadores de elevada energia)	ASCE, 1990; MDE, 2000
	0,3-0,75 (floculadores de baixa energia)	ASCE, 1990; MDE, 2000
Velocidade nos canais entre chicanas (misturadores hidráulicos ¹) (m/s)	0,2-0,3	WRc, 1997; Twort <i>et al.</i> , 2000
	0,2-0,6	MDE, 2000

¹ câmara de chicanas

Os mecanismos que governam a eficiência da separação sólido-líquido na decantação dependem

do tipo e concentração de partículas e originam quatro tipos de decantação:

- decantação tipo 1 (sedimentação de partículas discretas),
- decantação tipo 2 (decantação acelerada),
- decantação tipo 3 (decantação retardada ou zonada),
- decantação tipo 4 (decantação por compressão).

Num decantador convencional de fluxo horizontal e num decantador lamelar predomina a decantação tipo 1 e tipo 2. A decantação tipo 3 predomina nos decantadores de manto de lamas e a decantação tipo 4 ocorre nas camadas profundas dos decantadores convencionais, lamelares e de manto de lamas.

Decantação convencional e acelerada

Num decantador convencional de fluxo horizontal removem-se (sedimentam) todas as partículas discretas que possuem uma velocidade de sedimentação v_t maior do que a carga hidráulica superficial – decantação tipo 1. As partículas que possuem velocidade inferior são removidas somente se entrarem no decantador a uma altura inferior à altura máxima da água, sendo a sua remoção proporcional à razão v_t /carga hidráulica. Nesta operação unitária verifica-se que a remoção de partículas é máxima para baixos valores de **carga hidráulica** e vai diminuindo quando esta aumenta. Neste tipo de decantação, a velocidade terminal das partículas v_t depende apenas das características da partícula (diâmetro e densidade) e da água (densidade e viscosidade), sendo independente da profundidade do tanque e do tempo de retenção. Em consequência, a eficiência de remoção de partículas é também independente destes parâmetros (Droste, 1997; AWWA, 1999; Kawamura, 2000).

Na decantação tipo 2 (sedimentação de partículas floculentas), a probabilidade de as partículas floculentas colidirem e coalescerem – aumentando de diâmetro e, conseqüentemente, de velocidade de sedimentação – aumenta com a profundidade do decantador convencional de fluxo horizontal. A eficiência de clarificação depende, portanto, da profundidade do decantador, além das características das partículas e da água. Verifica-se que, neste tipo de decantação, o

desempenho (traduzido por uma maior remoção de partículas) diminui com a **carga hidráulica**³ e aumenta com o **tempo de retenção** da água no decantador (Droste, 1997; WRc, 1997; AWWA, 1999; Kawamura, 2000).

A instalação de lamelas inclinadas ou de módulos tubulares em decantadores convencionais – decantação acelerada – permite aumentar o seu desempenho, uma vez que se aumenta a área superficial eficaz. No decantador lamelar a eficiência de remoção de sólidos está directamente relacionada com a **carga hidráulica**³, do mesmo modo que na decantação convencional. Para iguais valores de remoção de sólidos, as **cargas hidráulicas superficiais**³ máximas recomendadas (Quadro 26) para decantadores lamelares são superiores às dos decantadores convencionais, o que permite tratar caudais superiores e/ou ocupar áreas inferiores (WRc, 1997; Kawamura, 2000).

A água que sai do decantador deve ser recolhida de modo uniforme ao longo de todo o descarregador e evitando velocidades elevadas de aproximação aos dispositivos de saída, que provocariam turbulência no seio da água dentro do tanque, o que poderia originar a ressuspensão de sólidos já sedimentados e o seu arrastamento com a água decantada. A velocidade de descarga não uniforme origina também curto-circuito hidráulico, o que corresponde a um menor desempenho hidráulico do decantador. A verificação de algumas disposições construtivas (ASCE, 1990; WRc, 1997; Twort *et al.*, 2000) garante a uniformidade da distribuição da água decantada. Além disso, a **taxa de descarga por metro de caleira**³ deve ser limitada superiormente de acordo com os valores máximos do Quadro 25 e do Quadro 26.

De acordo com WRc (1997) tanto na decantação convencional como na decantação acelerada, o desempenho diminui com uma insuficiente remoção de lamas. A acumulação excessiva de sólidos no fundo do decantador, devido a uma insuficiente remoção de lamas, pode originar uma diminuição da qualidade da água decantada por possibilitar a ressuspensão de sólidos já

³ Fórmula de cálculo no Anexo 3.

sedimentados e a criação de condições hidráulicas desfavoráveis dentro do tanque. Assim, a **frequência de remoção de lamas** deve ter um valor superior aos mínimos recomendados no Quadro 25. O valor adequado deve ser determinado, caso a caso, atendendo à concentração e quantidade de lamas removidas e à sua textura e cheiro que se relacionam com o estado de degradação.

Na bibliografia encontram-se valores ótimos para o tempo de retenção no decantador (Quadro 25 e Quadro 26) porque se reconhece que um maior tempo de retenção favorece a sedimentação de partículas flocculentas. No entanto, devido à frequente existência de curto-circuito hidráulico, diversos autores defendem que o **tempo de retenção** no decantador não deve ser usado para o dimensionamento, nem para o controlo da operação, devendo ser usada preferencialmente a taxa de descarga na caleira ou a carga hidráulica (Sanks, 1978; ASCE, 1990; Swartz, 2000; AWWA, 2003). Apesar de, usualmente, não serem considerados parâmetros de operação de decantadores, alguns autores propõem valores ótimos para o **número de Reynolds** e para o **número de Froude** (Quadro 25, Quadro 26) de modo a garantir que não existem condições de grande turbulência e propícias à ocorrência de curto-circuito hidráulico no tanque⁴.

Devido às correntes, ao curto-circuito hidráulico e às inversões locais do fluxo de água, a **velocidade longitudinal** média difere da velocidade em vários pontos do tanque. Como tal, a velocidade longitudinal não é um parâmetro fiável para operação de decantadores (Sanks, 1978; ASCE, 1990).

A **carga de sólidos** afluente ao decantador é limitante do desempenho do decantador somente quando se tratam suspensões flocculadas que possuem concentrações de sólidos superiores a 3.000 mg/L (Sanks, 1978). De acordo com ASCE (1990), a carga de sólidos só é um parâmetro de operação a considerar no caso de decantação de lamas activadas, não sendo controlado em

⁴ Valores elevados de Re indicam condições de grande turbulência. A ocorrência de curto-circuito hidráulico é desfavorecida se Fr for elevado.

tratamento de água para consumo humano, onde as suspensões não atingem os 1.000 mg/L de sólidos. Em geral, decantadores convencionais com cargas hidráulicas inferiores a 0,2 m/h apresentam bom desempenho para cargas de sólidos até 10,3 kg/(m².dia) e 6,1 kg/(m².dia) aplicadas a decantadores rectangulares e circulares, respectivamente (ASCE, 1990).

Em conclusão, a **carga hidráulica** é o parâmetro de operação mais importante em decantação convencional e acelerada (onde predominam os tipos de sedimentação 1 e 2), devendo ser mantida abaixo dos valores indicados no Quadro 25 e no Quadro 26 para que o desempenho seja máximo. Estes valores admitem que a entrada e saída da água no decantador se fazem de forma homogénea. De acordo com ASCE (1990) e por uma questão de segurança em termos do desempenho dos decantadores, a carga hidráulica em ETA de pequenas dimensões deve ser 15-20% inferior à carga hidráulica recomendada para grandes estações.

Decantação com manto de lamas

Em suspensões com concentrações muito elevadas de sólidos (> 500 mg/L) a sedimentação de uma partícula é retardada pelas partículas vizinhas. Neste tipo de decantação (tipo 3 - sedimentação retardada) removem-se todas as partículas que possuem uma velocidade de sedimentação superior à carga hidráulica superficial. Esta velocidade de sedimentação é a velocidade de assentamento da suspensão como um todo (determinada em ensaios laboratoriais de coluna). A suspensão sedimenta por acção da gravidade e do transporte de massa devido à remoção de lamas pelo fundo. Assim, o fluxo mássico total de sólidos no tanque (quantidade de sólidos que sedimenta por unidade de área e de tempo) é a soma do fluxo devido à gravidade e do fluxo de fundo (Degrémont, 1989; Droste, 1997; AWWA, 1999). O fluxo total de sólidos varia com a concentração da suspensão a decantar e com a carga hidráulica do modo apresentado na Figura 9. Como se pode observar nesta figura, a qualidade da água decantada piora (ponto A) quando a concentração de sólidos no manto de lamas (ponto B) diminui até valores inferiores à concentração correspondente ao fluxo máximo de sólidos (ponto C) (AWWA, 1999). Do mesmo

modo, não se consegue uma melhoria significativa na turvação da água decantada com o aumento da concentração de sólidos no manto acima do valor correspondente ao fluxo máximo (esquerda dos pontos A e B) (AWWA, 1999). Existe, portanto, uma gama de concentração de sólidos no manto para a qual o fluxo mássico é máximo e uma gama de carga hidráulica para a qual o fluxo mássico é máximo. Atendendo ao objectivo da decantação (máxima remoção de sólidos em suspensão), um desempenho óptimo desta OPU está associado à obtenção de um fluxo de sólidos total máximo e, portanto, a gamas óptimas de **concentração do manto de lamas** e de **carga hidráulica**. Estes são os dois parâmetros operacionais mais importantes para controlo da operação e para avaliação do desempenho da decantação com manto de lamas. O Quadro 27 apresenta valores recomendados na bibliografia para estes parâmetros. Uma vez que os valores óptimos dependem das características da água floculada, cada ETA deve determinar as condições óptimas (concentração do manto de lamas e carga hidráulica) para o seu caso específico, estudando o fluxo de sólidos em ensaios laboratoriais de sedimentação de amostras do manto de lamas em proveta.

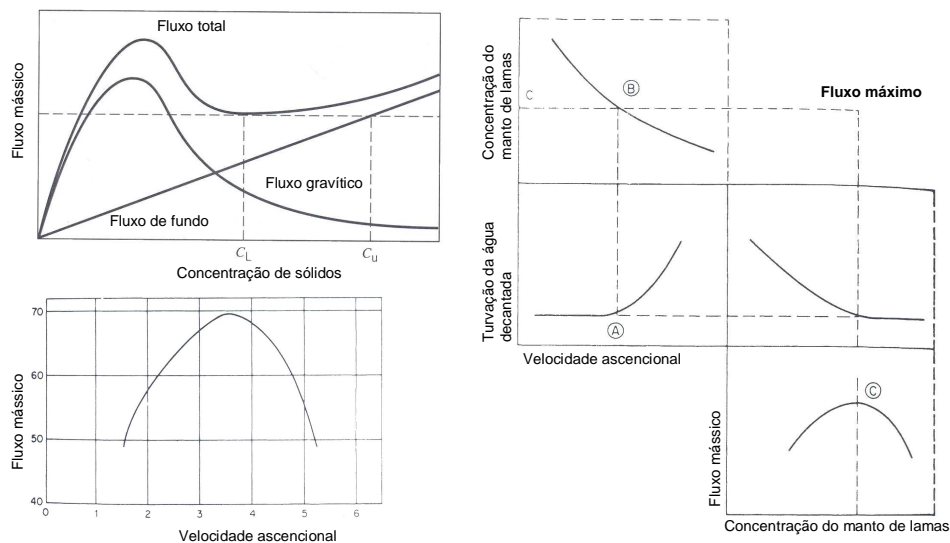


Figura 9 – Fluxo total de sólidos em decantação retardada (Droste, 1997; AWWA, 1999)

Na prática, a remoção de lamas do decantador permite controlar a profundidade do manto de lamas, a sua concentração e a concentração das lamas extraídas. É, portanto, de extrema

importância que a **frequência de remoção de lamas** seja a adequada às condições actuais da estação, não tendo sido, porém, encontrados na bibliografia valores recomendados.

A operação dos decantadores com manto de lamas assenta na manutenção de um manto de lamas estável, de modo a minimizar o arrastamento de flocos com a água decantada. Esta estabilidade é conseguida, para além da optimização dos parâmetros de operação atrás referidos, através da verificação de diversos aspectos construtivos que minimizam a turbulência e a ocorrência de curto-circuitos hidráulicos no tanque (WRc, 1997).

A **taxa de descarga por metro de caleira** é também um parâmetro de operação relevante dos decantadores com manto de lamas, pelas mesmas razões apresentadas para a decantação convencional e acelerada.

No Quadro 25, no Quadro 26 e no Quadro 27 resumem-se as gamas de valores óptimos recomendados na bibliografia para os parâmetros de operação habitualmente usados para a monitorização e controlo da decantação em ETA.

Quadro 25 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da decantação convencional

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Turvação da água decantada (UNT)	< 2	Twort <i>et al.</i> , 2000
	Máximo < 5	AWWA, 2001
	Média < 2	WRc, 1997
	Média < 1	Lipp e Baldauf, 2000; AWWA, 2001
Carga hidráulica superficial ¹ (m/h)	< 3	Droste, 1997
	0,62-1,25	MDE, 2000
	0,8-2,5	Kawamura, 2000
	< 1	Swartz, 2000
	0,75-1,75 (pode ir até 2,5 com floculantes)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	< 1 para água coagulada	WRc, 1997
	< 3,3 (amaciamento de água com baixo teor de Mg)	Sanks, 1978
Taxa de descarga por metro de caleira ¹ (m ³ /(m.h))	< 12,5	ASCE, 1990
	< 6,25	WRc, 1997
	< 11	Twort <i>et al.</i> , 2000
	< 7,5 (flocos leves de sulfato de alumínio)	Swartz, 2000 Kawamura, 2000; AWWA, 2003 AWWA, 2003
Tempo de retenção (h)	2-6	Sanks, 1978
	> 4	ASCE, 1990
	2-4	MDE, 2000
	1,5-4	Kawamura, 2000; Swartz, 2000; Twort <i>et al.</i> , 2000
	4	AWWA, 2003
Intervalo entre purga de lamas (h)	0,5-1	ASCE, 1990
Carga de sólidos ¹ (kg/(m ² .dia))	< 10,3 (decantadores rectangulares com c.h.< 0,2 m/h)	Sanks, 1978; ASCE, 1990
	< 6,1 (decantadores circulares com c.h. < 0,2 m/h)	Sanks, 1978; ASCE, 1990

¹ Fórmula de cálculo no Anexo 3.

Quadro 25 (cont.) – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da decantação convencional

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Velocidade longitudinal (decantadores retangulares) (m/s)	0,005-0,03	Sanks, 1978
N.º de Froude	$> 10^{-5}$	Kawamura, 2000
N.º de Reynolds	< 20.000	Kawamura, 2000

Quadro 26 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da decantação acelerada

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Turvação da água decantada (UNT)	< 2	Twort <i>et al.</i> , 2000
	Máximo < 5	AWWA, 2001
	Média < 2	WRc, 1997
	Média < 1	Lipp e Baldauf, 2000; AWWA, 2001
Carga hidráulica superficial ¹ (m/h)	5-10	WRc, 1997
	5-7,7	MDE, 2000
	5-8,8 (regiões quentes); 5-6,3 (regiões frias)	Kawamura, 2000
	3,8-7,5 (carga hidráulica superficial na área do decantador ocupada por lamelas/módulos)	Kawamura, 2000
Carga hidráulica ¹ (m/h)	5-10 (decantador SuperPulsator)	Degrémont, 2007
	1,5-1,7	Sanks, 1978
Taxa de descarga por metro de caleira ¹ (m ³ /m.h)	< 1	WRc, 1997; Swartz, 2000
	0,83-2,5	Kawamura, 2000
	0,75-1,75 (pode ir até 2,5 m/h com floculantes)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	$< 7,5$	Kawamura, 2000
Tempo de retenção (min)	10-15	Sanks, 1978
	5-20	Kawamura, 2000
N.º de Froude	$> 10^{-5}$	Kawamura, 2000
N.º de Reynolds	< 200	ASCE, 1990
	< 500 (de preferência < 50)	MDE, 2000
	< 200 (de preferência < 50)	Kawamura, 2000

¹ Fórmula de cálculo no Anexo 3.

Quadro 27 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da decantação com manto de lamas

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Turvação da água decantada (UNT)	< 2	Twort <i>et al.</i> , 2000
	Máximo < 5	AWWA, 2001
	Média < 2	WRc, 1997
	Média < 1	Lipp e Baldauf, 2000; AWWA, 2001
Carga hidráulica superficial ¹ (m/h)	$< 2,5$	Degrémont, 1989
	1-5 (1-2 se alcalinidade baixa; 3-5 se alcalinidade elevada; aumento de 50% com floculantes)	WRc, 1997; AWWA, 1999
	1,25-2,5	MDE, 2000
	2-3	Kawamura, 2000
	< 2 (pode ir até 4 m/h se forem usados floculantes)	Twort <i>et al.</i> , 2000
Taxa de descarga por metro de caleira ¹ (m ³ /m.h)	2,5	AWWA, 2003
	2-4,5 (decantador Pulsator)	Degrémont, 2007
Tempo de retenção (h)	$< 7,4$	AWWA, 2003
	0,75-2	Degrémont, 1989
	$> 0,25$ (águas temperadas); $> 0,5$ (águas frias)	ASCE, 1990
	1-1,5	MDE, 2000
Altura do manto de lamas (m)	1-2	Kawamura, 2000; AWWA, 2003
	2,5-3	AWWA, 1999
	1-3	MDE, 2000
Concentração do manto de lamas	2,15-2,75	Twort <i>et al.</i> , 2000
	10-20% (v/v) (após 24 h de sedimentação em proveta)	MDE, 2000
	20-25% (v/v); 0,1-0,2% (p/v) (após 10 min de sedimentação em proveta de 250 ml)	Twort <i>et al.</i> , 2000
Concentração do manto de lamas	30-35% (v/v); 0,25-0,5% (p/v) (após 10 min de sedimentação em proveta de 250 ml; águas com elevado teor de sólidos devido a elevada cor e turvação)	Twort <i>et al.</i> , 2000

¹ Fórmula de cálculo no Anexo 3.

2.2.2.4. Filtração

Na filtração através de meios granulados pretende-se remover sólidos em suspensão de pequena dimensão (*e.g.*, que não foram removidos por sedimentação na decantação a montante). Conjuntamente com esta remoção de partículas pretende-se também remover coagulante residual, microrganismos e outros contaminantes que estejam adsorvidos às partículas. Esta secção é dedicada à filtração como operação de separação sólido-líquido e, portanto, não se considera a filtração através de meios adsorventes, como o carvão activado.

Apesar de a filtração constituir apenas uma das barreiras da linha de tratamento, o seu papel é o mais crítico, uma vez que é a última barreira física para evitar a passagem de organismos patogénicos resistentes à oxidação. Assim, um bom desempenho da filtração pressupõe o cumprimento de objectivos de qualidade na água filtrada, em particular, de um valor máximo de turvação que, de acordo com vários autores, é de 0,1 UNT (AWWA, 1999; Kawamura, 2000; AWWA, 2001). AWWA (1999) refere que 0,2 UNT já deve ser considerado ponto crítico (*breakthrough*). O valor de 0,1 UNT tem como objectivo evitar a passagem através do filtro de microrganismos patogénicos resistentes à desinfecção e é o critério usado no programa nacional de avaliação de ETA (*Partnership for Safe Water*) da AWWA (2001). Além disso, um melhor desempenho corresponde a uma menor utilização de recursos para se atingirem os objectivos o que, no caso da filtração, é traduzido por um menor consumo de água durante a lavagem dos filtros, ou seja, por ciclos de filtração longos e lavagens pouco frequentes. Na operação dos filtros pretende-se, então, trabalhar à maior taxa de filtração possível, mantendo uma qualidade da água filtrada adequada durante o maior tempo possível antes da entrada em lavagem. Um filtro entra em lavagem quando se atinge uma perda de carga ou uma concentração efluente (turvação ou concentração de contaminante-alvo na água filtrada) máxima, *i.e.*, quando se atinge o ponto crítico (*breakthrough*). Na operação óptima de um filtro, para que a capacidade de retenção de sólidos do filtro seja utilizada ao máximo, a perda de carga máxima deve ser atingida

imediatamente antes de se atingir o ponto crítico (*breakthrough*).

Um bom desempenho da coagulação, floculação e decantação são essenciais para um bom desempenho da filtração, uma vez que uma menor carga de sólidos afluente ao filtro permite ciclos de filtração mais longos e menores riscos de libertação abrupta de material retido no filtro (picos de turvação efluente). Se a coagulação/floculação não forem adequadas, é impossível obter uma água filtrada de qualidade, qualquer que seja a velocidade de filtração (ASCE, 1990). No caso da filtração directa, a dose óptima de coagulante é também determinada através de *jar tests* e corresponde à duração máxima dos ciclos de filtração (WRc, 1997). Se a dose for inferior à óptima, a duração dos ciclos de filtração diminui, apesar de se reduzir a carga de sólidos, porque as características do floco produzido não são as melhores para a sua retenção no filtro. Se a dose for superior à óptima, a carga de sólidos ao filtro aumenta e a duração dos ciclos de filtração diminui, pois a colmatação é mais rápida. No caso de filtração precedida de coagulação/floculação e decantação, é também necessário otimizar estas OPU para que nelas tenha lugar uma remoção máxima de sólidos, eventualmente utilizando floculantes como adjuvantes, o que permite aumentar a duração da filtração.

Os parâmetros velocidade de filtração, duração do ciclo de filtração e perda de carga no leito estão relacionados.

À medida que a água atravessa um filtro rápido de fluxo descendente (o tipo de filtro mais comum) as partículas em suspensão na água são retidas no leito filtrante, diminuindo o tamanho efectivo dos seus poros, o que origina o aumento da resistência à passagem do fluxo, ou seja, aumenta a perda de carga através do leito (Figura 10). Os depósitos retidos no filtro deslocam-se gradualmente para o fundo do leito e, se o filtro não entrar em lavagem no instante adequado, acabam por ser arrastados na água filtrada (*breakthrough* de partículas), verificando-se um aumento mais ou menos abrupto da sua turvação (Figura 10). Como já referido, o filtro entra em lavagem quando a perda de carga ou a turvação atingem um valor limite. Se a **velocidade de**

filtração for mais elevada, a colmatação é mais rápida (devido à maior entrada de sólidos no filtro) e a **perda de carga** limite é atingida mais rapidamente, ou seja, a **duração do ciclo de filtração** é menor, aumentando o consumo de água nesta operação e diminuindo a capacidade total de produção da ETA. Na operação com perdas de carga elevadas o risco de se atingirem pressões negativas no seio do leito é maior. Adicionalmente, se a velocidade de filtração for mais elevada, a penetração dos sólidos no leito é mais rápida e o *breakthrough* ocorre mais cedo, ou seja, a qualidade da água filtrada piora para igual tempo de filtração. De acordo com Twort *et al.* (2000), velocidades acima de 15 m/h originam uma perda de qualidade da água filtrada e acima de 20 m/h o aumento de perda de carga é demasiado rápido. As preocupações com cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* recomendam velocidades mais baixas (6-7 m/h) para diminuir o risco de *breakthrough* de partículas. Por todas estas razões, para um bom desempenho da filtração, a velocidade de filtração não deve exceder determinados valores (indicados no Quadro 30). Analogamente, o desempenho do filtro é também melhor se a perda de carga no fim do ciclo de filtração (incluindo a perda de carga inerente ao leito de enchimento e a perda de carga devido aos sólidos retidos) for inferior aos valores do Quadro 30. Por outro lado, velocidades baixas e ciclos de filtração excessivamente longos favorecem o crescimento de microrganismos no leito filtrante, sobretudo se a água possuir NOM e não tiver sofrido desinfecção a montante, o que pode originar problemas de cheiro e sabor na água filtrada (AWWA, 2003). Assim, a velocidade de filtração e a duração do ciclo de filtração devem situar-se nas gamas indicadas no Quadro 30. Com leitos multicamada conseguem-se ciclos de filtração mais longos (1,5 a 3 vezes mais longos do que com os leitos monocamada) devido à maior capacidade de retenção de sólidos em profundidade (os leitos multicamada possuem, habitualmente, uma altura total superior aos leitos monocamada, bem como um maior volume de vazios), o que retarda a colmatação e diminui a velocidade de aumento de perda de carga (Twort *et al.*, 2000). De acordo com WRc (1997), quando comparados com filtros monocamada

operando à mesma velocidade, os filtros multicamada reduzem em 50% a velocidade de aumento da perda de carga, ou seja, permitem operar a velocidades de filtração mais elevadas (6-12 m/h em comparação com 4-6 m/h) sem aumentar a perda de carga e sem diminuir a duração do ciclo de filtração.

Para um bom desempenho da filtração lenta – que tem como objectivo, além da remoção de turvação, a remoção de microrganismos e de matéria orgânica por mecanismos biológicos – devem ser garantidas condições hidráulicas favoráveis à actividade biológica, como as baixas velocidades de filtração indicadas no Quadro 31 e que são, em geral, um vigésimo das velocidades em filtros rápidos (Twort *et al.*, 2000).

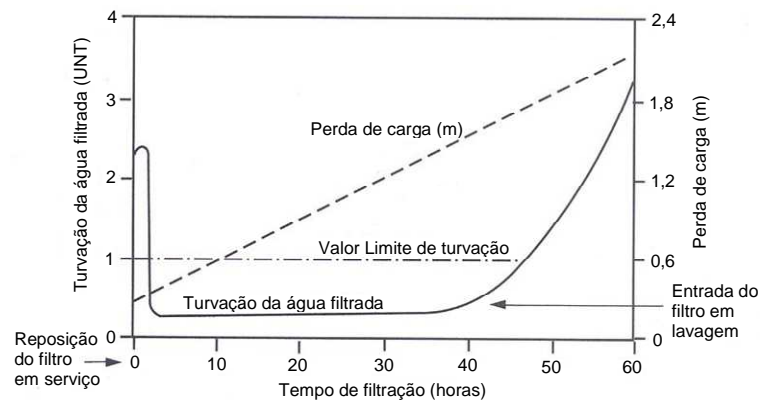


Figura 10 – Exemplo da evolução da perda de carga e da turvação da água filtrada num ciclo de filtração (AWWA, 2003)

A capacidade máxima de retenção de sólidos de um filtro é função do volume de vazios do leito filtrante. Na prática, só um quarto desse espaço está disponível para reter sólidos (Twort *et al.*, 2000). A **carga de sólidos** no afluente ao filtro é uma medida da massa de sólidos aplicados por unidade de área do filtro e por unidade de tempo, sendo, portanto, função da velocidade de filtração e da concentração de sólidos na água a filtrar. Verifica-se, em geral, que menores cargas de sólidos permitem ciclos de filtração mais longos (WRc, 1997). Apesar de ser um parâmetro de operação a ter em consideração, da bibliografia consultada apenas Twort *et al.*(2000) recomendam uma gama de valores para a carga de sólidos afluentes à filtração (Quadro 30).

A eficiência de lavagem dos filtros influencia o desempenho dos ciclos de filtração subsequentes

em termos da sua duração e da qualidade do filtrado – ambos diminuem se a lavagem não for eficiente. A **velocidade de lavagem** com água deve proporcionar a fluidização do leito com uma **expansão do leito** mínima, 10-20% de acordo com WRc (1997) e Swartz (2000). A fluidização cria condições intersticiais de atrito entre as partículas do meio de enchimento que permitem a remoção de sólidos a elas ligados, ou seja, a lavagem do leito. Se a velocidade de lavagem for superior a este mínimo, a distância entre as partículas aumenta e, conseqüentemente, o atrito diminui, sendo a lavagem menos efectiva. Assim, velocidades de lavagem demasiado elevadas, não são mais eficazes em termos de lavagem do leito, além de poderem originar arrastamento de meio de enchimento e de envolverem elevados consumos de água e energia. A velocidade óptima de lavagem com água depende do tipo e tamanho das partículas do material que compõe o meio filtrante e da temperatura da água (devido à diminuição da viscosidade, para temperaturas da água mais elevadas são necessárias velocidades mais elevadas). O Quadro 28 indica as velocidades óptimas para vários materiais de enchimento. A velocidade de fluidização mínima e a correspondente expansão do leito mínima devem ser calculadas para as condições específicas de cada ETA, em função das características do meio de enchimento (D_{60}) e da densidade e viscosidade da água (AWWA, 1999; Nix e Taylor, 2003). Os filtros multicamada necessitam de expansões de leito ligeiramente maiores do que os filtros monocamada para manter uma boa estratificação do meio (WRc, 1997; Twort *et al.*, 2000) (Quadro 29). Quando, no ciclo de lavagem, é utilizado ar antes da lavagem com água para se vencer a maior resistência inicial, a velocidade do ar situa-se nas gamas indicadas no Quadro 30, no qual são também referidos os valores recomendados para a duração da lavagem com água e a duração da lavagem com ar. Neste caso, na fase de lavagem com água são aceitáveis expansões ligeiramente inferiores ao valor atrás referido para a lavagem sem ar. Uma lavagem com ar e água em simultâneo é mais agressiva, devendo as velocidades da água e do ar ser inferiores aos valores indicados para cada um individualmente. No Quadro 30 indicam-se as gamas típicas para as velocidades do ar e da

água e para a duração das várias fases da lavagem que, em geral, são: primeira fase de lavagem só com ar, segunda fase de lavagem com ar e água em simultâneo e terceira fase de lavagem só com água.

Os valores mínimos de todas as gamas (velocidades e duração das fases de lavagem) referidas correspondem às velocidades mínimas para uma remoção efectiva das partículas do seio do leito filtrante e os valores máximos limitam a possibilidade de arrastamento de leito para fora do filtro. De acordo com WHO (2001), durante a lavagem adequada de um filtro, a turvação da água de lavagem diminui rapidamente (em 4-6 min) para 5-10 UNT. AWWA (1999) recomenda que a paragem da lavagem seja feita quando se atingem 10-15 UNT.

Quadro 28 – Velocidades de lavagem de filtros rápidos monocamada com água para se conseguir 10-20% de expansão do leito (WRc, 1997)

Material	Granulometria (mm)	Velocidade de lavagem mínima (m/h)	
		5°C	15°C
Areia	0,4-0,7	9	12
	0,5-1,0	16	22
	0,8-1,4	24	32
	1,2-2,0	45	60
Antracite	1,2-1,4	7	9
	1,4-1,7	11	15
	1,7-2,0	15	20
	2,4-2,8	26	35

Quadro 29 – Velocidades de lavagem de filtros rápidos de dupla camada (antracite-areia) com água (Twort *et al.*, 2000)

Expansão do leito	Velocidade de lavagem mínima (m/h)		
	5°C	15°C	25°C
10%	16	22	29
15%	23	30	36
30%	41	46	52

O **consumo de água durante a lavagem** está relacionado com a duração da lavagem e com o caudal de água usado, sendo função da natureza e quantidade das partículas retidas no seio do meio filtrante. Assim, o consumo de água aumenta com a altura do leito, com a densidade das lamelas e com a aderência das partículas a remover às partículas do leito filtrante. A utilização de lavagem com ar previamente à lavagem com água permite reduzir o consumo de água em *ca.* 20-30% (Degrémont, 1989). Na perspectiva de minimização de recursos para aumentar o desempenho, é importante considerar o consumo de água na lavagem como um parâmetro de

operação a avaliar, existindo valores correspondentes a condições óptimas e que indicam (com relativo consenso) que o consumo deve ser inferior a 2% da água filtrada (Quadro 30). Ainda com o objectivo de optimização de recursos, o aumento dos ciclos de filtração permite também diminuir o consumo de energia, uma vez que o tempo de funcionamento das bombas de ar e de água de lavagem é menor (ASCE, 1990).

Depois do ciclo de lavagem, em geral, a turvação da água filtrada é relativamente elevada durante um determinado período de tempo após a reposição do filtro em serviço até que, gradualmente, diminui para valores que cumprem os critérios para a água filtrada (Figura 10). Existem várias estratégias para minimizar o efeito deste pico inicial de turvação na qualidade da água filtrada como, por exemplo, o envio para o esgoto da água durante algum tempo após a lavagem ou a recirculação desta água. A capacidade de recuperação de um filtro após o ciclo de lavagem, medida através do **tempo de recuperação após lavagem**, é também um critério de avaliação da AWWA (2001), que considera que um filtro rápido com capacidade de envio de água para esgoto (*filter-to-waste capability*) só deve retornar ao serviço quando a turvação for inferior a 0,1 UNT e, caso não disponha dessa capacidade, não deve permitir um pico de turvação superior a 0,3 UNT e o tempo de recuperação deve ser inferior a 15-20 min. A importância deste período de recuperação do filtro aumentou com as recentes preocupações com microrganismos resistentes à oxidação, em particular, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*. No caso dos filtros lentos, este período de recuperação após limpeza (na qual se retira a camada superficial do leito filtrante) é muito maior (de 3 a 15 dias, dependendo do clima, Quadro 31) e destina-se a permitir o desenvolvimento da camada biológica superficial (*schmutzdecke*).

Se na lavagem em contracorrente de um filtro rápido ocorrer a estratificação do leito filtrante, ficando o material mais fino na camada superficial, no ciclo seguinte de filtração a colmatação é mais rápida. Para que, após lavagem, se mantenha a estrutura do leito há que limitar a gama de

dimensões de partículas do meio de enchimento (*i.e.*, o **coeficiente de uniformidade** do leito), a sua densidade e as suas **dimensões** (em particular, o diâmetro efectivo, D_{10}). Para que, no ciclo de filtração, a colmatação não seja muito rápida, os materiais de menor granulometria têm o diâmetro efectivo limitado por um valor mínimo. Nos filtros lentos, para evitar a penetração em profundidade das partículas em suspensão na água, o material de enchimento deve ser fino e possuir baixo coeficiente de uniformidade (Swartz, 2000). As dimensões dos materiais estão também relacionadas com as velocidades de filtração. Materiais mais grosseiros permitem que o aumento de perda de carga até ao momento de entrada em lavagem seja menor (aumentando o ciclo de filtração), sendo, portanto, possível operar estes filtros a maiores velocidades de filtração. No Quadro 30 e no Quadro 31 apresentam-se especificações recomendadas para meios de enchimento em filtros lentos e rápidos. A **altura do leito** está, por sua vez, relacionada com o tipo de enchimento, utilizando-se maiores profundidades quando há necessidade de usar meios mais grosseiros, de modo a compensar a menor qualidade do filtrado sem que isso envolva perdas de carga acentuadas, como aconteceria na percolação de água através de materiais mais finos. Tipicamente, a altura do leito é 800 a 1.200 vezes o diâmetro das partículas do meio de enchimento (WRc, 1997). AWWA (1999) e Nix e Taylor (2003) sugerem gamas óptimas para a **razão L/D_{10}** (altura do leito/diâmetro efectivo) (Quadro 30). Esta proposta baseia-se na verificação experimental de que iguais razões L/D_{10} originam filtrados de igual qualidade caso se esteja a filtrar a mesma água e à mesma velocidade de filtração. Este método de avaliação só deve ser usado para $D_{10} > 1,5$ mm (Nix e Taylor, 2003).

O desempenho da filtração é função de vários parâmetros de operação apresentados nesta secção, que incluem a qualidade da água filtrada e parâmetros de processo. Para se atingir um bom desempenho é necessário procurar um compromisso entre objectivos em conflito. No Quadro 30 e no Quadro 31 sintetizam-se as gamas de valores óptimos recomendados na bibliografia para os parâmetros de operação habitualmente usados nas ETA para a monitorização e controlo da

filtração. A composição do leito, as dimensões e coeficiente de uniformidade dos materiais de enchimento e a altura do leito influenciam de forma significativa o desempenho dos filtros e podem ser controlados pelo operador da ETA, pelo que, apesar de se relacionarem com aspectos construtivos, foram aqui considerados como parâmetros de operação. De acordo com Kawamura (2000), os melhores parâmetros para avaliar o desempenho de um filtro são a turvação da água filtrada, a duração dos ciclos de filtração e a razão entre o volume de água gasta na lavagem e o volume de água filtrada.

Quadro 30 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da filtração rápida

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Turvação da água filtrada (UNT)	Máximo < 0,1 (para maximizar remoção de microrganismos; > 0,2 UNT é ponto crítico (<i>breakthrough</i>))	AWWA, 1999
	Máximo < 0,1	AWWA, 2001; Kawamura, 2000
	Máximo < 0,1	Lipp e Baldauf, 2000
	Máximo < 0,4 (0,1 para garantir remoção cistos de <i>Giardia</i> e oocistos de <i>Cryptosporidium</i>)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	Máximo < 0,5	AWWA, 2003; Spellman, 2003
Velocidade de filtração (m/h)	5-20	Degrémont, 1989
	4-20 (usualmente < 10 em filtração de água coagulada)	WRc, 1997
	5-25	AWWA, 1999
	6	AWWA, 2003
	6-7,5 (remoção de Fe)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	15-18 (remoção de Mn)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	7,5-10 (remoção de turvação de água decantada)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	5 (monocamada)	AWWA, 2001
	< 5 (monocamada areia fina)	MDE, 2000
	5-7,5 (monocamada areia)	Kawamura, 2000
	4-6 (monocamada areia)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	10-20 (multicamada)	AWWA, 2001
< 12,5 (multicamada antracite-areia)	MDE, 2000	
12,5-25 (multicamada de alta carga)	Kawamura, 2000	
6-12 (multicamada antracite-areia)	Twort <i>et al.</i> , 2000	
Tempo de recuperação após lavagem	▪ sem capacidade de envio de água para esgoto: < 15 min; pico de turvação < 0,3 UNT	AWWA, 2001
	▪ com capacidade de envio de água para esgoto: repor em serviço só quando turvação < 0,1 UNT	AWWA, 2001
	2-20 min	AWWA, 2003
Perda de carga no leito (m)	< 0,3 no início da filtração	Twort <i>et al.</i> , 2000; AWWA, 2003
	1,2-2,5 no fim da filtração	ASCE, 1990
	1,8-2 no fim da filtração	Twort <i>et al.</i> , 2000
	1,8 no fim da filtração	Kawamura, 2000
	2,4-2,5 no fim da filtração	AWWA, 2003
	1,8-2,4 no fim da filtração	Spellman, 2003
Carga de sólidos ¹ (g/(m ² .dia))	550-5.500	Twort <i>et al.</i> , 2000
Duração do ciclo de filtração (h)	12-36 (idealmente < 24)	Sanks, 1978; AWWA, 2003
	12-72 (valor típico: 24)	ASCE, 1990; Droste, 1997; Spellman, 2003
	12-96	AWWA, 1999
	> 24	Kawamura, 2000
	24-60 (< 48 em climas quentes; < 60 em climas frios)	Twort <i>et al.</i> , 2000

¹ Fórmula de cálculo no Anexo 3.

Quadro 30 (cont.) – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da filtração rápida

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências	
Velocidade de lavagem com ar (m/h)	▪ lavagem com ar seguido de água		
	55-90	ASCE, 1990	
	20-40	WRc, 1997	
	23-27	Twort <i>et al.</i> , 2000	
	46-55	Kawamura, 2000	
	37-55 (monocamada areia)	AWWA, 1999	
	55-73 (multicamada antracite-areia)	AWWA, 1999	
	▪ lavagem ar+água em simultâneo		
	70-90 (fase ar)	AWWA, 1999	
	10-30	WRc, 1997	
50-90 (fase ar+água)	AWWA, 1999		
Velocidade de lavagem com água (m/h)	36-50	AWWA, 2003	
	▪ lavagem só com água		
	9-60 (monocamada areia; reduzido a metade na lavagem ar+água em simultâneo)	WRc, 1997	
	7-35 (monocamada antracite; reduzido a metade na lavagem com ar+água em simultâneo)	WRc, 1997	
	37-45 (monocamada areia)	Kawamura, 2000	
	45-55 (multicamada antracite-areia)	Kawamura, 2000	
	▪ lavagem com ar seguido de água		
	44-67	ASCE, 1990	
	37-49 (multicamada antracite-areia)	AWWA, 1999	
	15-37 (monocamada areia)	AWWA, 1999	
	20-30	Kawamura, 2000	
	▪ lavagem ar+água em simultâneo		
	15-30 (fase ar+água; monocamada areia)	AWWA, 1999	
	20-24 (fase ar+água; monocamada antracite)	AWWA, 1999	
	15-20 (fase ar+água)	Twort <i>et al.</i> , 2000	
	5-10 (fase ar+água; monocamada areia)	Kawamura, 2000	
25-30 (fase água; monocamada areia)	Kawamura, 2000		
Duração da lavagem com ar (min)	▪ lavagem com ar seguido de água		
	3-5	Sanks, 1978	
	< 5	WRc, 1997	
	4-5	Kawamura, 2000	
	3-4	Twort <i>et al.</i> , 2000	
	▪ lavagem ar+água em simultâneo		
	1-2 (fase ar)	AWWA, 1999; Twort <i>et al.</i> , 2000	
	10 (fase ar+água)	AWWA, 1999	
	6-8 (fase ar+água)	Twort <i>et al.</i> , 2000	
	5-15	AWWA, 2003	
Duração da lavagem com água (min)	▪ lavagem com ar seguido de água		
	10-15	Kawamura, 2000	
	4-6	Twort <i>et al.</i> , 2000	
	▪ lavagem ar+água em simultâneo		
	5-10 (fase ar+água)	ASCE, 1990	
	6-8 (fase ar+água)	Twort <i>et al.</i> , 2000	
	5-10 (fase água)	ASCE, 1990	
	8-10 (fase água)	Twort <i>et al.</i> , 2000	
	Expansão do leito na lavagem (%)	15	Degrémont, 1989
		10-20	WRc, 1997
15-30		AWWA, 1999	
20-25		EPA, 1999	
20		Swartz, 2000	
20-30		Spellman, 2003	
15-30 (filtros multicamada)		Twort <i>et al.</i> , 2000	
20 (areia)		Sanks, 1978; Nix e Taylor, 2003	
25 (antracite)		Sanks, 1978; Nix e Taylor, 2003	

Quadro 30 (cont.) – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da filtração rápida

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Quantidade de água de lavagem gasta num ciclo de lavagem	1-2% do volume de água filtrada	Degrémont, 1989
	1-5% do volume de água filtrada	Droste, 1997
	< 3% do volume de água filtrada	MDE, 2000
	< 2% do volume de água filtrada	Twort <i>et al.</i> , 2000
	3-7% do volume de água filtrada	Spellman, 2003
	2,5-3% do volume de água filtrada (Inverno)	Kawamura, 2000
	1,2-2% do volume de água filtrada (Verão)	Kawamura, 2000
	2-4% do volume de água filtrada (filtro monocamada)	AWWA, 2003
Diâmetro efectivo do meio filtrante, D ₁₀ , (mm)	< 6% do volume de água filtrada (filtro multicamada)	AWWA, 2003
	0,7-1	Degrémont, 1989
	0,45-0,5	AWWA, 2003
	0,5-1 (areia, monocamada)	WRc, 1997
	0,45-0,55 (areia, monocamada)	AWWA, 1999
	0,45-2,0 (areia, monocamada)	Kawamura, 2000
	0,8-1,2 (1,0-1,5 para remoção de Fe, Mn) (monocamada areia)	Swartz, 2000
	0,4-0,55 (areia, multicamada)	ASCE, 1990
	0,6 (areia, multicamada)	WRc, 1997
	0,45-0,65 (areia, multicamada)	Kawamura, 2000
	0,4-1,0 (areia, multicamada)	Swartz, 2000
	0,8-1,1 (antracite, multicamada)	ASCE, 1990
	1,5 (antracite, multicamada)	WRc, 1997
	0,9-1,1 (antracite, multicamada)	AWWA, 1999
	0,9-1,4 (antracite, multicamada)	Kawamura, 2000
1,6-2,5 (antracite, multicamada)	Swartz, 2000	
Coeficiente de uniformidade do meio filtrante (U=D ₆₀ /D ₁₀)	1,5-1,75 (areia)	AWWA, 2003
	< 1,5 (areia)	Sanks, 1978; Droste, 1997; Twort <i>et al.</i> , 2000; EN12904, 2004
	0,8-1 (areia)	Degrémont, 1989
	1,3-1,8 (areia)	WRc, 1997
	1,4-1,7 (areia, mono e multicamada)	Kawamura, 2000
	< 1,5 (antracite)	Sanks, 1978; Droste, 1997; Twort <i>et al.</i> , 2000; EN12909, 2005
	1,4-1,5 (antracite, multicamada)	Kawamura, 2000
	1,4-1,5 (antracite, multicamada)	Kawamura, 2000
Altura do leito (m)	0,7-2	WRc, 1997
	0,6-0,9	MDE, 2000
	0,6-0,75	AWWA, 2003
	0,6-0,7 (monocamada areia)	AWWA, 1999
	1,0-1,2 (monocamada areia)	Swartz, 2000
	1,5 (monocamada areia para remoção de Fe, Mn)	Swartz, 2000
	0,7-1 (monocamada)	Twort <i>et al.</i> , 2000
	0,6-0,9 (multicamada antracite-areia)	AWWA, 1999
	1,0-2,0 (0,5-1 antracite + 0,5-1,0 areia)	Swartz, 2000
	0,75 (multicamada)	Twort <i>et al.</i> , 2000
Razão L/D ₁₀ (altura do leito/diâmetro efectivo)	> 1.000 (monocamada areia, dupla camada)	AWWA, 1999; Nix e Taylor, 2003
	> 1.200 (monocamada areia, dupla camada, adição de adjuvantes de filtração)	AWWA, 1999; Nix e Taylor, 2003
	> 1.250 (filtros alta carga)	AWWA, 1999; Nix e Taylor, 2003

Quadro 31 – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da filtração lenta

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Turvação da água filtrada (UNT)	Máximo < 0,1	Lipp e Baldauf, 2000
	< 1	Twort <i>et al.</i> , 2000
Velocidade de filtração (m/h)	2-5	Degrémont, 1989
	< 1	WRc, 1997
	0,07-0,4	AWWA, 1999
	0,1-0,3	MDE, 2000; Twort <i>et al.</i> , 2000
	0,1-0,4	Kawamura, 2000
	0,1-0,2	Swartz, 2000
Tempo de recuperação após limpeza (dia)	0,1	AWWA, 2003
	3-5	WRc, 1997
	5	Kawamura, 2000
	3-7 (climas tropicais); 15 (climas mais frios)	MDE, 2000

Quadro 31 (cont.) – Gamas recomendadas na bibliografia para os parâmetros de operação da filtração lenta

Parâmetro de processo	Valores recomendados na bibliografia	Referências
Perda de carga no leito (m)	0,6-0,9 no fim da filtração	Twort <i>et al.</i> , 2000
	0,06 no início da filtração	AWWA, 2003
	1,2 no fim da filtração	AWWA, 2003
	1,2-1,5 no fim da filtração	Spellman, 2003
Duração do ciclo de filtração (dia)	30 (em média)	Degrémont, 1989
	20-60	Droste, 1997; AWWA, 2003
	30-360	AWWA, 1999
Diâmetro efectivo do meio filtrante, D_{10} (mm)	0,3	Twort <i>et al.</i> , 2000
	0,2-0,35 (areia)	ASCE, 1990
	0,15-0,3 (areia)	AWWA, 1999
	0,15-0,35 (areia)	Kawamura, 2000
	0,15-0,30 (areia)	Swartz, 2000
Coeficiente de uniformidade do meio filtrante ($U=D_{60}/D_{10}$)	< 3	ASCE, 1990; Swartz, 2000
	1,5-3	AWWA, 1999
	< 2-3	Kawamura, 2000
	< 2	Twort <i>et al.</i> , 2000
Altura do leito (m)	1-1,2	ASCE, 1990
	0,8-1	MDE, 2000
	0,6-1,2	Kawamura, 2000
	0,6-1,25	Twort <i>et al.</i> , 2000
	1	AWWA, 2003
	0,5-1,5 (inicial); 0,4-0,5 (mínimo)	AWWA, 1999
	0,8-0,9 (inicial); 0,5-0,6 (mínimo)	Swartz, 2000

2.2.3. Operações e processos unitários em estações de tratamento de água – deficiências usuais

As deficiências mais comuns em ETA têm sido classificadas nos seguintes tipos (*e.g.*, Park *et al.*, 2006):

- **Deficiências de processo** – deficiências relacionadas com a diminuição de eficiência do processo de tratamento (e que não são causadas por falhas mecânicas), devido, por exemplo, a alterações na qualidade da água bruta e a valores não adequados de condições de operação;
- **Deficiências mecânicas** – deficiências devido a falhas mecânicas, *i.e.*, mau funcionamento ou avaria de equipamento; podem reflectir-se em deficiências de processo;
- **Deficiências de formação de pessoal** – podem reflectir-se em deficiências de processo;
- **Deficiências administrativas** – podem reflectir-se em deficiências de processo e mecânicas;
- **Deficiências construtivas** – resultam de erros de projecto e/ou construção das infra-estruturas; são análogas às mecânicas (no sentido de que podem ser corrigidas através de uma intervenção na infra-estrutura), mas também se podem reflectir em deficiências de processo (*e.g.*, decantador desnivelado).

Só as *deficiências de processo* podem ser evitadas/corrigidas por controlo de parâmetros de processo (tempos de residência, doses de reagentes, velocidades de agitação, etc.). Consequentemente, só estas interessam na avaliação de desempenho operacional de uma ETA e serão, portanto, as consideradas nesta secção. Contudo, os outros tipos de deficiências acabam por ser também consideradas, de modo indirecto, nos casos em que originam deficiências de processo. As deficiências mecânicas e as deficiências de pessoal são contempladas, de modo directo, na avaliação de desempenho global nos indicadores de eficiência e fiabilidade da ETA e nos indicadores de recursos humanos, respectivamente (secção 4.2).

Seguidamente, descrevem-se as deficiências mais frequentemente observadas em ETA, identificando-se a sua natureza, as suas causas, as soluções para sua correcção e alguns parâmetros de operação que permitem detectar a ocorrência dessas deficiências. Esta pesquisa de deficiências mais comuns permitiu identificar os aspectos que constituem barreiras a uma operação eficiente (factores limitantes do desempenho) e, consequentemente, auxiliou na definição dos parâmetros de operação relevantes para o sistema de avaliação de desempenho operacional. Como já referido, só foram consideradas nesta análise as deficiências de processo.

Por vezes, a causa de uma deficiência observada em determinada OPU está relacionada com o mau funcionamento/desempenho de outra OPU a montante. Como tal, nesta secção foram agrupadas algumas OPU, sendo apresentados individualmente apenas os casos em que a causa e a deficiência são referidas à mesma OPU.

Com base num inquérito a 161 ETA apresentando diferentes tipologias (processo de tratamento e capacidade), Park *et al.* (2006) analisaram a ocorrência de deficiências de processo, mecânicas, administrativas e de construção civil, tendo concluído que a OPU que mais frequentemente apresenta problemas e, portanto, limita o desempenho da ETA como um todo, é a filtração, independentemente do tipo de estação. Nesta OPU, as deficiências predominantes identificadas no inquérito relacionam-se com a inadequação do meio filtrante (quer em termos de

profundidade e diâmetro das partículas, quer de contaminação - formação de *mudballs*) e com a incorrecta lavagem dos filtros (Figura 11). A incorrecta intensidade de mistura é a causa mais frequente de baixo desempenho da coagulação-floculação (Figura 11). Os factores limitantes de desempenho identificados na decantação foram a excessiva velocidade ascensional e a inadequação da infra-estrutura (anteparos) (Figura 11). No caso da desinfecção, a inadequação da dose de desinfectante adicionada, a incorrecta localização do ponto de injeção de reagente e a insuficiência do tempo de retenção no canal/reservatório de água desinfectada foram as principais causas de baixo desempenho identificadas no estudo (Figura 11).

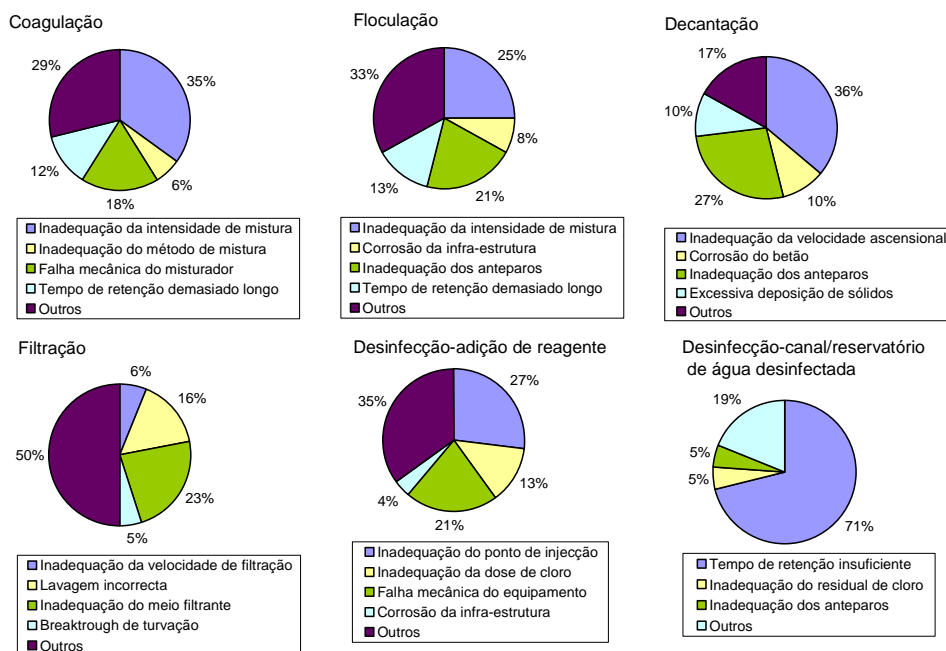


Figura 11 – Deficiências usuais em ETA (adaptado de Park *et al.*, 2006)

O Quadro 32 apresenta as deficiências usualmente encontradas na sequência coagulação/floculação/decantação/filtração/desinfecção, assim como os parâmetros de operação controlados para as evitar ou minimizar.

Coagulação/floculação

Na etapa de coagulação/floculação destacam-se as deficiências relacionadas com a formação do floco. Factores como uma mistura rápida inadequada, agitação imperfeita na floculação, tempo

de floculação inadequado ou doseamento incorrecto de reagentes são determinantes para o desenvolvimento deficiente do floco, podendo formar-se flocos demasiado pequenos e com baixa sedimentabilidade, o que origina elevada turvação na água decantada e problemas na etapa de filtração subsequente (*e.g.*, ciclos de filtração demasiado curtos) (AWWA, 2003). A formação de flocos frágeis, resultantes de condições de mistura inadequadas, é outro problema susceptível de ocorrer nesta etapa de tratamento. Caso sejam sujeitos a elevadas tensões de corte após a sua formação, estes flocos podem ser destruídos e, eventualmente, pode ocorrer a sua passagem através dos filtros originando turvação na água filtrada. Assim, um tempo de retenção hidráulico insuficiente na mistura rápida e/ou insuficiente ou excessivo na floculação, ou uma intensidade de mistura inadequada na coagulação ou na floculação contribuem para a formação inadequada dos flocos. Deve-se, portanto, assegurar uma intensidade de mistura adequada, não demasiado elevada (por exemplo, evitando velocidades de agitação elevadas quando se usam agitadores mecânicos e evitando atritos elevados no transporte da água entre a floculação e a decantação/filtração), o que poderia conduzir à destruição dos flocos, nem demasiado baixa, o que poderia causar crescimento dos flocos e decantação deficientes (AWWA, 2000; Swartz, 2000). Estes problemas podem ser solucionados optimizando as velocidades de agitação e os tempos de retenção na mistura rápida e na floculação, e o tipo e as doses de coagulante e floculante, sendo as condições ideais determinadas através de testes laboratoriais (AWWA, 2003).

A formação lenta de flocos é um problema frequente quando a água apresenta uma baixa turvação, uma vez que o número de partículas em suspensão na água é menor, originando também um menor número de colisões entre as mesmas (AWWA, 2003). A recirculação de lamas no decantador e o doseamento de um *weighting agent* (*e.g.*, argila) são formas de solucionar este problema, porque adicionam turvação à água a tratar (AWWA, 2003).

Outros factores que podem contribuir para um menor desempenho são a temperatura da água, o

tempo de retenção hidráulico ou a localização dos pontos de adição de reagentes.

A temperatura da água pode influenciar a coagulação/floculação/decantação uma vez que, além de afectar a cinética das reacções, com a diminuição da temperatura, a água aumenta a sua viscosidade, diminuindo a velocidade de sedimentação do floco (Swartz, 2000; AWWA, 2003). Este problema pode ser ultrapassado com a adequação do pH de coagulação à temperatura da água, com o aumento da dosagem de coagulante à medida que a temperatura da água diminui, com a adição de *weighting agents* para aumentar a densidade do floco ou através do doseamento de adjuvantes de coagulação que permitam aumentar a coesão dos flocos e promover uma mais rápida sedimentação (AWWA, 2003).

Na floculação, a ocorrência de curto-circuito hidráulico leva a uma diminuição do tempo de retenção hidráulico, com o conseqüente prejuízo na formação do floco (AWWA, 2000).

A localização incorrecta dos pontos de dosagem está relacionada com o facto de os locais de adição dos reagentes não coincidirem com os pontos onde as condições de mistura são óptimas. Neste caso, será necessário reposicionar os pontos de doseamento de reagentes.

Outro problema operacional comum em ETA, que corresponde a um baixo desempenho, é a existência de elevados residuais de coagulante na água filtrada. Este problema deve-se a condições químicas inadequadas para a coagulação, devendo proceder-se à realização de testes laboratoriais (*jar tests*) para determinar a dose óptima de coagulante, o pH adequado de coagulação e a ordem correcta de adição de reagentes (WRc, 1997).

Todas as deficiências causadas por dose inadequada de coagulante agravam-se quando há alterações de qualidade da água bruta e a ETA não responde com rapidez suficiente a essas alterações, ajustando as condições de operação. Esta é uma situação encontrada com alguma frequência em ETA.

Floculação/decantação com manto de lamas

Um baixo desempenho da operação de floculação/decantação com manto de lamas pode conduzir ao arrastamento de flocos do decantador para as etapas do tratamento a jusante, originando uma elevada frequência de lavagem dos filtros. Segundo WRc (1997), este problema pode ser causado por: i) elevação do nível do manto de lamas ou pela realização de uma coagulação inadequada; ii) carga hidráulica afluyente ao decantador (incluindo alterações bruscas do caudal afluyente), uma vez que esta controla a estabilidade e a concentração de sólidos no manto de lamas, os quais influenciam a eficiência da clarificação e iii) ocorrência de interrupções na operação sendo, em geral, necessários vários dias para o restabelecimento das características ideais do manto de lamas e para se atingir um bom desempenho.

Para a resolução dos problemas operacionais identificados será necessário aumentar a remoção de lamas do manto ou otimizar a coagulação a montante de modo a aumentar a coesão e densidade dos flocos, permitindo aumentar também a carga hidráulica. A instalação de lamelas no manto de lamas ou a compartimentação das regiões superiores do tanque com chicanas permitem o aumento da carga hidráulica. O aumento do tempo de percurso entre o ponto de doseamento de coagulante e a entrada no decantador de manto de lamas poderá também ser benéfico para o desempenho desta operação (WRc, 1997).

Um outro problema operacional que pode ocorrer nesta OPU é a possibilidade da água apresentar sabor e cheiro devido à elevada concentração de algas na água a tratar e cuja ruptura pode ocorrer dentro do manto de lamas (WRc, 1997). Se esta biomassa incluir espécies tóxicas de cianobactérias a água pode, além de sabor e cheiro, conter cianotoxinas dissolvidas (hepatotoxinas e neurotoxinas, entre outras, dependendo dos géneros presentes).

Decantação

Segundo AWWA (2003), e conforme já referido nas anteriores etapas de tratamento, um dos problemas operacionais mais comuns associados à decantação é a dificuldade de decantação de

flocos formados deficientemente na coagulação/floculação (devido a uma mistura inadequada, a coagulantes ou dosagens inapropriadas ou à realização deficiente da floculação). Este problema conduz ao arrastamento de flocos do decantador para os filtros. As elevadas cargas hidráulicas são outra causa deste transporte excessivo de sólidos para os filtros.

Outra deficiência operacional é a ocorrência de curto-circuito hidráulico. Embora esta situação exista em alguma extensão na maioria dos tanques de decantação, pode tornar-se um problema sério em algumas instalações ao permitir a saída de flocos do tanque de decantação como resultado de um tempo de sedimentação reduzido. A principal causa de curto-circuito hidráulico é a inadequação da configuração do decantador (localização dos anteparos) (AWWA, 2003).

As correntes de densidade são outra deficiência operacional bastante comum em ETA. Perturbam o processo de sedimentação e são devidas a diferenças de densidade entre diferentes zonas da massa de água que se encontra no decantador. Desenvolvem-se quando o afluente ao decantador tem mais sólidos e, conseqüentemente, uma maior densidade do que a água que está no tanque de decantação, ou quando o afluente apresenta uma temperatura mais baixa do que a água no tanque. Verifica-se que o afluente submerge até ao fundo do tanque, onde pode originar levantamento de lamas e curto-circuito hidráulico. Este problema pode ser mitigado modificando a configuração dos anteparos e descarregadores (AWWA, 2003).

Em tanques de decantação descobertos, o vento pode causar problemas na sedimentação através da criação de correntes, o que origina curto-circuito hidráulico. Neste caso, deve ser construída uma barreira envolvendo os tanques ou uma cobertura para minimizar os efeitos do vento (AWWA, 2003).

A remoção insuficiente de lamas origina a sua acumulação excessiva no fundo do decantador, podendo ser a razão da ressuspensão de sólidos suspensos já sedimentados (WRc, 1997).

Em tanques de decantação exteriores que se encontrem expostos à luz solar, o crescimento de

algas nas paredes do decantador pode ser também um problema por estas poderem conferir sabor e cheiro à água, e por poderem passar para a água, causando eventualmente a colmatação de descarregadores e filtros (AWWA, 2003).

Filtração

A maioria dos problemas operacionais associados à filtração está relacionada com as seguintes áreas: tratamento químico a montante do filtro, controlo do caudal no filtro e lavagem do filtro (AWWA, 2003).

Uma das principais deficiências desta OPU é a ocorrência de ciclos de filtração curtos, sendo este problema frequentemente causado pela carga excessiva de flocos afluente aos filtros, decorrente de remoção deficiente dos flocos na coagulação/floculação/decantação (WRC, 1997).

Outro problema operacional comum é a formação de *mudballs*. As *mudballs* resultam da adesão de partículas filtradas aos grãos do meio filtrante que, caso não sejam removidas durante a lavagem do filtro, vão aumentando de tamanho, podendo sedimentar no leito e causar problemas de colmatação no local onde sedimentam. Estes locais ficam então inactivos, originando taxas de filtração elevadas nas áreas adjacentes e a distribuição desigual da água de lavagem. Juntamente com a formação de *mudballs* podem também surgir fissuras e ocorrer a separação do material filtrante das paredes do filtro. Uma avaliação periódica da existência de *mudballs*, a lavagem de superfície e a lavagem do filtro a uma velocidade adequada e com uma frequência mínima são formas de evitar a formação de *mudballs* (AWWA, 1999; 2003).

A compactação ou diminuição do leito do filtro é um problema operacional que resulta da sua lavagem de forma inadequada. Esta deficiência resulta do facto de partículas “sujas” de material filtrante serem mantidas na zona do meio filtrante onde se posicionam as partículas “limpas”. Com o aumento da perda de carga, o leito comprime-se, originando fissuras e separação do material filtrante das paredes do filtro, permitindo que a água passe através dessas fissuras com uma filtração deficiente ou mesmo inexistente (AWWA, 1999; 2003).

O arrastamento do meio de enchimento durante a lavagem do filtro é um problema que pode ocorrer quando a válvula de lavagem é aberta muito rapidamente, quando a velocidade de lavagem é demasiado elevada ou quando o sistema de drenagem do filtro está colmatado, provocando uma distribuição desigual do caudal de lavagem. O aumento da velocidade de lavagem do filtro pode, eventualmente, deslocar a gravilha do fundo do leito e criar uma “bolha” de areia (*sand boil*) permitindo que a água que passa pela camada de gravilha no local da “bolha” seja sujeita a uma filtração deficiente. Adicionalmente, durante o ciclo de filtração pode verificar-se a perda de material filtrante pelo sistema de drenagem (AWWA, 2003). Dado que estes movimentos de gravilha ocorrem sempre com alguma extensão, os filtros devem ser inspeccionados pelo menos uma vez por ano (AWWA, 2003).

Quando um filtro é operado a uma pressão inferior à pressão atmosférica, o ar dissolvido na água liberta-se e forma bolhas no leito do filtro. Este processo, conhecido por *air binding*, causa resistência ao fluxo através do filtro, aumentando a perda de carga e conduzindo a ciclos de filtração mais curtos. Além disso, pode originar deslocamento do meio durante a lavagem (ASCE, 1990). Para evitar este problema deve manter-se a água a um nível máximo acima do leito do filtro e proceder-se à lavagem frequente do mesmo (AWWA, 2003).

De acordo com EPA (1999), se o mau desempenho de um filtro for observado:

- no início do ciclo de filtração, deve-se, provavelmente, a deficiente coagulação/floculação das partículas a remover;
- durante o ciclo de filtração, deve-se, provavelmente, a condições inadequadas de carga hidráulica;
- no fim do ciclo de filtração, deve-se, provavelmente, a duração excessiva dos ciclos de filtração.

Pode dizer-se que os sintomas principais de um mau desempenho da filtração são o aumento da turvação na água filtrada e a diminuição dos ciclos de filtração (ou aumento da frequência de

lavagens).

Desinfecção

Um mau desempenho da desinfecção é traduzido pela remoção/inactivação insuficiente de microrganismos, pela ausência de residual de desinfectante à saída da ETA e pela formação excessiva de subprodutos da oxidação (OBP). Os dois primeiros tipos de deficiências são devidos a um tempo de contacto insuficiente entre o desinfectante e a água (*i.e.*, tempo de retenção hidráulico insuficiente) e ao doseamento inadequado do desinfectante – desinfectante inadequado, dose insuficiente e/ou local de adição inadequado. A temperatura afecta (positivamente) a acção desinfectante e, no caso da cloração, o pH da água é também um parâmetro muito importante, verificando-se uma maior eficácia de desinfecção a pH ácido ($pK_a = 7,5$), ao qual predomina a espécie de cloro com maior poder germicida, HOCl.

Em relação aos OBP, existem diversas estratégias para redução da sua formação, que consistem na escolha do desinfectante adequado às características da água a tratar, na utilização de tempos de contacto e concentrações de desinfectante adequados e na remoção de precursores (*e.g.*, NOM) a montante da desinfecção.

Quadro 32 – Deficiências usuais observadas em ETA

OPU	Deficiências observadas	Causas das deficiências	Soluções	Parâmetros de operação a controlar
Coagulação/ floculação/ decantação/ filtração	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraca remoção de cor ou turvação na filtração (WRc, 1997) ▪ Elevado residual de coagulante na água filtrada (WRc, 1997) ▪ Turvação elevada na água decantada (AWWA, 2003) ▪ Formação de flocos muito pequenos ou pouco coesos (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Ciclos de filtração curtos devido a colmatação e à quebra de flocos. Originará elevados níveis de coagulante particulado na água filtrada (WRc, 1997) ▪ Lavagem de filtros demasiado frequente na filtração (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mistura rápida inadequada: intensidade de mistura rápida inadequada, dose incorrecta dos reagentes, pH de coagulação inadequado, localização incorrecta dos pontos de dosagem (WRc, 1997; Swartz, 2000; AWWA, 2003; Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Mistura imperfeita na floculação ou gradiente de velocidade demasiado elevado (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Tempo de floculação insuficiente ou excessivo (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Baixa temperatura da água, menor velocidade de formação dos flocos durante o período de Inverno (WRc, 1997; Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Carga excessiva de flocos afluente aos filtros (WRc, 1997) ▪ Retenção deficiente dos flocos dentro dos filtros (WRc, 1997) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seleccionar o coagulante e o floculante adequados (<i>e.g.</i>, utilizar coagulante catiónico polielectrólito em substituição, total ou parcial, de coagulante metálico) (WRc, 1997; Swartz, 2000) ▪ Melhorar as condições químicas da coagulação, realizar <i>jar tests</i> para estabelecer a dose óptima de coagulante e de floculante, o pH de coagulação adequado às características da água (incluindo temperatura) e a ordem de adição de reagentes (WRc, 1997; Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Aumentar a dose de coagulante à medida que a temperatura da água diminui (AWWA, 2003) ▪ Adicionar <i>weighting agents</i> ou adjuvantes de floculação (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Melhorar a mistura nos pontos de adição de reagentes (WRc, 1997) ▪ Optimizar as velocidades da mistura rápida recorrendo a <i>jar tests</i> (AWWA, 2003) ▪ Assegurar que a intensidade de mistura na floculação não é demasiado elevada nem demasiado baixa e que a velocidade de pás é adequada (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Proporcionar um tempo de retenção hidráulico adequado na floculação (Swartz, 2000) ▪ Evitar o atrito excessivo após a floculação causado por estreitamentos ou curvas nas tubagens (WRc, 1997; Swartz, 2000) ▪ Aumentar o tanque de floculação (ou instalar um novo) com base em valores adequados do gradiente de velocidade e do tempo de retenção hidráulico (Swartz, 2000) ▪ Substituir o material filtrante. Utilizar 2 ou mais camadas (WRc, 1997) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo de retenção hidráulico na coagulação (Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Intensidade de mistura na coagulação (Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Tempo de retenção hidráulico na floculação (Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Intensidade de mistura na floculação (Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ pH (WRc, 1997; AWWA, 2003) ▪ Alcalinidade (AWWA, 2003) ▪ Turvação (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Cor (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Sabor e cheiro (AWWA, 2003) ▪ Algas (AWWA, 2003) ▪ Condutividade (WRc, 1997; Swartz, 2000) ▪ Temperatura (WRc, 1997; Swartz, 2000) ▪ Dose de coagulante (WRc, 1997; Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Concentração residual de coagulante (AWWA, 2003) ▪ Contagem de partículas (AWWA, 2003) ▪ Potencial zeta (AWWA, 2003) ▪ Sólidos suspensos totais (AWWA, 2003)
Decantação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flocos que não decantam correctamente e são arrastados do tanque de decantação (AWWA, 2003) ▪ Carga excessiva de sólidos ao decantador (WRc, 1997) ▪ Compactação excessiva de lamas no fundo do tanque (Swartz, 2000) ▪ Acumulação excessiva de lamas (Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Correntes de densidade por efeito das concentrações e/ou gradiente térmico (AWWA, 2003) ▪ Problemas associados aos efeitos do vento, nomeadamente a criação de correntes e curto-circuito hidráulico (AWWA, 2003) ▪ Problemas associados ao crescimento de algas e biofilme nas paredes do decantador que podem originar problemas de sabor e cheiro, assim como colmatar filtros e descarregadores (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coagulação ou floculação deficientes (WRc, 1997; AWWA, 2003) ▪ Condições deficientes de entrada e saída da água do decantador, podendo originar curto-circuito hidráulico (WRc, 1997; AWWA, 2003; Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Tempo de retenção hidráulico no decantador insuficiente (WRc, 1997; AWWA, 2003; Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Frequência de remoção de lamas insuficiente (WRc, 1997; Swartz, 2000) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optimizar a coagulação/floculação (AWWA, 2003) ▪ Melhorar as condições de entrada e saída de água do tanque para diminuir a velocidade (WRc, 1997; Swartz, 2000) ▪ Remover paredes divisórias ou construir paredes longitudinais para aumentar a razão comprimento/largura, reduzindo a influência da turbulência no tanque (WRc, 1997) ▪ Instalar lamelas, módulos tubulares ou deflectores no tanque (WRc, 1997; AWWA, 2003) ▪ Instalar tanques adicionais para aumentar o tempo de retenção hidráulico (Swartz, 2000) ▪ Optimizar a frequência de remoção de lamas e, caso seja necessário, melhorar as infra-estruturas de remoção de lamas (Swartz, 2000) ▪ Construir uma barreira envolvente ao tanque de decantação descoberto para mitigar os efeitos do vento e evitar entrada de detritos (AWWA, 2003) ▪ Converter os tanques em decantadores de manto de lamas (WRc, 1997) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga hidráulica e taxa de descarga por metro de descarregador (Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Profundidade das lamas (AWWA, 2003) ▪ Quantidade e concentração das lamas removidas de cada decantador (AWWA, 2003) ▪ Tamanho, forma e densidade do floco (Swartz, 2000) ▪ Profundidade efectiva dos tanques de decantação (Swartz, 2000) ▪ Temperatura (Swartz, 2000) ▪ Viscosidade (Swartz, 2000) ▪ Turvação à saída de cada decantador (AWWA, 2003)

Quadro 32 (cont.) – Deficiências usuais observadas em ETA

OPU	Deficiências observadas	Causas das deficiências	Soluções	Parâmetros de operação a controlar
Decantação com manto de lamas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arrastamento de flocos para jusante do decantador (WRc, 1997) ▪ Problemas de sabor e cheiro na água (WRc, 1997) e, eventualmente, cianotoxinas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevação do manto de lamas, carga hidráulica elevada (WRc, 1997) ▪ Carga de sólidos elevada (WRc, 1997) ▪ Interrupções na operação (WRc, 1997) ▪ Remoção deficiente de lamas (WRc, 1997) ▪ Presença de algas (e cianobactérias) na água a tratar (WRc, 1997) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manter velocidades adequadas de entrada no tanque (WRc, 1997) ▪ Instalar lamelas no manto de lamas ou compartimentar as regiões superiores do tanque com chicanas verticais prolongadas até ao manto (WRc, 1997) ▪ Proceder a alterações na estrutura/equipamento de modo a permitir o aumento da taxa de recirculação em situações de aumento de caudal (WRc, 1997) ▪ Controlar a remoção de lamas utilizando detectores de nível de lamas (WRc, 1997) ▪ Remover as algas a montante do decantador (WRc, 1997) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga hidráulica (WRc, 1997) ▪ Concentração do manto de lamas (WRc, 1997) ▪ Nível do manto de lamas (WRc, 1997) ▪ Temperatura (WRc, 1997) ▪ Densidade do floco (WRc, 1997) ▪ Identificação e contagem de fitoplankton (incluindo células de cianofíceas) na água a tratar (WRc, 1997)
Filtração	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento da turvação na água filtrada (Swartz, 2000) ▪ Rápida colmatação do filtro e ciclos de filtração curtos (Swartz, 2000; Spellman, 2003) ▪ Arrastamento de material filtrante para jusante da filtração (Twort <i>et al.</i>, 2000; AWWA, 2003) ▪ Perda de material filtrante durante a lavagem (AWWA, 2003) ▪ Deslocamento de areia grossa (gravilha) no filtro (<i>sandboil</i>) (AWWA, 2003) ▪ Formação de fissuras e caminhos preferenciais no leito (Twort <i>et al.</i>, 2000; AWWA, 2003; Spellman, 2003) ▪ Compactação ou diminuição do leito do filtro (AWWA, 2003) ▪ Separação do material filtrante das paredes do filtro (AWWA, 2003) ▪ Contaminação do meio filtrante (<i>mudballs</i> ou carbonato de cálcio) (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carga elevada de sólidos no filtro (WRc, 1997) ▪ Velocidade de filtração elevada (WRc, 1997; Swartz, 2000; AWWA, 2003; Park <i>et al.</i>, 2006), alterações de caudal e modo de arranque após a lavagem (WRc, 1997) ▪ Lavagem ineficiente (Twort <i>et al.</i>, 2000; AWWA, 2003; Spellman, 2003; Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Inadequação do meio filtrante – profundidade e granulometria do enchimento (WRc, 1997; Swartz, 2000; Twort <i>et al.</i>, 2000; Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Distribuição não uniforme da água de lavagem em todo o leito (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manter uma velocidade de filtração adequada e, se necessário, instalar filtros adicionais (WRc, 1997; Swartz, 2000; Spellman, 2003) ▪ Efectuar a lavagem no momento apropriado e em condições adequadas: com caudais adequados e lavagem de superfície; garantindo uma expansão mínima do leito para assegurar a sua fluidização e a limpeza do meio filtrante (WRc, 1997; Swartz, 2000; AWWA, 2003) ▪ Minimizar regimes de escoamento transitório (WRc, 1997). (<i>e.g.</i>, em caso de necessidade de aumento de produção de água, realizar este aumento gradualmente) (AWWA, 2003) ▪ Interromper a lavagem de superfície 1-2 minutos antes do final do processo de lavagem principal, de modo a minimizar a perda de material filtrante (AWWA, 2003) ▪ Substituir o meio filtrante, garantindo que é utilizada uma granulometria correcta, colocar uma camada de material grosseiro entre a camada de gravilha e o meio filtrante (Swartz, 2000) ▪ Utilizar um leito com 2 ou mais camadas (WRc, 1997; Swartz, 2000) ▪ Inspeccionar periodicamente os filtros incluindo avaliação da existência de <i>mudballs</i> e localização da camada de gravilha (AWWA, 2003) ▪ Se ocorrer deslocamento de camadas, remover o meio filtrante e substituir a gravilha (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caudal durante o ciclo de filtração (AWWA, 2003) ▪ Caudal de lavagem (AWWA, 2003) ▪ Perda de carga (AWWA, 2003) ▪ Turvação da água filtrada (AWWA, 2003) ▪ Duração do ciclo de lavagem (AWWA, 2003) ▪ Volume de água utilizada na lavagem dos filtros (AWWA, 2003) ▪ Volume de água filtrada (AWWA, 2003)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Air binding</i>, que causa resistência ao fluxo e pequenos ciclos de filtração (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Operação do filtro a uma pressão inferior à pressão atmosférica (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manter a água a um nível máximo no filtro (AWWA, 2003) ▪ Proceder à lavagem frequente do filtro (AWWA, 2003) 	
Desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desinfecção insuficiente (remoção/inactivação insuficiente de microrganismos) (AWWA, 2003) ▪ Ausência de residual de desinfectante (AWWA, 2003) ▪ Formação de subprodutos de oxidação (AWWA, 2003) ▪ Sabor e cheiro na água (AWWA, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo de retenção hidráulico insuficiente (Swartz, 2000; Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Tipo e/ou dose inadequada de desinfectante (Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Local inadequado para a adição de desinfectante (Park <i>et al.</i>, 2006) ▪ Teor elevado de precursores de OBP (NOM) na água filtrada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proporcionar um tempo de contacto mínimo (Swartz, 2000) ▪ Melhorar a mistura no ponto de adição de desinfectante (WRc, 1997) ▪ Modificar o tanque de contacto para minimizar a ocorrência de curto-circuito hidráulico (WRc, 1997) ▪ Adicionar o desinfectante de forma contínua e proporcional ao caudal (Swartz, 2000) ▪ Reduzir o pH da água a desinfectar com cloro (WRc, 1997) ▪ Remover da água a desinfectar precursores de OBP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dose de desinfectante (AWWA, 2003) ▪ Desinfectante residual (AWWA, 2003) ▪ Parâmetros microbiológicos (AWWA, 2003) ▪ Temperatura (AWWA, 2003) ▪ pH (AWWA, 2003)

3. Âmbito de aplicação da metodologia de avaliação de desempenho

3.1. Considerações gerais

A caracterização das estações de tratamento de água em Portugal apresentada nesta secção permite ter uma visão global deste tipo de instalações de tratamento relativamente a localização, capacidade de tratamento, tipos de origem e tipos de tratamento mais comuns. Em face do acervo caracterizado, são identificadas neste capítulo as sequências de tratamento mais comuns quer em termos de ocorrência (número de ETA em que surgem), quer em termos de volume de água produzida. Esta análise serve de suporte à identificação de sequência(s)-tipo de tratamento e à definição do âmbito de desenvolvimento e aplicação da metodologia de avaliação de desempenho de ETA.

3.2. Caracterização da situação nacional em termos de estações de tratamento de água existentes

3.2.1. Dados de base e metodologia

A informação de base relativa às ETA foi obtida a partir do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), levado a cabo pelo Instituto da Água em 2004 (tendo como ano de referência 2002) e actualizado pelas entidades gestoras dos sistemas em 2006 (tendo como ano de referência 2005). Para cada uma das estações existentes, foi compilado um conjunto de informações relativas às suas características físicas e de funcionamento.

A informação usada para o Continente e para a Região Autónoma da Madeira refere-se ao ano de 2002 uma vez que, à data de realização desta análise, ainda não tinha sido disponibilizada a informação do INSAAR para o ano de 2005. O INSAAR apenas abrangeu a Região Autónoma dos Açores em 2006 (ano de referência: 2005), pelo que, neste caso, foi esta a informação usada. As ETA das regiões autónomas foram tratadas separadamente das instalações do Continente, uma vez que a informação disponível no INSAAR é muito distinta.

Os dados do INSAAR foram complementados, em alguns aspectos, com informação cedida pela empresa Águas de Portugal, S.G.P.S., S.A. (AdP), e com informação disponível em folhetos informativos e na *Internet* nos *sites* das entidades gestoras das ETA.

Em termos de tipo de estações de tratamento de água, não foram consideradas as 2814 instalações que apenas efectuam cloragem e que, em 2002, existiam no Continente. De acordo com o INSAAR, estes postos de cloragem correspondem a 36% do volume total de água tratado, sendo os restantes 64% processados por ETA com mais OPU. No restante texto deste capítulo, o termo ETA não inclui postos de cloragem.

A caracterização das ETA foi efectuada em termos de localização, situação de funcionamento e capacidade de tratamento para a totalidade das estações do Continente (secção 3.2.2 e secção 3.2.3) e das Regiões Autónomas da Madeira e Açores (secção 3.2.8). Foi feita uma caracterização mais pormenorizada em termos de origens de água (secção 3.2.4) e de tipos de tratamento (secção 3.2.5) para três grupos de instalações correspondentes a pequena, média e grande dimensão. Na definição dos esquemas de tratamento mais comuns (secção 3.2.6) foram tidas em consideração todas as ETA analisadas que se encontravam em serviço.

3.2.2. Situação de funcionamento e capacidade das ETA em Portugal Continental

Em 2002, o total de ETA do Continente era de 552, não sendo contabilizadas as instalações que

se resumem a postos de cloragem. Desse total, 34 encontravam-se fora de serviço ou desactivadas, 3 em construção, 4 em reabilitação e/ou ampliação, 5 funcionando apenas como recurso alternativo e 15 com situação de funcionamento desconhecida. Como se pode ver no Quadro 33, a maioria (89%) das estações analisadas encontrava-se em serviço. Nas análises que se seguem neste capítulo 3, não foram consideradas as estações fora de serviço, desactivadas ou com situação de funcionamento desconhecida, num total de 49.

Quadro 33 – Situação de funcionamento das ETA do Continente

Situação de funcionamento	% de ETA
Em serviço	88,9
Fora de serviço	1,4
Desactivada	4,7
Em construção	0,5
Em reabilitação e ampliação	0,7
Funcionamento de recurso	0,9
Situação desconhecida	2,7

A Figura 12 apresenta uma caracterização das ETA em termos de capacidade de tratamento, sendo apenas consideradas as ETA de caudal conhecido (457). A capacidade de tratamento é, neste âmbito, traduzida pelo caudal médio de tratamento uma vez que o caudal máximo das estações estava disponível para um número muito pequeno de instalações (as entidades gestoras forneceram ao INSAAR esta informação apenas para 14% das ETA).

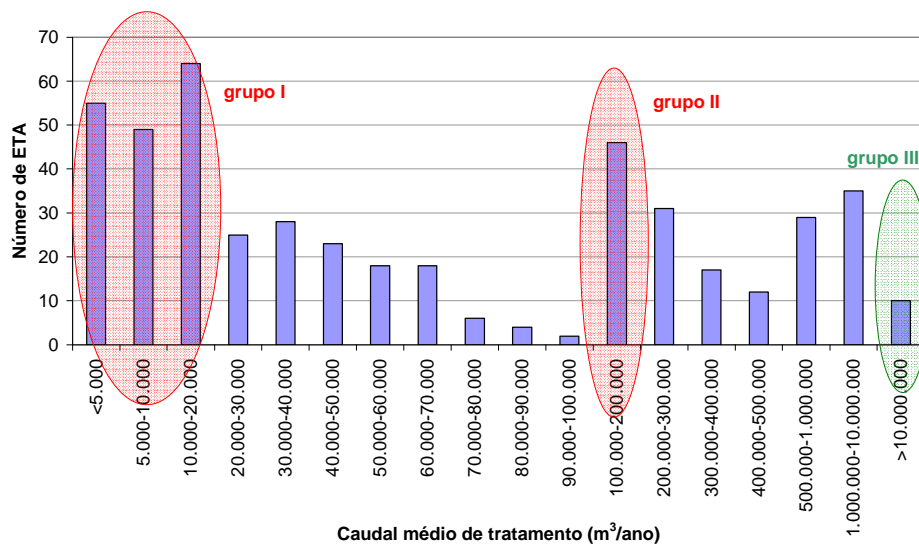


Figura 12 – Caracterização das ETA em termos de dimensão

Em face da distribuição observada das ETA pelas diferentes categorias de caudal (Figura 12),

identificaram-se três grupos-alvo – grupo I, II e III. Ao grupo I pertencem as estações de menores dimensões (caudal inferior a 20.000 m³/ano), que correspondem a 36% do total das ETA com caudal conhecido. No outro extremo situa-se o grupo III das instalações de maiores dimensões (caudal superior a 10.000.000 m³/ano), que inclui 10 ETA (2,2% do total das ETA com caudal conhecido). Finalmente, destaca-se também, por englobar um grande número de ETA, o grupo II com 44 estações (9,6% do total das ETA com caudal conhecido), cujo caudal se situa numa gama intermédia entre 100.000 e 200.000 m³/ano.

As 100 estações de maior capacidade eram responsáveis por cerca de 96% do volume total de água produzido no Continente, sendo os restantes 4% processados por *ca.* 80% do número total de ETA.

Considerando apenas as ETA para as quais eram conhecidos simultaneamente a população servida (no ano de referência) e o caudal médio de tratamento (389), a distribuição das ETA por classes de população servida (Figura 13) mostra que, em termos de número, predominavam as estações de menores dimensões e que abasteciam pequenos aglomerados populacionais, verificando-se que o somatório das estações que serviam menos de 5.000 habitantes era 82% e que apenas 4% serviam mais do que 50.000 habitantes.

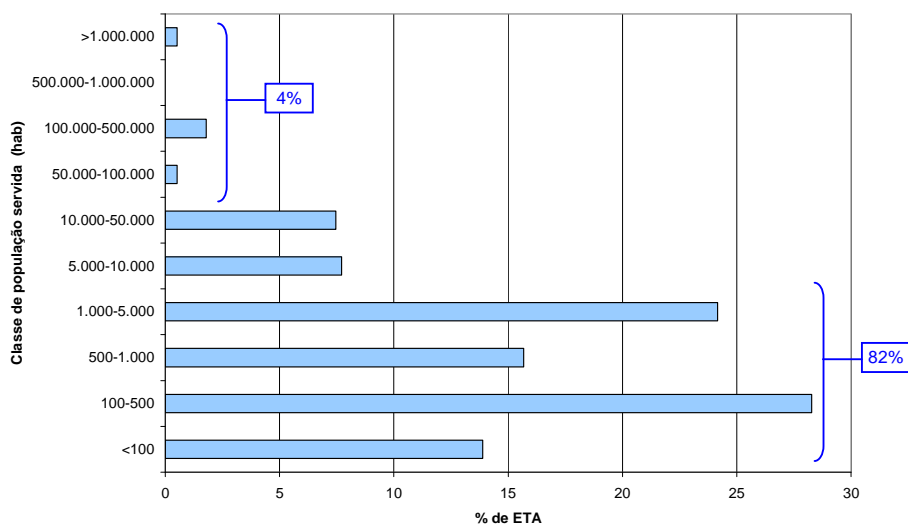


Figura 13 – Distribuição das ETA por classes de população servida no ano de referência

Apesar de se basear numa amostra limitada de dados (apenas 14% das ETA apresentavam esta informação), a distribuição por classes da capacidade máxima instalada das estações (Figura 14) mostra também o predomínio de instalações de menor capacidade instalada, em particular, as classes 100 a 1.000 m³/h (46%) e 10 a 100 m³/h (30%).

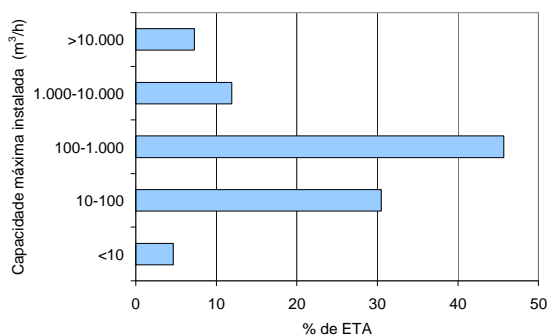


Figura 14 – Distribuição das ETA por classes de capacidade máxima instalada

Ao contrário do observado em termos de ocorrência, se for tido em consideração o volume de água, as estações de maior dimensão foram as que mais contribuíram para o volume total de água produzida no Continente (Figura 15). Verifica-se, assim, que a maioria da população foi abastecida por ETA de grande dimensão: 74,1% do total de população abastecida foi servida por estações com caudal médio superior a 10.000.000 m³/ano, ou seja, as 10 maiores ETA do país e que correspondem ao grupo III. A classe de capacidade seguinte (caudal médio entre 1.000.000 e 10.000.000 m³/ano) abasteceu ainda uma percentagem significativa de população (14,0%). Seguem-se as estações de dimensão entre 1.000.000 e 100.000 m³/ano que abasteceram 9,8% da população, sendo os restantes 2,2% da população servidos por estações mais pequenas. O grupo I (pequenas estações) abasteceu apenas 0,5% da população servida por sistema de abastecimento.

Em resumo, pode dizer-se que a produção de água em Portugal Continental estava concentrada num número relativamente reduzido de estações de grandes dimensões, predominando em termos numéricos as estações de menores dimensões que servem aglomerados populacionais pequenos. Esta tendência acompanha de certo modo a própria distribuição da população, localizando-se as grandes ETA junto aos grandes centros urbanos (secção 3.2.3).

Os três grupos definidos nesta secção foram considerados para análise posterior mais pormenorizada da localização geográfica, dos tipos de tratamento e das origens de água. Os grupos I e II foram escolhidos pela sua representatividade em termos de número de ETA (44% do total de ETA com caudal conhecido) e o grupo III pela sua representatividade em termos de população servida (74% do total da população abastecida).

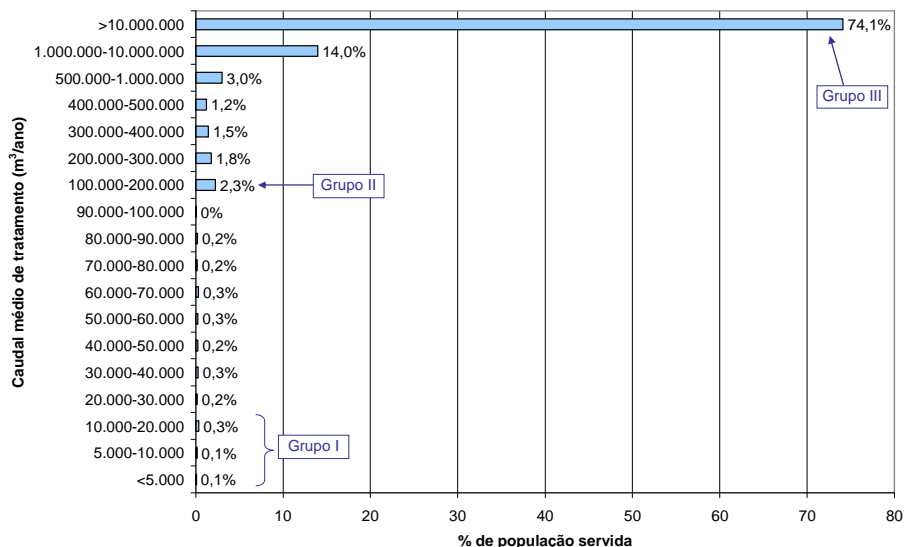


Figura 15 – População servida por ETA de diferentes capacidades

3.2.3. Localização das ETA em Portugal Continental

A distribuição geográfica das ETA está relacionada quer com a densidade e o tipo de aglomerados populacionais, quer com o grau de centralização do tratamento de água.

A Figura 16 apresenta a distribuição geográfica das ETA por região hidrográfica. Verifica-se que as regiões RH5 (Tejo e Ribeyras do Oeste), RH4 (Vouga, Mondego e Liz) e RH3 (Douro) foram as que apresentam maior número de ETA instaladas, com, respectivamente, 38%, 22% e 20% (num total de 80%) das ETA do Continente que possuam informação relativa à região hidrográfica (477). O número de ETA registado nas regiões RH1 (Minho e Lima), RH2 (Cávado, Ave e Leça) e RH8 (Arade, Ribeyras do Barlavento e Ribeyras do Sotavento) foi o mais baixo do Continente, correspondendo cada uma a *ca.* 3% do total.

A distribuição dos três grupos de ETA atrás definidos pelas regiões hidrográficas (Figura 16) mostra que as estações de pequena dimensão (grupo I) seguiram aproximadamente o mesmo tipo de distribuição que o total das ETA, verificando-se que 80% das estações deste grupo se concentraram nas regiões RH3, RH4 e RH5. Este tipo de ETA foi, como seria de esperar, o predominante em todas as regiões. Também as ETA de média dimensão se localizaram sobretudo nas regiões RH3, RH4 e RH5 (84% do total deste grupo). Na RH1, RH6 (Sado e Mira) e na RH7 (Guadiana) não há ETA do grupo III (grande dimensão) e, nas restantes regiões, este foi sempre o grupo com menor expressão (com valores entre uma ETA na RH3 e três ETA na RH5). A RH8 foi a região com maior grau de centralização do tratamento de água – do total de doze ETA, duas são do grupo III (das dez maiores a nível nacional) e duas são do grupo II.

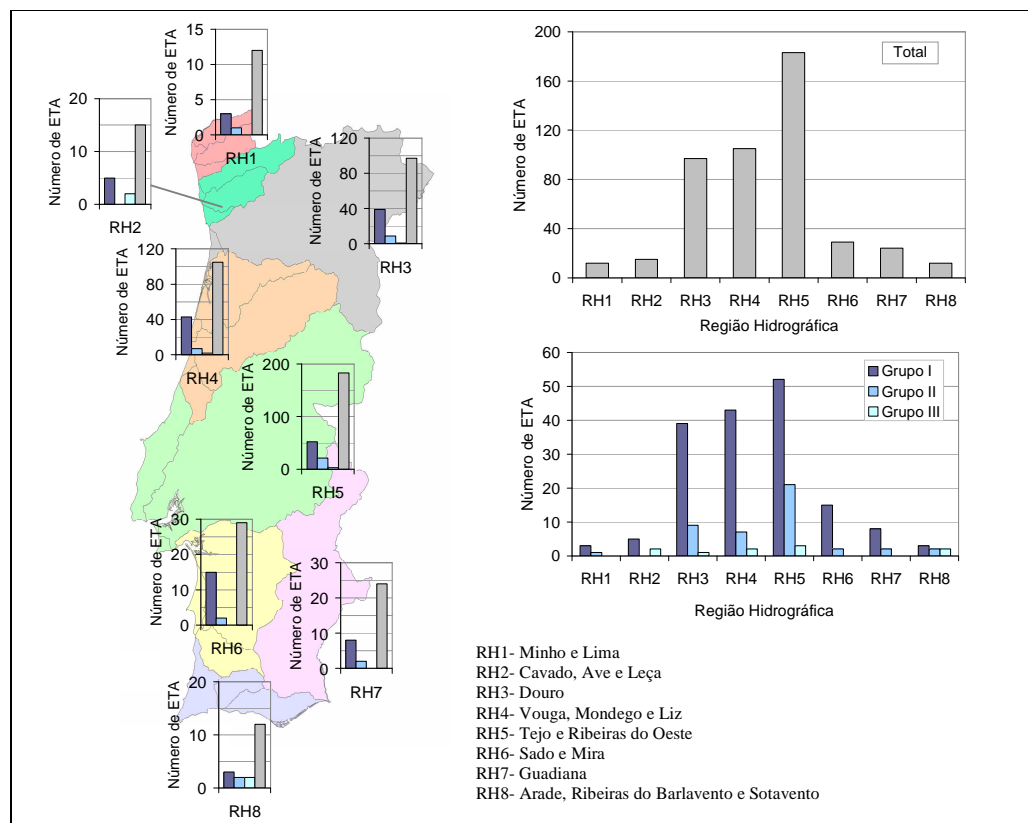


Figura 16 – Localização das ETA por região hidrográfica (total das ETA e localização em função da dimensão)

3.2.4. Origens de água de abastecimento em Portugal Continental

No Continente foram usados três tipos de origem de água, nomeadamente, subterrânea, albufeira

e rio. Em termos de número de ETA (Quadro 34 e Figura 17a), predominou o primeiro tipo, verificando-se que a maioria (63%) das estações foram abastecidas por água proveniente de aquíferos. Relativamente às origens de água superficial, predominou o tratamento de água de albufeiras (83 ETA, que correspondem a 17% do total de ETA), enquanto que em 46 estações (9% do total) se tratou água proveniente de rio (Quadro 34 e Figura 17a).

Quadro 34 – Caracterização das ETA em termos de origens de água

Tipo de origem		N.º de ETA abastecidas
Superficial	Albufeira	83
	Rio	46
Subterrânea	Aquífero	319
	Mistura	
	Albufeira + aquífero	4
	Aquífero + rio	4
Desconhecida		47
Total		503

A cerca de 30% das estações que usavam água de aquífero estavam associadas duas ou mais captações cuja água é misturada antes do tratamento. Nos outros tipos de origem, em geral, foi necessária apenas uma captação, uma vez que a capacidade da origem é superior. Pode dizer-se que a prática de tratamento de mistura de água captada em origens de diferente tipo foi raramente usada, sendo apenas 8 as ETA que apresentaram múltiplas origens: 4 (1%) trataram água de albufeira e aquífero, e 4 (1%) trataram água de rio e aquífero (Figura 17a).

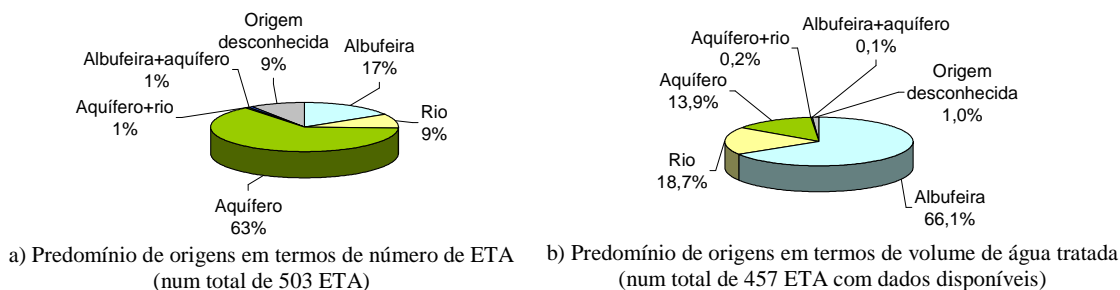


Figura 17 – Origens de água das ETA

O predomínio do tipo de origem inverte-se se for analisada a distribuição percentual dos volumes tratados pelas ETA em função do tipo de origem (Figura 17b). Do total de 457 ETA com dados de volume tratado disponíveis, verifica-se que a maior percentagem de água tratada foi obtida a partir de captações em albufeiras (66%), seguindo-se os rios (19%) e os aquíferos (14%). A

produção a partir de misturas de água superficial e subterrânea manteve a sua baixa expressão (0,3%).

A relação entre os tipos de origem de água e a dimensão das ETA, feita para os três grupos previamente identificados (pequenas, médias e grandes ETA), pode observar-se na Figura 18.

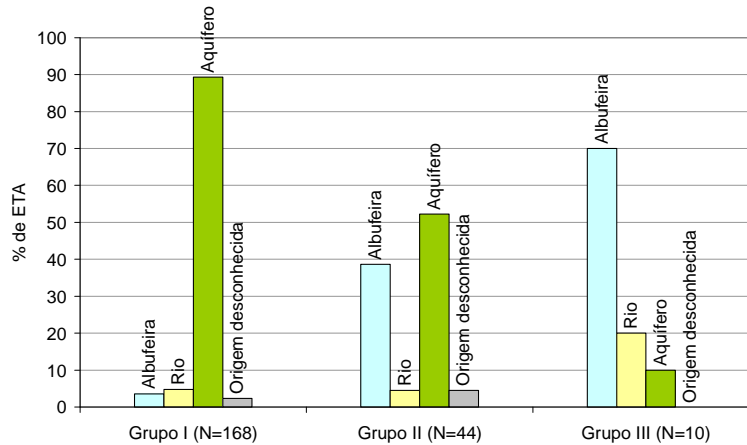


Figura 18 – Origens de água das ETA em função da dimensão das estações (dados INSAAR)

As ETA de menor capacidade (grupo I) foram na quase totalidade (89%) abastecidas por captações subterrâneas, sendo que apenas 14 instalações (9%) trataram água de origem superficial (rio e albufeira).

Nas ETA de média dimensão (grupo II) aumentou nitidamente a percentagem de estações alimentadas por água de albufeira (39% das ETA) e diminuiu a percentagem de estações alimentadas por aquífero (52% das ETA), mas continuando a ser este o tipo de origem predominante. Apenas 5% das estações do grupo II trataram água de rio.

No caso das ETA de maior dimensão (grupo III) houve um claro predomínio da captação em albufeira, sendo 70% das ETA abastecidas por este tipo de água. A captação em rio e as captações de aquíferos tiveram uma expressão muito menor (apenas 20% e 10% das ETA, respectivamente).

Em resumo, verificou-se um predomínio de origens superficiais (albufeira e rio) no caso das

ETA de maior capacidade (90%), de origens subterrâneas no caso das ETA de menor capacidade (89%), sendo as estações intermédias alimentadas por origens dos dois tipos (52% por água subterrânea e 44% por água superficial).

A análise anterior baseiou-se, como já referido, nos dados do INSAAR. Porém, considera-se de interesse referir brevemente o universo de ETA sob responsabilidade da AdP (53 ETA), uma vez que, nos dados cedidos por este grupo empresarial, é feita a distinção entre as origens de água que no INSAAR se encontram classificadas sob uma mesma designação de “troço de linha de água”, aqui abreviado por “rio”. Identificaram-se, no caso da AdP, captações no corpo de água do rio e captações subsuperficiais. A informação da AdP refere-se ao ano de 2006, mas inclui as ETA cuja construção estava já prevista nesse ano. De referir que as ETA abrangidas possuem dimensões relativamente grandes. Foram aqui consideradas apenas as ETA para as quais era conhecida quer a origem de água, quer a capacidade da estação, num total de 69 estações. A capacidade de tratamento foi, neste âmbito, traduzida pelo caudal médio de tratamento no ano de horizonte de projecto.

No domínio de intervenção da AdP predominou a captação em albufeira, quer em termos de número de ETA, quer em termos de volumes de água tratada. Na Figura 19 pode observar-se a relação entre os tipos de origem de água que abastecem ETA de diferentes dimensões.

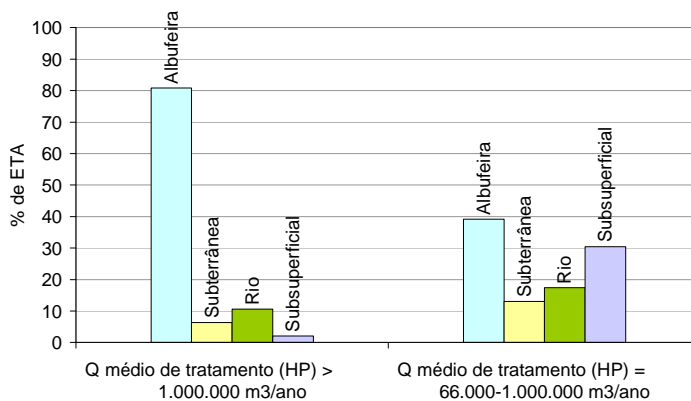


Figura 19 – Origens de água das ETA do grupo AdP em função da dimensão das estações (dados AdP)

No caso das ETA de maior dimensão (caudal médio superior a 1.000.000 m³/ano) predominou a

captação em albufeira, sendo 81% das ETA abastecidas por este tipo de água e seguindo-se a captação em rio (em 11% das ETA). As captações subterrâneas e subsuperficiais tiveram uma fraca expressão (apenas 6% e 2% das ETA, respectivamente).

Nas ETA de menor dimensão (caudal médio entre 66.000 e 1.000.000 m³/ano) a albufeira foi ainda o tipo de origem mais usado, embora por uma menor percentagem de instalações (39%). Verificou-se um ligeiro aumento da percentagem de estações que tratam água subterrânea (13%) e de rio (17%) e um aumento mais acentuado no caso das captações subsuperficiais (30%).

3.2.5. Tipos de tratamento nas ETA de Portugal Continental

Na análise que se segue adoptou-se a nomenclatura das operações e processos unitários de tratamento do INSAAR. Contudo, provavelmente ao tentar discriminar objectivos de OPU, esta classificação inclui, nalguns casos, mais do que uma alternativa para a mesma OPU. Por exemplo, o processo unitário designado por “pré-oxidação” pode ter como função a “remoção de ferro/manganês”, sendo estes dois termos, porém, duas alternativas distintas de classificação na base de dados.

No Continente, em termos globais e relativamente aos tipos de tratamento que existiam nas ETA no ano de referência, verifica-se que a desinfecção, a filtração e a correcção de pH ou de agressividade ocorreram no maior número de ETA do Continente (Quadro 35 e Figura 20): 73% das estações de tratamento efectuaram desinfecção, 49% filtração e 46% correcção de pH/agressividade. Os tratamentos menos comuns foram a flutuação (apenas uma ETA), a tamisação (em 1% das ETA) e a correcção de dureza (em 7% das ETA). Todas as operações e processos unitários de tratamento surgiram apenas uma vez na sequência de tratamento das estações com excepção da correcção de pH/agressividade. Neste caso, 14 das 232 ETA que possuíam este tipo de tratamento, efectuaram-no duas vezes na sua sequência de tratamento.

Na Figura 21 pode observar-se a relação entre os tipos de tratamento existentes e a dimensão das

ETA, tendo a análise sido feita individualmente para os três grupos previamente identificados (pequenas, médias e grandes ETA).

Quadro 35 – Caracterização das ETA em termos de operações/processos unitários de tratamento

Tipo de tratamento	N.º de ETA em que existe
Tamisação	5
Pré-oxidação	88
Remoção de ferro/manganês	74
Coagulação/floculação	97
Decantação	113
Flutuação	1
Filtração	244
Correcção da dureza	34
Correcção de pH/agressividade	232
Desinfecção	369
ETA com tipo de tratamento desconhecido	63
Total de ETA consideradas	503

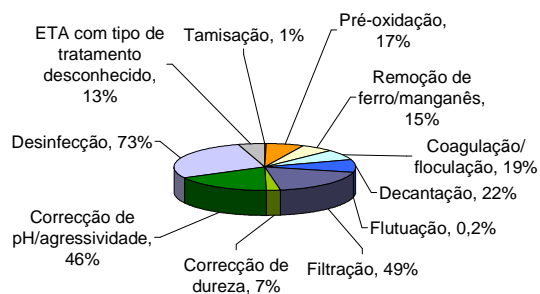


Figura 20 – Ocorrência de processos de tratamento nas ETA (em percentagem do número de ETA)

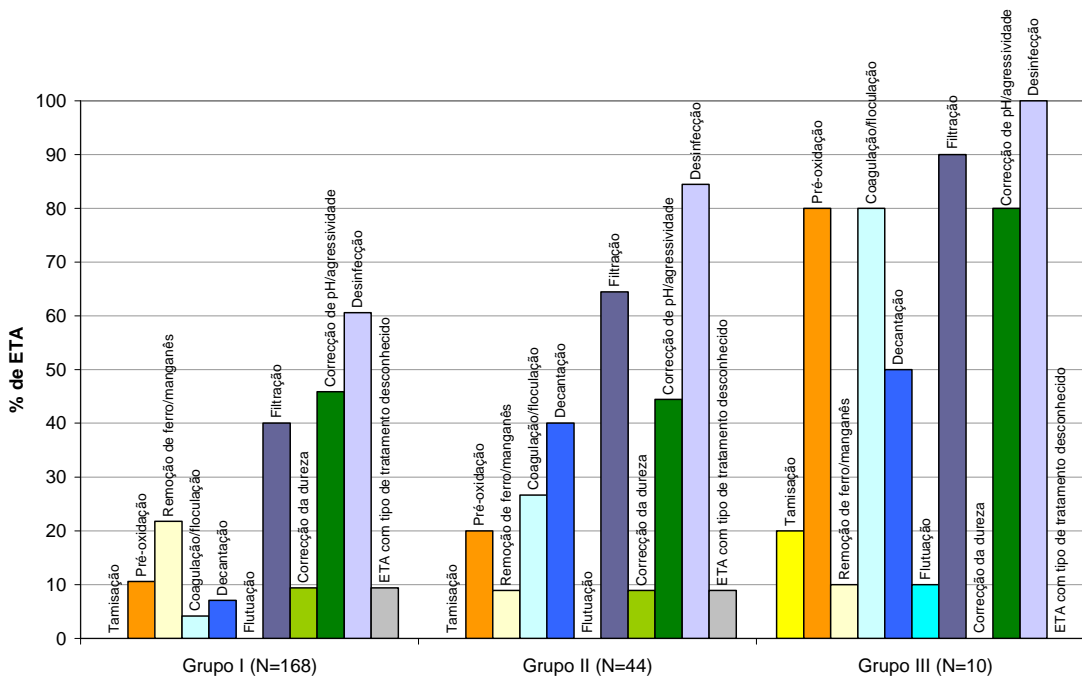


Figura 21 – Tipos de tratamento das ETA em função da dimensão

Verifica-se que nas ETA de menores dimensões (grupo I) predominaram a desinfecção, a

correção do pH/agressividade e a filtração. A remoção de ferro e manganês teve maior expressão neste grupo do que nos restantes pelo facto de a estas estações estarem, sobretudo, associadas captações de águas subterrâneas (como verificado na secção 3.2.4). Pela mesma razão, a coagulação/floculação praticamente não existiu neste tipo de ETA.

No grupo II (ETA de dimensões intermédias) predominaram também a desinfecção, a filtração e a correção do pH/agressividade, mas agora foi também efectuada a coagulação/floculação. Isto deve-se ao facto de, neste grupo, existirem ETA abastecidas por origens superficiais e ETA abastecidas por origens subterrâneas (facto evidenciado na secção 3.2.4).

Apesar de a legislação vigente à data (Decreto-Lei n.º 236/98, Anexo II) indicar a desinfecção como integrante dos esquemas de tratamento de águas superficiais e subterrâneas⁵, verificou-se que, nos grupos I e II, a percentagem de estações que incluem esta operação foi inferior a 100% (60% das ETA do grupo I e 85% do grupo II). Esta questão da deficiente desinfecção é também referida nos relatórios de qualidade da água do IRAR (Costa *et al.*, 2006) como uma causa frequente dos incumprimentos verificados nos parâmetros microbiológicos, que segundo Costa *et al.* (2006) continuam a ser o problema mais crítico de qualidade da água em Portugal. Os incumprimentos encontrados pelo IRAR concentram-se sobretudo em sistemas de pequena dimensão, o que está de acordo com os valores de ausência de tratamento de desinfecção encontrados no presente estudo para as ETA do grupo I e II.

As ETA de maiores dimensões (grupo III) apresentaram uma maior complexidade tecnológica, traduzida por um maior número de operações/processos unitários (Quadro 36), possuindo praticamente todos os processos de tratamento de água superficial (Figura 21). Esta constatação está de acordo com o facto de as estações deste tipo terem sido maioritariamente abastecidas por origens superficiais (albufeira e rio), como demonstrado pela análise da relação tipo de origem-

⁵ Actualmente, o Decreto-Lei n.º 306/2007 também estabelece no Art, 9.º, n.º 2 que a água deve ser submetida a um processo de desinfecção indicando no número seguinte em que circunstâncias especiais se pode dispensar a desinfecção.

capacidade de tratamento na secção 3.2.4.

Quadro 36 – Número médio de operações/processos unitários nas ETA em função da dimensão

Dimensão da ETA	N.º médio de OPU na ETA
Grupo III (maior dimensão)	6 ± 1,6* (n = 10)
Grupo II (média dimensão)	3 ± 0,6* (n = 41)
Grupo I (menor dimensão)	2 ± 0,2* (n = 152)

* intervalo de confiança da média com $\alpha=95\%$; n: dimensão da amostra

Considerando a totalidade das ETA cuja origem era conhecida (456), foi analisada com maior pormenor a relação entre os tipos de tratamento existentes e o tipo de origem de água da ETA (Figura 22). Como seria de esperar, o tipo de origem condicionou o tipo de operações e processos unitários de tratamento da água captada nessa origem.

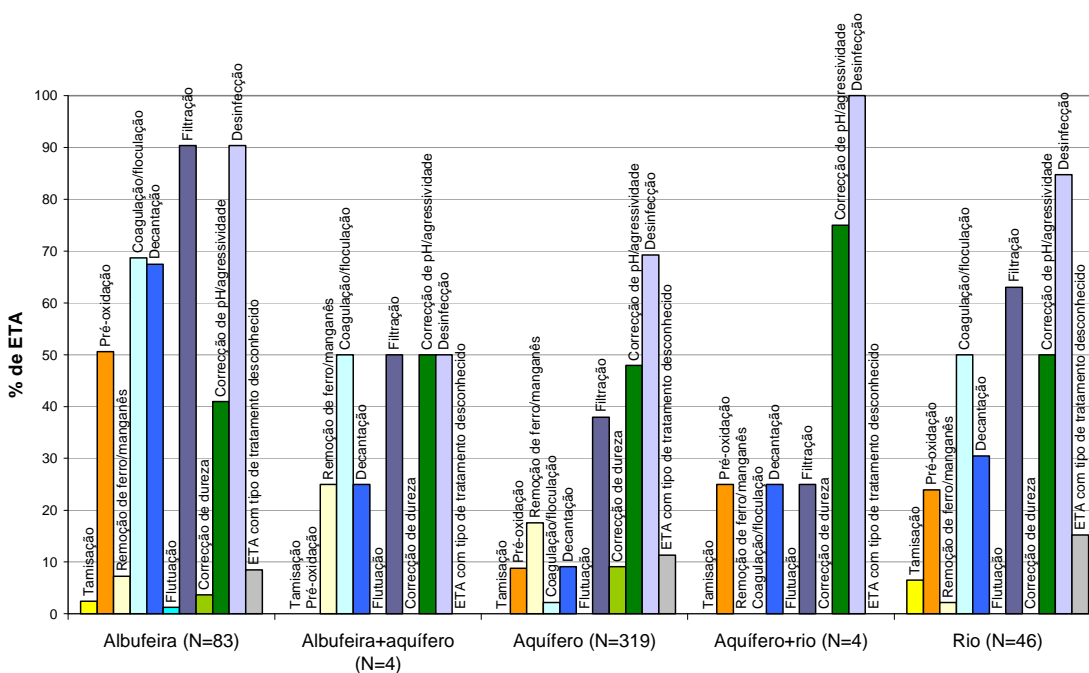


Figura 22 – Tipos de tratamento das ETA em função do tipo de origem (dados INSAAR)

Nas ETA que tinham como origem águas subterrâneas, verificou-se que as sequências de tratamento eram mais simples do que as de ETA que tratavam águas superficiais (Quadro 37). Nas linhas de tratamento de ETA de águas subterrâneas predominaram a desinfecção, a correcção de pH/agressividade e a filtração – OPU que existiam em 69%, 48% e 38% das ETA, respectivamente (Figura 22). A remoção de ferro e manganês foi também característica das águas subterrâneas, verificando-se que 18% das estações tinham instalado este tipo de tratamento

(Figura 22). A Figura 22 mostra, ainda, que a necessidade de correcção da dureza foi maior nestas águas do que nas superficiais, existindo em 9% das ETA com origem aquífero, em 4% das ETA com origem albufeira e não sendo praticada quando era tratada água proveniente de rio ou misturas de água. As características das águas de aquífero não tornam, em geral, necessária a coagulação/floculação e decantação e, como tal, houve um número reduzido de instalações que a possuíam.

Quadro 37 – Número médio de operações/processos unitários nas ETA em função do tipo de origem

Tipo de origem	N.º médio de OPU na ETA
Superficial	4 ± 0,3* (n = 115)
Subterrânea	2 ± 0,1* (n = 283)

* intervalo de confiança da média com $\alpha=95\%$; n: dimensão da amostra

Nas estações de tratamento que processam água de albufeira predominaram a desinfecção, a filtração, a coagulação/floculação e a decantação – OPU que existiam em 90%, 90%, 69% e 67% das instalações, respectivamente. A pré-oxidação e a correcção de pH/agressividade tiveram também uma ocorrência significativa: 51% e 41% das ETA, respectivamente. Apesar de existir apenas numa ETA, é de referir que a flutuação foi praticada somente em águas deste tipo. Embora em menor extensão do que no caso das águas subterrâneas (18%), a remoção de ferro e manganês foi também levada a cabo em águas de albufeira (7%).

Uma vez que são também águas superficiais, as águas de rio apresentaram alguma semelhança com as águas de albufeira em termos da predominância dos tipos de tratamento, verificando-se que a desinfecção existia em 85% das ETA, a filtração em 63%, a coagulação/floculação em 50% e a decantação em 30%. A prática da filtração directa (*i.e.*, na qual não existe um passo de decantação entre a coagulação/floculação e a filtração) em água de rio é traduzida pela diferença entre o número de ETA que possuem coagulação/floculação (23) e o número de ETA que possuem decantação (14). Este tipo de configuração do tratamento não se observou nos outros tipos de origem (com excepção de duas ETA de origem albufeira). A ausência de necessidade de decantação pode dever-se ao facto de a captação sob a classificação “rio” por vezes não ser

efectuada no corpo de água mas subsuperficialmente, ou seja, já após algum tratamento por filtração natural, pelo que a água apresenta uma melhor qualidade, em particular, em material em suspensão.

Quando há mistura de água de albufeira e de aquífero, as operações/processos unitários de tratamento predominantes corresponderam ao conjunto das OPU predominantes nos dois tipos de origem que constituem a mistura. O mesmo não aconteceu quando a mistura era de água de aquífero e de rio, uma vez que estavam ausentes a remoção de ferro/manganês e a coagulação/floculação, o que sugere que este tipo de mistura melhora as características de qualidade da água eliminando a necessidade de algumas operações/processos unitários de tratamento que teriam de existir caso os dois tipos de origem fossem processados individualmente.

Novamente, considera-se de interesse referir brevemente o universo de ETA sob responsabilidade da AdP por, de certo modo, proporcionar alguma antevisão da evolução da situação de 2002 caracterizada no INSAAR para as ETA maiores, uma vez que nos dados cedidos pela AdP se inclui informação posterior a esse ano, contemplando ETA cuja construção estava já prevista. Foram aqui consideradas apenas as ETA para as quais era conhecida quer a origem de água, quer a linha de tratamento, num total de 53 estações. Na Figura 23 pode observar-se a relação entre estas duas características das estações, verificando-se, uma vez mais, a maior complexidade dos tratamentos de águas superficiais relativamente aos das águas subterrâneas. Os dados cedidos pela AdP explicitam a maior necessidade de tratamento das águas captadas no corpo do rio do que das águas captadas subsuperficialmente, pelas razões já referidas anteriormente.

Novamente, a coagulação/floculação e a decantação estiveram associadas a origens superficiais, surgindo no caso das captações em albufeira, em rio e subsuperficiais e estando ausentes nas captações subterrâneas. A tecnologia de permuta iónica para correcção da dureza da água surgiu

apenas em estações com origens subterrâneas. A filtração em leito calcário para correcção da agressividade da água surgiu apenas numa estação com origem subsuperficial. A adsorção em carvão activado (quer granulado quer em pó) foi utilizada em ETA de todos os tipos de água superficial e não existiu em estações que tratam água de aquíferos. No universo AdP, a desinfecção foi praticada na totalidade das ETA.

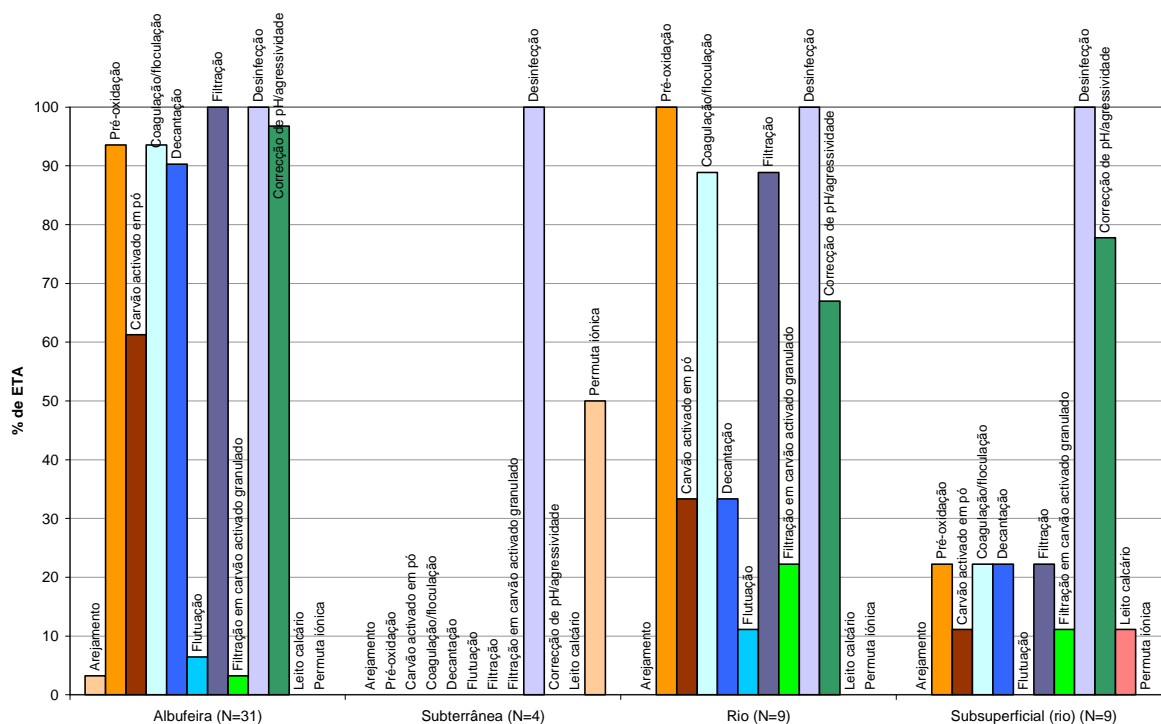


Figura 23 – Tipos de tratamento das ETA em função do tipo de origem (dados AdP)

A informação detalhada relativa ao tipo de reagentes ou tipo de órgãos utilizados em cada OPU de tratamento atrás referido é relativamente escassa no INSAAR devido ao baixo grau de preenchimento destes campos – no caso da pré-oxidação 51% das ETA que possuem este processo unitário de tratamento indicaram o tipo de reagente/órgão usado, no caso da coagulação/floculação 100%, no caso da correcção de dureza 38%, no caso da correcção de pH/agressividade 38%, no caso da remoção de ferro/manganês 51%, no caso da decantação 47%, no caso da filtração 15% e no caso da desinfecção 72%. O Quadro 38 e as Figuras 24 a 35 apresentam a informação disponível, devendo ser tido em atenção que as conclusões que se retiram da análise deste quadro e destas figuras podem não corresponder à globalidade da

situação real. Os valores que constam do Quadro 38 referem-se ao número de ETA em que ocorrem os diversos tipos de reagentes e órgãos.

Quadro 38 – Tipos de reagentes e órgãos usados nas ETA (número de ETA em que são usados)

Tipo de tratamento	Reagente/órgão	Tipo de origem		
		Subterrânea	Superficial	Mistura
Pré-oxidação	cloro gasoso		7	
	dióxido de cloro		11	
	hipoclorito de sódio	12	3	3
	ozono		9	
	permanganato de potássio			
Coagulação/floculação	cal		19	1
	carvão ativado	1	12	
	cloreto férrico	1	1	
	polieletrólito	2	13	1
	sulfato de alumínio	10	35	1
Correcção da dureza	ácido sulfúrico			
	carbonato de sódio		3	
	dióxido de carbono			
	hidróxido de cálcio	7	3	
Correcção da agressividade	hidróxido de sódio			
	ácido sulfúrico			
	carbonato de sódio	3	5	
	dióxido de carbono		7	
	hidróxido de cálcio	11	13	1
Correcção do pH	hidróxido de sódio		3	
	ácido sulfúrico			
	carbonato de sódio	1	2	
	dióxido de carbono	1	2	
	hidróxido de cálcio	11	18	3
Remoção de ferro e manganês	hidróxido de sódio	1	2	
	arejamento	22	3	1
Decantação	oxidação química	8	4	
	decantador convencional	15	19	2
	decantador de manto de lamas		10	
	decantador tubular			
	decantador lamelar		7	
Filtração	filtro lento de dupla camada (areia+antracite)	1		
	filtro lento de dupla camada (areia+carvão ativado)			
	filtro rápido aberto de dupla camada (areia+antracite)	2	3	
	filtro rápido fechado de dupla camada (areia+antracite)		1	
	filtro rápido fechado de areia	2	6	1
	filtro rápido aberto de carvão ativado			
	filtro rápido fechado de carvão ativado		3	
	filtro rápido aberto de dupla camada (areia+carvão ativado)			
	filtro rápido fechado de dupla camada (areia+carvão ativado)	3	1	
	filtro lento aberto de carvão ativado			
filtro lento de areia	4	3		
Desinfecção final	filtro rápido aberto de areia	1	6	
	cloro gasoso	7	29	
	dióxido de cloro	1	6	
	hipoclorito de sódio	168	43	7
	ozono		1	
	radiação UV	1	1	

Na pré-oxidação de águas subterrâneas utilizou-se exclusivamente hipoclorito de sódio (Quadro 38). Porém, no caso de águas superficiais este foi o pré-oxidante menos usado, verificando-se o predomínio do dióxido de cloro (Quadro 38 e Figura 24). Este reagente foi utilizado em 37% das ETA de água superficial que possuem este processo unitário de tratamento, sendo seguido pelo ozono (30%) e só depois pelo cloro gasoso (23%) (Figura 24). A introdução de dióxido de cloro

e ozono em alternativa ao cloro gasoso e hipoclorito de sódio pode estar relacionada com a tentativa de minimizar a formação de subprodutos de oxidação clorados. Apesar de, em geral, o ozono ser usado em ETA de maiores dimensões, em três das dez maiores ETA de Portugal o oxidante inicial foi o cloro gasoso.

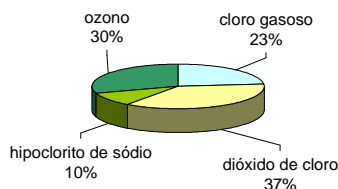


Figura 24 – Reagentes utilizados na pré-oxidação de águas superficiais

Na desinfecção final (Figura 25, Figura 26 e Quadro 38) foram usados os mesmos tipos de reagentes da pré-oxidação, verificando-se, no entanto, que o predomínio do hipoclorito de sódio ocorreu tanto em águas subterrâneas como superficiais, sendo que, no primeiro caso, 95% das estações recorreram a este reagente e, no segundo caso, 54%. No caso das águas superficiais, o cloro gasoso teve também expressão como desinfectante escolhido (36%), sendo, em geral, aplicado em ETA de grande capacidade, ao contrário do hipoclorito de sódio que foi preferido pelas pequenas estações devido à maior facilidade de doseamento e a menores exigências em termos de segurança. O ozono não foi usado em águas subterrâneas como desinfectante final e, segundo os dados do INSAAR, foi usado apenas numa estação de água superficial, seguindo-se, neste caso, uma adição de cloro gasoso para proporcionar um residual de desinfectante. A desinfecção por radiação ultravioleta surgiu apenas numa estação de água superficial e numa de água subterrânea.

Na coagulação/floculação, os sais de ferro foram menos utilizados em Portugal do que os sais de alumínio quer em águas subterrâneas, quer em águas superficiais (Figura 27, Figura 28 e Quadro 38). No primeiro caso, as ETA utilizaram maioritariamente (72% das estações) o sulfato de alumínio, sendo o cloreto férrico usado em apenas uma estação (Figura 27). Em estações que tratam águas superficiais, o sulfato de alumínio foi também o coagulante preferido (em 44% das

estações). Foram também neste processo unitário de tratamento adicionados outros reagentes que não são coagulantes ou floculantes, como a cal (em 19 estações) ou o carvão activado em pó (em 12 estações) (Figura 28) – a cal provavelmente para facilitar a remoção de turvação de águas pouco turvas e pouco alcalinas e o carvão activado para controlo de matéria orgânica natural ou de microcontaminantes orgânicos. Uma ETA de água subterrânea doseou também carvão activado, possivelmente, para controlo de pesticidas. De referir que, uma vez que na classificação INSAAR não estava prevista a alternativa “sais de alumínio pré-polimerizados”, as ETA que os utilizaram podem tê-los indicado na categoria “sulfato de alumínio” ou na categoria “polielectrólito”, o que dificulta a interpretação destes resultados. Ainda assim, pode concluir-se que os floculantes foram menos usados que os coagulantes.

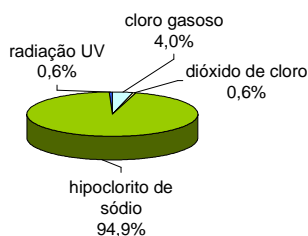


Figura 25 – Reagentes utilizados na desinfecção final de águas subterrâneas

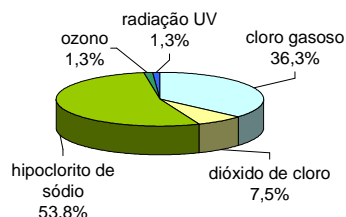


Figura 26 – Reagentes utilizados na desinfecção final de águas superficiais

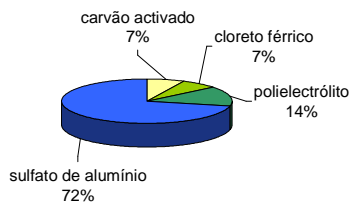


Figura 27 – Reagentes utilizados na coagulação/floculação de águas subterrâneas

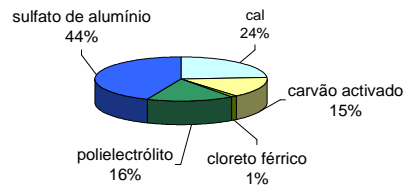


Figura 28 – Reagentes utilizados na coagulação/floculação de águas superficiais

Na correcção de dureza foram utilizados pelas ETA do Continente o hidróxido de cálcio e o carbonato de sódio (Quadro 38). As ETA que trataram água subterrânea indicaram exclusivamente o hidróxido de cálcio o que sugere a necessidade de remoção somente de dureza cálcica carbonatada e/ou dureza magnésiana carbonatada e não carbonatada (Quadro 38). No caso das águas superficiais, foram doseados quer o hidróxido de cálcio quer o carbonato de sódio

(Quadro 38), pelo que se deduz que se pretendesse remover dureza cálcica carbonatada e não carbonatada.

O hidróxido de cálcio, o hidróxido de sódio, o carbonato de sódio e o dióxido de carbono foram os reagentes utilizados para correcção de pH e/ou agressividade da água (Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Quadro 38), verificando-se claramente o predomínio do hidróxido de cálcio que, em águas subterrâneas, foi utilizado sozinho mas, em águas superficiais, foi também utilizado em simultâneo com carbonato de sódio. Nas estações de maior capacidade e que trataram águas superficiais, a correcção de agressividade foi também efectuada com a vulgar combinação de dióxido de carbono e hidróxido de cálcio. Na correcção de pH de águas superficiais recorreu-se ainda, por vezes (em 11% das instalações), ao ácido sulfúrico.

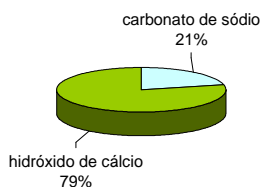


Figura 29 – Reagentes utilizados na correcção de agressividade em águas subterrâneas

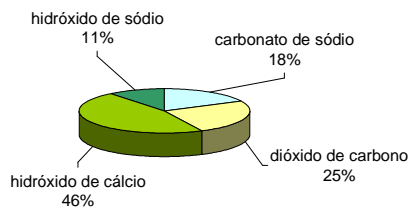


Figura 30 – Reagentes utilizados na correcção de agressividade em águas superficiais

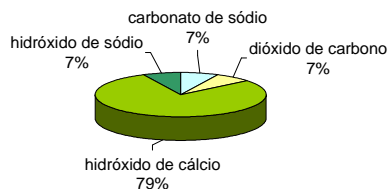


Figura 31 – Reagentes utilizados na correcção de pH em águas subterrâneas

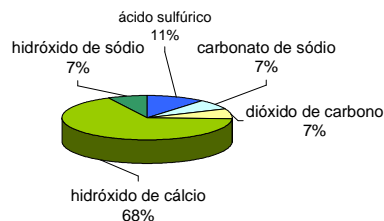


Figura 32 – Reagentes utilizados na correcção de pH em águas superficiais

A remoção de ferro e manganês foi conseguida quer por arejamento da água, quer por adição de um oxidante químico (Quadro 38). O primeiro processo foi o mais utilizado em ETA que trataram águas subterrâneas (em 73% das ETA com águas subterrâneas que forneceram informação) o que denota uma preocupação principal com a remoção de ferro em comparação com a remoção de manganês. Em duas ETA deste tipo foram usados os dois processos na mesma

linha de tratamento. No caso das águas superficiais, o número de ETA que usaram o arejamento foi praticamente igual ao das que praticaram a oxidação química.

No Continente foram utilizados três tipos de decantadores, nomeadamente o decantador convencional, o decantador de manto de lamas e o decantador lamelar (Quadro 38). Nas ETA de águas subterrâneas só foram identificados decantadores convencionais. Embora a decantação convencional predominasse também no caso de ETA de águas superficiais (existia em 53% das ETA deste tipo com informação disponível), nestas estações surgiram ainda os decantadores de manto de lamas (28%) e os decantadores lamelares (19%) (Figura 33).

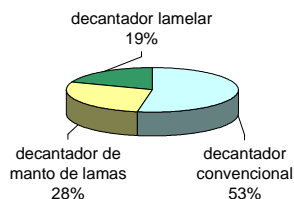


Figura 33 – Tipos de decantadores utilizados em ETA de águas superficiais

A variedade de filtros utilizados foi grande, estando instaladas oito combinações diferentes de meios de enchimento, tipos de filtros (aberto ou fechado) e velocidades de filtração (Figura 34, Figura 35 e Quadro 38). Não existiu um predomínio notório de nenhuma das combinações. A mais comum em águas subterrâneas foi o filtro lento de areia (que existia em 31% das ETA com filtração que possuem informação) e em águas superficiais foi o filtro rápido aberto ou fechado de areia (26% e 27%, respectivamente).

Quer em águas superficiais, quer em águas subterrâneas, a areia, a antracite e o carvão activado constituíram os meios de enchimento dos filtros e foram usados em filtros monocamada e em filtros multicamada. A antracite foi sempre usada em combinação com a areia. A areia e o carvão activado foram usados isoladamente (o carvão activado foi usado só no tratamento de água superficial) ou em filtros multicamada.

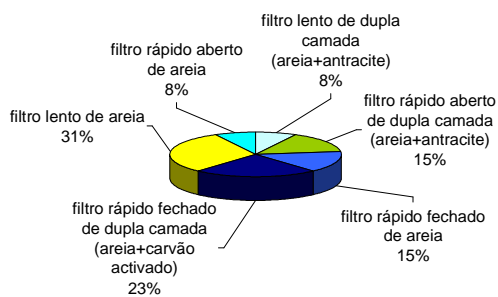


Figura 34 – Tipos de filtros usados em ETA de águas subterrâneas

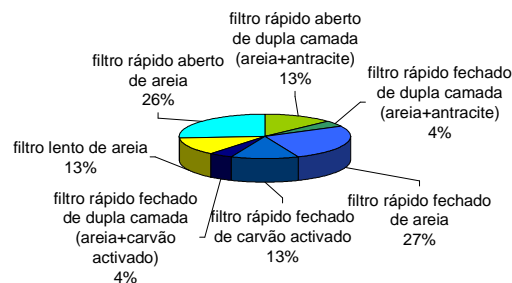


Figura 35 – Tipos de filtros usados em ETA de águas superficiais

A filtração rápida foi praticada mais frequentemente do que a filtração lenta, tanto nas ETA de águas superficiais (em 74% dos casos), como nas de águas subterrâneas (em 62% dos casos). Os filtros rápidos eram abertos ou fechados, predominando claramente o segundo tipo – 85% e 86% do número total de filtros rápidos eram fechados, respectivamente em ETA que trataram águas subterrâneas e em ETA que trataram águas superficiais. Os filtros rápidos possuíam apenas uma camada de areia ou de carvão activado granulado, ou possuíam várias camadas de areia e antracite, ou de areia e carvão activado granulado.

3.2.6. Sequências de tratamento mais comuns nas ETA de Portugal Continental

Os Quadros 39, 41 e 43 mostram a ocorrência, em termos de número de ETA, das sequências de tratamento que processavam água proveniente de diversas origens, respectivamente aquíferos, albufeiras e rios. Não foram analisados os esquemas de tratamento de estações que processavam mistura de águas de origens de vários tipos devido à pouca representatividade deste tipo de instalações.

No caso das **ETA abastecidas por aquíferos** foram identificados 88 esquemas distintos (Quadro 39). Foi o tipo de origem com maior número de sequências distintas, mas foi também neste tipo de origem que existiu um maior número de ETA a partilhar o mesmo esquema de tratamento.

Já a Figura 22 mostra que as sequências mais comuns neste tipo de estações se basearam nas operações/processos unitários de filtração, correcção de pH/agressividade e desinfecção.

O esquema de tratamento mais comum consistiu na sequência correção de pH/agressividade–desinfecção, que existia em 13% das ETA com tratamento conhecido e com origem aquífero. No entanto, de acordo com os dados analisados, a correção de pH/agressividade podia ser efectuada também depois da desinfecção, o que aconteceu em 6% das ETA. Em 6% das estações, a desinfecção existiu como único passo de tratamento e em 7% a correção de pH/agressividade foi também o único tratamento da água.

Quadro 39 – Sequências de tratamento em ETA cuja origem são aquíferos

% de ETA	n.º ETA	Linha de tratamento
13	37	c CORREÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
11	30	d FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
7	19	c CORREÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
6	18	b DESINFECÇÃO CORREÇÃO DE pH/AGRESS.
6	16	a DESINFECÇÃO
4	10	REMOÇÃO DE Fe/Mn FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
3	9	FILTRAÇÃO
3	9	REMOÇÃO DE Fe/Mn FILTRAÇÃO CORREÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
3	8	REMOÇÃO DE Fe/Mn DESINFECÇÃO
2	7	PRÉ-OXIDAÇÃO CORREÇÃO DE DUREZA
2	6	e DESINFECÇÃO CORREÇÃO DE DUREZA
2	5	CORREÇÃO DE pH/AGRESS. FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
2	5	DESINFECÇÃO FILTRAÇÃO
2	5	FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO CORREÇÃO DE pH/AGRESS.
2	5	FILTRAÇÃO REMOÇÃO DE Fe/Mn DESINFECÇÃO
1	4	FILTRAÇÃO CORREÇÃO DE pH/AGRESS.
1	4	PRÉ-OXIDAÇÃO CORREÇÃO DE pH/AGRESS. REMOÇÃO DE Fe/Mn DESINFECÇÃO
1	4	REMOÇÃO DE Fe/Mn CORREÇÃO DE DUREZA DESINFECÇÃO
1	3	CORREÇÃO DE pH/AGRESS. FILTRAÇÃO
1	3	PRÉ-OXIDAÇÃO CORREÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
1	3	REMOÇÃO DE Fe/Mn CORREÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
1	2	CORREÇÃO DE DUREZA CORREÇÃO DE pH/AGRESS.
1	2	CORREÇÃO DE DUREZA FILTRAÇÃO CORREÇÃO DE pH/AGRESS.
1	2	CORREÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO FILTRAÇÃO
1	2	CORREÇÃO DE pH/AGRESS. REMOÇÃO DE Fe/Mn DESINFECÇÃO
1	2	FILTRAÇÃO CORREÇÃO DE DUREZA DESINFECÇÃO
1	2	PRÉ-OXIDAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
22	61	OUTRAS LINHAS DE TRATAMENTO (CADA UMA EXISTE SÓ EM 1 ETA)
100	283	Total ETA com origem aquífero e com tratamento conhecido

Notas: as linhas de tratamento assinaladas com uma letra correspondem às linhas que produzem maiores volumes de água e que são listadas no Quadro 40; a percentagem refere-se ao total de ETA com origem aquífero e com tratamento conhecido.

A segunda sequência de tratamento mais comum (11% das ETA) consistiu no esquema de tratamento previsto no Decreto-Lei n.º 236/98 como mínimo para águas subterrâneas, filtração–desinfecção. Em 10 ETA, foi feita a remoção de ferro/manganês previamente a esta sequência. Surpreendentemente (uma vez que envolve a formação de precipitados), em outras cinco ETA a remoção de ferro/manganês surgiu após a filtração e antes da desinfecção.

De referir que a leitura dos dados disponíveis deve ser feita cuidadosamente, uma vez que

algumas operações/processos unitários parecem estar fora de ordem, para além da já referida possibilidade de, no INSAAR, se classificar o mesmo processo/operação de duas ou mais formas distintas.

A representatividade dos esquemas de tratamento em termos de volume de água produzida difere da representatividade em termos de número de ETA em que ocorrem, devendo ser ambas consideradas para a definição do âmbito da metodologia de avaliação de desempenho. O Quadro 40 lista os seis esquemas de tratamento responsáveis pela produção de maior volume de água em estações que trataram água de aquíferos, podendo observar-se que não correspondem exactamente aos seis esquemas de tratamento instalados no maior número de ETA (Quadro 39). Contudo, os quatro esquemas maiores produtores de água (*a*, *b*, *c* e *d* do Quadro 40) encontram-se entre os cinco esquemas mais frequentes, apesar de não terem a mesma ordenação.

Não obstante o Decreto-Lei n.º 236/98 prever como tratamento mínimo um tratamento físico e desinfecção, o maior volume de água tratado a partir de aquíferos (47.177.965 m³/ano) foi apenas submetido a um tratamento de desinfecção e surgiu em 16 estações de tratamento. Seguem-se dois esquemas em que esta desinfecção foi seguida ou precedida de uma correcção de pH/agressividade e que foram responsáveis pela produção de 5.682.926 m³/ano e 3.431.342 m³/ano, e que surgiram em 18 e 37 ETA, respectivamente.

Os esquemas de tratamento que incluem correcção de dureza não foram muito expressivos em termos de ocorrência, mas foram importantes em termos de volume de água tratada.

Quadro 40 – As seis sequências de tratamento responsáveis pela produção de maior volume de água a partir de aquíferos

Volume produzido (m ³ /ano)	n.º ETA	Linha de tratamento
47.177.965	16	a DESINFECÇÃO
5.682.926	18	b DESINFECÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS.
3.431.342	37	c CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
1.740.188	30	d FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
1.519.539	6	e DESINFECÇÃO CORRECÇÃO DE DUREZA
1.340.610	1	f CORRECÇÃO DE DUREZA REMOÇÃO DE Fe/Mn DESINFECÇÃO

No caso das **ETA abastecidas por água superficial proveniente de albufeiras** foram

identificadas 43 linhas de tratamento distintas (Quadro 41).

As sequências mais comuns nestas estações basearam-se nas OPU coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (Figura 22).

O esquema de tratamento mais frequente em ETA que trataram água de albufeiras (17%) consistiu na pré-oxidação–coagulação–floculação–decantação–filtração–desinfecção, considerado como sequência de tratamento convencional (AWWA, 1999). Cerca de 8% das estações possuíam o mesmo esquema sem a pré-oxidação inicial. Cinco ETA (7%) possuíam o mesmo esquema mas, adicionalmente, com uma correcção de pH/agressividade intercalada antes da coagulação e outra antes da desinfecção. Duas ETA tinham a segunda correcção após a desinfecção, enquanto outras duas ETA tinham uma única correcção antes da desinfecção e outras duas tinham uma única correcção antes da coagulação. Todas estas sequências (com excepção da que inclui correcção de pH/agressividade após desinfecção) correspondem ao esquema de tratamento preconizado no Decreto Lei n.º 236/98 para águas classificadas como A2 ou A3.

De acordo com os dados analisados, o segundo esquema de tratamento mais frequente (existente em 8% das ETA deste tipo) consiste no esquema de tratamento preconizado no Decreto Lei n.º 236/98 para águas classificadas como A1, *i.e.*, filtração–desinfecção. Em 4% das ETA existia uma correcção de pH/agressividade entre a filtração e desinfecção.

Em termos de volumes de água produzidos, novamente, os esquemas de tratamento mais representativos (Quadro 42) não corresponderam aos esquemas que surgiam em maior número de ETA. Verifica-se inclusivamente que os cinco esquemas responsáveis pelo maior volume de água tratada ocorreram apenas em uma ou duas ETA cada um, ou seja, em estações de grandes dimensões. O esquema que mais água produziu em 2002 (159.097.245 m³/ano) consiste numa sequência de tratamento convencional com filtração directa (pré-oxidação–correcção de pH/agressividade–coagulação–floculação–filtração–correcção de pH/agressividade–desinfecção)

e estava instalado precisamente na maior ETA de Portugal. O segundo esquema de tratamento mais representativo (54.928.705 m³/ano) foi novamente a sequência convencional, mas incluindo agora a decantação e existia em duas das dez maiores ETA do país. O mesmo esquema mas sem a correcção de pH/agressividade (pré-oxidação–coagulação–floculação–decantação–filtração–desinfecção) surgiu num maior número de ETA (13) e originou também um significativo volume de água (16.411.674 m³/ano).

De salientar o caso de uma estação de tratamento que, apesar de tratar água de albufeira, apenas tinha instalado um tratamento simples de correcção de pH/agressividade–desinfecção e que foi também um grande produtor de água (18.135.500 m³/ano). De referir, também, o esquema convencional que inclui a remoção de ferro e manganês e que, numa estação, produziu em 2002 22.739.900 m³.

No caso das **ETA abastecidas por rios** foram identificados 28 esquemas distintos (Quadro 43). Na generalidade, são tratamentos que denotam uma melhor qualidade da água a tratar, uma vez que se centram mais na utilização da filtração (com ou sem coagulação/floculação prévia e com ou sem pré-oxidação) em detrimento da decantação.

Os simples tratamentos por correcção de pH/agressividade–desinfecção e filtração–desinfecção correspondem às sequências mais usuais para processamento deste tipo de águas superficiais, tendo sido identificadas, respectivamente, em quatro e três das estações que trataram água de rio. Em duas ETA, à desinfecção seguiu-se a correcção de pH/agressividade, noutras duas existiam as três operações/processos de filtração–correcção de pH/agressividade–desinfecção. Em duas estações esta sequência foi precedida por uma decantação.

Outros esquemas de tratamento incluem filtração directa com coagulação/floculação prévia e com ou sem pré-oxidação terminando com a desinfecção (ambos os casos, em duas ETA). Finalmente, a pré-oxidação–correcção de pH/agressividade–coagulação–floculação–decantação–filtração–desinfecção existia em duas ETA.

Apesar de ocorrer apenas numa ETA, o esquema convencional de pré-oxidação–coagulação–floculação–decantação–filtração–correção de pH/agressividade–desinfecção foi o que processa o maior volume de água de rio (61.932.450 m³/ano) (Quadro 44). A sequência convencional com filtração directa (pré-oxidação–correção de pH/agressividade–coagulação–floculação–filtração–correção de pH/agressividade–desinfecção) foi a segunda mais representativa (15.500.000 m³/ano) e existia também apenas numa estação de grandes dimensões. Em termos de representatividade do volume de água produzido, seguem-se quatro ETA que, globalmente, produziram 8.114.601 m³/ano somente com base numa correção de pH/agressividade e desinfecção.

3.2.7. Tipos de tratamento da fase sólida em Portugal Continental

A informação que consta do INSAAR relativamente à produção, tratamento e destino final de lamas das estações de tratamento de água é escassa – a quantidade de lamas produzida foi indicada em apenas 3% das ETA, o seu destino final em 6% das estações e o tipo de tratamento em 8% das estações. De qualquer modo, o facto de os dados existentes incluírem as maiores ETA do país, que tratam água de origem superficial, confere algum interesse ao tratamento desses dados e aos resultados obtidos.

Relativamente à produção de lamas, o tratamento de dados disponíveis no INSAAR permite concluir que duas ETA apresentavam uma produção diária de 20 t, uma ETA produziu 12 t/dia, seis ETA indicaram valores entre 1 t/dia e 10 t/dia, duas ETA produziram entre 10 kg/dia e 1.000 kg/dia e, as restantes duas produziram menos de 1 kg/dia.

Os destinos finais das lamas foram a aplicação no solo (em onze ETA de origem superficial e três ETA de origem subterrânea), a indústria de materiais de construção (em quatro ETA de origem superficial) e a deposição em aterro sanitário (em onze ETA de origem superficial e uma ETA de origem subterrânea).

Quadro 41 – Sequências de tratamento em ETA cuja origem são albufeiras

% de ETA	n.º ETA	Linha de tratamento
17	13	f PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
8	6	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
8	6	FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
7	5	PRÉ-OXIDAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
4	3	FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
3	2	b PRÉ-OXIDAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS.
3	2	PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
3	2	PRÉ-OXIDAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
3	2	DECANTAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
3	2	DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
43	33	OUTRAS LINHAS DE TRATAMENTO (CADA UMA EXISTE SÓ EM 1 ETA)
100	76	total ETA com origem albufeira e com tratamento conhecido

Notas: as linhas de tratamento assinaladas com uma letra correspondem às linhas que produziram maiores volumes de água e que são listadas no Quadro 42; a percentagem refere-se ao total de ETA com origem albufeira e com tratamento conhecido; a sequência floculação-decantação pode ter ocorrido no mesmo órgão.

Quadro 42 – As seis sequências de tratamento responsáveis pela produção de maior volume de água a partir de albufeiras

Volume produzido (m³/ano)	n.º ETA	Linha de tratamento
159.097.245	1	a PRÉ-OXIDAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
54.928.705	2	b PRÉ-OXIDAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS.
53.356.842	1	c PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FLUTUAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
22.739.900	1	d PRÉ-OXIDAÇÃO REMOÇÃO DE Fe/Mn COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
18.135.500	1	e CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
16.411.674	13	f PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO

Quadro 43 – Sequências de tratamento em ETA cuja origem são rios

% de ETA	n.º ETA	Linha de tratamento
10	c	4 CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
8		3 FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
5		2 DESINFECÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS.
5		2 FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
5	d	2 DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
5	e	2 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
5		2 PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
5		2 PRÉ-OXIDAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
51	20	OUTRAS LINHAS DE TRATAMENTO (CADA UMA EXISTE SÓ EM 1 ETA)
100	39	total ETA com origem rio e com tratamento conhecido

Notas: as linhas de tratamento assinaladas com uma letra correspondem às linhas que produziram maiores volumes de água e que são listadas no Quadro 44; a percentagem refere-se ao total de ETA com origem rio e com tratamento conhecido; a sequência floculação-decantação pode ter ocorrido no mesmo órgão

Quadro 44 – As seis sequências de tratamento responsáveis pela produção de maior volume de água a partir de rios

Volume produzido (m³/ano)	n.º ETA	Linha de tratamento
61.932.450	1 a	PRÉ-OXIDAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
15.500.000	1 b	PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
8.114.601	4 c	CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
3.193.543	2 d	DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
1.850.172	2 e	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
1.806.146	1 f	CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO

A Figura 36 apresenta os tipos de tratamento aplicados às lamas antes do envio para destino final. A desidratação foi o tratamento mais aplicado (em 51% das estações com tratamento da fase sólida conhecido), seguindo-se o espessamento que ocorreu a montante dessa desidratação (em 43% das ETA). Uma ETA efectuou a estabilização das lamas após a desidratação. Uma ETA efectuou a desinfecção como único tratamento das lamas.

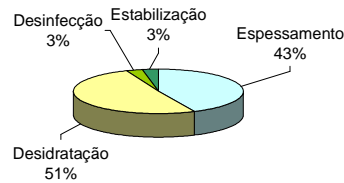


Figura 36 – Tipos de tratamento das lamas (dados INSAAR)

Os dados cedidos pela AdP permitem analisar com mais pormenor o tipo de desidratação realizado nas ETA deste grupo. Os resultados apresentados na Figura 37 referem-se a um universo de 43 estações para as quais existia informação sobre a desidratação de lamas. Mais de metade das instalações (52%) optou pela desidratação em filtro prensa de placas, 30% optaram pelo uso de centrífugas e 14% por filtros de bandas, sendo estes os três processos predominantes.

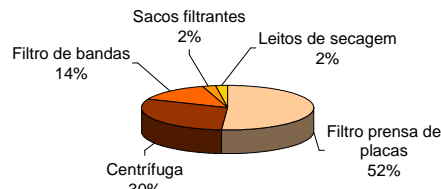


Figura 37 – Tipos de desidratação das lamas (dados AdP)

3.2.8. Estações de tratamento das Regiões Autónomas da Madeira e Açores

Região Autónoma dos Açores

Nesta região existiam doze estações de tratamento de água, todas em serviço e localizadas em cinco das nove ilhas do arquipélago, nomeadamente São Miguel (três ETA), Corvo (uma ETA), Terceira (cinco ETA), São Jorge (duas ETA) e Pico (uma ETA). Na maioria destas estações não existia informação relativamente a caudais processados, nem capacidades máximas instaladas.

A origem da água a tratar nestas estações foi maioritariamente subterrânea (em 75% das ETA,

Figura 38), enquanto uma ETA tratou água superficial e as restantes duas trataram uma mistura de água subterrânea e superficial.

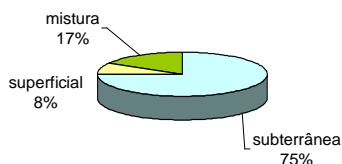


Figura 38 – Origens de água nos Açores (em termos de número de ETA)

Foram identificados cinco esquemas de tratamento relativamente simples, um associado às origens superficiais, três associados a águas subterrâneas e um associado a mistura de origens (Quadro 45). O tipo de tratamento para águas subterrâneas que existia em maior número de ETA (quatro) corresponde à prática de uma simples desinfecção. Em outras quatro estações foi, surpreendentemente, indicado um tratamento somente por decantação. A outra estação com origem subterrânea apresentou a sequência decantação–coagulação–floculação–filtração, onde é também invulgar o passo inicial ser uma decantação. O mesmo acontece na ETA que processou água superficial. A única ETA que trata água de mistura usou a sequência convencional coagulação–floculação–decantação–filtração–desinfecção. Por ausência de informação, não é possível concluir quanto à representatividade destes esquemas de tratamento em termos de volumes de água produzidos.

Quadro 45 – Esquemas de tratamento nas ETA dos Açores

Tipo de origem	N.º ETA	Linha de tratamento
Subterrânea	4	DESINFECÇÃO
	4	DECANTAÇÃO
Superficial	1	DECANTAÇÃO
	1	DECANTAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FILTRAÇÃO
Mistura	1	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO

Região Autónoma da Madeira

Nesta região existiam doze estações de tratamento de água, todas em serviço, estando onze localizadas na ilha da Madeira e uma em Porto Santo. Os caudais médios destas ETA situaram-se na gama 262.800 m³/ano – 19.207.132 m³/ano, sendo, portanto, estações de dimensões relativamente grandes.

Ao contrário do que acontece no arquipélago dos Açores, a origem da água que alimentou as ETA do arquipélago da Madeira foi maioritariamente superficial (Figura 39a) sendo as captações efectuadas nas tradicionais “levadas”. Este tipo de origem foi usado em 66% das ETA, duas ETA trataram água subterrânea e duas trataram mistura de água subterrânea e superficial. Em termos de volume de água, o predomínio da origem superficial ainda foi maior (83%, Figura 39b).



a) Predomínio de origens em termos de número de ETA b) Predomínio de origens em termos de volume de água tratada

Figura 39 – Origens de água na Madeira

Foram identificados na região da Madeira seis esquemas de tratamento distintos, quatro associados às origens superficiais e dois associados a águas subterrâneas (Quadro 46). À mistura de origens correspondem dois esquemas de tratamento, um em comum com as origens superficiais e um em comum com as origens subterrâneas (Quadro 46).

O tipo de tratamento para águas subterrâneas que existia em maior número de ETA (duas) e que também foi responsável pela produção do maior volume de água (6.149.520 m³/ano) consiste na desinfecção. O outro esquema de tratamento de águas subterrâneas é único em Portugal, existe na ETA de Porto Santo e corresponde à sequência correcção de pH/agressividade–dessalinização–desinfecção.

Em relação às ETA que tratam água superficial, o tratamento convencional por filtração directa (coagulação–floculação–filtração–desinfecção) estava instalado numa única estação, mas foi o predominante em termos de produção de água (19.207.132 m³/ano). Seguiu-se o tratamento convencional de coagulação–floculação–decantação–filtração–desinfecção, que existia em três estações e produziu 16.959.360 m³/ano. O esquema instalado em maior número de ETA com origem superficial foi a filtração directa (adjuvada por coagulação/floculação) com uma pré-oxidação e desinfecção final (1.314.000 m³/ano).

As duas ETA alimentadas por mistura de água superficial e água subterrânea efectuaram o tratamento através de uma desinfecção (o tratamento predominante em termos de volume) ou através de coagulação–floculação–decantação–filtração–desinfecção.

Quadro 46 – Esquemas de tratamento nas ETA da Madeira

Origem: subterrânea			
Volume produzido (m ³ /ano)	n.º ETA	Linha de tratamento	
6149520	2	DESINFECÇÃO	
594857	1	CORRECÇÃO DE pH/AGRESS.	DESSALINIZAÇÃO DESINFECÇÃO
Origem: superficial			
Volume produzido (m ³ /ano)	n.º ETA	Linha de tratamento	
19207132	1	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
16959360	3	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
1314000	4	PRÉ-OXIDAÇÃO	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO
473040	1	CORRECÇÃO DE DUREZA	PRÉ-OXIDAÇÃO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO CORRECÇÃO DE pH/AGRESS. DESINFECÇÃO
Origem: mistura			
Volume produzido (m ³ /ano)	n.º ETA	Linha de tratamento	
4099680	1	DESINFECÇÃO	
876000	1	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	DECANTAÇÃO FILTRAÇÃO DESINFECÇÃO

3.3. Identificação das sequências de tratamento a estudar no âmbito da metodologia de avaliação de desempenho

A multiplicidade dos esquemas de tratamento identificados nas secções anteriores pode ser interpretada como variantes das sequências ditas convencionais. Como já referido, a análise dos dados disponíveis deve ser feita com algum cuidado e atender às aparentes incoerências, em alguns casos, no que se refere à ordem de algumas operações/processos unitários. Não obstante estas reservas, é possível, com base na caracterização da situação nacional apresentada nas secções anteriores, identificar os esquemas de tratamento de maior representatividade em termos de ocorrência (número de ETA em que existem) e em termos de volume de água produzido anualmente. Assim, foram identificados os esquemas de tratamento da Figura 40 e da Figura 41 como sendo representativos do tratamento das fases líquidas das estações de tratamento que processam água de origem superficial e de origem subterrânea, respectivamente. Identificou-se o esquema de tratamento da Figura 42 como sendo representativo do tratamento da fase sólida.

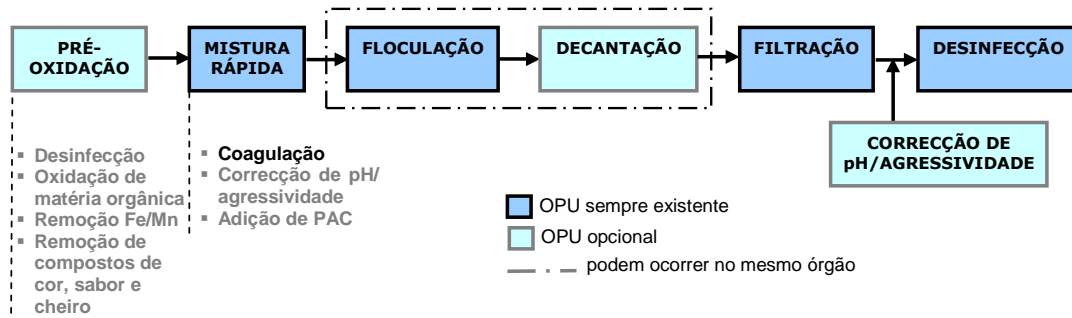


Figura 40 – Esquema de tratamento típico para origens superficiais (fase líquida)

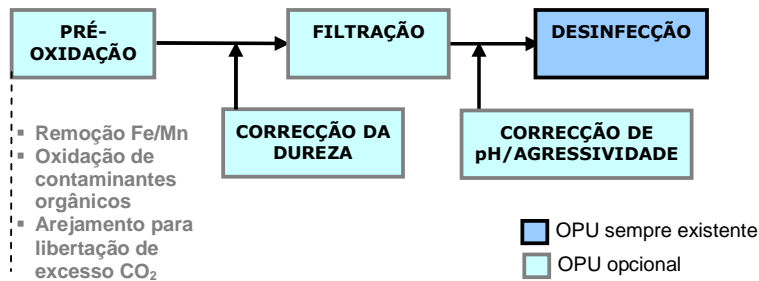


Figura 41 – Esquema de tratamento típico para origens subterrâneas (fase líquida)

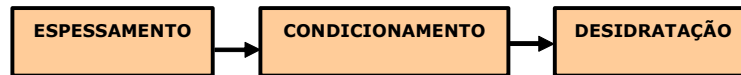


Figura 42 – Esquema de tratamento típico da fase sólida

Cada esquema-base apresenta algumas variantes no sentido de que as ETA podem não ter instaladas todas as OPU indicadas. No entanto, uma metodologia de avaliação de desempenho desenvolvida para o esquema-base completo é aplicável a todas as ETA mais representativas, uma vez que é possível aplicar apenas algumas das componentes da metodologia de acordo com as operações/processos unitários existentes em cada estação.

No caso das águas superficiais, a pré-oxidação pode destinar-se à desinfecção primária da água, à oxidação de matéria orgânica, à remoção de ferro e manganês ou de compostos de cor, sabor e cheiro e pode, também, não existir. Na mistura rápida, além da coagulação, pode ser eventualmente feita uma correção de pH e/ou agressividade (normalmente aqui contempladas para aumentar a eficiência de remoção de turvação) ou uma adição de carvão activado em pó (para adsorção de NOM e microcontaminantes orgânicos). A própria pré-oxidação pode ter lugar

na mistura rápida se não forem necessários reactores fechados (é, por exemplo, o caso da aplicação de permanganato de potássio). A decantação pode não existir em alguns casos de captação de água com baixo teor em sólidos suspensos e matéria coloidal (*e.g.*, água captada em rios), ou seja, quando existe filtração directa. A floculação e a decantação podem não existir como duas operações/processos unitários individuais e sequenciais uma vez que podem ocorrer no mesmo órgão (*e.g.*, decantadores de manto de lamas). A existência de uma correcção de pH e/ou agressividade antes da desinfecção final é também uma variante opcional em função da qualidade da água.

Apenas em algumas águas subterrâneas existe a necessidade de uma oxidação inicial para remoção de ferro e manganês ou de contaminantes orgânicos (*e.g.*, pesticidas). Esta pré-oxidação pode ter também como objectivo ou contribuir apenas num arejamento para libertação de CO₂ em excesso. Também a filtração, a correcção de dureza e a correcção de pH/agressividade são variantes que podem estar ausentes neste tipo de ETA.

A Figura 43 faz a integração dos dois esquemas típicos identificados para águas superficiais e subterrâneas, assinalando-se as OPU associadas ao tratamento de cada um destes tipos de origem. Verifica-se que, na generalidade, as OPU são comuns aos dois tipos de água, apesar de poderem ser mais usuais num deles. A pré-oxidação, filtração, desinfecção e correcção de pH/agressividade podem existir nos dois casos. A remoção de dureza de águas subterrâneas, através do processo convencional (precipitação química/decantação/filtração), envolve passos semelhantes ao da clarificação de águas superficiais (sendo a precipitação química efectuada na mistura rápida), mas com condições de operação (gradiente de velocidade e tempo de retenção) diferentes. Assim, a abordagem de avaliação de desempenho desenvolvida no presente trabalho, apesar de ser mais dirigida para águas superficiais, pode ser, igualmente, aplicada à maioria das sequências de tratamento de águas subterrâneas, devido, sobretudo, à sua estrutura modular.

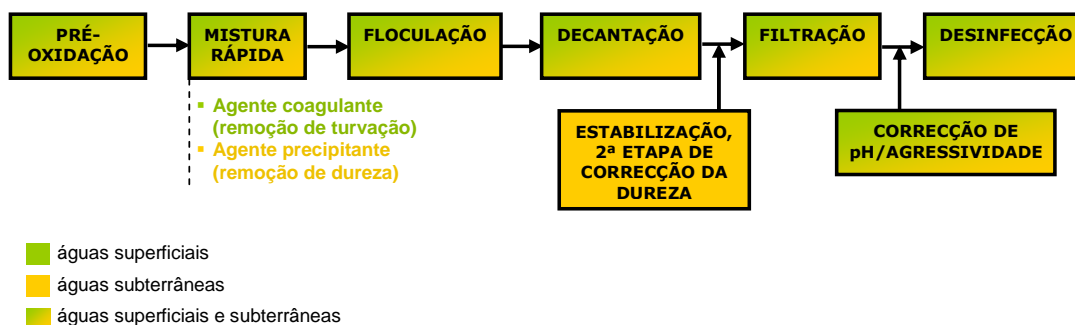


Figura 43 – Integração de OPU associados a tratamento de águas superficiais e de águas subterrâneas

Uma análise previsional de evolução dos esquemas-tipo de tratamento aqui definidos, com base nas necessidades futuras para fazer face a contaminantes emergentes (AWWA, 1999; Eckenfelder, 2000; Petrovic *et al.*, 2003; Richardson, 2003; Newcombe e Nicholson, 2004; WHO, 2004; Richardson, 2005; Westerhoff *et al.*, 2005; Traversay *et al.*, 2006; WHO, 2006; Rosa *et al.*, 2007), sugere que serão crescentemente implementadas as seguintes tecnologias de tratamento, em complemento ou em substituição das tecnologias convencionais:

- **adsorção em carvão activado (PAC e GAC)** – já existe em algumas ETA em Portugal e prevê-se que a sua utilização seja alargada para controlar a NOM (precursora de OBP), os OBP (se formados na ETA), a estabilidade biológica da água na rede de distribuição (através da remoção de AOC), os microcontaminantes orgânicos (como as cianotoxinas, os pesticidas e correspondentes produtos de degradação, os produtos farmacêuticos, produtos de cuidado pessoal, desreguladores endócrinos e hormonas) e inorgânicos (*e.g.*, clorito);
- **oxidação com ozono (pré-oxidação ou oxidação secundária)** – já existe em algumas ETA em Portugal e prevê-se que a sua utilização seja alargada para minimizar a formação de OBP e fazer face a formas biológicas resistentes à oxidação química (*e.g.*, cistos de *Giardia*, oocistos de *Cryptosporidium*), cianobactérias e cianotoxinas e outros microcontaminantes orgânicos (*e.g.*, pesticidas e correspondentes produtos de degradação, produtos farmacêuticos, produtos de cuidado pessoal, desreguladores endócrinos, hormonas);
- **processos avançados de oxidação (AOP)** – já existem em ETA de outros países para

minimizar a formação de OBP e para controlo de formas biológicas resistentes à oxidação química, de cianotoxinas e de outros microcontaminantes orgânicos, em especial, compostos muito resistentes à oxidação (*e.g.*, pesticidas, compostos aromáticos). Nos casos em que usam ozono, estes processos podem ser considerados como *up-grade* da oxidação com ozono;

- **flutuação por ar dissolvido (DAF)** – existe apenas em duas ETA em Portugal e prevê-se que a sua utilização seja alargada para fazer face a alguns dos novos contaminantes, como as cianobactérias, as microalgas e outros materiais de baixa densidade;
- **osmose inversa** – existe apenas numa estação em Portugal mas prevê-se que a sua utilização possa ser alargada caso se pretenda recorrer a origens de água do mar;
- **microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF)** – já existem em ETA de outros países para garantir uma desinfecção mais segura (incluindo a eliminação de formas biológicas resistentes aos processos tradicionais de desinfecção e, no caso da UF, vírus) sem degradação da qualidade da água em termos de OBP e, no caso da UF, conseguindo também alguma diminuição da carência de desinfectante da água (NOM de elevado peso molecular);
- **nanofiltração (NF)** – já existe em ETA de outros países para remover NOM, controlar OBP, remover AOC (estabilidade da água na rede de distribuição), garantir uma desinfecção mais segura, remover ferro e manganês, remover dureza e outros metais multivalentes (e, parcialmente, alguns monovalentes como brometo, cloreto, clorito, clorato, bromato) e remover microcontaminantes orgânicos de médio-baixo peso molecular (*e.g.*, compostos de cor, sabor e cheiro, pesticidas, cianotoxinas, desreguladores endócrinos).

Na sequência da identificação dos esquemas-tipo de tratamento existentes e da sua evolução expectável, foi definido o âmbito de desenvolvimento da metodologia de avaliação de desempenho, em particular das OPU estudadas na componente de desempenho operacional em termos do funcionamento dos órgãos (uma vez a componente de OvPA e as restantes componentes da OpPA são, em princípio, aplicáveis a todos os tipos de ETA). Foram

seleccionadas OPU relevantes em termos de representatividade e para as quais, previsivelmente, houvesse facilidade de obtenção de dados fiáveis de casos de estudo (de modo a ser possível efectuar o teste e a validação da metodologia).

No caso das tecnologias avançadas de tratamento, não estão disponíveis, a nível nacional, dados de casos de estudo, pelo que constituem matéria que excede o âmbito da presente tese, não tendo sido contempladas no desenvolvimento da metodologia de avaliação de desempenho.

A pré-oxidação e a desinfecção final são, em geral, levadas a cabo através de oxidação química, cujo funcionamento depende significativamente do tipo de oxidante usado, tipo de órgãos e condições ambientais (*e.g.*, carência de oxidante da água, pH, alcalinidade, temperatura) e para a qual existe alguma dificuldade na obtenção de dados relativos a parâmetros de operação (concentração de oxidante e tempo de contacto). Assim, na componente de avaliação de desempenho em termos de funcionamento dos órgãos, optou-se por investir no estudo de outras OPU que são relevantes em termos de representatividade e cuja disponibilidade de dados fiáveis é maior: coagulação, floculação, decantação e filtração.

No entanto, e como se discute no capítulo 11, em termos de desenvolvimentos futuros deste trabalho, considera-se incontornável o alargamento da metodologia às tecnologias de tratamento não tratadas na tese.

4. Avaliação de desempenho global de ETA

4.1. Metodologia para definição e implementação do sistema de indicadores de desempenho

4.1.1. Metodologia para definição de um sistema de ID de uso geral

O desenvolvimento do sistema de ID que constitui a componente de avaliação de desempenho global do sistema de avaliação de desempenho de ETA seguiu a metodologia apresentada na Figura 44. Esta metodologia refere-se ao desenvolvimento dos ID e difere da metodologia a ser seguida por um seu utilizador que pretenda levar a cabo a sua implementação numa ETA específica (esta metodologia está descrita de forma resumida na secção 4.1.2).

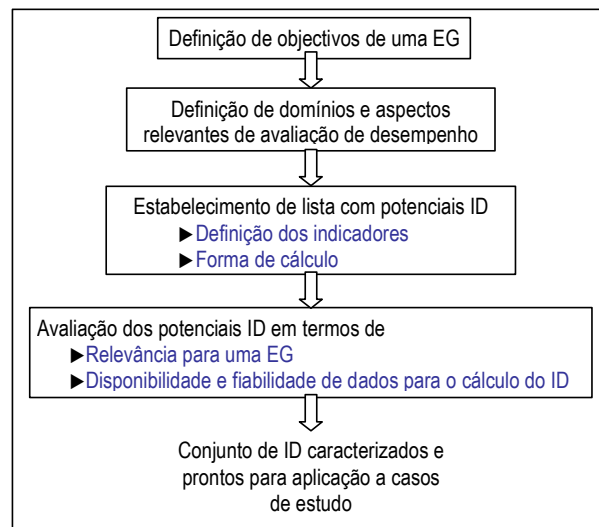


Figura 44 – Metodologia geral de definição do sistema de indicadores de desempenho de ETA

A definição dos ID teve como ponto de partida os objectivos identificados como gerais para a maioria das entidades gestoras no que se refere às ETA sob a sua responsabilidade, e que foram já referidos na secção 1.4. Estes objectivos levaram à identificação dos domínios de avaliação principais (também já referidos na secção 1.4). Para cada um dos sete domínios de avaliação,

foram identificados os aspectos relevantes na avaliação de desempenho global de ETA (apresentados na secção 4.2).

Seguidamente, foram definidos os indicadores de desempenho que melhor traduzem quantitativamente cada um desses aspectos, tendo em conta os requisitos indicados na secção 2.1.2.2: representar apenas os aspectos relevantes do desempenho da EG; ter uma definição clara e um significado não ambíguo; ter uma regra de cálculo simples; exigir meios de obtenção de dados não dispendiosos; ser independente de outros ID; ter em consideração o público-alvo que utilizará os resultados; originar resultados verificáveis; possibilitar a comparação dos resultados com critérios legais e/ou outros requisitos e ter aplicabilidade a ETA com diferentes características.

Deste modo, foi criado um primeiro conjunto de potenciais ID que foram analisados do ponto de vista da sua relevância para uma entidade gestora e da disponibilidade de dados fiáveis para a sua determinação. Decorrente desta análise, foram eliminados os ID para os quais não existem dados registados na rotina de operação de uma ETA e se antevê que a implementação de procedimentos para a sua recolha periódica não será economicamente viável.

Como já referido, os ID aqui propostos são dirigidos ao apoio à decisão a um nível de gestão técnica dentro da entidade gestora. Adoptam, por isso, os conceitos, a abordagem geral e a sistematização do sistema de indicadores da IWA para abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2006) e seguem os princípios estabelecidos nas normas ISO 24500 (ISO/DIS24510, 2007; ISO/DIS24512, 2007) com as devidas adaptações ao tratamento de água. Existe mesmo alguma correspondência entre alguns dos ID para ETA e os previstos no sistema da IWA (*e.g.*, alguns indicadores de recursos humanos, de inspecção e de calibração de equipamento), sendo, porém, o âmbito de aplicação diferente. Optou-se por esta analogia ou adaptação de ID sempre que os ID existentes em estudos anteriores serviam os objectivos previamente estabelecidos para os ID de ETA. Nas secções seguintes de apresentação dos ID (4.2.4 a 4.2.10) refere-se esta relação com

estudos anteriores, indicando-se se os ID já estão previstos nesses estudos ou se são inteiramente novos.

A concepção do sistema de ID para ETA foi feita admitindo que ele poderá ser utilizado em conjunto com um sistema de indicadores relativo ao sistema de abastecimento (como, por exemplo, o sistema de indicadores da IWA), complementando-o em termos do pormenor da componente do tratamento.

Além disso, a abordagem adoptada contempla conceitos de avaliação e gestão do risco, na medida em que os ID quantificam aspectos que ou são eles próprios riscos (*e.g.*, ocorrência de falhas) ou que os condicionam (*e.g.*, inspecção de equipamento).

De modo a incorporar, numa fase o mais precoce possível, os pontos de vista, as necessidades e a experiência prática de um potencial utilizador do sistema de ID, este processo de definição de indicadores foi desenvolvido em colaboração com uma entidade gestora que tem sob sua responsabilidade a gestão e operação de quatro ETA de características diversas – a empresa Águas do Algarve, S.A.. Foi particularmente importante a sua opinião relativamente à relevância de cada indicador e a informação relativa à disponibilidade de dados para o seu cálculo.

De modo a clarificar os conceitos e definições associados a cada indicador e, assim, suportar a sua implementação, foram criadas fichas individuais de caracterização, das quais consta a seguinte informação para cada indicador: código e designação; domínio de avaliação de desempenho em se enquadra; objectivo; expressão de cálculo; unidades em que deve ser expresso; período de avaliação recomendado; aspectos a ter em consideração no cálculo (*e.g.*, clarificação do significado de algumas variáveis, âmbito de aplicação do ID) e na análise de resultados (*e.g.*, outros indicadores a analisar conjuntamente; factores explicativos a ter em consideração; eventuais gamas de referência do indicador). Estas fichas encontram-se no Anexo 1.

4.1.2. Metodologia para implementação de um sistema de ID em casos concretos

O sistema de ID foi concebido e estruturado de modo a ser o mais universal possível, para que seja aplicável a qualquer ETA e tenha utilidade para qualquer entidade gestora independentemente dos seus objectivos. Assim, o conjunto de *ca.* 80 ID pretende ser um *portfolio* de indicadores de desempenho que, não obstante poderem ser implementados na totalidade, mais frequentemente sê-lo-ão parcialmente, após selecção de acordo com os objectivos de cada entidade gestora e atendendo à disponibilidade de dados em cada caso.

Neste processo de implementação, a metodologia que cada EG seguirá consiste, resumidamente, em (Figura 45): i) clara identificação dos seus objectivos específicos, ii) selecção, de entre o conjunto de ID disponíveis, dos indicadores mais adequados à avaliação do cumprimento dos objectivos, iii) análise da disponibilidade de dados necessários para o cálculo dos ID seleccionados, iv) para os indicadores considerados relevantes, a ausência de dados não implica a sua rejeição, mas sugere a necessidade de ser iniciado um procedimento periódico de registo para a sua obtenção (neste caso, é necessário analisar o equilíbrio entre o custo da recolha de dados e o benefício obtido com a informação gerada) e v) cálculo dos ID e interpretação dos resultados. Em Alegre *et al.* (2006) apresenta-se com mais pormenor uma metodologia para implementação do sistema de ID da IWA em EG de sistemas de abastecimento de água, que pode ser adoptada também na implementação de ID em ETA.

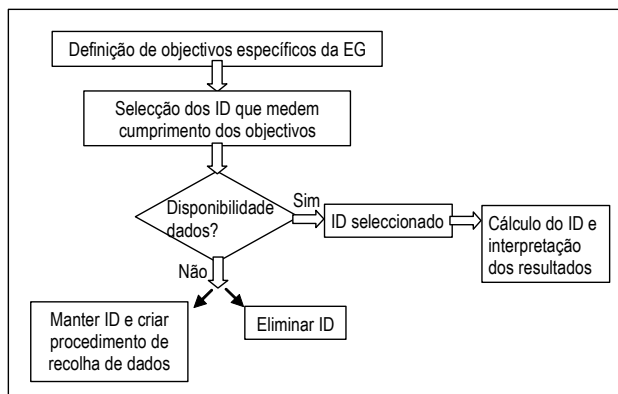


Figura 45 – Metodologia de implementação do sistema de indicadores de desempenho de ETA

4.2. Proposta de sistema de indicadores de desempenho para ETA

4.2.1. Estrutura do sistema de ID

O sistema de ID integra um total de 77 indicadores, agrupados em sete categorias correspondentes aos domínios de avaliação de desempenho referidos na secção 1.4: *Qualidade da água tratada; Eficiência e fiabilidade da ETA; Utilização de água, energia e materiais; Gestão de subprodutos; Segurança; Recursos humanos e Recursos económico-financeiros*. No Quadro 47 apresenta-se a estrutura do sistema de ID. Os indicadores propostos são apresentados nesta secção e constam dos Quadros 48 a 58. A sua caracterização pormenorizada consta das respectivas fichas (Anexo 1).

Quadro 47 – Estrutura do Sistema de ID para ETA

Domínio de avaliação	Código	N.º de ID	Objectivo
Qualidade da água tratada	tWQ	8	Avaliar o desempenho em termos do cumprimento dos critérios de qualidade estabelecidos pela entidade gestora para a água à saída da ETA e em termos da capacidade da ETA para produzir uma água que terá as características adequadas no ponto de consumo.
Eficiência e fiabilidade da ETA	tER	35	Avaliar o desempenho em termos de robustez tecnológica da ETA e da sua flexibilidade para responder a variações na qualidade e quantidade da água bruta.
Utilização de água, energia e materiais	tRU	7	Avaliar a eficiência de utilização dos principais <i>inputs</i> da ETA: energia, água, produtos químicos e meios de enchimento.
Gestão de subprodutos	tBP	7	Avaliar o desempenho em termos do nível de produção de resíduos e de águas residuais de processo, potenciais causadores de impactos negativos no ambiente, assim como a adequação das práticas adoptadas na sua gestão.
Segurança	tSa	3	Avaliar o desempenho em termos de segurança da ETA e em termos de segurança ambiental.
Recursos humanos	tPe	8	Avaliar o desempenho em termos de disponibilidade, adequação da qualificação académica e formação profissional, absentismo e trabalho suplementar dos recursos humanos afectos à ETA.
Recursos económico-financeiros	tFi	9	Avaliar o desempenho em termos de custos correntes (avaliando a relação entre as suas componentes) e de sustentabilidade (avaliando a relação entre custos e proveitos).

A proposta que se apresenta nesta secção incorpora já melhoramentos resultantes da aplicação de uma versão inicial do sistema de ID (Vieira *et al.*, 2007) a quatro casos de estudo à escala real (capítulo 8). Estes melhoramentos consistiram essencialmente na: i) integração de alguns ID relacionados (em particular, ID relativos a reagentes), o que resultou na redução do número total de ID, ii) alteração do modo de cálculo de alguns ID para atender ao tipo de informação de base

disponível, iii) alteração do modo de cálculo de alguns ID para permitir uma comparação justa quando os ID são usados para *benchmarking* de ETA e iv) clarificação do significado de algumas variáveis usadas no cálculo dos ID.

4.2.2. Codificação dos ID

A codificação adoptada para a identificação dos ID tem em consideração alguns dos aspectos de codificação dos sistemas da IWA (Alegre *et al.*, 2000; Matos *et al.*, 2003; Alegre *et al.*, 2006).

No código de um ID consideraram-se sete campos, sendo cinco campos obrigatórios (*i.e.*, existem em todos os ID) e dois campos opcionais (*i.e.*, podem não existir em alguns ID) (Figura 46). Do primeiro campo consta sempre a letra *t* que indica que o ID é relativo ao tratamento de água para consumo. O segundo e terceiro campos correspondem ao código do domínio de avaliação de desempenho a que o ID pertence, que foi formulado do seguinte modo: i) nos domínios *Recursos humanos* e *Recursos económico-financeiros*, usando o código já existente no sistema da IWA, ii) quando a designação do domínio tem apenas uma palavra, usando as duas primeiras letras da designação em inglês (a primeira em letra maiúscula e a segunda em letra minúscula), iii) quando a designação do domínio tem duas ou mais palavras, usando a primeira letra (em maiúscula) das duas primeiras palavras da sua designação em inglês. Foram adoptados os seguintes códigos: tWQ – Qualidade da água tratada (*water quality*), tER – Eficiência e fiabilidade (*efficiency and reliability*), tRU – Utilização de água, energia e materiais (*resources use*), tBP – Gestão de subprodutos (*by-products management*), tSa – Segurança (*safety*), tPe – Recursos humanos (*personnel* – código usado pelos sistemas da IWA para sistemas de abastecimento de água e sistemas de águas residuais), tFi – Recursos económico-financeiros (*financial and economic resources* – código usado pelos sistemas da IWA). O quarto e o quinto campos correspondem ao número do ID que é indicado com dois dígitos. Os últimos dois campos fazem parte ainda da numeração do ID mas só são preenchidos quando o modo de determinação do indicador permite variantes de cálculo, mantendo-se o objectivo do indicador.

Estas variantes referem-se à individualização do cálculo do ID para eventuais componentes. Quando é útil que o cálculo do ID seja feito quer globalmente, quer individualmente, nestes campos surge um caractere numérico sequencial. Por exemplo, o cálculo do grau de utilização da origem de água da ETA (indicador tER01) pode, no caso de ETA com duas origens, ser feito na totalidade ou relativamente a cada uma das origens. Neste caso, pode-se calcular o indicador tER01 e as variantes tER01.1 e tER01.2. Quando não se obtém informação útil para avaliação de desempenho do cálculo do indicador globalmente, mas apenas das suas componentes, nos campos opcionais surge um caractere alfabético sequencial. Por exemplo, a avaliação da reserva de reagentes (indicador tER10) deve apenas ser feita para cada reagente individualmente, sendo calculadas apenas as variantes tER10.a, tER10.b, etc. Pode ainda existir uma combinação de caracteres numéricos e alfabéticos nestes campos, como por exemplo no indicador tER10 – Reserva de reagentes, que pode ser calculado como tER10.1 – Reserva de reagentes na situação de produção máxima e tER10.2 – Reserva de reagentes na situação de produção mínima, para cada reagente individualmente, ou seja, existirão os códigos tER10.1a, tER10.1b, tER10.1c, etc., tER10.2a, tER10.2b, tER10.2c, etc.

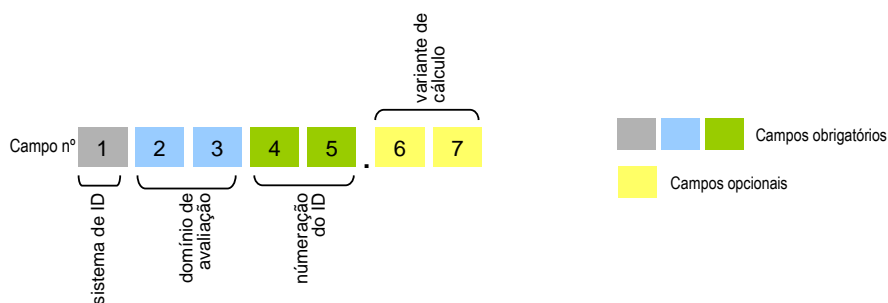


Figura 46 – Codificação de um indicador do sistema de ID para ETA

4.2.3. Período de cálculo dos ID e período de análise dos resultados

A quantificação de todos os indicadores é feita tendo como referência um período temporal previamente identificado. Esse período é designado por *período de referência* e deve ser um ano, ou seja, os indicadores devem ser calculados a partir de dados de base relativos a um ano. No entanto, a formulação dos indicadores permite que, caso se usem dados relativos a períodos de

referência inferiores a um ano, seja feita uma extrapolação de modo a ser possível obter os resultados dos ID para um ano. Em alguns ID, as próprias variáveis do denominador incorporam essa diferença no período de referência (*e.g.*, volume de água tratada). Nos restantes ID, é utilizado o factor de conversão $365/\text{período de referência}$. Em qualquer das situações admite-se, porém, que a relação verificada no período de referência se mantém no resto do ano.

O período de análise dos resultados (*período de análise*) da maioria dos ID é um ano. No entanto, quando as variações associadas aos aspectos avaliados pelos indicadores ocorrem em períodos superiores a um ano (*e.g.*, tRU07 – Reposição de meios de enchimento), os resultados devem também ser analisados para um período superior a um ano, sendo neste caso o período de referência diferente do período de análise. Nas fichas dos ID (Anexo 1) são indicados os períodos de análise aconselhados, somente nos casos em que diferem de um ano.

Quando os ID são usados dentro da própria EG e fora do âmbito de iniciativas de *benchmarking*, o seu cálculo pode ser feito também para períodos inferiores a um ano. Este modo de aplicação dos ID permitirá um acompanhamento por parte da EG da evolução do desempenho ao longo do ano, assim como suportará uma atempada tomada de decisão no sentido de ajustar as práticas de gestão e técnicas de modo a influenciar essa evolução. Um exemplo de indicador para o qual parece vantajoso um cálculo mensal, para além do cálculo anual, é o tBP01 – Quantidade de lamas produzidas. Esta possibilidade será tão mais vantajosa quanto maior for a sazonalidade a que a ETA esteja sujeita, em termos de quantidade e qualidade da água a tratar.

As variáveis utilizadas no cálculo dos ID podem referir-se ao período de referência ou, pela sua natureza, terem que ser referenciadas a uma data que, em geral, coincide com o último dia do período de referência (*e.g.*, número equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA).

4.2.4. Domínio de avaliação *Qualidade da água tratada*

O domínio *Qualidade da água tratada* pretende avaliar o desempenho em termos do

cumprimento dos requisitos de qualidade estabelecidos pela entidade gestora para a água à saída da ETA e em termos da capacidade da ETA para produzir uma água que terá as características adequadas no ponto de consumo. Neste domínio propuseram-se oito indicadores (Quadro 48 e Anexo 1).

Quadro 48 – Sistema de indicadores proposto – Domínio *Qualidade da água tratada*

Critérios avaliados	Indicadores de Desempenho [unidade]
Cumprimento de requisitos de qualidade à saída da ETA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises [%] ▪ tWQ02 – Conformidade dos resultados das análises de sete parâmetros-chave [%] ▪ tWQ03 – Parâmetros analisados [%]
Preservação da qualidade da água após tratamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tWQ04 – Limpeza de reservatórios da ETA [%/ano] ▪ tWQ05 – Qualidade da água nos pontos de consumo com menor teor de cloro [mg/L] ▪ tWQ06 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de cloro [mg/L] ▪ tWQ07 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de THM [µg/L] ▪ tWQ08 – Qualidade da água nos pontos de consumo com valores mais elevados dos parâmetros microbiológicos [unidade do parâmetro microbiológico que se analisa]

O cumprimento de requisitos de qualidade da água à saída da ETA é avaliado em termos da conformidade dos resultados das análises com valores-limite (tWQ01 e tWQ02) e em termos da gama (número e espécie) de parâmetros de qualidade que são cobertos pelo controlo de produto final da ETA (tWQ03) adoptando, neste último caso, como mínimo exigível os parâmetros previstos na legislação para o ponto de consumo. Os requisitos de qualidade para a água à saída da ETA são previamente estabelecidos pela EG para cada ETA (por exemplo, no Plano de Controlo de Processo). Caso a EG não tenha requisitos específicos para a saída da ETA, podem, por exemplo, ser usados os valores-limite estabelecidos pela legislação relativa à qualidade da água no ponto de consumo em vigor no período de referência. No âmbito de iniciativas de *benchmarking*, e para que possa haver comparabilidade, devem ser adoptados critérios comuns para todas a ETA (*e.g.*, os requisitos legais para o ponto de consumo).

Devido ao elevado número de parâmetros de qualidade analisados na água tratada, os incumprimentos dos resultados de alguns parâmetros críticos (*e.g.*, alumínio) podem não ser evidenciados através do indicador tWQ01, pelo que considera-se que este indicador deve ser calculado individualmente para cada parâmetro de qualidade da água, no sentido de se identificarem quais os parâmetros responsáveis por piores desempenhos. Uma alternativa mais

expedita, mas não tão abrangente, consiste em efectuar, através do indicador tWQ02, o cálculo da conformidade somente de sete parâmetros, que se consideram representativos das situações de incumprimento mais correntes: ferro, manganês, alumínio, turvação, THM, bromato e bactérias coliformes. Com excepção do bromato, este indicador baseia-se nos mesmos parâmetros do *OPI – Operational Performance Index*, indicador global de qualidade da água de consumo definido pelo Ofwat (Ofwat, 1999) no sistema de avaliação de desempenho das EG por ele reguladas. Outra alternativa equacionada no desenvolvimento do sistema de ID para ETA, que também seria expedita e evidenciaria as violações mais críticas, foi a avaliação do cumprimento dos resultados só de parâmetros problemáticos de cada ETA. No entanto, o ID correspondente não foi mantido devido à menor adequabilidade para efeitos de *benchmarking* externo à ETA, uma vez que os parâmetros problemáticos podem diferir de caso para caso. Este ID pode ser usado pela EG apenas internamente.

Não se considerou necessário incluir um indicador que avaliasse a percentagem de análises realizadas face a requisitos pré-definidos, mas considera-se, contudo, que a adequação do número total de análises realizadas à dimensão e tipo de tratamento da ETA deve ser um factor explicativo dos indicadores tWQ01 e tWQ02.

Uma vez que a ETA deve ter capacidade para produzir uma água com características adequadas não só à saída da estação mas também no ponto de consumo, este aspecto do desempenho é avaliado por quatro indicadores, relacionados com a minimização do risco de degradação da qualidade da água durante o seu armazenamento e transporte (relacionada com a limpeza periódica das células dos reservatórios da ETA e avaliada pelo indicador tWQ04) e com a ocorrência de situações de menor qualidade da água nos pontos de consumo. Este último aspecto é traduzido pelos valores mais baixos e mais elevados de cloro residual livre (tWQ05 e tWQ06, respectivamente) e pelos valores mais elevados de THM (tWQ07) e dos parâmetros microbiológicos (tWQ08) registados nos pontos de consumo (que correspondem a pontos de

entrega, no caso de sistemas em alta). Foram considerados estes parâmetros devido à sua variabilidade durante o transporte da água tratada e às suas características como parâmetros de alerta para eventuais falhas. No entanto, a EG pode determinar ID análogos para outros parâmetros não conservativos que considere relevantes para o seu caso específico, atendendo à qualidade da água tratada e às características do sistema de distribuição a jusante da ETA.

Os indicadores tWQ05 a tWQ08 não se aplicam a ETA integradas em sistemas de abastecimento nos quais, a montante dos pontos de consumo/entrega, há mistura de água tratada com água de outras origens (por exemplo, de outras ETA). Nestes casos, mesmo que seja identificado um mau resultado num dos pontos de consumo/entrega, é impossível atribuir inequivocamente esse resultado ao baixo desempenho de uma ETA específica e cabe à EG decidir sobre o interesse do cálculo destes indicadores. Caso sejam calculados, o seu resultado deve ser interpretado ao nível das várias ETA envolvidas, ponderando as influências de cada uma das estações.

De salientar que os indicadores tWQ05 a tWQ08 devem ser analisados tendo em consideração que eventuais valores baixos de desempenho em pontos da rede de distribuição podem dever-se a deficiências no sistema a jusante da ETA e não à falta de desempenho da ETA.

Na formulação dos indicadores relativos à preservação da qualidade da água a jusante da ETA evitou-se usar grandezas como o tempo de percurso ou a distância à ETA, pois são de difícil cálculo e não são auditáveis.

No Quadro 49 indica-se a relação do sistema de ID para ETA (domínio *Qualidade da água tratada*) com estudos anteriores, indicando-se se os ID já estão previstos nesses estudos ou se são inteiramente novos. Verifica-se que, do total de oito indicadores, cinco são novos e três são modificados a partir de ID previstos no sistema da IWA para abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2006) ou do sistema do Ofwat (Ofwat, 1999), de modo a terem um âmbito de aplicação diferente (ao nível da ETA e não do sistema de abastecimento).

Quadro 49 – Origem dos ID para ETA – Domínio *Qualidade da água tratada*

ID	Origem
tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tWQ02 – Conformidade dos resultados das análises de sete parâmetros-chave	Adaptado do sistema do Ofwat (Ofwat, 1999)
tWQ03 – Parâmetros analisados	Novo no sistema ID para ETA
tWQ04 – Limpeza de reservatórios da ETA	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tWQ05 – Qualidade da água nos pontos de consumo com menor teor de cloro	Novo no sistema ID para ETA
tWQ06 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de cloro	Novo no sistema ID para ETA
tWQ07 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de THM	Novo no sistema ID para ETA
tWQ08 – Qualidade da água nos pontos de consumo com valores mais elevados dos parâmetros microbiológicos	Novo no sistema ID para ETA
	ID novos 63%
	ID adaptados de ID previstos noutros sistemas 37%

4.2.5. Domínio de avaliação *Eficiência e fiabilidade da ETA*

A eficiência do tratamento numa ETA tem que ser suficiente para que a qualidade da água tratada à saída da ETA cumpra os requisitos definidos pela entidade gestora de modo a cumprir os requisitos legais (ou outros) para a água de consumo humano no ponto de consumo. A fiabilidade de uma ETA corresponde a requisitos de robustez e flexibilidade tecnológica. Ou seja, por um lado, a tecnologia não pode sofrer avarias e tem que garantir que a eficiência de remoção no tratamento se mantém no tempo. Por outro lado, a tecnologia deve ter a flexibilidade que lhe permite atender a variações na qualidade e quantidade da água bruta, de forma à ETA ser capaz de manter ao longo do tempo a necessária eficiência de remoção no tratamento. Assim, no domínio *Eficiência e fiabilidade da ETA*, foram definidos 35 indicadores para avaliar o desempenho de uma ETA no que diz respeito à eficiência e fiabilidade do tratamento (Quadro 50 e Anexo 1). Estes indicadores traduzem o grau de utilização do recurso hídrico que abastece a ETA, a existência de capacidade de reserva da infra-estrutura física (construção civil e equipamentos), a capacidade de reserva de reagentes, a continuidade de operação, a existência de uma prática periódica de optimização de dosagens de reagentes em função das características da água bruta, o grau de automação da estação, a adequação do tipo de monitorização da qualidade da água final e ao longo do tratamento, a possibilidade de controlar com rigor as concentrações adicionadas de reagentes, a existência de práticas de manutenção preventiva e de calibração de equipamentos, a ocorrência de avarias e a fiabilidade do abastecimento de energia eléctrica à

estação.

O domínio *Eficiência e fiabilidade* é o que possui maior número de ID, sendo que cerca de 50% do total de indicadores do sistema de ID para ETA pertence a este domínio.

Neste domínio, considera-se que a variável *volume de água tratada* deve ser sempre utilizada e nunca substituída pelo produto *população servida x capitação*, devido à menor fiabilidade destas duas variáveis.

Quadro 50 – Sistema de indicadores proposto – Domínio *Eficiência e fiabilidade da ETA*

Crítérios avaliados	Indicadores de Desempenho [unidade]
Grau de utilização do recurso hídrico	▪ tER01 – Utilização da origem de água [%/ano]
Capacidade de reserva da infra-estrutura física	▪ tER02 – Capacidade de reserva de água bruta na ETA [dia] ▪ tER03 – Satisfação da capacidade máxima de tratamento [%] ▪ tER04 – Utilização da ETA [%] ▪ tER05 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA [dia] ▪ tER06 – Utilização da capacidade de bombeamento a montante da ETA [%] ▪ tER07 – Utilização da capacidade de bombeamento a jusante da ETA [%] ▪ tER08 – Utilização da capacidade de doseamento de reagentes (dosagens máximas) [%] ▪ tER09 – Utilização da capacidade de doseamento de reagentes (dosagens mínimas) [%]
Capacidade de reserva de reagentes	▪ tER10 – Reserva de reagentes [dia]
Continuidade de operação	▪ tER11 – Período diário de funcionamento da ETA [hora/dia]
Otimização de dosagens de reagentes	▪ tER12 – Ajuste do tratamento à qualidade da água bruta [n.º/ano]
Grau de automação	▪ tER13 – Monitorização em contínuo da qualidade da água [n.º/OPU] ▪ tER14 – Controlo do doseamento de reagentes [%] ▪ tER15 – Controlo dos filtros [%] ▪ tER16 – Purga de lamas [%] ▪ tER17 – Supervisão do processo [%]
Monitorização do processo	▪ tER18 – Monitorização da qualidade da água [n.º/OPU]
Doseamento de reagentes alternativos	▪ tER19 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos [-]
Possibilidade de regular e de medir as doses de reagentes	▪ tER20 – Doseadores reguláveis [%] ▪ tER21 – Calibração de doseadores de reagentes [n.º/(doseador.ano)]
Inspeção de equipamento electromecânico	▪ tER22 – Inspeção de bombas [n.º/(bomba.ano)] ▪ tER23 – Inspeção de equipamento de emergência [%/ano] ▪ tER24 – Inspeção de equipamento de transmissão de sinal [n.º/(equipamento.ano)] ▪ tER25 – Inspeção de quadros eléctricos [n.º/(quadro eléctrico.ano)]
Inspeção de filtros	▪ tER26 – Inspeção de leitos de enchimento [n.º/(filtro.ano)]
Calibração de equipamento electromecânico	▪ tER27 – Calibração de medidores de caudal [n.º/(medidor.ano)] ▪ tER28 – Calibração de medidores de nível da água [n.º/(medidor.ano)] ▪ tER29 – Calibração de medidores de pressão [n.º/(medidor.ano)] ▪ tER30 – Calibração de medidores em linha da qualidade da água [n.º/(medidor.ano)]
Avarias	▪ tER31 – Tempo médio de resolução de avarias [hora/avaría] ▪ tER32 – Avarias [n.º/(equipamento.ano)] ▪ tER33 – Interrupção do funcionamento da ETA [hora/ano]
Falhas de abastecimento de energia	▪ tER34 – Paragem da ETA devido a falhas de energia [hora/ano] ▪ tER35 – Autonomia energética [%]

A utilização dos recursos hídricos disponíveis para abastecer a ETA é avaliada pelo indicador tER01, que permite identificar situações indesejáveis de sobre-exploração desses recursos e

analisar a sustentabilidade da ETA a longo prazo, apoiando a tomada de decisão relativamente à gestão de origens de água.

A avaliação do grau de utilização da origem de água é feita através da comparação do volume de água entrada na ETA com a disponibilidade anual do recurso hídrico para captação para abastecimento público. A disponibilidade anual do recurso hídrico para captação corresponde ao volume máximo anual de água que pode ser potencialmente captada, determinada com base na disponibilidade de recursos hídricos e em eventuais restrições legais ou contratuais de utilização (*e.g.*, licenciamento). Caso haja mistura de água de diferentes origens antes do tratamento, esta variável corresponde à soma das capacidades disponíveis em todas as origens. No entanto, este indicador pode ser calculado individualmente para cada origem com o objectivo de avaliar a existência de reserva de água em cada uma delas. Apesar de, por vezes, ser difícil quantificar a disponibilidade hídrica, é importante manter este indicador, sobretudo em regiões com potenciais problemas de escassez. Caso este indicador seja usado para *benchmarking*, os critérios usados para o cálculo da disponibilidade hídrica devem ser os mesmos para todas as ETA.

De outro ponto de vista, a existência de uma reserva de capacidade de água bruta na origem é também avaliada por tER01. Contudo, há que ter em atenção que esta reserva de água bruta não tem o mesmo nível de protecção do que uma reserva de água bruta localizada dentro da ETA ou em reservatório entre a origem e a ETA, pelo que é mais susceptível a contaminações e variações bruscas de qualidade da água. Assim, considera-se que a existência de uma reserva de água bruta dentro da ETA garante uma maior fiabilidade da estação, uma vez que a produção de água não necessita de ser interrompida em caso de paragem da captação devido, por exemplo, a contaminação da origem de água (intencional ou acidental) ou a falha nos sistemas de bombeamento, permitindo ainda, em tempo útil, uma adaptação do tratamento a alterações rápidas da qualidade na origem (*e.g.*, aumento de turvação). Este aspecto é medido, pelo indicador tER02, em termos da autonomia da ETA para operar sem *input* de matéria-prima, ou

seja, sem captar água na origem. Este indicador é calculado pelo quociente entre o *volume dos reservatórios de água bruta da ETA x período de referência* e o volume de água entrada na ETA. O volume de água tratada não deve ser usado como denominador deste ID porque não é a variável directamente relacionada com a matéria-prima em relação à qual se pretende verificar o grau de autonomia da ETA. Deste modo, também se favoreceriam ETA com grandes ineficiências de utilização de água dentro da estação (avaliado pelo Indicador tRU01).

A capacidade de uma ETA não deve ser usada na sua totalidade, de modo a ser possível acomodar pequenos aumentos de caudal tratado, ou seja, deve existir uma reserva de capacidade da infra-estrutura física da ETA. A avaliação da existência desta reserva de capacidade, através dos indicadores tER02 a tER09, permite identificar situações de subdimensionamento (que afectam a eficácia – cumprimento de objectivos) ou de sobredimensionamento (que afectam a eficiência – desperdício de recursos). Considera-se a reserva de capacidade da obra de construção civil e também dos equipamentos mais críticos para o funcionamento da ETA – bombas e doseadores de reagentes. No primeiro caso, avalia-se a capacidade volúmica de tratamento, a capacidade de reserva de água bruta (através do indicador tER02 já referido atrás) e a capacidade de reserva de água tratada. No segundo caso, avalia-se a capacidade de bombeamento e de doseamento de reagentes.

A capacidade volúmica de tratamento é avaliada como a percentagem da capacidade nominal da ETA que foi efectivamente usada no período de referência (indicador tER04). Além da situação média anual (tER04), em ETA sujeitas a grande sazonalidade, a percentagem de utilização da ETA deve ser calculada para as situações de produção máxima e de produção mínima, nas quais o subdimensionamento e o sobredimensionamento, assim como os seus efeitos, são mais acentuados. Para o efeito, foram criados os indicadores tER04.1 e tER04.2 que comparam o volume de água tratado no dia de produção máxima da ETA e no dia de produção mínima, respectivamente, com a capacidade nominal de tratamento. Estes dois dias correspondem às

situações extremas de solicitação da estação. A diferença de valores dos indicadores tER04.1 e tER04.2 traduz o grau de sazonalidade associado à ETA. IRAR (2008) estipula a gama 70-90% como referência para a percentagem de utilização da ETA (indicador AA12). Um valor inferior a 70% corresponde a um sobredimensionamento da estação e um valor superior a 90% corresponde a um subdimensionamento. No entanto, nesta referência, o modo de cálculo do indicador é distinto do apresentado neste capítulo, sendo efectuado apenas para o mês de maior produção da estação.

A existência de uma reserva de capacidade de água tratada dentro da ETA é avaliada pelo indicador tER05 em termos do número de dias que a ETA, em caso de interrupção do funcionamento, pode manter o fornecimento de água para o sistema a jusante. Esta reserva de água tratada está localizada quer nos reservatórios da ETA, quer nos reservatórios do sistema de adução e distribuição a jusante da estação. Como tal, para avaliar a capacidade total de reserva de água tratada, o indicador tER05 deve ser analisado tendo em consideração a existência de capacidade de reserva em reservatórios do sistema de adução e distribuição a jusante da ETA. Não é possível considerar este volume dos reservatórios na própria expressão de cálculo do indicador, para atender ao caso de sistemas onde, antes dos reservatórios de distribuição, há mistura de água tratada de diversas origens. A análise de tER05 deve ter em consideração também o modo como é efectuado o transporte da água tratada (graviticamente ou com bombeamento), uma vez que a existência de reserva de água tratada dentro da ETA não é relevante nos casos em que a adução a partir da ETA não é gravítica, pois, em caso de falha no sistema de elevação da água tratada, o sistema de abastecimento tem autonomia para proceder à distribuição de água apenas se a reserva de água tratada se localizar nos reservatórios de adução e distribuição. Em termos de valores de referência, o Art. 70.º do Decreto Regulamentar n.º 23/95 estipula que, em caso de interrupção da captação ou tratamento, deve ser assegurada uma reserva de água tratada para, pelo menos, um dia (em função da população abastecida e do

risco). De modo a preservar a qualidade da água tratada, não são recomendados tempos de retenção elevados nos locais de armazenamento. Assim, no caso de sistemas completos, a gama de referência poderá ser 1-2 dias de reserva em todo o sistema de abastecimento. No caso dos sistemas em alta/baixa, a reserva de água tratada depende do contratualizado com as entidades gestoras em baixa/alta e considera-se que a avaliação de desempenho por comparação com um valor de referência deve ser feita cuidadosamente, uma vez que este valor depende do modo de repartição de responsabilidades entre as entidades, sendo sempre necessário conhecer a capacidade de reserva conjunta.

Apesar de não se localizarem necessariamente dentro da ETA, os sistemas de elevação da água bruta e tratada estão relacionados com a fiabilidade da ETA, uma vez que são meios de trazer a matéria-prima até à ETA e de transportar o produto final para fora da ETA até aos pontos de consumo. Como tal, a capacidade destes sistemas é avaliada neste domínio do sistema de ID para ETA. O indicador tER06 avalia se a capacidade de elevação da água bruta instalada é adequada para fazer face às necessidades de bombeamento. Esta avaliação é feita para a pior situação (dia em que se registou maior bombeamento de água bruta), pois se neste caso estiverem asseguradas as necessidades de bombeamento, também estão em todos os outros casos. Assim, o indicador é calculado pelo quociente entre o volume de água bruta bombeado no dia de maior bombeamento do período de referência e a capacidade máxima existente de bombeamento de água bruta. Este indicador não se aplica a ETA que efectuem a adução de água bruta graviticamente. O grau de utilização da capacidade de bombeamento a jusante da ETA é avaliada, de modo análogo, pelo indicador tER07, que compara o volume de água tratada bombeado no dia de maior bombeamento do período de referência e a capacidade máxima existente de bombeamento de água tratada. Este indicador deve ser analisado em conjunto com a capacidade de tratamento e com a capacidade de armazenamento de água tratada na ETA, pois se não existir capacidade de bombeamento a jusante da estação (*i.e.*, se for insuficiente face à capacidade de tratamento) é

necessário efectuar o armazenamento na ETA. Caso existam diversas elevações da água tratada sequenciais, este indicador é calculado apenas para a primeira (a mais próxima da ETA e que, em geral, está mesmo dentro da estação), pois é a mais crítica para a ETA. Além disso, se as outras bombas não tiverem uma capacidade adequada, esta falta de desempenho não é atribuível à ETA mas ao sistema de distribuição. O indicador tER07 não se aplica a ETA que efectuem a adução de água tratada graviticamente.

Também no caso dos doseadores de reagentes se avalia a adequação da capacidade instalada para fazer face às necessidades de adição de reagentes, que variam em função da qualidade e quantidade da água processada pela ETA. O indicador tER08 refere-se ao grau de utilização da capacidade máxima de doseamento instalada e é calculado pelo quociente entre o caudal máximo do reagente que ocorreu no período de referência e o caudal máximo de doseamento da bomba doseadora, ou seja, avalia-se a existência de uma capacidade instantânea de doseamento. O numerador deste indicador não deve ser calculado através do produto da dosagem máxima registada no período de referência pelo volume máximo de água bruta processado, uma vez que a situação de maior dosagem pode não coincidir com o período de maior tratamento de caudal e, assim, não se está a avaliar a situação mais desfavorável de solicitação da bomba. O indicador foi formulado de modo a ser aplicável a reagentes líquidos, sólidos e gasosos, devendo ser calculado independentemente para cada reagente utilizado na ETA (tER08.a, tER08.b, etc.). Este indicador alerta para a necessidade de aumentar a concentração do reagente doseado (para dosear maior quantidade com menor caudal de reagente) ou de aumentar a capacidade máxima instalada (instalação de novo equipamento de doseamento). Assim, um valor próximo de 100% indica que, para a concentração de reagente usada, se está quase no limite da capacidade de doseamento instalada para satisfazer as necessidades de dosagem máxima. Um valor de 100% pode indicar que se atingiu esse limite ou mesmo que as necessidades de dosagem máxima podem já não estar a ser satisfeitas (subdoseamento de reagente).

Porque a adição de doses mínimas pode também constituir um problema propõe-se o indicador tER09 que avalia a existência de capacidade adequada de doseamento de reagentes quando a estação opera em condições que exigem uma dosagem mínima. Este indicador alerta para a necessidade de diminuir a concentração do reagente doseado ou de instalar um novo equipamento de doseamento com um caudal mínimo de doseamento inferior. Um valor superior a 0% significa que, para a concentração de reagente que está a ser usada, a capacidade de doseamento instalada satisfaz as necessidades em situações de dosagem mínima. Contudo, valores próximos de 0% indicam que se está a trabalhar no limite de operação da bomba, o que não é aconselhável, pois pode-se estar a sobredosar o reagente.

O cálculo dos indicadores tER08 e tER09 deve ser feito individualmente para cada reagente utilizado na ETA e é prioritário para os doseadores dos reagentes utilizados directamente no tratamento da água, uma vez que a adição de reagentes usados na ETA para outros fins (*e.g.*, ácido usado na lavagem de uma prensa de lamas) não necessita de um controlo tão rigoroso.

A autonomia de operação da ETA (directamente relacionada com a sua fiabilidade) é também avaliada em termos da existência de uma reserva adequada de reagentes. O indicador tER10 corresponde ao número de dias que a ETA pode manter o funcionamento sem entrega de reagentes e obtém-se pelo quociente entre a quantidade armazenada de reagente e o consumo de reagente. Estas duas variáveis são determinadas com base nos registos da gestão de *stocks* da ETA, considerando-se os valores médios anuais das quantidades armazenadas durante o período de referência e os valores médios anuais dos consumos diários no período de referência. No entanto, no caso de ETA com grande sazonalidade em termos da quantidade de água processada, este indicador pode ser calculado individualmente para o período de produção máxima da ETA e para o período de produção mínima com o objectivo de avaliar a existência de reserva de reagentes em cada uma dessas situações e, eventualmente, adaptar a gestão de *stocks* em conformidade. Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a disponibilidade

comercial dos reagentes no local onde a ETA está instalada. Nos casos em que há dificuldade de aquisição/entrega de reagentes, a reserva existente na ETA deve ser maior de modo a garantir que, em caso de falha de fornecimento, a estação mantém a operação. Na análise de resultados deve também ser considerado o espaço e as infra-estruturas disponíveis na ETA para o armazenamento de reagentes, uma vez que a não existência de uma reserva adequada pode dever-se quer a uma inadequada gestão de *stocks*, quer a insuficiência da capacidade máxima de armazenamento. O cálculo e a análise de resultados deste ID devem ser efectuados individualmente para cada reagente usado na ETA. Quando o reagente adicionado à água é preparado na ETA a partir de um reagente primário (*e.g.*, ozono obtido a partir de oxigénio), o indicador é calculado para o reagente primário. Não se considerou relevante criar um ID análogo para reserva de meios de enchimento, uma vez que como as quantidades consumidas desta matéria-prima são muito reduzidas, em geral, não há armazenamento na ETA, sendo feita a aquisição de material apenas quando se procede à sua reposição.

Em ETA sujeitas a grande sazonalidade, é importante que todos os indicadores relativos à reserva de capacidade da ETA (tER02 a tER10) sejam calculados para as situações de solicitação mínima e máxima da estação (períodos de produção máxima e mínima) com o objectivo de avaliar a existência de reserva em cada uma delas.

As interrupções do funcionamento da ETA não são recomendadas a fim de não causarem perturbações no processo de tratamento que diminuem a eficiência das diversas unidades de tratamento. Assim, a fiabilidade da ETA é maior se o funcionamento da ETA for contínuo. A continuidade da operação é avaliada pelo indicador tER11 que corresponde ao período diário de funcionamento da ETA no período de referência e é expresso em horas de funcionamento por dia. O valor de referência para este indicador é 24 h/dia, o que corresponde a um funcionamento contínuo da estação. Nas ETA com períodos distintos de funcionamento diário no período de referência (*e.g.*, uma ETA que durante 3 meses funciona 24 h por dia e que nos restantes 9 meses

funciona 12 h por dia), o indicador deve ser calculado individualmente para cada um desses períodos. Não devem, portanto, ser considerados valores médios que não traduzem a realidade e não servem o objectivo deste ID. Este indicador é mais importante para os tipos de tratamento que são mais sensíveis a interrupções de funcionamento, como por exemplo os que incluem decantadores com manto de lamas.

Um dos aspectos a avaliar na flexibilidade da ETA para responder a alterações da água bruta é a existência de uma prática periódica de optimização das dosagens de reagentes em função da qualidade da água a tratar. O indicador tER12 corresponde à frequência de realização de ensaios laboratoriais para determinação das dosagens óptimas de reagentes (*jar test*). O número de ajustes das dosagens de reagentes na ETA durante o período de referência seria também uma medida da optimização das dosagens. No entanto, considera-se que quaisquer ajustes na ETA devem ter por base a optimização em laboratório, mesmo que já haja um histórico longo de conhecimento e experiência com a instalação. Assim, tal como está definido, o indicador não favorece ETA que não realizam ensaios laboratoriais e apenas ajustam as condições de operação da ETA. Os resultados deste ID devem ser analisados tendo em consideração a variabilidade da qualidade da água bruta durante todo o período de referência. Uma vez que a frequência de realização dos ensaios laboratoriais depende exclusivamente da variabilidade da água bruta, o indicador não tem em conta a dimensão da ETA (*i.e.*, ETA de maior dimensão podem ter que realizar o mesmo número de ensaios de optimização do que ETA de menor dimensão).

A fiabilidade da ETA aumenta com o seu grau de automação (*i.e.*, realização de acções sem intervenção do operador no local e/ou no momento em que são desencadeadas). Considera-se, no âmbito da presente tese, que esta automação inclui a monitorização automatizada de variáveis do processo de tratamento (monitorização de uma situação para detecção de falhas, mas sem possibilidade de efectuar o seu controlo, ou seja, de actuar sobre a situação), o controlo automatizado (funcionamento de um órgão ou equipamento sem intervenção do operador junto

do mesmo) e o controlo remoto (monitorização e/ou envio de ordens a partir de um sistema centralizado para desencadeamento de acções).

Em termos de monitorização automatizada, considerou-se como aspecto mais importante a monitorização em contínuo da qualidade da água e o indicador tER13 avalia o grau de monitorização entre as várias operações/processos unitários do processo de tratamento, contabilizando o número de pontos de amostragem com medição em contínuo da qualidade da água que existem por OPU. Este indicador deve ser calculado individualmente para a linha de tratamento da fase líquida e a linha de tratamento da fase sólida, uma vez que a monitorização da linha de tratamento da fase líquida é mais importante do que a da fase sólida e deve, portanto, ser mais completa. Para que o ID permita distinguir o melhor desempenho de ETA que têm pontos de monitorização associados a todos os órgãos relativamente a ETA que monitorizam apenas a mistura da água de cada OPU (*e.g.*, medição de turvação à saída de todos os filtros e não apenas na mistura da água filtrada), contabilizam-se os pontos de monitorização associados a todos os órgãos. Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a adequação dos parâmetros monitorizados em contínuo em cada ponto, as OPU que são monitorizadas e também o tipo de monitorização pontual (não contínua) que é feita (indicador tER18).

A avaliação do grau de automação da ETA em termos de controlo automatizado incide nos aspectos mais críticos para o funcionamento da estação: controlo do doseamento de reagentes, controlo dos filtros e controlo das purgas das lamas dos decantadores. Os indicadores tER14, tER15 e tER16 quantificam, respectivamente, a percentagem de sistemas de doseamento de reagentes, de filtros e de purgas de lamas de decantadores que possuem funcionamento automático relativamente ao total de cada um destes equipamentos. Considera-se um filtro com funcionamento automático aquele cuja saída de funcionamento (fim do ciclo de filtração) é iniciada automaticamente (sem intervenção do operador) quando se atinge um valor pré-estabelecido (em ensaios de optimização do funcionamento de filtros) de perda de carga, de

turvação ou de tempo de filtração. Considera-se que um decantador tem purga automática de lamas quando a purga é iniciada automaticamente sem intervenção do operador. Neste tipo de decantador, apenas é programado o intervalo de tempo entre purgas e a duração da purga, sendo a purga iniciada automaticamente no fim desse intervalo.

O grau de automação em termos de controlo remoto é avaliado pelo indicador tER17 através da percentagem de OPU da ETA com supervisão. Considera-se que uma OPU tem supervisão se contempla, pelo menos, monitorização da qualidade da água e monitorização e controlo dos sistemas de doseamento de reagentes.

O tipo de monitorização de processo implementado na ETA é determinante para o desempenho da estação, uma vez que permite a detecção atempada de situações anómalas que, eventualmente, podem originar falhas. Este aspecto é avaliado, para além de alguns indicadores incluídos no grupo da automação, pelo indicador tER18, que contabiliza o número total de pontos de monitorização da qualidade da água (pontos com monitorização em contínuo e pontos para recolha de amostras pontuais) existentes por OPU. Só se consideram os pontos de monitorização permanentes, não sendo contabilizados pontos que são apenas usados temporariamente no âmbito de campanhas intensivas de monitorização para estudos específicos. Para que o ID permita distinguir o melhor desempenho de ETA que têm pontos de monitorização associados a todos os órgãos e não apenas no início e fim de uma OPU, contabilizam-se os pontos de monitorização associados a todos os órgãos. Este indicador deve ser calculado individualmente para a linha de tratamento da fase líquida e para a linha de tratamento da fase sólida, uma vez que a existência de monitorização no primeiro caso é mais importante. O valor de 1 deste indicador corresponde à existência dos seguintes pontos de monitorização: um ponto à entrada da ETA (antes da primeira OPU), um ponto entre cada duas OPU consecutivas e um ponto à saída da ETA (após a última OPU). Os resultados do indicador devem ser analisados tendo em consideração a relevância dos parâmetros monitorizados em cada ponto, as OPU que são

monitorizadas e também o tipo de monitorização da qualidade da água que é feita em contínuo (indicador tER18). Em ETA com várias linhas de tratamento em paralelo, o indicador deve ser analisado tendo em consideração o tipo de monitorização que é feito em cada uma delas. O peso da componente em contínuo na monitorização pode ser avaliado pela comparação dos indicadores tER13 e tER18. Eventualmente, em ETA com recirculações significativas, pode-se avaliar a relevância de calcular os indicadores tER13 e tER18 por corrente e não por OPU.

Uma ETA é mais fiável se estiver prevista a possibilidade de dosear reagentes alternativos aos usados na normal operação, em situações pontuais, em determinadas alturas do ano. Os reagentes alternativos podem ser usados em caso de falha do reagente da normal operação (*e.g.*, utilização de cloro em caso de falha do ozono na pré-oxidação) ou somente durante alguns períodos curtos (*e.g.*, doseamento de PAC somente em algumas épocas do ano). O indicador tER19 avalia a existência em permanência de infra-estruturas que permitam efectuar este doseamento. Compara-se o número de reagentes utilizados pontualmente (*i.e.*, usados menos de 50% do tempo do período de referência) com o número total de reagentes utilizados. Neste indicador não se considera relevante incluir os doseadores de reagentes da linha da fase sólida. A análise dos resultados deste ID deve ter em consideração o tipo de água bruta a tratar e a variação da sua qualidade ao longo do ano, podendo haver situações em que não se justifica a previsão de doseamento de outros reagentes que não os usados na normal operação da ETA. Se se pensar em termos do conceito de barreiras múltiplas, este indicador avalia a possibilidade de aumentar ou reforçar essas barreiras.

A concentração aplicada de um reagente varia no tempo em função do caudal de água tratado e das características da água bruta, sendo necessário avaliar a versatilidade dos doseadores para se conseguirem diferentes dosagens, ou seja, a possibilidade de se regular o sistema para a concentração que efectivamente se pretende (indicador tER20). As situações indesejáveis correspondem à existência de doseadores não reguláveis, ou seja, que adicionam uma

concentração fixa. Além da versatilidade, é de extrema importância a verificação da concentração de reagente efectivamente aplicada, recorrendo-se, para tal, à calibração periódica dos doseadores de reagentes. O número de calibrações efectuadas por doseador e por ano (indicador tER21) avalia a existência destas práticas de calibração.

A implementação de acções de manutenção preventiva contribui para a fiabilidade da ETA, pois diminui a probabilidade de ocorrência de falhas. O conjunto de indicadores tER22 a tER30 avalia a existência de práticas de inspecção periódica de equipamentos e órgãos e a existência de práticas de calibração periódica de equipamentos (outros além dos doseadores de reagentes, já considerados no indicador tER21). Considera-se como calibração de um equipamento o conjunto de operações que estabelecem, em condições especificadas, a relação entre os valores de grandezas por ele indicados e os correspondentes valores representados por padrões (Alegre *et al.*, 2004). Também se contabilizam nestes indicadores as verificações feitas no equipamento que mostram não ser necessário proceder a uma calibração propriamente dita (ou seja, quando os desvios das leituras obtidas com o equipamento relativamente aos padrões satisfazem critérios de aceitação previamente estabelecidos). Foram desenvolvidos ID apenas para os equipamentos mais críticos para o funcionamento da estação: medidores de caudal, medidores de nível (somente medidores de nível de água, não sendo considerado outro tipo de medidores de nível como, por exemplo, os existentes nos silos de reagentes), medidores de pressão, medidores em linha de qualidade da água, bombas (*e.g.*, bombas de água bruta, de água tratada, de lavagem de filtros, de movimentação de águas residuais de processo, de purga de lamas, outras bombas de movimentação de lamas), equipamentos de emergência (equipamentos que entram em funcionamento quando falha o equipamento que está normalmente em funcionamento), equipamentos de transmissão de sinal e quadros eléctricos. No caso da inspecção de órgãos, foi criado um ID relativo à inspecção de filtros.

Com excepção dos equipamentos de emergência, os indicadores de inspecção e calibração de

equipamento contabilizam o número de inspeções/calibrações efectuadas por equipamento e por ano. O número de inspeções/calibrações por equipamento pode mascarar situações em que há equipamentos que não são inspeccionados/calibrados. Porém, a percentagem de equipamentos inspeccionados/calibrados não permite distinguir os melhores desempenhos de ETA que inspeccionam/calibram os seus equipamentos com maior frequência do que outras. Assim, optou-se pelo número de inspeções/calibrações por equipamento, sendo, no entanto, a percentagem de equipamentos inspeccionados/calibrados usada como informação de contexto para estes indicadores. No caso dos equipamentos de emergência é mais importante o número de equipamentos inspeccionados do que a frequência da sua inspecção, uma vez que devem, infalivelmente, ser todos inspeccionados. Como tal, o indicador relativo aos equipamentos de emergência corresponde à percentagem da potência total existente que foi inspeccionada por ano. Tal não se aplica às bombas, uma vez que existem na ETA bombas de pequena potência e que é indispensável que sejam inspeccionadas – as bombas dos doseadores de reagentes.

Em todos os ID relativos a calibração de equipamento, no número total de equipamentos consideram-se todos os medidores instalados e todos os medidores de reserva que estejam prontos a instalar em caso de necessidade, não sendo contabilizados equipamentos a aguardar reparação. No caso da calibração de medidores em linha de qualidade da água, as calibrações de medidores multiparamétricos são contabilizadas individualmente por parâmetro (por exemplo, a calibração de um aparelho que mede simultaneamente pH e condutividade é contabilizada como duas calibrações se for feita a calibração dos dois parâmetros, e como uma calibração se for feita a calibração apenas de um parâmetro). Um medidor multiparamétrico de n parâmetros de qualidade é contabilizado não como um medidor mas como n medidores em linha.

Apesar de ser de natureza diferente, a inspecção de filtros (visual e com recolha de amostras do leito filtrante) para detecção de anomalias no leito filtrante (caminhos preferenciais, fissuras, separação do material filtrante das paredes, deslocação de gravilha, formação de *mudballs*)

também se inclui neste grupo de práticas preventivas, sendo avaliada através do indicador tER26 que contabiliza o número de inspeções por filtro e por ano.

A fiabilidade está directamente relacionada com a robustez da tecnologia da ETA, interessando minimizar a ocorrência de avarias, assim como a sua duração. Estes aspectos são medidos pelos indicadores tER31 e tER32.

O indicador tER31 avalia a existência de meios (humanos e materiais, incluindo acessibilidades) para resolução de avarias através do tempo médio de reparação por avaria. Consideram-se neste indicador todos os tipos de avarias da ETA, mas somente se corresponderem a tempos de paragem de equipamentos superiores a 30 minutos, pois assume-se que estas são as avarias mais graves e que podem afectar mais o funcionamento da estação. O tempo decorrido entre a detecção da avaria e a sua resolução pode ser determinado considerando ou não o recurso a equipamentos de reserva. Apesar de, aparentemente, ser mais relevante o tempo que o tratamento está parado por avaria do equipamento, é também importante o tempo que o equipamento de reserva demorará a ser reparado, uma vez que também afecta a fiabilidade da ETA. Assim, recomenda-se que o indicador tER31 seja calculado individualmente para as duas situações: i) o tempo da posterior reparação do equipamento de reserva não é contabilizado, ii) o tempo da posterior reparação do equipamento de reserva é contabilizado.

Para além de ser avaliada a existência de meios para a resolução de avarias, é necessário avaliar se efectivamente ocorreram falhas. O indicador tER32 corresponde ao número de avarias por equipamento e por ano que foram registadas. O indicador deve ser calculado individualmente para os equipamentos mais críticos da ETA (*e.g.*, bombas, agitadores, ozonizadores). No caso das bombas consideram-se todas as bombas da ETA, incluindo bombas de água bruta, bombas de água tratada, bombas de lavagem de filtros, bombas de movimentação de águas residuais de processo, bombas de doseamento de reagentes e bombas de purga de lamas.

Os indicadores tER31 e tER32 relacionam-se com todas as avarias da ETA, independentemente

de originarem a paragem da produção. No entanto, interessa evidenciar as situações mais graves em que a ocorrência de avarias ou outros eventos originam a interrupção do funcionamento da ETA. O indicador tER33 mede este aspecto através do tempo que a ETA não funcionou durante o período de referência. Os indicadores tER31, tER32, tER34 e tER35 permitem identificar as causas destas interrupções do funcionamento.

A fiabilidade do abastecimento de energia à estação é determinante para a sua fiabilidade, sendo este aspecto avaliado por dois indicadores relativos à fiabilidade da rede pública de abastecimento de energia eléctrica (tER34) e à autonomia energética da estação em caso de falha da rede pública e que é proporcionada por geradores (tER35). O indicador tER34 contabiliza o tempo total que a ETA esteve fora de serviço ou funcionou alimentada por gerador devido a falhas no abastecimento eléctrico da rede pública. O indicador tER35 é a percentagem da potência total instalada na ETA coberta por gerador. Os resultados destes indicadores devem ser analisados conjuntamente com a distribuição do consumo energético na ETA nas grandes áreas: bombagem de água bruta, bombagem de água tratada, tratamento, outros (*e.g.*, laboratório, edifício de exploração).

No Quadro 51 indica-se a relação do sistema de ID para ETA (domínio *Eficiência e fiabilidade da ETA*) com estudos anteriores, indicando-se se os ID já estão previstos nesses estudos ou se são inteiramente novos. Verifica-se que 61% dos indicadores são novos, 29% são modificados a partir de ID previstos no sistema da IWA para abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2006) de modo a terem um âmbito de aplicação diferente (ao nível da ETA e não do sistema de abastecimento), 5% são modificados em termos de designação, conceito e formulação a partir de ID previstos no estudo de Nunes *et al.* (2003) e 5% estavam previstos no estudo de Nunes *et al.* (2003) e aqui foram usados com a mesma formulação.

Quadro 51 – Origem dos ID para ETA – Domínio *Eficiência e fiabilidade da ETA*

ID	Origem
tER01 – Utilização da origem de água	Adaptado de ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003)
tER02 – Capacidade de reserva de água bruta na ETA	Novo no sistema ID para ETA
tER02.1 – Capacidade de reserva de água bruta na ETA no período de produção máxima	Novo no sistema ID para ETA
tER02.2 – Capacidade de reserva de água bruta na ETA no período de produção mínima	Novo no sistema ID para ETA
tER03 – Satisfação da capacidade máxima de tratamento	ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação
tER04 – Utilização da ETA	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006)
tER04.1 – Utilização da ETA no dia de produção máxima	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006)
tER04.2 – Utilização da ETA no dia de produção mínima	Novo no sistema ID para ETA
tER05 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER05.1 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA no período de produção máxima	Novo no sistema ID para ETA
tER05.2 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA no período de produção mínima	Novo no sistema ID para ETA
tER06 – Utilização da capacidade de bombeamento a montante da ETA	Novo no sistema ID para ETA
tER07 – Utilização da capacidade de bombeamento a jusante da ETA	Novo no sistema ID para ETA
tER08 – Utilização da capacidade de doseamento de reagentes (dosagens máximas)	Novo no sistema ID para ETA
tER09 – Utilização da capacidade de doseamento de reagentes (dosagens mínimas)	Novo no sistema ID para ETA
tER10 – Reserva de reagentes	Novo no sistema ID para ETA
tER11 – Período diário de funcionamento da ETA	Novo no sistema ID para ETA
tER12 – Ajuste do tratamento à qualidade da água bruta	Novo no sistema ID para ETA
tER13 – Monitorização em contínuo da qualidade da água	Novo no sistema ID para ETA
tER14 – Controlo do doseamento de reagentes	Novo no sistema ID para ETA
tER15 – Controlo dos filtros	Novo no sistema ID para ETA
tER16 – Purga de lamas	Novo no sistema ID para ETA
tER17 – Supervisão do processo	Novo no sistema ID para ETA
tER18 – Monitorização da qualidade da água	Novo no sistema ID para ETA
tER19 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos	Novo no sistema ID para ETA
tER20 – Doseadores reguláveis	Novo no sistema ID para ETA
tER21 – Calibração de doseadores	Novo no sistema ID para ETA
tER22 – Inspeção de bombas	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER23 – Inspeção de equipamento de emergência	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER24 – Inspeção de equipamento de transmissão de sinal	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER25 – Inspeção de quadros eléctricos	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER26 – Inspeção de leitos de enchimento	Novo no sistema ID para ETA
tER27 – Calibração de medidores de caudal	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER28 – Calibração de medidores de nível da água	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER29 – Calibração de medidores de pressão	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tER30 – Calibração de medidores em linha da qualidade da água	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente

Quadro 51 (cont.) – Origem dos ID para ETA – Domínio Eficiência e fiabilidade da ETA

ID	Origem
tER31 – Tempo médio de resolução de avarias	Adaptado de ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003)
tER32 – Avarias	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006)
tER33 – Interrupção do funcionamento da ETA	Novo no sistema ID para ETA
tER34 – Paragem da ETA devido a falhas de energia	ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação
tER35 – Autonomia energética	Novo no sistema ID para ETA
	ID novos 61%
	ID adaptados de ID previstos no sistema da IWA 29%
	ID adaptados de ID previstos em Nunes <i>et al.</i> (2003) 5%
	ID previstos em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação 5%

4.2.6. Domínio de avaliação *Utilização de água, energia e materiais*

Os indicadores do domínio *Utilização de água, energia e materiais* (Quadro 52 e Anexo 1) avaliam a eficiência de utilização dos principais *inputs* da ETA, sendo feita a análise do consumo de água, de energia, de produtos químicos e de meios de enchimento, num total de sete indicadores.

Tal como no domínio anterior, considera-se que a variável *volume de água tratada* deve ser sempre utilizada e nunca substituída pelo produto *população servida x capitação*, devido à menor fiabilidade destas duas variáveis.

Quadro 52 – Sistema de indicadores proposto – Domínio *Utilização de água, energia e materiais*

Critérios avaliados	Indicadores de Desempenho [unidade]
Consumo de água	▪ tRU01 – Eficiência de utilização de água na ETA [%] ▪ tRU02 – Água recirculada na ETA [%]
Consumo de energia	▪ tRU03 – Consumo de energia [kWh/m ³]
Consumo de produtos químicos	▪ tRU04 – Consumo de reagentes para ajuste de pH [eq/m ³] ▪ tRU05 – Consumo de coagulantes e floculantes [g/m ³] ▪ tRU06 – Consumo de oxidantes [g/m ³]
Consumo de meios de enchimento	▪ tRU07 – Reposição de meios de enchimento [%/ano]

Relativamente ao consumo de água, o indicador tRU01 avalia a eficiência de utilização deste recurso em todos os usos da ETA, ou seja, avalia o nível de produção de águas residuais, de consumo próprio e de perdas. No consumo próprio considera-se o consumo do processo (*e.g.*, na lavagem de filtros, na preparação de soluções de reagentes) e o consumo noutros usos (*e.g.*, laboratório, instalações sanitárias, refeitório, oficinas, lavagem de pavimentos, rega de jardins). O indicador corresponde à percentagem do volume de água bruta que entra na ETA que é

convertido em água tratada.

A percentagem de água recirculada no processo (indicador tRU02) dá informação sobre a eficiência de utilização de água somente ao nível do processo e não considera outros usos considerados no indicador tRU01. Considera-se como água recirculada a água proveniente do tratamento das águas residuais geradas no processo de tratamento (nas purgas dos decantadores, na lavagem dos filtros e no início dos ciclos de filtração caso haja possibilidade *filter to waste*) e provenientes da desidratação de lamas. Valores elevados do indicador tRU02 constituem um alerta para elevados consumos de água em algum ponto da linha de tratamento, em geral, na lavagem de filtros. Para além de corresponder a um maior consumo do recurso água, interessa minimizar o volume recirculado também para minimizar o consumo de outros recursos (energia e reagentes) associado à introdução da recirculação no início da linha principal de tratamento. No entanto, este indicador deve ser avaliado em conjunto com a quantidade e com a qualidade das lamas (indicadores tBP01 e tBP02) para se verificar se a minimização da recirculação está, indesejavelmente, a ser feita à custa do aumento do teor em água das lamas desidratadas.

A avaliação da eficiência de utilização de energia na ETA é feita através do consumo de energia por unidade de volume de água tratada (indicador tRU03). Caso a ETA utilize outros tipos de energia que não a eléctrica (*e.g.*, fuel), eles devem ser considerados neste indicador. Para que este indicador possa ser usado em *benchmarking*, não deve ser considerado o consumo das bombas de elevação da água bruta e da água tratada. Os resultados de diferentes ETA devem ser comparados atendendo ao tipo de tratamento instalado em cada caso. Para utilização interna da ETA, os resultados devem ser analisados conjuntamente com a distribuição do consumo energético na ETA, assim como com a proveniência da energia (fontes renováveis ou não).

O consumo de reagentes na ETA é avaliado por três indicadores, relativos ao consumo, por unidade de volume de água tratada, dos seguintes grupos de reagentes: reagentes para ajuste de pH (tRU04), coagulantes e floculantes (tRU05) e oxidantes (tRU06). Uma vez que a quantidade

usada de determinados reagentes condiciona a quantidade usada de outros, considerou-se adequado avaliar o consumo conjunto destes três tipos de reagentes. Os indicadores tRU04 e tRU05 devem ser calculados individualmente para a linha da fase líquida e para a linha da fase sólida. A concentração aplicada dos reagentes é função da qualidade da água bruta e do tipo de tratamento, pelo que estas variáveis devem ser factores explicativos destes três indicadores. Um esforço de optimização de dosagens de reagentes (com ensaios laboratoriais) permite encontrar a menor dosagem necessária ao cumprimento de um objectivo de qualidade da água e, consequentemente, originará consumos inferiores de reagentes no processo de tratamento. Como tal, os resultados dos indicadores relativos ao consumo de reagentes devem ser analisados em conjunto com o indicador tER12. No caso da linha da fase sólida, o consumo de reagentes deve ser analisado em conjunto com o indicador relativo à percentagem de matéria seca das lamas (tBP02).

O indicador tRU07 avalia o consumo de meios de enchimento por necessidade de reposição devida a perdas físicas dos leitos de enchimento dos filtros por razões diversas (*e.g.*, arraste durante a lavagem dos filtros, perda pelo fundo dos filtros durante os ciclos de filtração) ou devida a perdas de eficiência/capacidade de adsorção (por exemplo, no caso de meios adsorventes). Este indicador corresponde à percentagem de material de enchimento dos leitos que é repostado por ano. Neste indicador não se deve contabilizar a quantidade de material de enchimento usado em situações de aumento da capacidade ou reabilitação dos órgãos, uma vez que estas não correspondem a menor desempenho da normal operação. Em ETA que possuem diferentes tipos de meios de enchimento, o cálculo do indicador deve ser feito individualmente para cada meio, de modo a facilitar a interpretação dos resultados e a identificação das causas de menor desempenho. Uma vez que as quantidades repostas por ano de material de enchimento são, em geral, baixas, este indicador não deve ser utilizado para períodos inferiores a cinco anos, devendo ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos.

No Quadro 53 indica-se a relação do sistema de ID para ETA (domínio *Utilização de água, energia e materiais*) com estudos anteriores, indicando-se se os ID já estão previstos nesses estudos ou se são inteiramente novos. Verifica-se que 57% dos indicadores são novos, 14% são modificados a partir de ID previstos no sistema da IWA para abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2006) de modo a terem um âmbito de aplicação diferente (ao nível da ETA e não do sistema de abastecimento) e 29% estavam previstos no estudo de Nunes *et al.* (2003) e aqui foram usados com a mesma formulação.

Quadro 53 – Origem dos ID para ETA – Domínio *Utilização de água, energia e materiais*

ID	Origem
tRU01 – Eficiência de utilização de água na ETA	ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação
tRU02 – Água recirculada na ETA	ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação
tRU03 – Consumo de energia	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006)
tRU04 – Consumo de reagentes para ajuste de pH	Novo no sistema ID para ETA
tRU05 – Consumo de coagulantes e floculantes	Novo no sistema ID para ETA
tRU06 – Consumo de oxidantes	Novo no sistema ID para ETA
tRU07 – Reposição de meios de enchimento	Novo no sistema ID para ETA
	ID novos 57%
	ID adaptados de ID previstos no sistema da IWA 14%
	ID previstos em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação 29%

4.2.7. Domínio de avaliação *Gestão de subprodutos*

O nível de produção de subprodutos assim como a adequação da sua gestão, potenciais causadores de impactes negativos no ambiente, são avaliados através de sete indicadores do domínio *Gestão de subprodutos* (Quadro 54 e Anexo 1). Os subprodutos considerados são as águas residuais de processo, lamas e meios de enchimento (*e.g.*, GAC, areia, antracite, resinas de permuta iónica). Um melhor desempenho da ETA está relacionado com uma minimização dos subprodutos e uma maximização da sua regeneração e/ou valorização.

Tal como nos domínios anteriores, considera-se que a variável *volume de água tratada* deve ser sempre utilizada e nunca substituída pelo produto *população servida x capitação*, devido à menor fiabilidade destas duas variáveis.

Quadro 54 – Sistema de indicadores proposto – Domínio *Gestão de subprodutos*

Crítérios avaliados	Indicadores de Desempenho [unidade]
Produção de subprodutos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tBP01 – Quantidade de lamas produzidas [g/(m³.UNT)] ▪ tBP02 – Qualidade das lamas produzidas [% matéria seca] ▪ tBP03 – Quantidade de meios de enchimento rejeitados [m³/10⁶ m³]
Gestão de subprodutos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tBP04 – Destino final das lamas [%] ▪ tBP05 – Destino dos meios de enchimento regeneráveis [%] ▪ tBP06 – Destino dos meios de enchimento não regeneráveis [%] ▪ tBP07 – Descarga de águas residuais no meio [m³/m³]

O nível de produção de subprodutos é avaliado pela quantidade de lamas produzidas e pela quantidade de meios de enchimento rejeitados.

A quantidade de lamas produzidas é avaliada face ao volume de água bruta tratado e à turvação dessa água (indicador tBP01). Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características da água bruta, uma vez que valores elevados podem corresponder a uma não optimização de adição de reagentes face às características da água bruta (sobredosagem de reagentes de coagulação/floculação) ou ao facto de a água ter uma turvação muito baixa (difícil de remover e que exige, usualmente, maiores dosagens de coagulante/floculante). Assim, os resultados deste indicador devem ser analisados em conjunto com os indicadores tER09, tER12 e tER14. Nos casos em que uma ETA recebe lamas de outras estações para efectuar um tratamento conjunto de lamas, o indicador tBP01 não deve ser calculado, uma vez que um menor desempenho traduzido por este indicador pode não ser devido a um menor desempenho da ETA em análise.

A qualidade das lamas produzidas é avaliada pela sua concentração, expressa em percentagem de matéria seca (indicador tBP02). Valores elevados do indicador tBP02 correspondem a lamas com menor potencial de impacte ambiental e estão associados a uma maior eficiência do processo de tratamento. Este indicador pode ser calculado, mesmo quando há mistura de lamas de diferentes ETA, uma vez que se está a avaliar a eficiência do tratamento de sólidos da ETA em análise. Os resultados de tBP02 devem ser analisados em conjunto com os de tBP01, excepto quando há *input* de lamas de outras ETA.

Uma vez que foram criados, sobretudo, na perspectiva do impacto ambiental, os indicadores tBP01 e tBP02 relativos às lamas são calculados para o último passo de tratamento no qual se obtém lamas como subproduto, ou seja, para lamas provenientes da decantação na fase líquida, do espessamento ou da desidratação na linha de tratamento de lamas. Por exemplo, no caso de ETA que não possuem linha de tratamento de lamas, os indicadores aplicam-se às lamas provenientes da decantação na fase líquida e, no caso de ETA que fazem espessamento e desidratação de lamas, aplicam-se às lamas desidratadas. Assim, para efeitos de comparação de ETA, na análise de resultados deve ter-se em consideração o tipo de lamas produzidas pela ETA (decantadas, espessadas ou desidratadas).

A quantidade de meios de enchimento rejeitados (retirados da linha de tratamento) é avaliada face ao volume de água bruta tratado (indicador tBP03). Consideram-se neste indicador os meios de enchimento não regeneráveis (*e.g.*, areia, GAC e resinas de permuta iónica em fim de vida) e os meios de enchimento regeneráveis que ainda possam ser regenerados e novamente utilizados no processo de tratamento³ (*e.g.*, GAC). Este indicador foi criado numa perspectiva diferente do indicador tRU07, pelo que avaliam aspectos distintos do desempenho. O tBP03 avalia todos os meios de enchimento retirados da linha de tratamento – potenciais causadores de impactos negativos no ambiente – e o tRU07 avalia os meios colocados na linha de tratamento para colmatar perdas físicas ou de eficiência/capacidade de adsorção. Em algumas situações (*e.g.*, aumento de capacidade ou reabilitação de órgãos), estes indicadores dão informação distinta e são, portanto, ambos necessários. Apesar de, à semelhança de tBP02, não ter sido criado um ID relativo à qualidade dos meios de enchimento rejeitados (por dificuldade de quantificação deste aspecto), considera-se que o provável teor em substâncias tóxicas do meio de enchimento rejeitado deve ser tido em consideração na análise do indicador tBP03. Uma vez que a frequência de substituição de meios de enchimento é, em geral, baixa, o indicador tBP03 não

³ Ao fim de algumas regenerações, os meios de enchimento regeneráveis passam a não regeneráveis – meios em fim de vida.

deve ser utilizado para períodos inferiores a cinco anos, devendo ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos.

A gestão adequada de lamas de ETA deve promover a sua valorização, por exemplo, pela indústria cimenteira ou através da incorporação em outros materiais de construção e de pavimentação. Este aspecto da avaliação de desempenho é quantificado, através do indicador tBP04, pela percentagem das lamas escoadas pela ETA que são valorizadas. Este indicador considera a percentagem de lamas escoadas (que saíam efectivamente da ETA para um destino final) e não a percentagem de lamas produzidas, uma vez que estas, em situações de excesso de produção e/ou de capacidade de escoamento insuficiente, podem ser armazenadas na ETA, durante períodos superiores a um ano, antes de serem levadas a destino final. Por outro lado, e também devido à acumulação de lamas na ETA, a quantidade escoada pode ser superior à produzida⁴. Um valor do ID de 100% corresponde à situação óptima de valorização do total das lamas escoadas pela ETA. No caso de valores inferiores a 100% interessa analisar quais são os outros destinos das lamas, assim como os impactes ambientais associados a cada um deles. Devem ainda ser analisadas as razões que impedem uma valorização total (falta de capacidade da indústria onde é feita a valorização ou características das lamas que inviabilizam a valorização, como percentagem de humidade – informação dada por tBP02 – e/ou toxicidade elevadas).

Os meios de enchimento rejeitados podem ser regeneráveis ou não. A gestão adequada de meios de enchimento rejeitados que não são regeneráveis (*e.g.*, areia, GAC e resinas de permuta iónica em fim de vida) deve promover a sua valorização. O indicador tBP06 quantifica este aspecto através da percentagem dos meios de enchimento não regeneráveis escoados que são valorizados. A opção adequada, em termos ambientais, de gestão para os meios de enchimento regeneráveis (*e.g.*, GAC) que estão saturados é a sua regeneração, sendo este aspecto avaliado pelo indicador tBP05 através da percentagem dos meios de enchimento saturados escoados que

⁴ Em intervalos de 2-3 anos, a ETA deve evidenciar capacidade de escoamento de todas as lamas produzidas.

são regenerados. Tal como no caso das lamas, este indicador considera a percentagem dos meios de enchimento escoados e não a percentagem de meios produzidos, uma vez que pode ocorrer armazenamento na ETA, durante períodos superiores a um ano⁵. Um valor deste ID de 100% corresponde à regeneração do total dos meios de enchimento saturados escoados. Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características da água bruta e o provável teor em substâncias tóxicas do meio de enchimento rejeitado, uma vez que podem justificar baixos desempenhos neste aspecto. Devem ainda ser analisados os motivos para baixa percentagens de regeneração (*e.g.*, inexistência de unidades industriais de regeneração a distâncias que tornem economicamente viável esta alternativa de gestão de resíduos).

A avaliação da ocorrência e volume de descargas de águas residuais provenientes do tratamento, potenciais causadoras de impactes ambientais, é feita pelo indicador tBP07 que relaciona o volume de água residual de processo (proveniente das várias operações/processos unitários de tratamento como, por exemplo, a água de lavagem de filtros e a água de desidratação de lamas) descarregada sem tratamento adequado (*i.e.*, sem cumprimento da licença de descarga) no meio (meio hídrico ou outro) com o volume de água tratada pela ETA. Este indicador considera apenas as águas residuais lançadas no meio e não o total de águas residuais rejeitadas (que incluiria também águas residuais lançadas em sistemas de drenagem), uma vez que, no primeiro caso, os impactes ambientais são claramente mais graves, facto que interessa evidenciar. Valores do indicador tBP07 superiores a 0 correspondem à situação indesejável na qual a água residual de processo não é recirculada após tratamento adequado, sendo esta informação quantificada pelo indicador tRU02. Além do volume de água residual descarregado, interessa ter em consideração as características contaminantes da água residual descarregada, pelo que os resultados do indicador tBP07 devem ser analisados tendo em conta este aspecto.

No Quadro 55 indica-se a relação do sistema de ID para ETA (domínio *Gestão de subprodutos*)

⁵ Em intervalos de 5 anos, a ETA deve evidenciar capacidade de escoamento de todos os meios de enchimento produzidos.

com estudos anteriores, indicando-se se os ID já estão previstos nesses estudos ou se são inteiramente novos. Verifica-se que 71% dos indicadores são novos e 29% estavam previstos no estudo de Nunes *et al.* (2003) e aqui foram usados com a mesma formulação.

Quadro 55 – Origem dos ID para ETA – Domínio *Gestão de subprodutos*

ID	Origem
tBP01 – Quantidade de lamas produzidas	ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação
tBP02 – Qualidade das lamas produzidas	ID previsto em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação
tBP03 – Quantidade de meios de enchimento rejeitados	Novo no sistema ID para ETA
tBP04 – Destino final das lamas	Novo no sistema ID para ETA
tBP05 – Destino dos meios de enchimento regeneráveis	Novo no sistema ID para ETA
tBP06 – Destino dos meios de enchimento não regeneráveis	Novo no sistema ID para ETA
tBP07 – Descarga de águas residuais no meio	Novo no sistema ID para ETA
	ID novos 71%
	ID previstos em Nunes <i>et al.</i> (2003) com a mesma formulação 29%

4.2.8. Domínio de avaliação *Segurança*

O domínio *Segurança* avalia o desempenho em termos de segurança ambiental e de segurança das instalações (no sentido de as instalações proporcionarem segurança ao pessoal que trabalha na ETA). Assim, são avaliados, em três indicadores, os derrames e fugas de produtos químicos ou de subprodutos, a ocorrência de acidentes de trabalho e a capacidade de resposta a situações de emergência (Quadro 56 e Anexo 1).

Quadro 56 – Sistema de indicadores proposto – Domínio *Segurança*

Critérios avaliados	Indicadores de Desempenho [unidade]
Derrames e fugas acidentais de produtos	▪ tSa01 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos [kg/10 ⁶ m ³]
Acidentes de trabalho	▪ tSa02 – Acidentes de trabalho [n.º/(10 ³ empregado.ano)] ▪ tSa03 – Resposta à emergência [min/situação de emergência]

Os derrames e fugas de produtos químicos (*e.g.*, derrame de soluções de reagentes, fuga de cloro gasoso) ou de subprodutos da ETA (*e.g.*, derrame de águas residuais e lamas devido ao colapso de um espessador de lamas ou à rotura de uma conduta de transporte de lamas) podem causar impactes ambientais negativos e constituir perigo para os trabalhadores da ETA e para as populações situadas na sua proximidade. Assim, a sua ocorrência e extensão é avaliada através da quantidade de produtos derramados ou libertados acidentalmente por unidade de volume de água tratada (indicador tSa01). O número de ocorrências não foi considerado adequado para a

avaliação destes aspectos por não evidenciar a extensão dos derrames/fugas e por ser de difícil quantificação em certas situações (*e.g.*, derrame de pequena dimensão e contínuo em tanque de preparação de reagentes). Este indicador deve ser calculado individualmente para: i) reagentes gasosos libertados, ii) reagentes líquidos e sólidos derramados e iii) para lamas e águas residuais derramadas, de modo a diferenciar os diferentes tipos de derrames e fugas que têm diferentes características de perigosidade e efeitos nocivos. Adicionalmente, a análise dos resultados deve ter em consideração a perigosidade dos produtos que foram efectivamente derramados ou libertados. Valores deste indicador superiores a 0 correspondem à situação indesejável na qual ocorreram derrames e/ou fugas acidentais de produtos químicos ou subprodutos e alertam para uma eventual falta de medidas de segurança na ETA (*e.g.*, ausência de dispositivos de contenção de derrames nos locais de armazenamento de produtos químicos).

A ocorrência de acidentes de trabalho numa ETA é um aspecto importante a avaliar, em particular, porque neste tipo de instalações se manuseiam produtos químicos. A avaliação da ocorrência de acidentes de trabalho de empregados da ETA é feita pelo indicador tSa02 que contabiliza o número de acidentes de trabalho por empregado equivalente a tempo inteiro e por ano. Consideram-se os acidentes com todos os empregados afectos ao funcionamento da ETA quer o sejam a tempo inteiro ou parcial, em regime permanente ou temporário. Considera-se acidente de trabalho o sinistro, entendido como acontecimento súbito e imprevisto, sofrido pelo trabalhador que se verifique no local e no tempo de trabalho (definição que consta do Código do Trabalho, Decreto-Lei n.º 99/2003). Uma vez que são os de maior gravidade, contabilizam-se no indicador tSa02 apenas os acidentes de trabalho que tenham requerido acompanhamento médico. As consequências dos acidentes aqui considerados podem ser avaliadas pelos dias de ausência dos trabalhadores devido a acidentes de trabalho (informação, parcialmente, fornecida pelo indicador tPe07), tendo em atenção que, em determinado ano, podem estar a ser contabilizados dias de ausência na sequência de acidentes ocorridos no ano anterior.

Além da ocorrência de situações de emergência, é necessário avaliar a capacidade de resposta para uma resolução rápida dessas situações. O indicador tSa03 corresponde ao tempo médio de resposta à emergência por situação ocorrida. Adoptou-se a convenção usada internacionalmente pelos meios de socorro, na qual o *tempo de resposta à emergência* é o tempo decorrido entre a detecção da emergência e a chegada ao local das primeiras unidades dos meios de socorro (bombeiros, meios de emergência médica, polícia). Por analogia com a abordagem adoptada na indústria química, no âmbito deste domínio *Segurança*, consideram-se como situações de emergência associadas ao funcionamento da ETA apenas aquelas que afectam a segurança dos empregados ou a segurança ambiental. Como exemplos, podem citar-se a ocorrência de derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos do tratamento, incêndios, explosões e ocorrência de acidentes de trabalho graves devido a outras razões. Não se está, portanto, a avaliar o tempo de resposta a situações que, pela sua gravidade, podem ser consideradas como emergência mas que necessitam apenas da intervenção de piquetes de manutenção da própria EG (*e.g.*, paragem total das bombas da água bruta), sendo estas situações consideradas nos indicadores relativos a avarias, em particular, no indicador tER31 relativo ao tempo médio de resolução de avarias. Valores elevados do indicador tSa03 correspondem a uma situação de deficiente capacidade de resposta a situações de emergência por insuficiência de meios (internos ou externos à ETA). Podem corresponder também a uma prevenção deficiente de situações de emergência, como a inexistência de planos de emergência ou a insuficiente formação dos empregados da ETA na área da segurança.

No Quadro 57 indica-se a relação do sistema de ID para ETA (domínio *Segurança*) com estudos anteriores, indicando-se se os ID já estão previstos nesses estudos ou se são inteiramente novos. Verifica-se que 67% dos indicadores são novos e 33% são modificados a partir de ID previstos no sistema da IWA para abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2006) de modo a terem um âmbito de aplicação diferente (ao nível da ETA e não do sistema de abastecimento).

Quadro 57 – Origem dos ID para ETA – Domínio *Segurança*

ID	Origem
tSa01 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos	Novo no sistema ID para ETA
tSa02 – Acidentes de trabalho	Adaptado de ID previsto no sistema da IWA (Alegre <i>et al.</i> , 2006) com âmbito diferente
tSa03 – Resposta à emergência	Novo no sistema ID para ETA
	ID novos 67%
	ID adaptados de ID previstos no sistema da IWA 33%

4.2.9. Domínio de avaliação *Recursos humanos*

Os oito indicadores de recursos humanos avaliam a disponibilidade em pessoal da ETA, a adequação da sua qualificação académica e da sua formação profissional, assim como o nível de absentismo e de trabalho suplementar (Quadro 58 e Anexo 1). Todos os indicadores deste domínio foram seleccionados a partir dos indicadores de recursos humanos do sistema da IWA para abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2006) e adaptados de modo a terem um âmbito de aplicação diferente (ao nível da ETA e não do sistema de abastecimento).

Os recursos humanos aqui considerados correspondem aos empregados da EG (permanentes ou temporários) que exercem funções directamente relacionadas com o funcionamento da ETA, ou seja, funções de operação, manutenção e controlo da qualidade da água (laboratório). Não são, portanto, contabilizados empregados com outro tipo de funções como, por exemplo, administração, planeamento e projecto, gestão financeira, assuntos jurídicos, informática, gestão de recursos humanos, gestão de clientes ou relações públicas.

Quadro 58 – Sistema de indicadores proposto – Domínio *Recursos humanos*

Critérios avaliados	Indicadores de Desempenho [unidade]
Disponibilidade de recursos	▪ tPe01 – Pessoal afecto ao tratamento [n.º/10 ⁶ m ³]
Qualificação do pessoal	▪ tPe02 – Pessoal com formação superior [%] ▪ tPe03 – Pessoal com escolaridade mínima obrigatória [%]
Formação do pessoal	▪ tPe04 – Tempo total de formação [hora/(empregado.ano)] ▪ tPe05 – Tempo de formação interna [hora/(empregado.ano)]
Absentismo	▪ tPe06 – Absentismo [%] ▪ tPe07 – Absentismo por acidente de trabalho ou doença [%]
Trabalho suplementar	▪ tPe08 – Trabalho suplementar [%]

É necessário ainda, nos ID deste domínio, ter em atenção a contabilização do pessoal associado a *outsourcing* de funções da EG, quando ele seja praticado. No âmbito desta tese, adopta-se a

classificação usada por Theuretzbacher-Fritz *et al.* (2008) e considera-se que o *outsourcing* pode dividir-se em *outsourcing* externo e *in-house outsourcing* (Figura 47). No *outsourcing* externo, as tarefas são contratadas a entidades externas à EG em avaliação (*e.g.*, realização de análises da água num laboratório externo). No *in-house outsourcing*, certas tarefas são realizadas por pessoal que não está adstrito somente à ETA em avaliação mas que pertence à EG (*e.g.*, realização de análises da água num laboratório da EG que é externo à ETA e faz análises de amostras provenientes de outras ETA e de pontos de amostragem na rede de distribuição). Para o cálculo dos indicadores não se consideram os recursos humanos associados ao *outsourcing* externo, devido à dificuldade de, em algumas situações, se contabilizar a componente de pessoal adstrito à ETA numa prestação de serviços. O pessoal envolvido em *in-house outsourcing* é contabilizado na proporção do tempo afecto à ETA em avaliação.

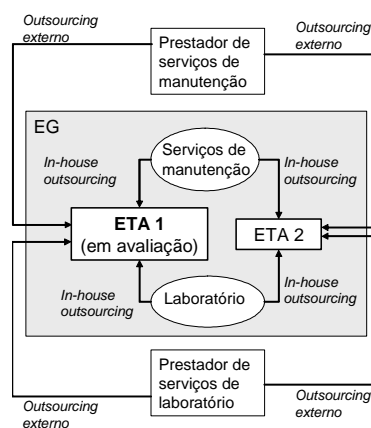


Figura 47 – Exemplos de *outsourcing* numa EG

O indicador tPe01 avalia a dimensão da equipa de pessoal afecto ao funcionamento da ETA face à dimensão da ETA, traduzida pelo volume de água tratada. A disponibilidade em pessoal da ETA é traduzida pelo número equivalente de empregados a tempo inteiro afectos ao funcionamento da ETA por unidade de volume de água tratada. No caso de EG multi-serviços (*e.g.*, EG que gerem simultaneamente sistemas de abastecimento de água e sistemas de águas residuais) e de EG que operam mais do que uma ETA, há empregados que exercem actividade em mais do que uma componente da EG (*e.g.*, operador que não está em permanência numa ETA

mas que trabalha também em outras ETA da mesma EG). Nestes casos, cada empregado deve ser contabilizado na proporção do tempo afecto à ETA em avaliação.

O nível de *outsourcing* e o grau de automação da ETA devem ser factores explicativos do indicador tPe01, pois um valor baixo do indicador pode ser justificado por elevados níveis de *outsourcing* e/ou automação. O tipo de tratamento deve também ser tido em consideração na análise de resultados, uma vez que uma maior complexidade tecnológica exige mais recursos humanos. Os tipos de tarefas atribuídos aos recursos humanos existentes devem ser também considerados (por exemplo, a existência de exigências associadas a processos de certificação nas áreas da qualidade, ambiente, segurança ou certificação de produto).

Os indicadores tPe02, tPe03 e a diferença $100 - tPe02 - tPe03$ permitem determinar a estrutura, em termos de qualificação, dos recursos humanos considerados no indicador tPe01. Contabilizam, respectivamente, a percentagem de empregados afectos ao funcionamento da ETA: i) com formação superior (e.g., bacharelato, licenciatura, mestrado ou doutoramento), ii) com, pelo menos, escolaridade mínima obrigatória e iii) sem escolaridade mínima obrigatória (Figura 48). Deste modo, é possível avaliar a adequação da qualificação dos recursos humanos da ETA.

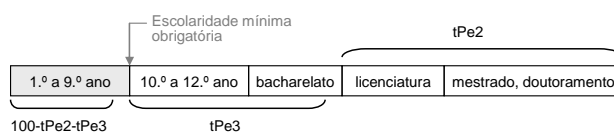


Figura 48 – Indicadores relativos à qualificação dos recursos humanos, em Portugal, no período em estudo (2001-2007)

Em Portugal, actualmente, a escolaridade mínima obrigatória corresponde à conclusão do 9.º ano de escolaridade. No entanto, noutros países e/ou em anos distintos, este critério pode ser diferente, pelo que, no indicador tPe03, se optou por manter apenas a designação *escolaridade mínima obrigatória* e não referir um determinado ano de escolaridade. No indicador tPe03 contabiliza-se o pessoal que possui, pelo menos, a escolaridade mínima obrigatória, ou seja, no

caso de Portugal, são considerados os empregados que possuem o 9.º ano de escolaridade, mas também aqueles que possuem o 10.º, 11.º, 12.º, a frequência do ensino superior (sem grau concluído) ou cursos profissionais.

Além das habilitações literárias, considera-se útil para a avaliação de desempenho no domínio *Recursos humanos* dispor de uma medida da qualificação do pessoal em termos da formação profissional especializada. Assim, quando os esquemas de certificação de formação especializada em ETA (actualmente em preparação a nível internacional) o permitirem, pode ser calculado um indicador análogo a tPe03, mas no qual se contabiliza a percentagem de empregados que possuem especialização certificada em operação de ETA.

O nível de formação profissional dos recursos humanos da ETA é avaliado pelos indicadores tPe04, tPe05 e pela diferença tPe04 – tPe05, que quantificam, por empregado, o número total de horas de acções de formação, o número de horas das acções de formação ministradas internamente pela EG e o número de horas das acções de formação ministradas por entidades externas à EG, respectivamente. Os resultados destes indicadores devem ser analisados tendo em consideração o número e a qualificação dos empregados que participaram nas acções de formação. Em alternativa e fornecendo o mesmo tipo de informação, o indicador tPe05 poderia ser calculado como uma percentagem do tempo total de formação. Neste trabalho, optou-se por manter a formulação do sistema da IWA e que é também análoga à formulação usada nos indicadores incluídos nos Relatórios de Balanço Social das empresas (elaborados de acordo com o Decreto-Lei n.º 190/96).

O nível de absentismo dos recursos humanos da ETA é avaliado pelos indicadores tPe06, tPe07 e pela diferença tPe06 – tPe07. Considera-se no absentismo total (indicador tPe06) todas as ausências ao trabalho (mesmo que justificadas), excepto as ausências por motivo de férias, greve ou licença sem vencimento. Incluem-se, por exemplo, as ausências pelos seguintes motivos: acidente de trabalho, doença, casamento, maternidade/paternidade, falecimento de familiar,

assistência a familiares, trabalhador estudante, consultas médicas. O indicador tPe06 mede o absentismo total como o número de horas de ausência ao trabalho face ao total anual de horas de trabalho previstas contratualmente para todos os empregados. Esta formulação foi preferida à formulação do indicador análogo do sistema da IWA (Alegre *et al.*, 2006), que calcula o número de dias de ausência por empregado e por ano, pois é mais adequada para ter em consideração as situações de trabalho por turnos. O total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados pode ser calculado através da equação (3), que tem em consideração a existência de diferentes horários laborais. Em Portugal, esta variável corresponde ao conceito de Potencial Máximo Anual (PMA), estabelecido na legislação relativa ao balanço social das empresas (Lei n.º 141/85).

$$\text{Total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados (h/ano)} = \sum_{i=1}^n H_i \cdot T_i \quad (3)$$

em que:

n = total de empregados (n.º);

H_i = horas de trabalho contratado do empregado i (hora/semana);

T_i = semanas de trabalho do empregado i, não considerando as férias (semana/ano).

O indicador tPe07 individualiza o absentismo causado por acidente de trabalho ou doença e a diferença tPe06 – tPe07 corresponde ao absentismo por outras razões. O indicador tPe07 compara o número de horas de ausência ao trabalho motivadas por acidente de trabalho ou doença face ao total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados.

A percentagem de trabalho suplementar face ao total anual de horas de trabalho normais previstas contratualmente para todos os empregados corresponde ao indicador tPe08. Valores elevados deste indicador podem indiciar um uso ineficiente da mão-de-obra durante o período normal de trabalho ou uma insuficiência (em número – tPe01 – e/ou em qualificação – tPe02 e tPe03) dos recursos humanos afectos ao funcionamento da ETA.

4.2.10. Domínio de avaliação Recursos económico-financeiros

Os oito indicadores incluídos neste domínio (Quadro 59 e Anexo 1) foram seleccionados de

entre os ID usados pela entidade reguladora do sector da água português (IRAR, 2008) que, por sua vez, são um subconjunto dos ID económico-financeiros do sistema da IWA (Alegre *et al.*, 2006). Contudo, o âmbito de aplicação é diferente, sendo o cálculo feito ao nível da ETA e não da EG. Foram excluídos os ID que apenas fazem sentido a nível de uma empresa e não para uma ETA (*e.g.*, *rácio de solvabilidade* que avalia a capacidade de uma empresa se endividar). Foram também adoptados os conceitos e a nomenclatura do sistema da IWA para abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2006).

Quadro 59 – Sistema de indicadores proposto – Domínio *Recursos económico-financeiros*

Critérios avaliados	Indicadores de Desempenho [unidade]
Proveitos	▪ tFi01 – Proveito unitário [Euro/m ³]
Custos	▪ tFi02 – Custo unitário total [Euro/m ³]
	▪ tFi03 – Custos unitários correntes [Euro/m ³]
	▪ tFi04 – Custos de pessoal [%]
	▪ tFi05 – Custos de aquisição de serviços [%]
	▪ tFi06 – Custos de energia [%]
	▪ tFi07 – Custos de aquisição de reagentes e meios de enchimento [%]
	▪ tFi08 – Custos de tratamento e eliminação de subprodutos [%]
	▪ tFi09 – Rácio de cobertura dos custos [-]
Eficiência económico-financeira	

Tal como nos domínios anteriores, considera-se que a variável *volume de água tratada* deve ser sempre utilizada e nunca substituída pelo produto *população servida x capitação*, devido à menor fiabilidade destas duas variáveis.

Os ID seleccionados avaliam os proveitos (tFi01) e os diferentes tipos de custos associados ao funcionamento da ETA (tFi02 a tFi08), assim como a eficiência económico-financeira através de um rácio de cobertura de custos (tFi09).

Os proveitos totais correspondem aos proveitos operacionais aos quais foi deduzido o auto-investimento em infra-estruturas. Os proveitos operacionais incluem os proveitos de vendas (de água tratada), trabalhos em curso e outros proveitos operacionais. O indicador tFi01 calcula o proveito total unitário expresso em função do volume de água entrada na ETA, uma vez que é este volume que traduz o potencial de gerar receitas de venda de água. Considera-se que, apesar de estar directamente relacionado com as receitas de venda de água, o volume de água tratada

não é um denominador adequado para este ID, pois favorece ETA com baixa eficiência de utilização da água (com elevadas perdas dentro da ETA) e não incentiva a melhoria do desempenho em todas as suas vertentes.

Os custos totais associados ao funcionamento da ETA correspondem à soma dos custos correntes e custos de capital, e são avaliados através de seis ID. Os dois primeiros ID avaliam os custos de forma global, sendo calculados os custos unitários totais (tFi02), os custos correntes (tFi03) e os custos de capital (através da diferença tFi02 – tFi03). Os restantes indicadores (tFi04 a tFi08) permitem uma análise mais pormenorizada dos custos correntes, traduzindo a sua composição (em percentagem dos custos correntes) por tipo de custo. Foram consideradas as parcelas mais relevantes para ETA:

- custos com pessoal (tFi04) – incluem custos de mão-de-obra correspondentes ao pessoal afecto à ETA contratado pela EG, a tempo inteiro ou parcial, em regime permanente ou temporário, incluindo salários, pagamento de horas extraordinárias e outros custos que deles derivem directamente (*e.g.*, pagamentos complementares, encargos com segurança social);
- custos de aquisição de serviços externos (tFi05) – incluem custos com aquisição de serviços técnicos (*e.g.*, consultoria) ou administrativos, custos com licenças de *software*, custos com empresas associadas e custos de operação associados a prestações de serviços a terceiros;
- custos de energia (tFi06) – incluem custos com aquisição da energia eléctrica necessária ao funcionamento da ETA (*e.g.*, equipamento de processo, escritórios, laboratórios, oficinas). Não se incluem custos com outro tipo de energia, uma vez que nas regras de contabilidade em prática se incluem, usualmente, os custos com outras energias (*e.g.*, fuel) noutras categorias, o que dificulta o seu cálculo;
- custos de aquisição de reagentes (tFi07) – incluem custos com aquisição de reagentes e meios de enchimento usados quer na linha de tratamento da fase líquida, quer no tratamento da fase sólida;

- custos de tratamento e eliminação de subprodutos (tFi08) – incluem custos relacionados com a gestão de subprodutos do tratamento: i) custos com transporte e eliminação final de lamas não valorizadas, de meios de enchimento não regeneráveis (*e.g.*, areia) que não foram valorizados e de meios de enchimento saturados regeneráveis (*e.g.*, GAC, resinas iónicas) mas que foram rejeitados, ii) custos com a valorização de subprodutos (lamas e meios de enchimento não regeneráveis) e iii) custos com a regeneração de meios de enchimento saturados efectuada fora da ETA; este indicador deve ser calculado individualmente para cada uma destas três componentes – eliminação final, valorização e regeneração.

Os restantes custos correntes (*e.g.*, impostos e contribuições, aquisição de outros consumíveis, aluguer ou *leasing* de equipamentos ou veículos, resultados extraordinários) correspondem à percentagem dos custos correntes remanescente.

Multiplicando os indicadores tFi04 a tFi08 por tFi03 obtêm-se os montantes gastos com cada parcela por unidade de volume de água tratada.

Recomenda-se que todos os indicadores deste domínio não sejam calculados para períodos inferiores a um ano.

Apesar de o rácio de cobertura dos custos correntes ser usado, em geral, para avaliar a sustentabilidade ao nível da EG, considera-se útil fazer essa análise somente ao nível da ETA, pelo que se inclui neste domínio de avaliação o indicador tFi09, no qual se analisa o grau de cobertura dos custos correntes pelos proveitos.

É expectável alguma dificuldade de aplicação dos indicadores deste domínio de avaliação, devido ao facto de muitos sistemas de contabilidade das EG não individualizarem proveitos nem custos para as várias componentes dos sistemas de abastecimentos geridos pela empresa, incluindo as várias ETA, caso existam. Prevê-se que o grau de dificuldade seja baixo no caso dos custos energéticos e moderado no caso dos custos de aquisição de reagentes, custos de pessoal,

custos de transporte e eliminação de subprodutos e custos de aquisição de serviços. A dificuldade será maior no caso dos proveitos, uma vez que estes resultam, sobretudo, da venda de água que é “processada” por todo o sistema de abastecimento. Assim, é necessário alocar esses proveitos a cada componente do sistema (captação, adução, distribuição, tratamento e outros, como por exemplo, administração e serviços de apoio da EG) através da aplicação de coeficientes de ponderação. A alocação de proveitos a diferentes ETA de uma EG pode ser feita, por exemplo, com uma ponderação proporcional ao volume de água tratada. Quando a gestão da ETA é feita por um prestador de serviços ou se a EG da ETA difere da EG das outras componentes do sistema de abastecimento, a determinação dos proveitos está facilitada.

Apesar das dificuldades mencionadas, considerou-se que, no âmbito de uma tese de doutoramento, a proposta dos ID relativos aos proveitos e à cobertura de custos deveria ser feita com o intuito de se lançar uma ideia inicial passível de desenvolvimentos futuros, realizados fora já do âmbito da tese. Estes desenvolvimentos terão lugar uma vez avaliado o seu interesse e viabilidade de aplicação prática, e deverão estar a cargo de equipas de trabalho integrando especialistas da área económico-financeira.

Para utilização destes indicadores no âmbito de iniciativas de *benchmarking*, é essencial que sejam definidas regras claras de cálculo das variáveis, uma vez que existem, frequentemente, diferenças significativas nos procedimentos de contabilidade das empresas. Por todas as razões já referidas, é também necessário que, para efeitos de comparação de ETA, a análise de resultados dos ID económico-financeiros seja feita de forma cuidadosa.

4.2.11. Factores explicativos

Uma vez que o desempenho de uma ETA em particular pode depender do contexto específico da sua actividade, é importante definir o tipo de factores explicativos a considerar para uma correcta interpretação dos resultados de desempenho e uma justa comparação entre diferentes ETA.

Como já foi referido, o sistema de ID para ETA pode ser usado como complemento de um sistema de ID para o sistema de abastecimento de água como, por exemplo, o sistema da IWA. Neste cenário, propõe-se que a interpretação dos resultados dos ID relativos à ETA tenha em conta os factores explicativos relevantes definidos no sistema da IWA (Alegre *et al.*, 2006), nomeadamente, o perfil da EG, o perfil do sistema e o perfil da região. Adicionalmente, devem ser tidos em consideração outros factores explicativos de que se apresentam, seguidamente, alguns exemplos:

- outros ID do sistema para ETA (que são referidos na ficha de cada ID);
- dimensão da ETA – traduzida pela capacidade volúmica máxima diária de tratamento;
- sequência de tratamento da ETA;
- período de funcionamento da ETA – traduzido, por exemplo, pelo número de dias que a ETA funciona por ano;
- sazonalidade em termos da quantidade da água processada pela ETA – traduzida, por exemplo, pela razão entre o volume de água tratada no dia de produção máxima e o volume de água tratada no dia de produção mínima;
- número de linhas de tratamento da ETA em paralelo;
- caracterização da qualidade da água bruta – traduzida, por exemplo, pela classificação A1, A2 ou A3 de acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98; a variabilidade anual ou sazonal da qualidade pode ser, por exemplo, traduzida pelos desvios padrão dos valores dos vários parâmetros de qualidade;
- total de análises realizadas à água tratada – traduzido, por exemplo, pelo número total de análises realizadas por unidade de volume de água tratada;
- vulnerabilidade do recurso hídrico à contaminação/poluição;
- parâmetros analisados na água (água tratada e durante o processo de tratamento) na monitorização em contínuo e na monitorização pontual;

- modo de adução da água bruta à ETA e modo de transporte da água tratada da ETA (gravítica ou por bombagem) – traduzido, por exemplo, pela percentagem de água elevada em relação ao total de água transportada, calculada individualmente para água bruta e água tratada;
- disponibilidade comercial dos reagentes no local onde a ETA está instalada, traduzida, por exemplo, pelo tempo médio de entrega dos reagentes a partir do momento em que é feito o pedido de aquisição ao fornecedor;
- equipamentos calibrados – traduzido, por exemplo, pela percentagem de equipamentos que foram calibrados, devendo o cálculo ser feito individualmente para doseadores de reagentes, medidores de caudal, medidores de nível, medidores de pressão, medidores em linha de qualidade da água;
- equipamentos inspeccionados – traduzido, por exemplo, pela percentagem de equipamentos que foram inspeccionados, devendo o cálculo ser feito individualmente para bombas, equipamentos de emergência, equipamentos de transmissão de sinal e quadros eléctricos;
- OPU com monitorização da qualidade da água – traduzidas, por exemplo, pela percentagem de OPU que têm monitorização da qualidade da água à saída;
- tratamento conjunto de lamas – traduzido, por exemplo, pela quantidade e qualidade de lamas recebidas de outras ETA;
- capacidade de escoamento de lamas – traduzido, por exemplo, pela percentagem das lamas produzidas que são escoadas;
- outros destinos das lamas escoadas pela ETA que não a valorização – traduzido, por exemplo, pela percentagem das lamas escoadas para cada um desses destinos;
- participação dos empregados da ETA em acções de formação – traduzida, por exemplo, pela percentagem de empregados que participaram em acções de formação;
- nível de *outsourcing* – traduzido, por exemplo, pela percentagem de custos correntes correspondente a aquisição de serviços;

- certificação nas áreas da Qualidade, Ambiente e Segurança – traduzida, por exemplo, pela percentagem de certificações que a EG possui relativamente às certificações disponíveis na sua área de actividade (*e.g.*, ISO 9000, ISO 14000, ISO 22000, certificação do produto água para consumo humano de acordo com Especificação de Requisitos de Produto ERP 5001/2 de 2008).

5. Avaliação de desempenho operacional de ETA

5.1. Metodologia geral

O desenvolvimento da componente de avaliação de desempenho operacional do sistema de avaliação de desempenho de ETA seguiu a metodologia apresentada na Figura 49.

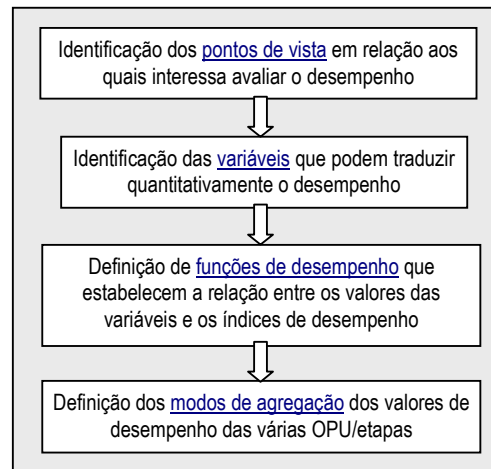


Figura 49 – Metodologia do desenvolvimento da avaliação de desempenho operacional de ETA

Em primeiro lugar, foram identificados os **pontos de vista** em relação aos quais interessa avaliar o desempenho operacional, tendo sido considerados os seguintes: *qualidade da água tratada*, *eficiência do tratamento* e *funcionamento dos órgãos*. Para uma avaliação integrada, devem ser tidos em conta todos pontos de vista, uma vez que a ETA pode apresentar bom desempenho relativamente a um deles e pior desempenho relativamente aos outros, e na óptica da otimização de todos os recursos interessa atingir o maior desempenho possível sob todos os pontos de vista. Existe, assim, uma complementaridade entre os três pontos de vista.

O sistema de avaliação de desempenho de ETA terá, portanto, três subcomponentes do desempenho operacional: desempenho em termos da qualidade da água tratada, desempenho em

termos da eficiência do tratamento e desempenho em termos do funcionamento dos órgãos da estação.

Em seguida, para cada um dos pontos de vista, foram identificadas as [variáveis](#) que podem traduzir, em função dos valores que tomam, o desempenho da estação de tratamento ao longo do tempo.

No caso do ponto de vista *qualidade da água tratada*, as variáveis consideradas são as concentrações dos contaminantes químicos e biológicos indesejáveis e que estão, eventualmente, presentes na água tratada. Este aspecto do desempenho operacional relaciona-se com o cumprimento de objectivos (eficácia).

Para o ponto de vista *eficiência do tratamento*, as variáveis consideradas são as eficiências de remoção (e/ou inactivação, no caso dos contaminantes biológicos) dos contaminantes químicos e biológicos atrás referidos nas várias OPU/etapas do processo de tratamento. Nesta vertente do desempenho operacional avaliam-se aspectos de eficiência.

As variáveis consideradas para o ponto de vista *funcionamento dos órgãos* são os parâmetros de operação relevantes a monitorizar e/ou controlar de modo a minimizar os problemas de operação da ETA e a aumentar o desempenho do processo de tratamento. Tal como explicado na secção 2.2.1, os *parâmetros de operação* incluem *parâmetros de qualidade da água* e *parâmetros de processo*. Estes parâmetros de operação foram identificados para cada OPU ou etapa de tratamento. Para tal, foi feita, para cada OPU/etapa de tratamento, uma análise pormenorizada dos aspectos de dimensionamento e de operação que estão directamente relacionados e que condicionam ou reflectem o desempenho conseguido por essa OPU/etapa. Nesta análise, foram tidas em consideração a natureza, a extensão e as causas das deficiências mais comuns em ETA, ou seja, procuraram identificar-se os aspectos que constituem obstáculos a uma operação eficiente.

A normalização dos valores de todas as variáveis atrás referidas foi feita através da aplicação de [funções de desempenho](#) definidas para cada uma delas. A função de desempenho (também designada por função de penalidade por outros autores) permite converter o valor da variável num valor de desempenho (Figura 50). Esta função penaliza qualquer desvio a uma situação óptima na qual o serviço prestado pelo sistema de tratamento tem um desempenho máximo. A função associa a cada valor da variável o valor de um índice de desempenho. Este índice é uma medida do desempenho de um elemento do sistema de tratamento (*e.g.*, um determinado processo unitário) e toma valores entre zero e 300. O valor de 300 (desempenho máximo) corresponde a uma situação em que o serviço prestado é “excelente”. Valores entre 300 e 200 traduzem desempenhos “bons”. Os valores entre 200 e 100 são aceitáveis, correspondendo o valor 100 ao desempenho “mínimo aceitável”. Finalmente, valores de índices de desempenho inferiores a 100 traduzem já um desempenho “insatisfatório”. Quando o índice é zero significa que há ausência ou interrupção de serviço, ou seja, o elemento do sistema de tratamento a que o índice se refere não está a realizar a função a que se destina. Foi escolhida esta escala de 0 a 300 com três bandas para que a zona de desempenho bom não fosse mais beneficiada do que a penalização na zona de desempenho insatisfatório. A escala é a mesma para todas as variáveis consideradas neste trabalho, para que os índices de desempenho calculados nas várias componentes da avaliação de desempenho operacional possam ser analisados comparativamente. A forma das funções deve ser simples, de modo a que a interpretação dos resultados seja fácil.

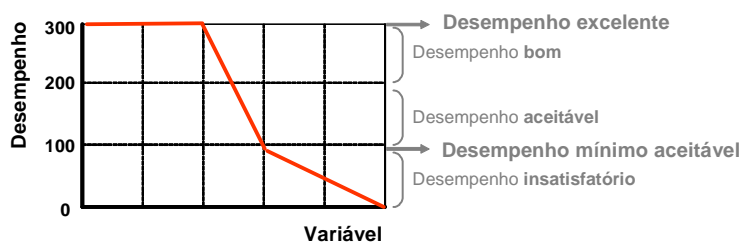


Figura 50 – Exemplo de função de desempenho

A utilização de funções de desempenho constitui uma mais valia relativamente à simples análise dos valores das variáveis, uma vez que a conversão em índices de desempenho torna os

resultados do desempenho relativos a vários domínios e/ou relativos a diferentes ETA comparáveis e passíveis de agregação, sendo deste modo facilitada a análise de grandes volumes de informação e a comparação entre OPU e/ou ETA.

A definição das funções de desempenho traduz uma das vertentes de flexibilidade do sistema de avaliação de desempenho aqui proposto, uma vez que podem ser traçadas por cada utilizador de modo a traduzir a sua perspectiva da análise de desempenho atendendo aos seus objectivos particulares e/ou a condicionantes locais como, por exemplo, imposições legais. Contudo, o sistema de avaliação prevê, também, a possibilidade de o utilizador escolher de entre um conjunto de curvas pré-definidas, apresentadas nas secções 5.2.2, 5.3.2 e 5.4.3 para as três componentes analisadas.

Da aplicação de funções de penalidade resultam índices de desempenho para cada OPU/etapa de tratamento. Caso o utilizador deseje, estes índices podem ser agregados de forma a obter-se um índice de desempenho para cada uma das três componentes da OpPA e um índice do desempenho operacional global da ETA. Assim, a metodologia aqui proposta produz valores de desempenho operacional quer ao nível de cada OPU/etapa, quer ao nível da ETA.

5.2. Avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada

5.2.1. Metodologia para avaliação de desempenho

A metodologia de avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada consiste essencialmente em duas etapas: i) definição das funções de desempenho a aplicar a cada variável *concentração de contaminante* (para contaminantes legislados ou não legislados, *i.e.*, emergentes) e ii) para cada parâmetro de qualidade da água, conversão dos valores das concentrações na água tratada em índices de desempenho através das funções de desempenho previamente definidas.

Tal como explicado no capítulo 10, esta componente da OpPA relaciona-se com o domínio *Qualidade da água tratada* (sobretudo, indicadores tWQ01 e tQQ02) da OvPA, permitindo fazer uma análise mais pormenorizada da conformidade da qualidade da água à saída da ETA.

5.2.2. Funções de desempenho

A avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada refere-se a uma avaliação de eficácia, ou seja, do cumprimento dos objectivos que, neste caso, correspondem aos critérios de qualidade pré-definidos pela entidade gestora (EG) para a água tratada. Estes critérios referem-se à água imediatamente à saída da ETA. Caso a EG não tenha estabelecido critérios específicos para este ponto, podem ser adoptados os critérios para a qualidade da água na torneira do consumidor previstos na legislação em vigor (Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto) ou, no caso de sistemas de abastecimento em alta, critérios para a qualidade da água no ponto de entrega previstos na Especificação de Requisitos de Produto ERP5001/2 de 2008 (versão revista da ERP5001/1 de 2007)⁹.

5.2.2.1. Parâmetros físico-químicos

Na Figura 51 apresenta-se a forma geral da função de desempenho proposta para aplicar a todos os parâmetros físico-químicos de qualidade da água tratada que correspondem a substâncias indesejáveis, pelo que a sua concentração na água tratada deve ser inferior a um determinado valor-limite (VL). Este valor-limite é o critério pré-definido pela EG para a água à saída da ETA. Contudo, a situação ideal corresponderia à ausência dos contaminantes na água, pelo que quanto menor a concentração do contaminante, melhor é o desempenho, mesmo que o seu valor se situe abaixo do VL.

Os métodos analíticos não quantificam as substâncias presentes na água em concentrações

⁹ Está prevista, a breve prazo, a publicação de uma recomendação do IRAR relativa à “Especificação para a certificação do produto Água para consumo humano, aplicável a sistemas públicos de abastecimento de água em alta e/ou em baixa e que definirá as características microbiológicas, organolépticas, físico-químicas e radiológicas do produto no(s) ponto(s) de entrega a outra entidade gestora (sistemas em alta) ou ao consumidor (sistemas em baixa).

inferiores ao respectivo limite de quantificação (LQ), pelo que não é possível distinguir situações que na realidade podem ser distintas mas cujo resultado analítico está abaixo do LQ. Assim, quando as concentrações são iguais ou inferiores ao LQ, considera-se que o desempenho é excelente (índice de desempenho = 300). Pela razão atrás exposta, para concentrações a partir do LQ o desempenho começa a diminuir linearmente até ao VL. A partir deste valor já se está em incumprimento dos objectivos e o desempenho é, portanto, insatisfatório, assumindo valores entre 100 e zero. Para concentrações que excedem em 50% o VL, o índice de desempenho é nulo. Nesta última parte da função de desempenho, optou-se por dar alguma tolerância e não considerar que o desempenho é nulo logo que a concentração excede o VL, uma vez que do ponto de vista técnico não há propriamente uma descontinuidade entre as duas situações. Deste modo, tem-se, adicionalmente alguma informação sobre o grau de incumprimento, o que não aconteceria se a função tivesse uma queda brusca para zero para valores imediatamente superiores a VL.

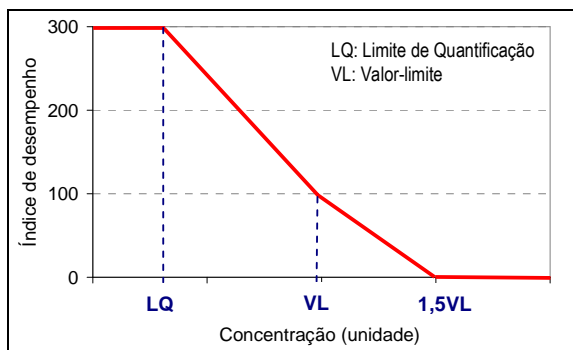


Figura 51 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar às concentrações de todos os parâmetros físico-químicos com VL superior (*i.e.*, todos com excepção do cloro, pH e Índice de Saturação de Langelier) considerando apenas aspectos técnicos

Esta função foi concebida tendo em conta apenas o aspecto técnico mas não o ponto de vista económico. Em várias situações, os custos de remoção de um parâmetro indesejável até concentrações muito inferiores ao VL podem ser demasiado elevados, pelo que a função deveria ter a forma apresentada na Figura 52. O desempenho assumiria o valor de 200 para uma concentração igual à concentração facilmente atingível pelas ETA em termos económicos

(VLe: Valor-limite economicamente viável). Nesse caso, se VLe for próximo do VL (VLe_b na Figura 52) o desempenho 200 atinge-se facilmente e o desempenho excelente é mais difícil de atingir do que se não existisse VLe. Se o VLe for mais próximo de LQ (VLe_a na Figura 52) é mais difícil atingir o desempenho 200 e qualquer melhoria a partir de VLe é muito valorizada. Esta é uma função de desempenho “multi-objectivo”, pois atende simultaneamente a aspectos técnicos e económicos. No entanto, uma vez que, na prática, a concentração VLe é difícil de determinar para a maior parte dos parâmetros, adoptou-se, na presente dissertação, a função apresentada na Figura 51.

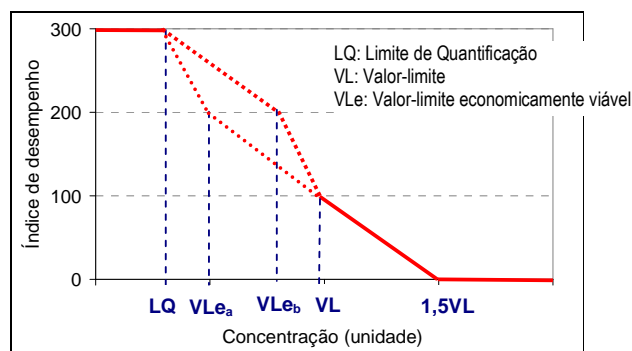


Figura 52 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar às concentrações de todos os parâmetros físico-químicos com VL superior (*i.e.*, todos com excepção do cloro, pH e Índice de Saturação de Langelier) considerando aspectos técnicos e económicos

As funções de desempenho relativas ao cloro, ao pH e ao Índice de Saturação de Langelier diferem das anteriores, uma vez que existe uma gama aconselhada para estes parâmetros de qualidade da água e não o requisito de que sejam inferiores a determinado valor-limite.

A desinfecção final por cloração é feita de modo a assegurar a qualidade microbiológica da água tratada (por remoção/inactivação de contaminantes biológicos) à saída da ETA, assim como na rede de distribuição a jusante. Como tal, a prática de operação actual, a legislação nacional, a normalização em vigor e as recomendações da WHO (2006) são no sentido de que exista um residual de cloro na água tratada superior a um determinado valor-limite inferior (VL1). Este residual tem como objectivo impedir contaminações na rede de distribuição devidas ao crescimento de microrganismos presentes na água e que escaparam ao tratamento, bem como

contaminações externas devidas, por exemplo, a roturas, pressões negativas ou entrada de contaminantes em reservatórios. A ausência ou diminuição inesperada da concentração do cloro num dado ponto da rede são também utilizadas como um alerta para a ocorrência de uma eventual contaminação nesse local. De modo a minimizar a formação de subprodutos da desinfecção e por questões organolépticas que influenciam a aceitação da água pelo consumidor (cheiro e sabor a cloro), o cloro não deve exceder um valor-limite superior (VL2). Assim, a função de desempenho a aplicar ao parâmetro cloro é a apresentada na Figura 53. Foram criadas funções distintas para ETA integradas em sistemas de abastecimento em alta e para ETA integradas em sistemas de abastecimento em baixa. No primeiro caso, adoptaram-se como VL1 e VL2 os valores definidos na ERP5001/2 de 2008: 0,2 mg/L e 1,0 mg/L, respectivamente (Figura 53b). No segundo caso, adoptaram-se como VL1 e VL2 os valores definidos na legislação (recomendação do Decreto-Lei n.º 306/2007): 0,2 mg/L e 0,6 mg/L, respectivamente (Figura 53a). Tal como para os outros parâmetros, consideraram-se tolerâncias de 50% dos valores limite, ou seja, o índice de desempenho é nulo fora das gamas 0,1-1,5 mg/L e 0,1-0,9 mg/L, para sistemas em alta e sistemas em baixa, respectivamente. No caso do cloro, a função de desempenho definida tem, de certo modo, já em consideração aspectos técnicos e económicos, uma vez que concentrações de cloro acima de VL2 correspondem também a custos acrescidos desnecessários.

A ERP5001/2 de 2008 e o Decreto-Lei n.º 306/2007 definem também gamas de valores nas quais o pH da água tratada se deve situar, uma vez que esta é uma condição necessária para que a água não apresente características de agressividade para os materiais com os quais contacta. Quer se trate de sistemas em alta ou em baixa, a gama é 6,5-9,0, tendo sido estes os VL1 e VL2 adoptados para traçar a função de desempenho aplicável a este parâmetro (Figura 54). Considerou-se que o índice de desempenho é nulo fora da gama 5,5-10,0.

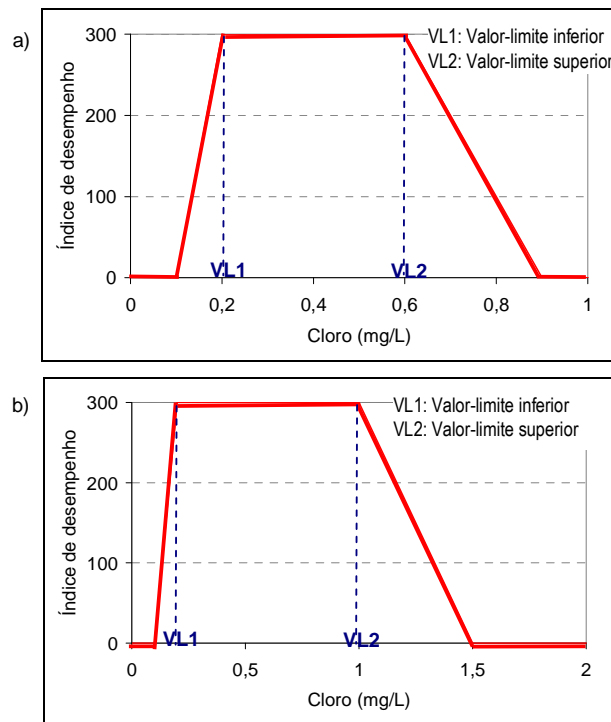


Figura 53 – Funções de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar ao parâmetro cloro em a) ETA para distribuição em baixa, b) ETA para distribuição em alta

No caso dos parâmetros cálcio e magnésio, o desejável é ter uma água equilibrada, *i.e.*, não incrustante nem agressiva para com os materiais com os quais contacta no sistema de distribuição a jusante da ETA. O Decreto-Lei n.º 306/2007 impõe um limite máximo de 100 mg/L e 50 mg/L, respectivamente para o cálcio e para o magnésio. Como tal, além de terem sido criadas funções de desempenho considerando estes valores máximos, considerou-se que deve ser analisado, em conjunto com o cálcio e magnésio, o Índice de Saturação de Langelier (IL) que mede a tendência de uma água para precipitar carbonato de cálcio. A Figura 55 apresenta a função de desempenho a aplicar ao IL. Uma água equilibrada corresponde teoricamente a um IL igual a zero, embora a bibliografia recomende que se evite água agressiva e permita água ligeiramente incrustante (*i.e.*, IL entre 0 e +0,5). O intervalo recomendado pelo Decreto-Lei n.º 306/2007 é -0,5 a +0,5. Assim, assume-se um desempenho excelente no intervalo 0 a +0,5 (VL1 e VL2 da função de desempenho) e um desempenho bom entre -0,5 e zero. A ERP5001/2 de 2008 admite um intervalo entre -1 e +1, tendo sido estes os valores adoptados

para a tolerância da função de desempenho, ou seja, a partir daqui o índice anula-se.

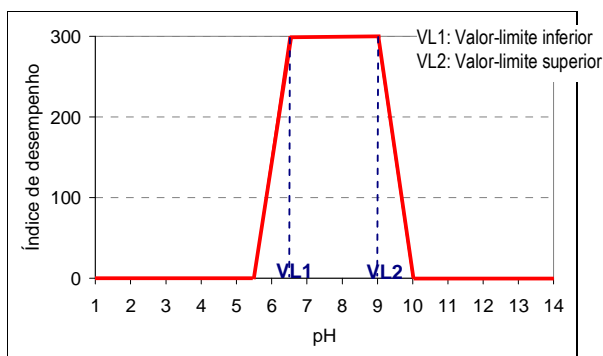


Figura 54 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar ao parâmetro pH

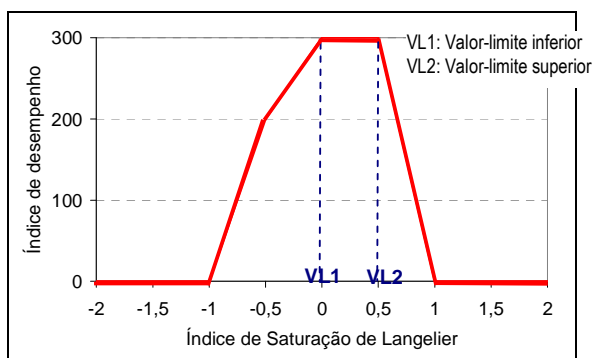


Figura 55 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar ao parâmetro Índice de Saturação de Langelier

5.2.2.2. Parâmetros microbiológicos

A Figura 56 apresenta as funções de desempenho a aplicar aos parâmetros microbiológicos de qualidade da água tratada. Em relação a todos eles, a situação ideal é a ausência de microrganismos na água tratada à saída da ETA. Se o tratamento estiver a funcionar correctamente, esta é uma situação facilmente atingível. Assim, as funções de desempenho prevêem que a situação de desempenho óptimo (índice = 300) corresponda somente ao valor zero de concentração. Para concentrações superiores a zero, o desempenho diminui, até se anular para uma concentração que depende do parâmetro, do modo a seguir descrito.

A contagem de colónias a 22°C ou a 37°C detecta uma gama muito abrangente de microrganismos heterotróficos que inclui tanto espécies que ocorrem naturalmente nos meios aquáticos (em geral, não problemáticos) como espécies provenientes de fontes de poluição

(potencialmente problemáticos) (WHO, 2006). Os valores observados em água para consumo humano são também muito variáveis – entre 0 e 10^4 ufc/mL (Allen *et al.*, 2004) – e, apesar de ser consensual que valores de contagens baixos são preferíveis a valores elevados, é difícil estabelecer valores máximos aceitáveis para este parâmetro, uma vez que também não existem evidências epidemiológicas de que os valores elevados têm significado em termos de saúde (AWWA, 1999; Allen *et al.*, 2004; WHO, 2006). A legislação portuguesa e de outros países não define valores máximos para a água na torneira, tendo apenas como requisito que não ocorram variações anormais dos valores observados, pois são um alerta para a eventual existência de problemas de contaminação, quer no tratamento, quer no sistema de distribuição. Na função de desempenho a aplicar à contagem de colónias a 37°C admitiu-se que o desempenho diminui de 300 para 100 (mínimo aceitável) quando as concentrações variam entre 0 e 10 ufc/100 mL. A partir de 100 ufc/100 mL, o desempenho anula-se. A 22°C detectam-se cerca de cinco vezes mais colónias do que a 37°C, pelo que, na função de desempenho a aplicar ao parâmetro colónias a 22°C, se admitiu uma primeira tolerância até 50 ufc/100 mL e uma segunda tolerância até 300 ufc/100 mL (não se adoptou o valor de 500 ufc/100 mL, uma vez que, por limitações dos métodos analíticos, não é possível quantificar valores superiores a 300 ufc/100mL).

As bactérias coliformes (que incluem coliformes fecais e coliformes ambientais) não são elas próprias patogénicas, constituindo apenas um indicador da presença/ausência de organismos patogénicos. O valor paramétrico do Decreto-Lei n.º 306/2007 relativamente a este parâmetro é 0 ufc/100 mL. Também de acordo com WHO (2006), as bactérias coliformes devem estar ausentes logo após o tratamento e a sua presença é sinónimo de tratamento inadequado. Assim, considera-se que o desempenho se anula se for registado um valor igual ou superior a 1 ufc/100 mL.

A *Escherichia coli* é representativa dos coliformes fecais (contaminação recente) e constitui um subconjunto das bactérias coliformes. Os enterococos são indicadores de contaminação fecal

antiga e continuada, e o *Clostridium perfringens* é indicador de contaminação fecal intermitente. De modo análogo às bactérias coliformes, considerou-se que, nas funções de desempenho destes três parâmetros, o desempenho é máximo para uma concentração nula (valor paramétrico do Decreto-Lei n.º 306/2007; recomendação da WHO para que se verifique ausência destes microrganismos na água logo após o tratamento) e que se anula se for registado um valor igual ou superior a 1 ufc/100 mL.

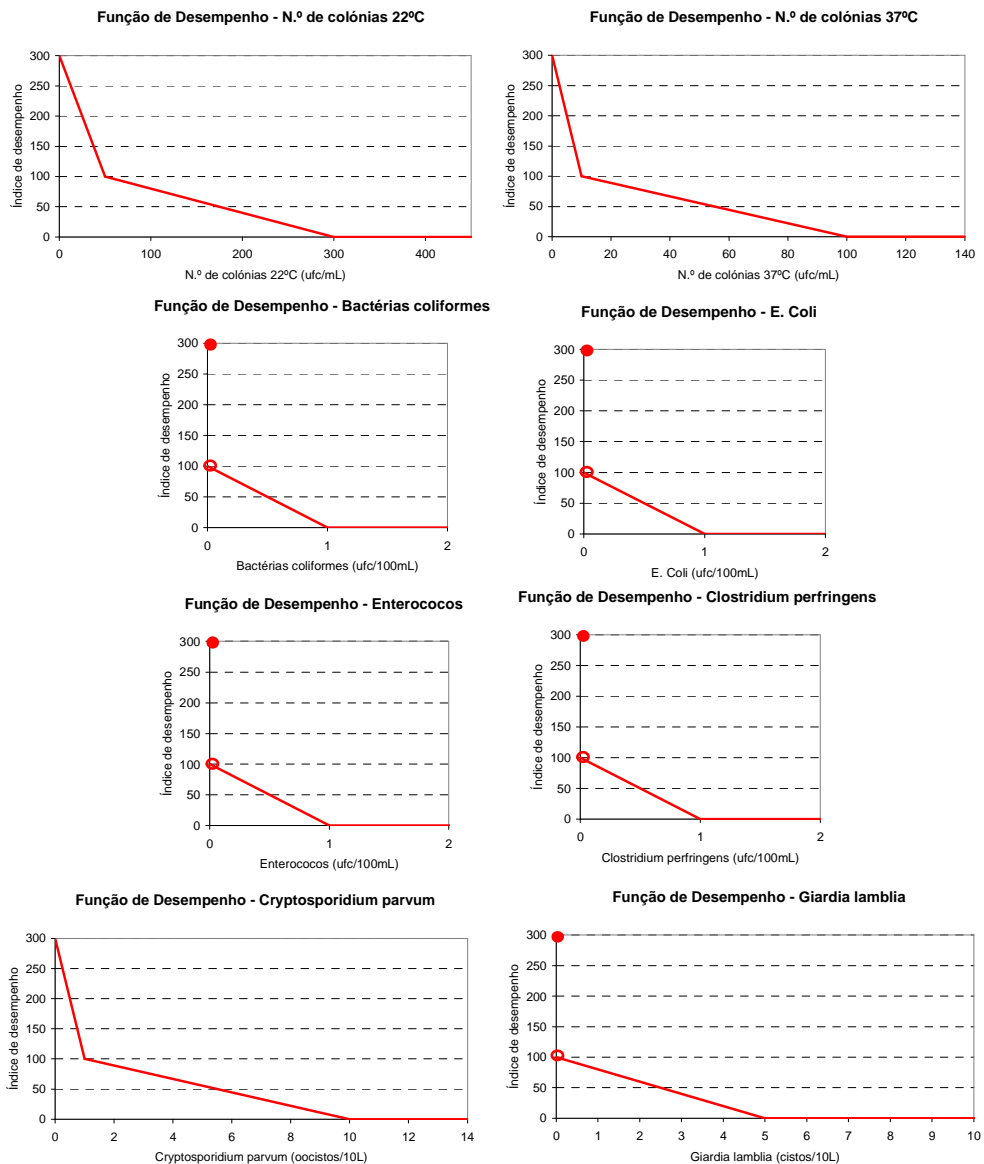


Figura 56 – Funções de desempenho para avaliação de desempenho em termos da qualidade da água tratada a aplicar aos parâmetros microbiológicos

Segundo WHO (2006), vários estudos mostraram que o grau de infectividade do

Cryptosporidium parvum é elevado, sendo que a ingestão de pouco mais de 10 oocistos pode originar infecção. A legislação do Reino Unido e a ERP5001/2 de 2008 admitem como valor máximo permitido 1 oocisto/10 L. O MCLG (*Maximum Contaminant Level Goal* – concentração abaixo da qual não é conhecido ou não existe risco para a saúde) estipulado pela EPA é zero. Face a estas considerações, na função de desempenho a aplicar a este parâmetro admitiu-se que o desempenho é óptimo quando não existem estes organismos na água tratada e que diminui até ao valor mínimo aceitável que corresponde a uma concentração de 1 oocisto/10 L. Para concentrações maiores que 1 oocisto/10 L e inferiores a 10 oocistos/10 L o desempenho é insatisfatório. O índice é nulo a partir de 10 oocistos/10 L.

De acordo com WHO (2006) o grau de infectividade da *Giardia lamblia* é também elevado e pouco menos de 10 cistos constituem já um risco significativo de infecção. O MCLG da EPA é zero. A ERP5001/2 de 2008 tem como valor-limite 0 cisto/10 L. Assim, considera-se que, na função de desempenho relativa a este parâmetro, o desempenho é máximo para uma concentração nula e que se anula se for registado um valor igual ou superior a 5 cistos/10 L.

5.3. Avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento

5.3.1. Metodologia para avaliação de desempenho

A metodologia de avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento consiste essencialmente em duas etapas: i) definição das funções de desempenho a aplicar às variáveis *eficiências de remoção* e ii) conversão dos valores das variáveis em índices de desempenho através das funções de desempenho previamente definidas.

5.3.2. Funções de desempenho

A eficiência de remoção (e/ou inactivação, no caso de contaminantes microbiológicos) *per se* não deve ser usada como uma medida do desempenho em termos da eficiência do tratamento,

uma vez que, para alguns parâmetros, esse desempenho depende fortemente da concentração do contaminante a remover. Uma determinada percentagem de remoção pode corresponder a um bom desempenho numa dada gama de concentrações a remover, mas a mesma remoção pode corresponder a um mau desempenho se se estiver perante uma gama de concentrações mais elevadas. Uma ETA que trata água com concentrações baixas em contaminantes e, conseqüentemente, apenas consegue baixas eficiências de remoção não deve ser penalizada. Isto é válido, por exemplo, para a turvação, sendo mais fácil tratar uma água com turvação elevada do que com turvação baixa. Por exemplo, é mais fácil remover 90% de uma turvação 100 UNT do que 90% de uma turvação 1 UNT. Assim, a abordagem usada neste trabalho teve como objectivo a procura de uma gama esperada de eficiências de remoção. Os valores das eficiências de remoção efectivamente observados em cada ETA seriam comparados com os valores esperados para uma dada concentração a remover, o que permitiria concluir quanto ao desempenho. Caso os valores observados fossem superiores aos esperados, o desempenho seria bom. Caso contrário, o desempenho seria inferior.

Várias referências bibliográficas indicam gamas esperadas de remoção dos vários contaminantes em cada OPU ou conjunto de OPU e que poderiam ser usadas para comparação com as remoções efectivamente observadas. Contudo, estas gamas são demasiado largas e não são explicitamente relacionadas com a concentração afluente, pelo que se optou por não definir funções de desempenho somente com base em gamas da bibliografia.

Para a determinação das gamas esperadas de eficiências de remoção foram seguidos os passos abaixo descritos:

- i) **Cálculo das percentagens de remoção para todas as combinações OPU/conjunto de OPU e parâmetro de qualidade para as quais existiam dados nos casos de estudo deste trabalho** (*i.e.*, concentração à entrada e saída de cada OPU/conjunto de OPU na mesma data) e que se encontram assinaladas no Quadro 60.

Quadro 60 – Combinações OPU/conjunto de OPU e parâmetro de qualidade estudadas para definição dos níveis de desempenho em termos de eficiência do tratamento

Parâmetro	OPU/conjunto de OPU									
	global	pré-oxidação	C/F/D	filtração	desinfecção	C/F/D + filtração	C/F/D + filtração + desinfecção	pré-oxidação + C/F/D	filtração + desinfecção	
Alumínio										
Azoto amoniacal										
Bromato										
Brometo										
Cálcio										
Cloreto										
Condutividade										
Cor										
COT										
Dureza										
Ferro										
Fluoreto										
Fosfato										
Magnésio										
Manganês										
Nitrato										
Nítrito										
Oxidabilidade										
Potássio										
Sódio										
SST										
Sulfato										
SUVA										
Turvação										
UV ₂₅₄										
Bactérias coliformes										
Clostridium perfringens										
N.º colónias a 22°C/37°C										
<i>Escherichia coli</i>										
Enterococos										
Enterovírus										
Pseudomonas										

A OPU remove o parâmetro, pelo que se vai analisar a relação da eficiência de remoção com a concentração afluente.
 Quando aplicado a uma OPU ou conjunto de OPU nas colunas 2 a 6: a OPU/conjunto de OPU não remove o parâmetro.
 Quando aplicado a um conjunto de OPU nas colunas 7 a 10: o conjunto de OPU não remove o parâmetro ou a remoção já está prevista em todos os elementos deste conjunto.
 Não faz sentido analisar a remoção.
 Contaminante adicionado ou formado no tratamento.
 Não existem dados para cálculo de percentagem de remoção ou existem menos de 10 valores.

ii) **Análise de quais as OPU/conjunto de OPU em que se observou remoção dos contaminantes.** As conclusões encontram-se resumidas no Quadro 60. As combinações OPU/conjunto de OPU e parâmetro para as quais se observou remoção encontram-se assinaladas a verde neste quadro.

iii) **Nos casos em que se registaram remoções, análise** (por observação visual dos gráficos)

da existência de relações entre as eficiências de remoção e as concentrações afluentes do parâmetro à OPU ou conjunto de OPU. Encontraram-se relações assintóticas no caso dos parâmetros turvação, alumínio, ferro, cor, azoto amoniacal, nitrito, oxidabilidade, SST e manganês. A eficiência de remoção do parâmetro UV_{254} aparenta ter uma relação linear com a concentração afluenta – tal como já encontrado por Campinas *et al.* (2003) e Rosa *et al.* (2004). Os restantes parâmetros não exibem, nas gamas estudadas, qualquer tipo de relação com a concentração afluenta.

iv) Nos casos em que foram encontradas relações assintóticas entre eficiências de remoção (E_r) e concentrações afluentes (C_{in}), foram procurados modelos (funções analíticas) **que traduzissem essas relações**. Apenas foi possível seguir esta abordagem para os parâmetros turvação e alumínio, por serem os únicos com dados suficientes para fazer um tratamento estatístico para definição dos modelos $E_r = f(C_{in})$. Assim, a metodologia para avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento será aqui exemplificada para a turvação e alumínio, mas caso uma EG ou outra entidade pretendam implementá-la, deverão seleccionar outros parâmetros que considerem relevantes, em função dos seus objectivos, e efectuar a recolha de dados com uma frequência que permita, posteriormente, efectuar o mesmo tratamento estatístico.

Usando os dados de (C_{in} , E_r) das quatro ETA da AdA em conjunto, os modelos $E_r = f(C_{in})$ foram obtidos determinando o valor mínimo, médio e máximo da eficiência de remoção, para cada concentração afluenta. Não foram considerados os pares de valores (C_{in} , E_r) em que apenas havia um valor de E_r , pois nestes casos não fazia sentido calcular mínimo, média e máximo. Em seguida, foi feito um ajuste dos valores de E_r mínimos (E_{rMin}), um ajuste dos valores de E_r médios (E_{rMed}) e um ajuste dos valores de E_r máximos (E_{rMax}). Inicialmente, foi testado um ajuste logarítmico, tendo os resultados sido insatisfatórios. As funções modelo encontradas com um ajuste do tipo $E_r = -a/C_{in} + b$ (a , b constantes) constam do

Quadro 61 e estão representadas na Figura 57 e no Anexo 5. Em geral, os coeficientes de correlação encontrados foram superiores a 0,8 com excepção de três que foram de 0,7 (ajuste de Er_{Med} no caso da remoção de turvação na C/F/D) e 0,5 (ajuste de Er_{Min} no caso da remoção de turvação na C/F/D e ajuste de Er_{Min} no caso da remoção global de turvação).

Quadro 61 – Modelos de ajuste de eficiências de remoção em função da concentração afluenta

		Modelo		
		Er_{Max}	Er_{Med}	Er_{Min}
Turvação	Global	$Er_{Max} = -\frac{(10,28 \pm 0,08)}{Cin} + (99,85 \pm 0,05)$ R=0,982 N.º de pontos do ajuste: 619	$Er_{Med} = -\frac{(11,1 \pm 0,2)}{Cin} + (98,7 \pm 0,1)$ R=0,917 N.º de pontos do ajuste: 619	$Er_{Min} = -\frac{(16 \pm 1)}{Cin} + (95,2 \pm 0,7)$ R=0,501 N.º de pontos do ajuste: 619
	C/F/D	$Er_{Max} = -\frac{(9,8 \pm 0,2)}{Cin} + (97,4 \pm 0,2)$ R=0,841 N.º de pontos usados no ajuste: 487	$Er_{Med} = -\frac{(11,3 \pm 0,4)}{Cin} + (93,4 \pm 0,3)$ R=0,735 N.º de pontos usados no ajuste: 487	$Er_{Min} = -\frac{(14 \pm 1)}{Cin} + (85,7 \pm 0,8)$ R=0,464 N.º de pontos usados no ajuste: 487
	Filtração	$Er_{Max} = -\frac{(9,3 \pm 0,1)}{Cin} + (99,3 \pm 0,3)$ R=0,979 N.º de pontos usados no ajuste: 263	$Er_{Med} = -\frac{(10,0 \pm 0,1)}{Cin} + (96,5 \pm 0,3)$ R=0,984 N.º de pontos usados no ajuste: 263	$Er_{Min} = -\frac{(13,9 \pm 0,6)}{Cin} + (86 \pm 1)$ R=0,804 N.º de pontos usados no ajuste: 263
Alumínio	Filtração	$Er_{Max} = -\frac{(1451 \pm 36)}{Cin} + (98,4 \pm 0,4)$ R=0,871 N.º de pontos usados no ajuste: 520	$Er_{Med} = -\frac{(1807 \pm 45)}{Cin} + (95,1 \pm 0,5)$ R=0,870 N.º de pontos usados no ajuste: 520	$Er_{Min} = -\frac{(2132 \pm 69)}{Cin} + (90,5 \pm 0,8)$ R=0,804 N.º de pontos usados no ajuste: 520

A zona delimitada pelas funções modelo $Er = f(Cin)$ é representativa do comportamento do conjunto das quatro ETA em termos da gama de remoções existentes na prática, traduzindo, portanto, situações de desempenho bom, adequado e insatisfatório. Assim, as funções de desempenho podem ser construídas com base nestes modelos, do modo esquematizado na Figura 58. A intersecção da vertical em Cin com as curvas dos modelos Er_{Min} , Er_{Med} e Er_{Max} dá os valores de remoção correspondentes aos índices de desempenho 100, 200 e 300, respectivamente (Figura 58). Estes valores são usados para a construção da função de desempenho como a Figura 59 mostra. Se forem conseguidas remoções iguais ou superiores ao máximo da gama esperada, o desempenho é excelente (índice de desempenho = 300). Se a remoção se situar entre a média e o máximo da gama esperada o desempenho é bom (índice de desempenho = [200; 300[) e se for igual ou superior ao mínimo e inferior à média da gama esperada, o desempenho é aceitável (índice de desempenho = [100; 200[). Para valores de remoção inferiores ao mínimo da gama esperada, considera-se que o desempenho é insatisfatório (índice de desempenho < 100) e, para

valores inferiores a 75% da remoção esperada mínima, o índice de desempenho é nulo. A função de desempenho é diferente para cada concentração afluente.

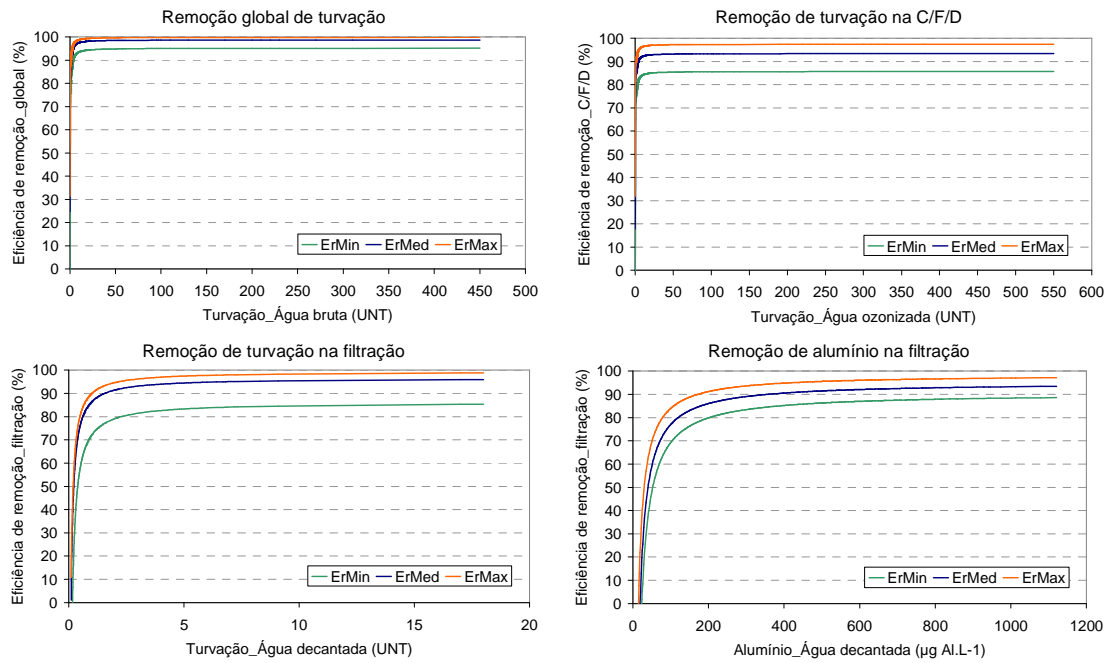


Figura 57 – Modelos de ajuste de eficiências de remoção em função da concentração afluente

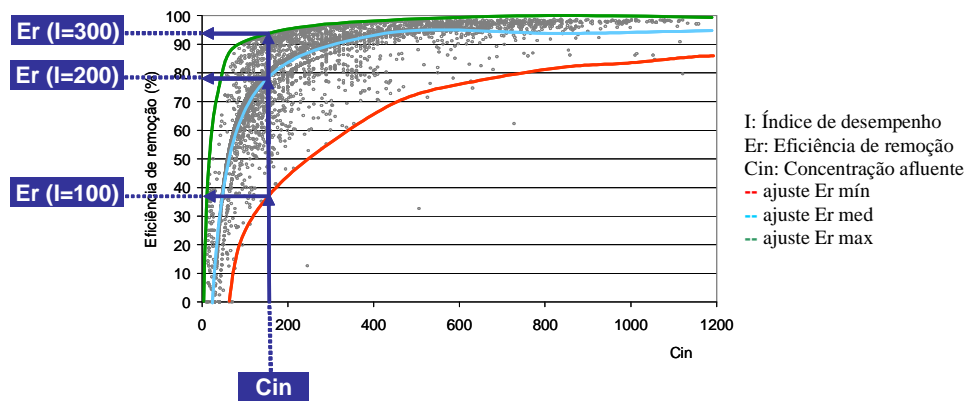


Figura 58 – Determinação de parâmetros para a construção da função de desempenho para avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento

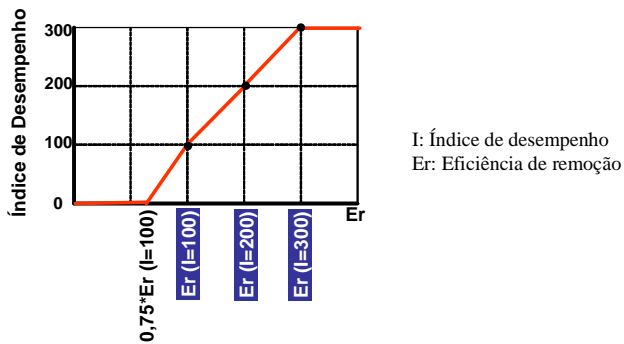


Figura 59 – Função de desempenho para avaliação de desempenho em termos de eficiência do tratamento

5.4. Avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos

5.4.1. Metodologia para avaliação de desempenho

A metodologia de avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos consiste essencialmente em três etapas: i) identificação dos parâmetros de operação relevantes para avaliar o desempenho dos órgãos, ii) definição das funções de desempenho a aplicar às variáveis *parâmetros de operação* identificadas como relevantes e iii) conversão dos valores das variáveis em índices de desempenho através das funções de desempenho previamente definidas.

5.4.2. Identificação dos parâmetros de operação relevantes

Para desenvolver um sistema de avaliação de desempenho de ETA adequado é necessário estudar as características que traduzem um funcionamento eficiente e eficaz da estação e os aspectos que constituem barreiras a uma operação eficiente, ou seja, as principais deficiências associadas ao funcionamento e que constituem, afinal, factores limitantes do desempenho.

Atendendo ao estado da arte apresentado nas secções 2.2.2 e 2.2.3, resulta que os parâmetros de operação usados nas ETA para controlo da coagulação, da floculação, da decantação e da filtração são os apresentados nos Quadros 62 a 65, respectivamente. Não foram incluídos nestes quadros todos os parâmetros de qualidade da água relativos aos contaminantes a remover, uma vez que este aspecto é contemplado na avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento (secção 5.3). Na sequência do exposto no estado da arte, e atendendo também à sua utilização na rotina de operação de uma ETA e à disponibilidade expectável de dados, foram seleccionados os parâmetros de operação a usar na avaliação de desempenho (Quadro 66) e que contemplam os parâmetros relevantes a monitorizar e/ou controlar de modo a atingir os objectivos das OPU, a minimizar os problemas de operação e a aumentar o desempenho do processo de tratamento. Estes parâmetros integram a componente de funcionamento dos órgãos do sistema de avaliação de desempenho. Para cada um destes parâmetros de operação, foi

definida uma função de desempenho (apresentada em 5.4.3).

Quadro 62 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da mistura rápida

Parâmetros	Observações/modo como são usados para avaliação de desempenho
Parâmetros de processo	
Dose de coagulante	Para avaliar a proximidade da dose óptima (determinada através de <i>jar test</i> e verificada à escala real).
pH/alcalinidade da água a coagular	Para avaliar a proximidade do pH/alcalinidade óptimo de coagulação para remoção de turvação ou NOM (ou do pH óptimo para remoção de Fe e Mn se for este o objectivo da mistura rápida).
Potencial zeta	Não é muito utilizado na rotina diária da operação. Dá melhores resultados quando o mecanismo de destabilização predominante é a neutralização de cargas.
Gradiente de velocidade ¹ (G)	
Tempo de retenção na mistura rápida (t)	Para avaliar se as condições de mistura são adequadas.
Número de Camp (G x t)	
Número de Froude ¹ (Fr)	Para avaliar se as condições de mistura são adequadas (usado em misturadores hidráulicos).

¹Fórmula de cálculo no Anexo 3.

Quadro 63 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da floculação

Parâmetros	Observações/modo como são usados para avaliação de desempenho
Parâmetros de processo	
Dose de floculante	Para avaliar a proximidade da dose óptima (determinada através de <i>jar test</i> e verificada à escala real).
Gradiente de velocidade ¹ (G)	
Tempo de retenção na floculação (t)	Para avaliar se as condições de mistura são adequadas.
Número de Camp (G x t)	

¹Fórmula de cálculo no Anexo 3.

Quadro 64 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da decantação

Parâmetros	Observações/modo como são usados para avaliação de desempenho
Parâmetros de processo	
Carga hidráulica ¹	Para avaliar se se verificam cargas excessivas em relação ao valor adequado para que as partículas sedimentem (decantador lamelar ou tubular).
Carga hidráulica superficial ¹	Para avaliar se se verificam cargas excessivas em relação ao valor adequado para que as partículas sedimentem (decantador convencional). Para avaliar a proximidade aos valores óptimos (que maximizam o fluxo de sólidos) (decantador com manto de lamas).
Taxa de descarga por metro de caleira ¹	Para avaliar se, na recolha de água decantada, há velocidades elevadas de aproximação à caleira.
Tempo de retenção	Para avaliar se as partículas têm tempo para sedimentar. Não é muito usado como parâmetro de controlo do processo.
Frequência de purga de lamas	Para avaliar o risco de ressuspensão e degradação de sólidos sedimentados (decantador convencional), e manutenção da altura do manto de lamas (decantador com manto de lamas). Não é muito usado como parâmetro de operação.
Carga de sólidos ao decantador	Para avaliar se há sobrecarga de sólidos afluentes ao decantador para a carga hidráulica actual. Não é muito usado como parâmetro de operação.
Velocidade longitudinal	Para avaliar se o fluxo em decantadores rectangulares é uniforme. Não é muito usado como parâmetro de operação.
N.º de Froude	Para avaliar a existência de curto-circuito hidráulico no tanque. Não é muito usado como parâmetro de operação.
N.º de Reynolds	Para avaliar condições de turbulência no tanque. Não é muito usado como parâmetro de operação.
Altura do manto de lamas	Para avaliar o risco de arrastamento de flocos na água decantada.
Concentração do manto de lamas	Para avaliar a proximidade aos valores óptimos (que maximizam o fluxo de sólidos).
Parâmetros de qualidade da água	
Turvação da água decantada	Para verificação do cumprimento do valor objectivo na água decantada.

¹Fórmula de cálculo no Anexo 3.

Quadro 65 – Parâmetros de operação para controlo e avaliação do desempenho da filtração

Parâmetros	Observações/modo como são usados para avaliação de desempenho
Parâmetros de processo	
Velocidade de filtração	Para avaliar se se verificam velocidades excessivas em relação às recomendadas para manter a qualidade da água filtrada e para otimizar a duração dos ciclos de filtração.
Tempo de recuperação após lavagem	Para avaliar a capacidade de recuperação dos filtros após lavagem, que está relacionada com a adequação da lavagem.
Perda de carga no leito	Para avaliar se se verificam valores excessivos em relação aos valores que diminuem a ocorrência de pressões negativas no leito.
Carga de sólidos ao filtro	Para avaliar se não há sobrecarga de sólidos ao filtro. Não é muito usado como parâmetro de operação.
Duração do ciclo de filtração	Para avaliar se os ciclos de filtração não são demasiado curtos ou demasiado longos.
Velocidade de lavagem com ar	
Velocidade de lavagem com água	
Duração da lavagem com ar	Para avaliar se existem condições para a lavagem do leito ser efectiva.
Duração da lavagem com água	
Expansão do leito na lavagem	
Quantidade de água de lavagem gasta num ciclo de lavagem	Para avaliar o desempenho do ponto de vista de consumo de recursos.
Diâmetro efectivo do meio filtrante	
Coefficiente de uniformidade do meio filtrante	Para avaliar se as características do meio de enchimento estão nas gamas recomendadas para garantir a qualidade da água filtrada, que não há estratificação na lavagem e que não há aumento excessivo da perda de carga no ciclo de filtração.
Altura do leito	
Parâmetros de qualidade da água	
Turvação da água filtrada	Para verificação do cumprimento do valor objectivo na água filtrada.

¹Fórmula de cálculo no Anexo 3.

Quadro 66 – Parâmetros de operação para avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos da ETA

OPU	Parâmetros de operação
Coagulação	Gradiente de velocidade (G) da mistura rápida Tempo de mistura na mistura rápida (t) Número de Camp (G x t) da mistura rápida Número de Froude (Fr) (só em misturadores hidráulicos) pH da água a coagular Alcalinidade da água a coagular Dose de coagulante
Floculação	Gradiente de velocidade (G) da mistura lenta Tempo de mistura na mistura lenta (t) Número de Camp (G x t) da mistura lenta Dose de floculante
Decantação	Turvação da água decantada Carga hidráulica Carga hidráulica superficial Taxa de descarga por metro de caleira Concentração do manto de lamas
Filtração	Turvação da água filtrada Velocidade de filtração Tempo de recuperação após lavagem Perda de carga no leito Duração do ciclo de filtração Velocidade de lavagem com ar Velocidade de lavagem com água Duração da lavagem com ar Duração da lavagem com água Expansão do leito na lavagem Quantidade de água de lavagem gasta num ciclo de lavagem Diâmetro efectivo do meio filtrante Coefficiente de uniformidade do meio filtrante Altura do leito

5.4.3. Funções de desempenho

5.4.3.1. Considerações iniciais

No caso da avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos, as funções de desempenho a aplicar aos parâmetros de operação referidos em 5.4.2 foram estabelecidas com base em gamas recomendadas na bibliografia para os diferentes parâmetros. Estas funções são descritas nas secções seguintes. Em geral, a sua forma é a apresentada na Figura 60a, considerando-se que o índice de desempenho é 200 na gama recomendada na bibliografia e diminui até zero (admitindo-se uma tolerância de 25%) caso o parâmetro assuma valores fora dessa gama.

Se fossem considerados aspectos económicos, as tolerâncias por excesso nos tempos de retenção, gradientes de velocidade e doses de reagentes e as tolerâncias por defeito nas cargas hidráulicas e velocidades de filtração deveriam ser menores do que as correspondentes tolerâncias por defeito e por excesso, respectivamente (*e.g.*, 10%). No entanto, atendendo a que se trata de uma avaliação de desempenho operacional (e que os aspectos económicos são, sobretudo, tratados na avaliação de desempenho global), tiveram-se em consideração, sobretudo, os aspectos técnicos do processo de tratamento e adoptou-se uma tolerância igual para os dois casos (os já referidos 25%). Uma evolução da proposta apresentada neste trabalho, baseada na aplicação alargada da OpPA a casos de estudo, poderia ainda considerar tolerâncias distintas para cada parâmetro de operação.

Uma vez que, em geral, as gamas da bibliografia são demasiado abrangentes para permitirem uma comparação efectiva do desempenho de ETA distintas, considera-se que a definição das funções de desempenho pode ser melhorada com base em estudos de análise de relações existentes entre eficiências de tratamento das OPU/etapas de tratamento e respectivos parâmetros de operação. Estes estudos podem permitir encontrar uma gama óptima de condições de funcionamento para determinada ETA, ou seja, a gama de valores do parâmetro de operação que

permite obter eficiências de remoção mais elevadas. Deste modo, a função de desempenho passa a ter a forma apresentada na Figura 60b ou na Figura 60c. O desempenho é máximo (índice = 300) na gama óptima do parâmetro de operação determinada para a ETA em estudo. Na Figura 60b representa-se o caso em que a gama óptima da ETA está contida na gama da bibliografia e na Figura 60c representa-se o caso em que a gama óptima da ETA está abaixo ou acima da gama da bibliografia. Menores tempos de retenção (que permitem um tratamento mais rápido), menores gradientes de velocidade (que permitem um menor consumo de energia) e menores doses de reagentes (que permitem um menor consumo de reagentes e uma menor produção de lamas) são exemplos da situação da Figura 60c.1. Maiores cargas hidráulicas ou maiores velocidades de filtração (que permitem um tratamento mais rápido) são exemplos da situação da Figura 60c.2. Da forma como se propõe que estas funções de desempenho sejam definidas, apenas ETA que desenvolvam esforços para otimizar as condições de tratamento conseguem atingir índices acima de 200.

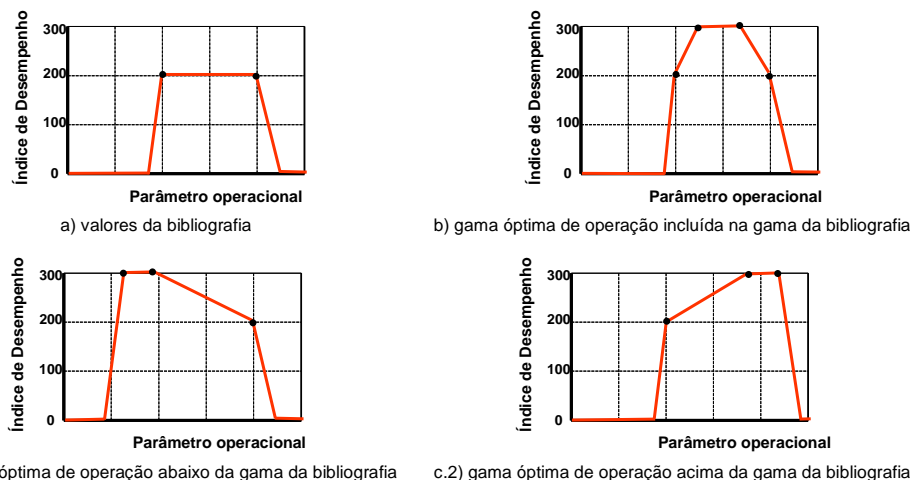


Figura 60 – Forma geral de uma função de desempenho para avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos

Uma vez que existem muitas especificidades nas funções de desempenho, nas secções seguintes ilustram-se as funções mais relevantes. O *rationale* para a sua definição encontra-se pormenorizado no capítulo 2 (secção 2.2.2), pelo que aqui apenas se justificará resumidamente a sua forma.

5.4.3.2. Coagulação

A Figura 61 apresenta a função de desempenho a aplicar ao parâmetro *gradiente de velocidade* (G) determinado numa câmara de mistura rápida onde ocorre a coagulação. O desempenho é bom (índice = 200) caso esta variável assumia valores numa gama recomendada para que a coagulação seja óptima. Tal como já referido na secção 2.2.2, G deve ser superior a um valor mínimo de modo a que exista turbulência necessária a uma distribuição homogénea do coagulante na água e que favoreça o contacto entre o coagulante e as partículas a coagular. Por outro lado, G não pode ser aumentado sem limite uma vez que, para além dos custos energéticos associados, para intensidades de mistura excessivas pode ocorrer a destruição dos flocos iniciais já formados. Fora da gama recomendada o índice de desempenho diminui até zero, admitindo-se uma tolerância de 25% nesta diminuição.

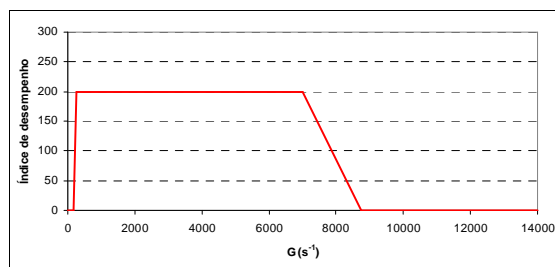


Figura 61 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *gradiente de velocidade* da mistura rápida

Quando se usam sais metálicos como coagulantes e se predominar o mecanismo de coagulação por neutralização de cargas, as reacções ocorrem no primeiro segundo após a adição do coagulante, que é o tempo mínimo de retenção na câmara de mistura rápida. Tempos de mistura rápida superiores a 1 segundo são, portanto, desnecessários, correspondendo a desperdício de recursos (*e.g.*, energia). No caso da coagulação por arrastamento (*sweep coagulation*), uma vez que o hidróxido metálico se forma em 1-10 s, este é o tempo mínimo de retenção na câmara de mistura necessário a uma boa coagulação. Quando são usados polímeros pré-hidrolisados ou orgânicos os tempos de retenção necessários devem ser superiores, atingindo os 60 s.

Assim, propõem-se duas funções de desempenho para o parâmetro *tempo de mistura* numa

câmara de mistura rápida onde ocorre a coagulação – uma aplicável quando o coagulante usado é um sal metálico (Figura 62a; tempos de mistura baixos) e outra aplicável quando o coagulante é polimérico (Figura 62b; tempos de mistura elevados). Tal como no caso de G, existe uma gama recomendada na qual o desempenho é bom. Para valores acima ou abaixo desta gama, o desempenho diminui (considerando uma tolerância de 25%).

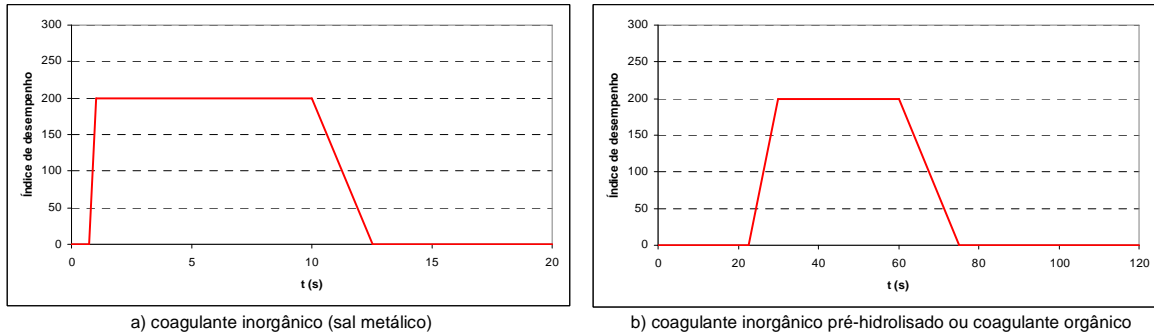


Figura 62 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *tempo de mistura* na mistura rápida

Além da verificação individual dos valores óptimos de G e do tempo de mistura (t), deve ser também verificado que o *Número de Camp* ($G \times t$) se situa na gama óptima. Definiu-se, portanto, uma função de desempenho para aplicar a este parâmetro (Figura 63).

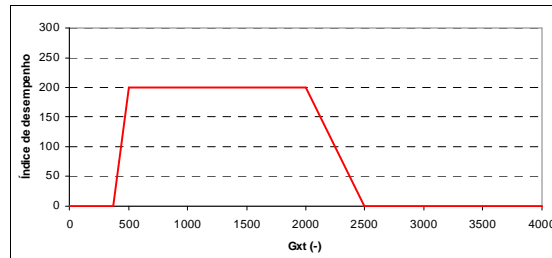


Figura 63 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *Número de Camp* da mistura rápida

No caso de misturadores hidráulicos, foram ainda definidas funções de desempenho para os parâmetros *Número de Froude* (Fr) e *altura de queda* para avaliação do grau de mistura (Figura 64 e Figura 65, respectivamente). A bibliografia considera que a gama óptima de Fr é 4,5-9,0, admitindo como boa a gama 1,7-2,5. Assim, na função de desempenho relativa a este parâmetro o índice toma o valor de 300 na primeira gama e de 200 na segunda. Fora dessa gama o desempenho diminui. Para valores da altura de queda na gama 0,2-0,4 m, o desempenho é máximo, diminuindo para valores inferiores e superiores. Em ambos os casos, admite-se uma

tolerância de 25% até o desempenho se anular.

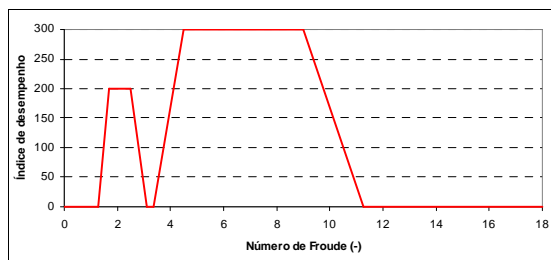


Figura 64 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *Número Froude* da mistura rápida

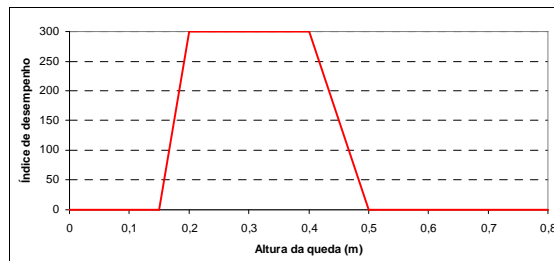


Figura 65 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *altura de queda* da mistura rápida

Na Figura 66 apresentam-se as funções de desempenho aplicável ao parâmetro *pH da água a coagular*. No caso dos coagulantes de alumínio e se o objectivo for a remoção de turvação, considera-se que o desempenho é bom se o pH estiver entre 5,8 e 7,2 (Figura 66a) – gama recomendada na bibliografia de modo a conseguir-se uma coagulação máxima (máxima desestabilização e agregação de partículas, minimizando a dose de coagulante e o seu residual na água tratada). Fora desta gama, o desempenho tem um decréscimo linear até valores insatisfatórios, anulando-se para pH inferiores a 5 ou superiores a 8 (zonas em que não predomina em solução a forma insolúvel do hidróxido de alumínio). Se o objectivo do tratamento for também a remoção de NOM (usando-se *enhanced coagulation*) o limite inferior da gama óptima deve baixar a 5.

No caso de coagulantes de ferro, considera-se que o desempenho é bom na gama 4,5-8 (Figura 66b). Uma vez que a $pH > 10$ predomina, em solução, a forma solúvel do hidróxido de ferro, o desempenho anula-se acima desse valor. A menor solubilidade do hidróxido de ferro, relativamente ao hidróxido de alumínio, permitiu definir apenas uma função de desempenho com uma gama alargada de pH, que é aplicável quer o objectivo do tratamento seja a remoção de

turvação, quer seja também a remoção de NOM.

Como já referido, o pH óptimo para cada água a tratar é determinado em ensaios laboratoriais, pelo que, somente para essa gama óptima, é que o índice de desempenho atingirá o valor 300 (situação da Figura 60c).

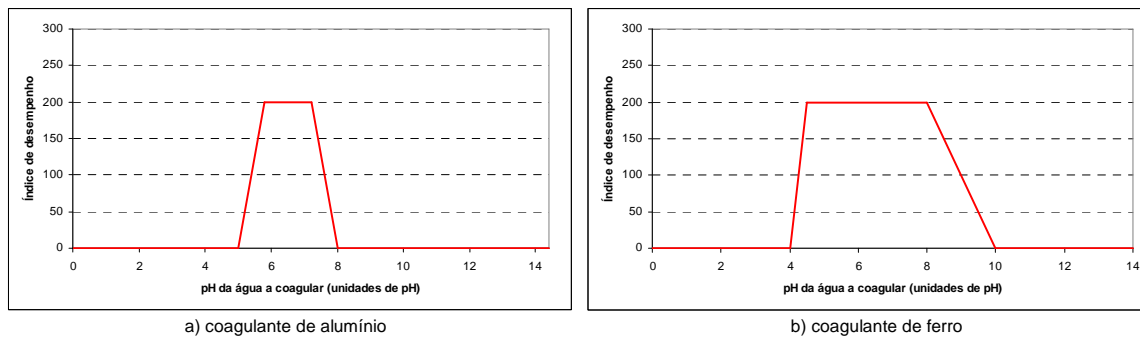


Figura 66 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *pH da água a coagular*

Se a alcalinidade da água a coagular for inferior ao valor mínimo necessário para que todo o coagulante reaja e não ocorram residuais elevados na água tratada, considera-se que a coagulação não é satisfatória, pelo que o índice de desempenho é nulo para valores inferiores a 75% dos valores recomendados na bibliografia (Figura 67). Para valores superiores, o desempenho aumenta linearmente até atingir o máximo para 0,5 mg CaCO₃/L de alcalinidade por cada mg/L de sulfato de alumínio e de 0,93 mg CaCO₃/L de alcalinidade por cada mg/L de cloreto férrico. Estas funções aplicam-se apenas quando são usados sais metálicos como coagulantes, uma vez que no caso dos coagulantes pré-polimerizados a alcalinidade não é um parâmetro de operação tão relevante na coagulação.

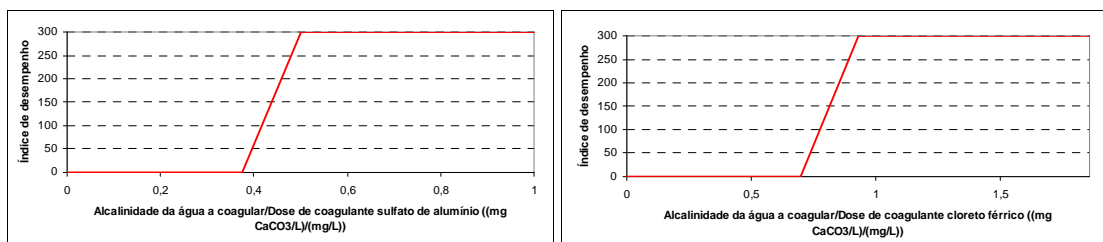


Figura 67 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *alcalinidade da água a coagular*

Existe uma dose óptima de coagulante (determinada em laboratório para cada água a tratar) que resulta numa remoção máxima de turvação. A função de desempenho a aplicar ao parâmetro

dose de coagulante penaliza o afastamento desse ótimo (Figura 68). Neste caso, considera-se que não devem ser usadas as doses indicadas na bibliografia uma vez que é de extrema importância que seja determinado o valor ótimo em cada caso. Assim, na função de desempenho, o índice 300 corresponde apenas à gama de dose ótima determinada em ensaios laboratoriais (admite-se uma gama, e não apenas um valor único, de modo a acomodar pequenas variações no tempo da dose ótima). Fora dessa gama, e admitindo uma tolerância de 25%, o desempenho desce linearmente até zero.

Na aplicação desta função, deve ser verificado, caso a caso, se não há perda de eficiência (em termos de turvação da água decantada e em termos de residual de coagulante) com a utilização de doses inferiores a 25% dos valores ótimos determinados em laboratório. Caso tal aconteça, deve ser usada uma tolerância inferior a 25% (definida para cada caso, com base nos resultados de *jar tests*).

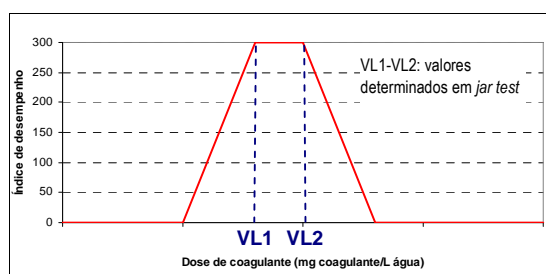


Figura 68 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *dose de coagulante*

5.4.3.3. Flocculação

O gradiente de velocidade na mistura lenta deve ser superior a um valor mínimo para que exista contacto entre as partículas coaguladas e ocorra crescimento do floco, sem sedimentação de flocos no floculador. Por outro lado, G não deve exceder um valor máximo a partir do qual pode ocorrer a ruptura dos flocos já formados. Assim, a função de desempenho a aplicar a este parâmetro é a apresentada na Figura 69, sendo o desempenho considerado bom (índice 200) somente na gama $10-100 \text{ s}^{-1}$. Por dificuldade de identificação na bibliografia de gamas distintas, esta função abrange as gamas recomendadas para os vários tipos de misturadores (mecânicos,

hidráulicos) e os vários objectivos da floculação (formação de flocos para remoção por filtração directa, por DAF ou por decantação). Para valores de G inferiores a $7,5 \text{ s}^{-1}$ ou superiores a 125 s^{-1} (tolerância de 25%), o índice de desempenho anula-se.

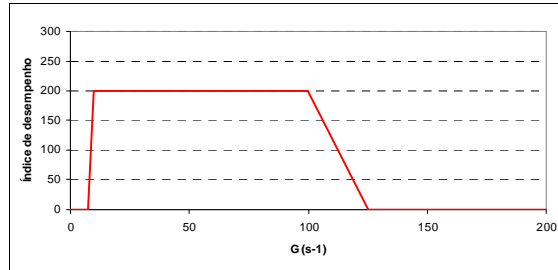


Figura 69 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *gradiente de velocidade* na mistura lenta

Na gama de valores de tempo de mistura lenta 10-40 min considera-se que os valores do índice de desempenho são superiores. Esta gama é determinada pela necessidade de ser proporcionado um tempo de reacção mínimo para que os flocos cresçam e pela necessidade de não se verificarem tempos de permanência demasiado longos que favorecem a ruptura dos flocos. A função de desempenho a aplicar a este parâmetro é representada na Figura 70.

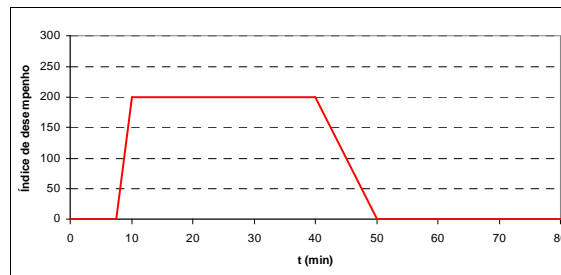


Figura 70 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *tempo de mistura* na mistura lenta

Tal como na mistura rápida, além da verificação individual dos valores óptimos de G e do tempo de mistura (t), deve ser também verificado que o *Número de Camp* ($G \times t$) se situa na gama óptima. Assim, foi definida também uma função de desempenho para este parâmetro (Figura 71), considerando-se o desempenho bom na gama 10.000-100.000.

Existe uma dose óptima de floculante (determinada em laboratório para cada água a tratar) que resulta numa melhor formação de flocos. A função de desempenho a aplicar ao parâmetro *dose de floculante* penaliza o afastamento desse óptimo (Figura 72). Tal como no caso da dose de

coagulante, considera-se que não devem ser usadas as doses indicadas na bibliografia e na função de desempenho apenas surge o patamar de índice 300 na gama de dose óptima determinada em ensaios laboratoriais. Fora dessa gama, e admitindo uma tolerância de 25%, o desempenho desce linearmente até zero.

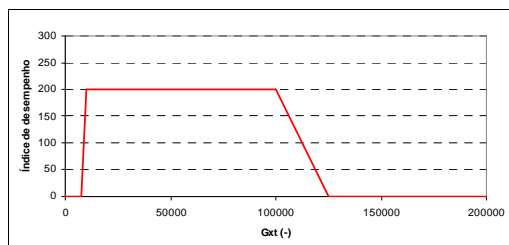


Figura 71 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *Número de Camp* da mistura lenta

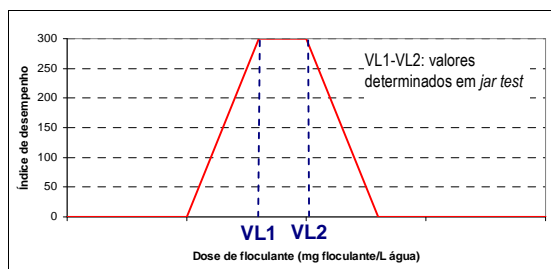


Figura 72 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *dose de floculante*

5.4.3.4. Decantação

A avaliação do desempenho da decantação inclui a verificação do objectivo pretendido para a qualidade da água decantada, tendo sido seleccionado o parâmetro turvação e adoptado o valor de 5 UNT como o valor até ao qual o desempenho é máximo (índice = 300). A partir de 6,25 UNT (tolerância de 25%) o índice de desempenho anula-se. A função de desempenho a aplicar ao parâmetro *turvação da água decantada* é apresentada na Figura 73.

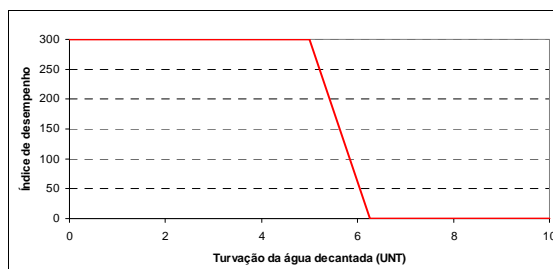


Figura 73 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *turvação da água decantada*

Na decantação convencional e acelerada, a carga hidráulica superficial e a carga hidráulica

devem estar abaixo de um determinado valor-limite de modo que a remoção de partículas seja máxima, ou seja, para que o desempenho seja bom. Na definição da função de desempenho do parâmetro *carga hidráulica superficial* (Figura 74) considerou-se que o valor-limite é de 3 m/h na decantação convencional e 10 m/h na decantação acelerada. Na definição da função de desempenho do parâmetro *carga hidráulica* (Figura 74) considerou-se que o valor-limite é 2,5 m/h na decantação acelerada. Novamente, para a diminuição do índice a zero, admitiu-se uma tolerância de 25% do valor-limite.

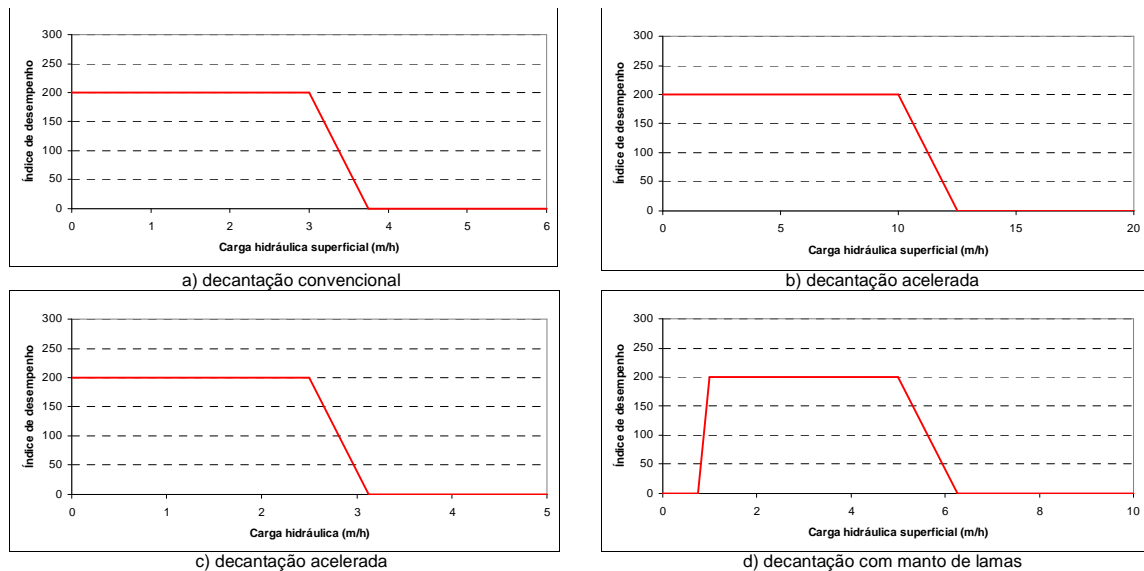


Figura 74 – Funções de desempenho a aplicar aos parâmetros *carga hidráulica* e *carga hidráulica superficial* da decantação

Tal como explicado na secção 2.2.2, na decantação com manto de lammas, o desempenho é maior se a carga hidráulica superficial e a concentração do manto de lammas estiverem numa gama óptima. As funções de desempenho a aplicar a estes dois parâmetros (Figura 74d e Figura 75) consideram que o desempenho é bom nas gamas 1-5 m/h e 10-35% (v/v), respectivamente para a carga hidráulica superficial e para a concentração do manto de lammas.

A taxa de descarga por metro de caleira deve ser limitada superiormente de modo a evitar velocidades de aproximação da água ao descarregador excessivas e a consequente turbulência no seio da água decantada. Assim, a função de desempenho a aplicar a este parâmetro (Figura 76)

considera um bom desempenho apenas para valores inferiores a 12 m²/h, 7,5 m²/h e 7,4 m²/h, respectivamente para decantação convencional, decantação acelerada e decantação com manto de lamas. Em ambos os casos, admite-se uma tolerância de 25% na diminuição do índice a zero.

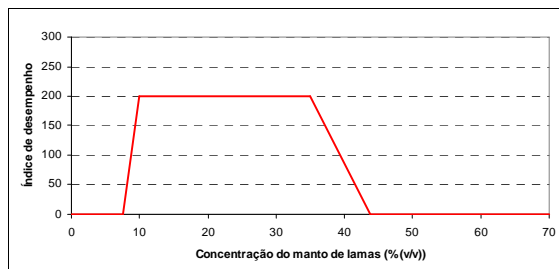


Figura 75 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *concentração do manto de lamas da decantação*

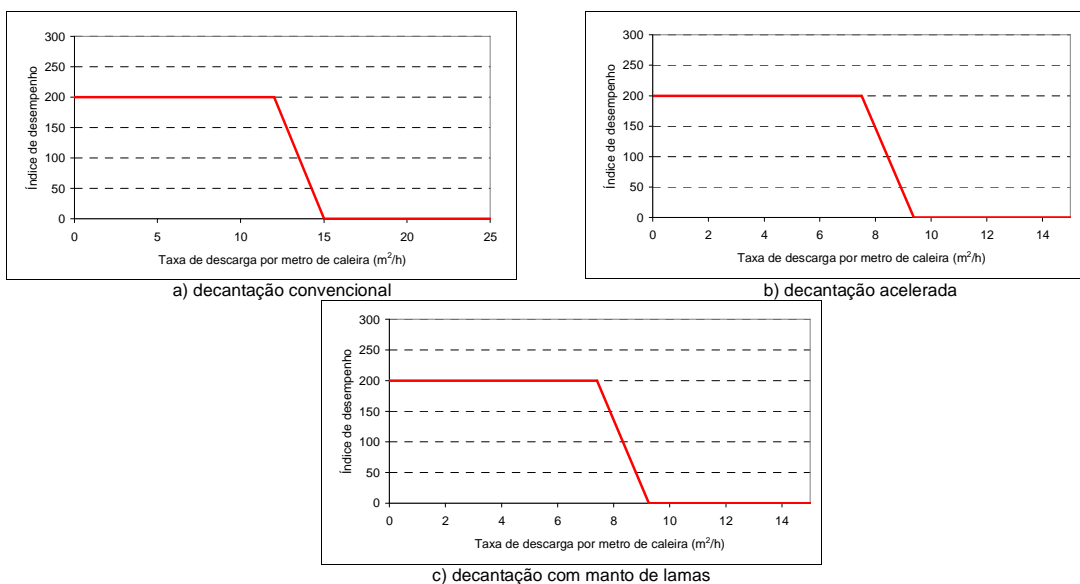


Figura 76 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *taxa de descarga por metro de caleira da decantação*

5.4.3.5. Filtração

A avaliação do desempenho da filtração inclui a verificação do objetivo pretendido para a qualidade da água filtrada, tendo sido adoptado o valor de 0,1 UNT para o parâmetro turvação como o valor a partir do qual o desempenho começa a diminuir. A partir de 0,2 UNT – valor considerado como *breakthrough* pela AWWA (1999) – considera-se que o desempenho deixa de ser aceitável (índice inferior a 100). Para turvações acima de 0,25 UNT (tolerância de 25%) o índice anula-se. A função de desempenho a aplicar à turvação da água filtrada é apresentada na Figura 77.

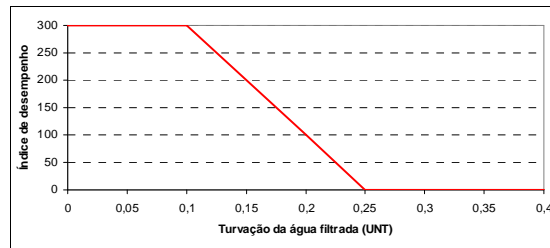


Figura 77 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *turvação da água filtrada*

Se a velocidade de filtração for demasiado elevada, a colmatação do filtro é mais rápida e a perda de carga limite é atingida mais rapidamente, ou seja, a duração do ciclo de filtração é menor. Adicionalmente, o *breakthrough* ocorre mais cedo, originando também uma diminuição do ciclo de filtração e a deterioração da qualidade da água filtrada. Por outro lado, baixas velocidades de filtração e ciclos de filtração demasiado longos favorecem o crescimento de microrganismos no leito filtrante. Assim, nas funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *velocidade de filtração* considera-se que o desempenho é bom numa determinada gama de valores e que, fora dessa gama, diminui linearmente para zero, considerando uma tolerância de 25%. Atendendo a que as velocidades de filtração nos filtros lentos são tipicamente inferiores às dos filtros rápidos e que os filtros rápidos multicamada permitem operar a velocidades superiores aos filtros rápidos monocamada, definiram-se funções de desempenho específicas cada tipo de filtro (Figura 78). As gamas óptimas são 10-20 m/h, 4-7,5 m/h e 0,1-5 m/h, respectivamente para filtração rápida em filtros multicamada, filtração rápida em filtros monocamada e filtração lenta. A função de desempenho a aplicar ao parâmetro *duração do ciclo de filtração* (Figura 79) considera o desempenho bom na gama 12-96 h e 20-360 dias, respectivamente para a filtração rápida e filtração lenta. Caso na ETA em avaliação existam problemas associados à presença de cianobactérias, a duração dos ciclos de filtração deve ser inferior a 24 h, devido à possibilidade de acumulação de cianobactérias no leito do filtro e posterior rebotamento das células com libertação de toxinas para a água filtrada. Neste caso, a função de desempenho deve ser alterada em conformidade.

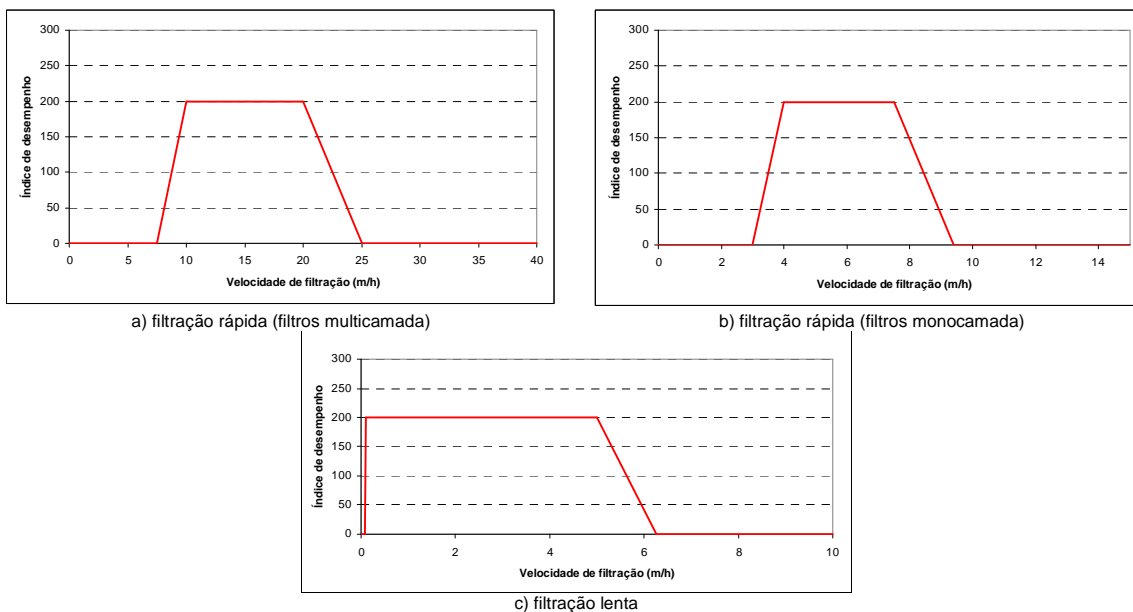


Figura 78 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *velocidade de filtração*

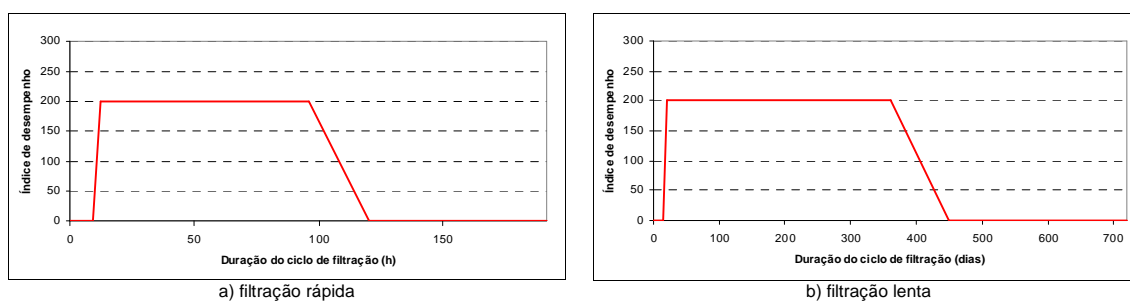


Figura 79 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *duração do ciclo de filtração*

Pelas razões apontadas na secção 2.2.2, o desempenho do filtro é maior se a perda de carga no fim do ciclo de filtração for inferior a 2,5 m e 1,5 m para filtros rápidos e filtros lentos, respectivamente. Assim, na função de desempenho a aplicar a este parâmetro (Figura 80), o índice é 200 se a perda de carga for inferior a esses valores. O índice diminui linearmente até perdas de carga superiores a 3,125 m e 1,875 m no caso de filtros rápidos e filtros lentos, respectivamente. Acima destes valores, o índice é nulo.

Para que a lavagem de um filtro seja efectiva, devem ser usadas velocidades de lavagem (com ar e com água) e duração das fases da lavagem superiores aos mínimos necessários para uma remoção das partículas do seio do leito filtrante. Por outro lado, não devem ser excedidos valores máximos de modo a impedir o arrastamento de meio para fora do filtro e o consumo

desnecessário de água e energia. Dada a variedade de modos de lavagem de um filtro e as correspondentes gamas aconselhadas na bibliografia (secção 2.2.2), considerou-se necessário definir várias funções de desempenho para aplicar aos parâmetros *velocidade de lavagem com água*, *velocidade de lavagem com ar*, *duração da lavagem com água* e *duração da lavagem com ar*. Todas as funções têm a forma apresentada na Figura 81, sendo os valores de VL1 e VL2 indicados no Quadro 67. Sempre que possível (*i.e.*, sempre que a bibliografia apresenta gamas distintas), as gamas consideradas nestas funções contemplam de modo específico diferentes tipos de leito – monocamada e dupla camada.

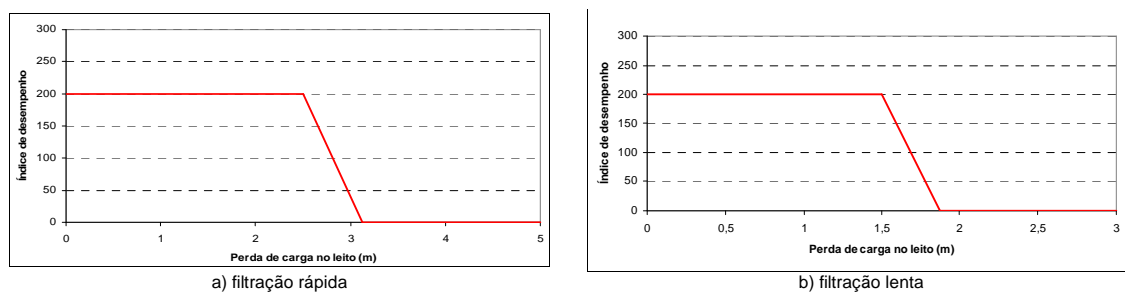


Figura 80 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *perda de carga no fim do ciclo de filtração*

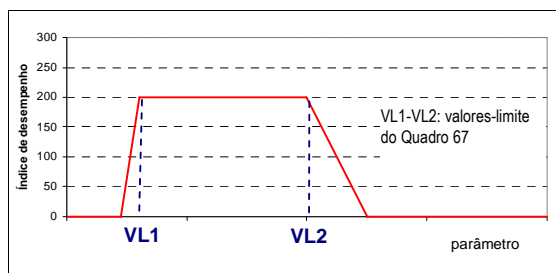


Figura 81 – Funções de desempenho a aplicar aos parâmetros *velocidade de lavagem com água*, *velocidade de lavagem com ar*, *duração da lavagem com água* e *duração da lavagem com ar*

No caso de lavagem com água ou de lavagem com ar seguido de água, a velocidade de lavagem com água deve corresponder à velocidade mínima de fluidização e que é, em geral, suficiente para proporcionar a menor expansão do leito possível entre 10-30%, pelo que na função de desempenho a aplicar ao parâmetro *expansão do leito* (Figura 82) se considera que o desempenho é bom apenas nessa gama.

Quadro 67 – Valores-limite das funções de desempenho a aplicar aos parâmetros *velocidade de lavagem com água*, *velocidade de lavagem com ar*, *duração da lavagem com ar* e *duração da lavagem com água*

Tipo de lavagem do filtro	Velocidade de lavagem com água (m/h)		Velocidade de lavagem com ar (m/h)		Duração da lavagem com água (min)		Duração da lavagem com ar (min)	
	VL1	VL2	VL1	VL2	VL1	VL2	VL1	VL2
Só água	m_ar: 9 m_ant: 7 mult: 45	m_ar: 60 m_ant: 35 mult: 55	n.a.	n.a.	5	15	n.a.	n.a.
Ar seguido de água								
Fase ar	n.a.	n.a.	m_ar: 37 mult: 55	m_ar: 55 mult: 73	n.a.	n.a.	3	5
Fase água	m_ar: 15 mult: 37	m_ar: 37 mult: 49	n.a.	n.a.	4	15	n.a.	n.a.
Ar+água								
Fase ar	n.a.	n.a.	10	90	n.a.	n.a.	1	2
Fase ar+água em simultâneo	m_ar: 5 m_ant: 20	m_ar: 30 m_ant: 24	10	90	5	10	5	10
Fase água	m_ar: 25 m_ant: 25	m_ar: 30 m_ant: 30	n.a.	n.a.	5	10	n.a.	n.a.

m_ar: filtro monocamada areia; m_ant: filtro monocamada antracite; mult: filtro multicamada antracite-areia; n.a.: não aplicável.

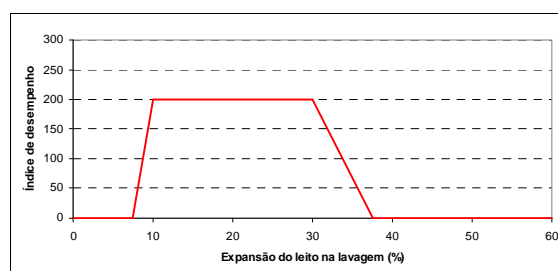


Figura 82 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *expansão do leito na lavagem do filtro*

O consumo de água durante a lavagem dá indicação sobre a minimização da utilização de recursos para aumentar o desempenho. Assim, considera-se que o desempenho é máximo (índice = 300) se a quantidade de água gasta num ciclo de lavagem completo for inferior a 2% do volume de água filtrada (valor citado na bibliografia como óptimo). Para consumos entre 2% e 4%, o desempenho é ainda bom e para valores entre 4% e 7% é aceitável. Acima de 8,75%, o índice anula-se. A Figura 83 apresenta a função de desempenho a aplicar a este parâmetro.

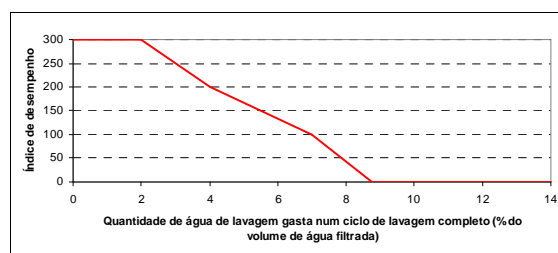


Figura 83 – Função de desempenho a aplicar ao parâmetro *quantidade de água gasta num ciclo de lavagem*

O tempo de recuperação do filtro após lavagem (ou limpeza, no caso de filtros lentos) não deve

ser demasiado longo, pelo que a função de desempenho a aplicar a este parâmetro considera que o índice é máximo para valores abaixo de 20 min e 5 dias, para os filtros rápidos e filtros lentos, respectivamente (Figura 84).

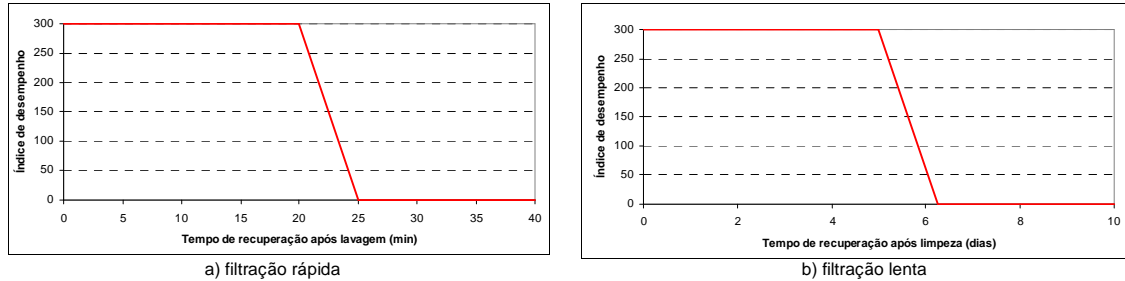


Figura 84 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *tempo de recuperação após lavagem/limpeza do filtro*

De modo a impedir a estratificação do leito filtrante na lavagem de um filtro rápido e a consequente rápida colmatação no ciclo de filtração subsequente, o coeficiente de uniformidade do meio de enchimento deve ser inferior a 1,5 e o diâmetro efectivo deve estar na gama 0,45-2 mm, 0,4-1 mm e 0,8-2,5 mm para areia em filtros monocamada, areia em filtros multicamada e antracite em filtros multicamada, respectivamente. Nos filtros lentos, de modo a evitar a penetração em profundidade das partículas em suspensão na água, o material de enchimento deve ter um coeficiente de uniformidade inferior a 3 e um diâmetro efectivo entre 0,15-0,3 mm. As funções de desempenho a aplicar a estes parâmetros (Figura 85, Figura 86 e Quadro 68) assumem que o desempenho é bom nas gamas recomendadas.

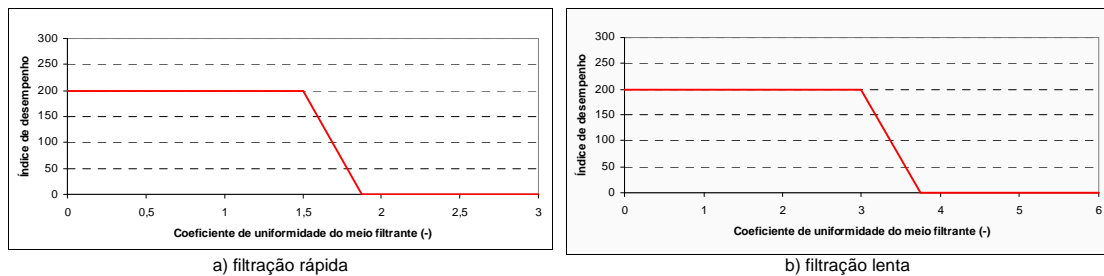


Figura 85 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *coeficiente de uniformidade do meio de enchimento dos filtros*

A altura do leito está relacionada com o tipo de enchimento, sendo as funções de desempenho a aplicar a este parâmetro apresentadas na Figura 87. Definiram-se funções específicas para filtros rápidos monocamada, filtros rápidos multicamada e filtros lentos. Estas funções assumem um

desempenho bom nas gamas típicas encontradas na bibliografia (0,6-1,2 m para filtros rápidos monocamada; 0,6-2 m para filtros rápidos multicamada; 0,5-1,5 m para filtros lentos) e a tolerância habitual de 25%.

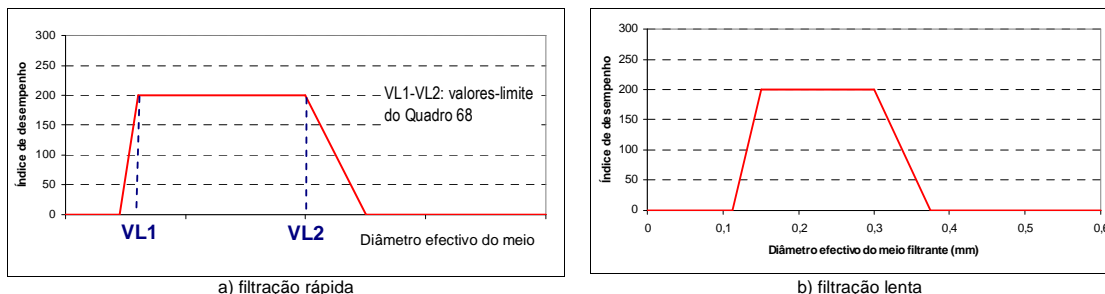


Figura 86 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *diâmetro efectivo do meio de enchimento* dos filtros

Quadro 68 – Valores-limite das funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *diâmetro efectivo do meio de enchimento* dos filtros rápidos

Tipo de material	VL1 (mm)	VL2 (mm)
Areia em filtro monocamada	0,45	2
Areia em filtro multicamada	0,4	1
Antracite em filtro multicamada	0,8	2,5

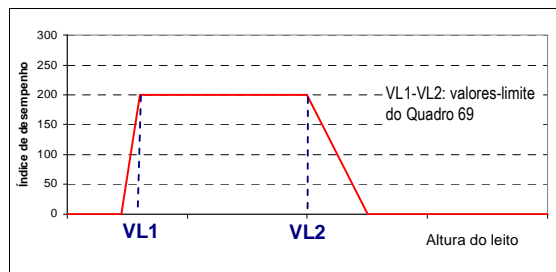


Figura 87 – Funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *altura do leito do filtro*

Quadro 69 – Valores-limite das funções de desempenho a aplicar ao parâmetro *altura do leito do filtro*

Tipo de filtro	VL1 (m)	VL2 (m)
Rápido monocamada areia	0,6	1,2
Rápido multicamada areia+antracite	0,6	2
Lento	0,5	1,5

6. Ferramenta de cálculo automático da avaliação de desempenho de ETA

6.1. Considerações gerais

A aplicação manual por uma entidade gestora ou por outro utilizador do sistema de avaliação de desempenho de ETA, se extensivamente usado, corresponderia a uma tarefa morosa e complexa, dado o elevado número e a variedade das medidas de avaliação contempladas, das variáveis necessárias ao seu cálculo e da visualização de resultados. Para obviar esta questão, foi concebida, desenvolvida e continuamente refinada uma ferramenta de cálculo automático que implementa em Microsoft Excel[®] com programação em *Visual Basic for Applications* (VBA) as várias componentes do sistema. Seguidamente, descreve-se esta aplicação informática.

6.2. Estrutura da ferramenta de cálculo

A Figura 88 apresenta a estrutura da ferramenta de cálculo *PAStool_WTP*. Além de um módulo de interface geral que faz a ligação entre todos os módulos, o *PAStool_WTP* inclui módulos de introdução de dados e quatro módulos de cálculo correspondentes às várias componentes do sistema de avaliação de desempenho.

Os vários módulos foram construídos em ambiente Microsoft Excel[®], de modo a permitir uma fácil instalação e manipulação de dados pelo utilizador, bem como facilitar a exportação de resultados para outros documentos de diferentes formatos. Cada ficheiro tem associado um código de programação em linguagem VBA que permite a sua automatização.

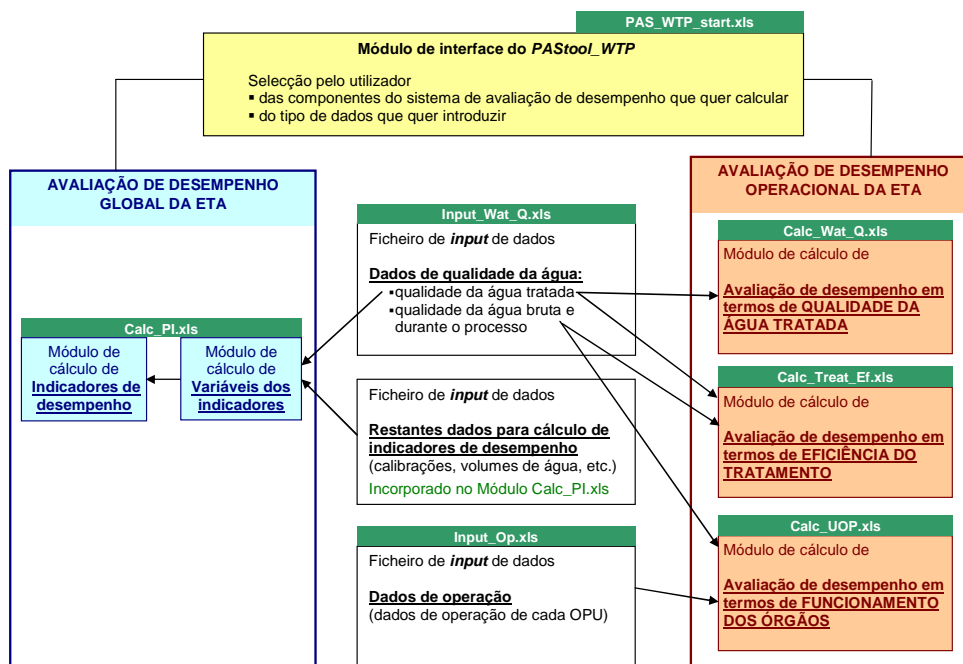


Figura 88 – Estrutura da ferramenta de cálculo automático *PASTool_WTP* para avaliação do desempenho de estações de tratamento de água para consumo

6.3. Os diferentes módulos da ferramenta de cálculo

6.3.1. Módulos de introdução de dados

Os dados necessários para utilização da ferramenta *PASTool_WTP* são de diversos tipos, incluindo dados de qualidade da água, dados de operação da estação de tratamento, dados relativos à infra-estrutura, dados de recursos humanos e dados financeiros. A introdução de dados no *PASTool_WTP* é efectuada através de três módulos, dois deles exclusivos para este fim: o módulo *Input_Wat_Q.xls* e o módulo *Input_Op.xls*. Embora o módulo *Calc_PI.xls* seja um módulo de cálculo, permite também a introdução de dados para o cálculo de indicadores de desempenho na componente de avaliação de desempenho global.

6.3.1.1. Módulo de introdução de dados de qualidade da água

O módulo *Input_Wat_Q.xls* armazena dados de qualidade da água relativos às várias fases do processo de tratamento, que servem de base ao cálculo de índices de desempenho em termos de qualidade da água tratada (no módulo *Calc_Wat_Q.xls*) e de eficiência do tratamento (no módulo

Calc_Treat_Ef.xls), sendo alguns deles também usados no módulo Calc_UOP.xls. Os dados relativos à qualidade da água tratada do módulo Input_Wat_Q.xls são também utilizados no módulo que calcula indicadores de desempenho (Calc_PI.xls).

Este módulo encontra-se organizado por parâmetro de qualidade da água, correspondendo cada folha de cálculo a um parâmetro. Cada folha de cálculo compreende a seguinte informação: identificação do parâmetro e respectiva unidade; período dos dados e identificação das fases de tratamento (Figura 89).

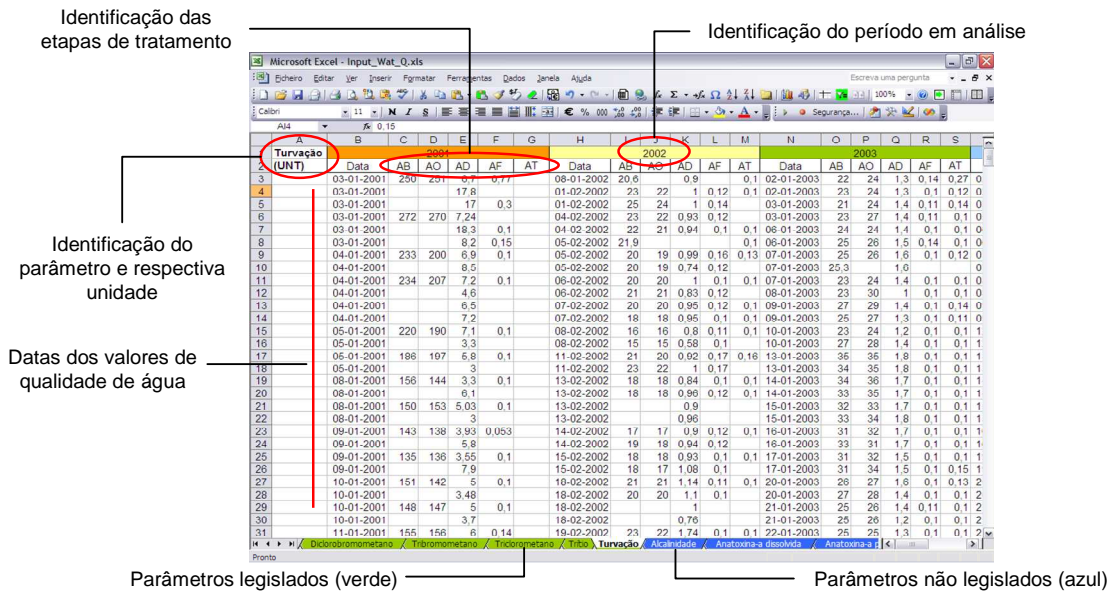


Figura 89 – Screenshot de uma folha de introdução de dados no módulo Input_Wat_Q.xls

A inserção de dados de qualidade de água é feita manualmente pelo utilizador. Este procedimento é simples e intuitivo uma vez que todas as folhas possuem o mesmo formato. A existência de um código de cores (uma cor para cada ano e cores diferentes consoante os parâmetros se encontram legislados ou não) auxilia o utilizador na introdução de dados.

A escolha dos dados de qualidade da água a inserir fica ao critério do utilizador, podendo ser inseridos dados para qualquer subconjunto de parâmetros, qualquer período ou qualquer etapa de tratamento, dependendo do objectivo da avaliação de desempenho. A ferramenta não requer, portanto, que todos os dados se encontrem inseridos para que se proceda ao cálculo nos outros

módulos. São abrangidos *ca.* 70 parâmetros de qualidade, mas o utilizador tem também a possibilidade de introduzir novos parâmetros.

6.3.1.2. Módulo de introdução de dados de operação

O módulo *Input_Op.xls* armazena dados de operação que servem de base ao cálculo de índices de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos no módulo *Calc_UOP.xls*.

Este módulo encontra-se organizado por OPU (Figura 90), sendo possível estudar a pré-oxidação, a mistura rápida, a floculação, a decantação, a filtração e a desinfecção final. Estão previstas alternativas para cada OPU, como por exemplo na decantação, onde são abrangidas a decantação convencional, decantação com manto de lamas e decantação acelerada. Caso exista mais do que um órgão associado a determinada OPU, são criadas automaticamente folhas adicionais de introdução de dados para cada um deles. Cada folha de cálculo encontra-se dividida em duas partes: uma onde constam os parâmetros de operação a calcular (*e.g.*, tempo de retenção hidráulico) e outra onde constam os dados de base que suportam o cálculo desses parâmetros de operação (*e.g.*, volume e caudal). O utilizador pode optar por introduzir os dados de base ou, caso já disponha dos parâmetros de operação, pode optar por introduzi-los directamente.

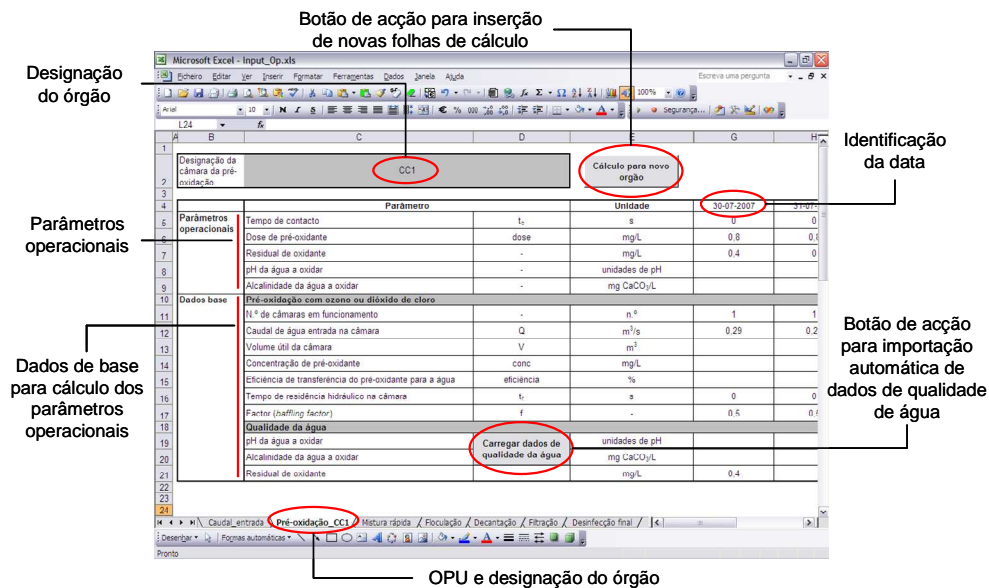


Figura 90 – Screenshot de uma folha de introdução de dados no módulo *Input_Op.xls*

Tal como em *Input_Wat_Q.xls*, o módulo *Input_Op.xls* não requer que todos os dados se encontrem inseridos para que se possa efectuar a avaliação de desempenho.

Uma funcionalidade particular deste módulo permite que sejam importados automaticamente dados de qualidade de água a partir do módulo *Input_Wat_Q.xls*.

6.3.1.3. Introdução de dados para o cálculo de indicadores de desempenho

Com excepção dos dados de qualidade da água tratada (introduzidos em *Input_Wat_Q.xls*), todos os dados para o cálculo de indicadores de desempenho são introduzidos no módulo *Calc_PI.xls*.

6.3.2. Módulos de cálculo e visualização de resultados

6.3.2.1. Módulo de cálculo de indicadores de desempenho

O módulo *Calc_PI.xls* calcula os indicadores de desempenho (da componente de avaliação de desempenho global do sistema de avaliação de desempenho). Os ID são calculados na folha *PI* a partir dos dados da folha *Variáveis* incluída no mesmo módulo e a partir dos dados de qualidade de água tratada do módulo *Input_Wat_Q.xls*.

A folha *PI* encontra-se organizada por domínio de avaliação de desempenho do sistema e inclui a seguinte informação relativa a cada ID: código e nome, unidades em que é expresso, expressão de cálculo e resultados obtidos no período analisado (Figura 91).

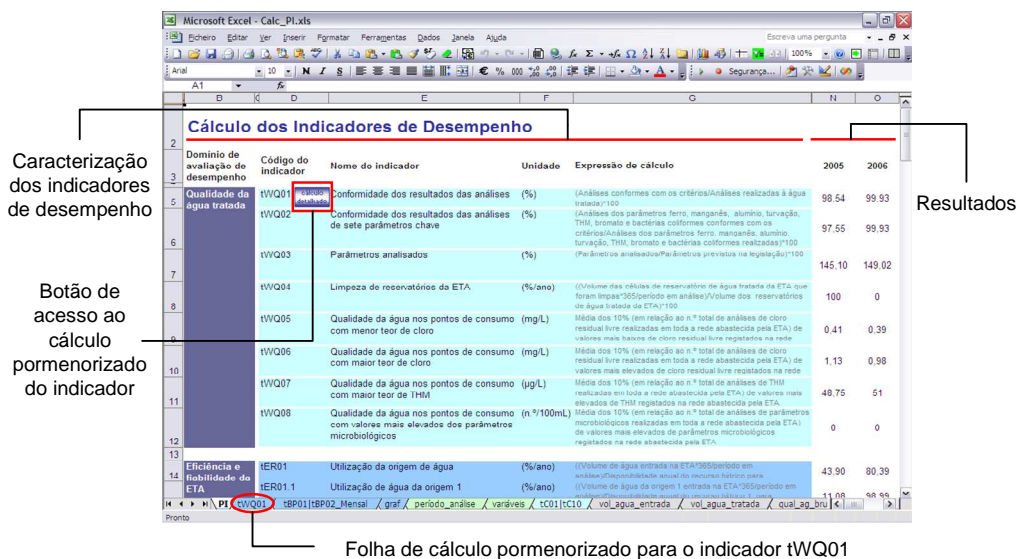


Figura 91 – Screenshot da folha de cálculo dos indicadores de desempenho do módulo *Calc_PI.xls*

As variáveis para o cálculo dos ID podem ser introduzidas directamente na folha *Variáveis* (Figura 92a) ou podem ser calculadas a partir de dados de base introduzidos noutras folhas existentes no mesmo módulo (Figura 92b). A folha *Variáveis* encontra-se organizada por categorias de variáveis (volumes de água, infra-estruturas, operação e manutenção, gestão de subprodutos, segurança, recursos humanos e recursos económico-financeiros) e inclui a seguinte informação relativa a cada variável: código e nome, unidade em que é expressa e valor. Não é necessário introduzir dados para calcular todos os ID, podendo o utilizador seleccionar, de entre os *ca.* 80 ID previstos na ferramenta, os mais adequados aos seus objectivos específicos.

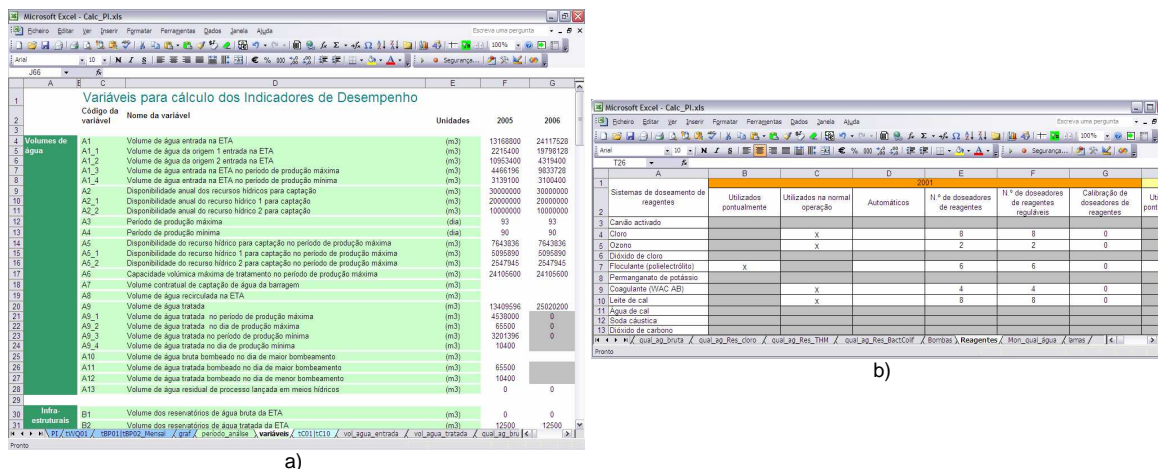


Figura 92 – Screenshots das folhas de introdução dos dados das variáveis para o cálculo de indicadores de desempenho do módulo *Calc_PI.xls*

Uma potencialidade deste módulo é a possibilidade do utilizador aceder a informação mais pormenorizada do cálculo de alguns indicadores de desempenho. É possível ter informação para: i) diferentes períodos temporais, como no caso do indicador *tBP01 – Quantidade de lamas produzidas*; ii) períodos de produção máxima e mínima da ETA, como no caso do indicador *tER04 – Utilização da ETA* e iii) diferentes parâmetros de qualidade da água, como no caso do indicador *tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises*, em que o cálculo pode ser feito individualmente para cada parâmetro de qualidade da água tratada.

Outra característica é a ligação com o módulo *Input_Wat_Q.xls* para a importação de dados de qualidade da água para o cálculo do número de conformidades das análises à água tratada, não

sendo necessário que o utilizador insira novamente a mesma informação.

6.3.2.2. Módulo de cálculo da avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada

O módulo *Calc_Wat_Q.xls* avalia o desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada de acordo com a metodologia descrita na secção 5.2 e engloba as seguintes fases, que são sequencialmente activadas pelo utilizador através de botões de acção (Figura 93):

i) Importação de dados de qualidade de água tratada – após indicação pelo utilizador do(s) parâmetro(s) de qualidade que pretende estudar e dos respectivos LQ e VL para construção das funções de desempenho (formulário na Figura 93), são importadas séries temporais de dados de qualidade da água tratada a partir do módulo *Input_Wat_Q.xls* (existe também a opção de introdução directa desses dados no módulo de cálculo). De salientar que é dada a possibilidade ao utilizador de associar diferentes LQ e VL a diferentes períodos temporais para os quais deseja efectuar a avaliação de desempenho.

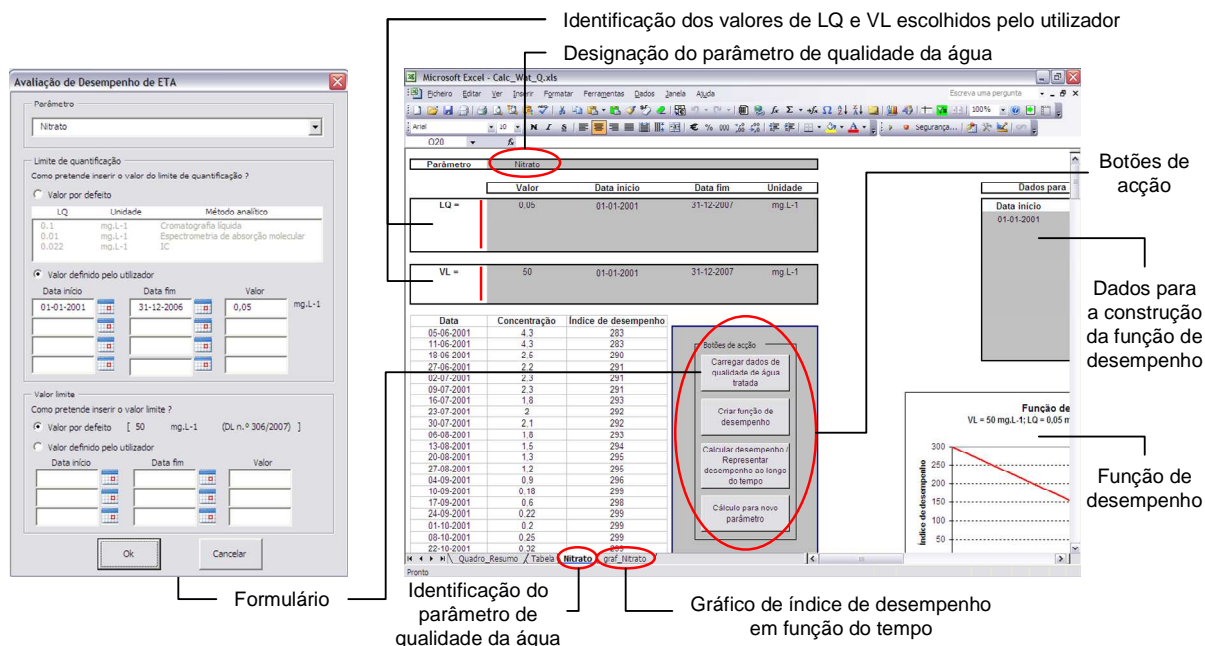


Figura 93 – Screenshot de uma folha de cálculo do módulo *Calc_Wat_Q.xls* e do formulário para selecção de critérios de avaliação pelo utilizador

ii) Construção da função de desempenho – a função de desempenho específica para o parâmetro em estudo é construída e representada graficamente. Caso existam diferentes períodos

temporais com diferentes LQ e VL associados, será construída uma função de desempenho para cada um dos períodos.

iii) Cálculo do índice de desempenho e visualização de resultados – o cálculo do índice de desempenho é feito para cada valor de qualidade da água tratada aplicando as funções de desempenho previamente determinadas e atendendo ao período temporal a que estas se referem. Os resultados são visualizados em quadro e através de representação gráfica do índice de desempenho em função do tempo, ambos gerados automaticamente. Atendendo a que o módulo poderá ser utilizado para o cálculo de um número significativo de parâmetros, foi incluído um quadro-resumo que apresenta, para todos os parâmetros estudados, os valores máximo, médio e mínimo do índice de desempenho em cada ano e disponibiliza um botão que reporta para o gráfico do índice de desempenho ao longo do tempo.

Uma das principais características do módulo *Calc_Wat_Q.xls* é a sua flexibilidade. Na escolha dos valores de LQ e VL para construção das funções de desempenho, o utilizador pode optar pelos valores por defeito existentes na base de dados da ferramenta, ou pode introduzir outros valores correspondentes aos seus próprios critérios de avaliação. Como já referido, é também possível associar diferentes LQ e/ou VL a diferentes períodos temporais. O utilizador pode inserir e fazer a avaliação de desempenho relativamente a parâmetros não previstos inicialmente na ferramenta.

6.3.2.3. Módulo de cálculo da avaliação de desempenho operacional em termos da eficiência do tratamento

O módulo *Calc_Treat_Ef.xls* (Figura 94) avalia o desempenho da ETA em termos de eficiência do tratamento, que também se baseia na aplicação de funções de desempenho (secção 5.3). O funcionamento deste módulo inclui três fases principais:

i) Importação de dados de qualidade de água – após indicação pelo utilizador do(s) parâmetro(s) de qualidade que pretende estudar, o módulo *Calc_Treat_Ef.xls* importa os dados

de qualidade de água das diferentes fases do tratamento a partir do módulo *Input_Wat_Q.xls*.

ii) **Cálculo de eficiências de remoção e visualização de resultados** – com base nos dados importados, são calculadas as eficiências de remoção em várias OPU ou conjunto de OPU. A ferramenta permite o cálculo das seguintes eficiências de remoção: global, da pré-oxidação, da C/F/D, da filtração rápida, da desinfecção, da C/F/D+filtração rápida, da C/F/D+filtração rápida+desinfecção, da pré-oxidação+C/F/D e da filtração rápida+desinfecção. Para visualizar os resultados, o utilizador pode gerar gráficos, nos quais se representa a eficiência de remoção em função do tempo e a eficiência de remoção em função da qualidade da água afluyente à OPU/conjunto de OPU em estudo (Figura 94).

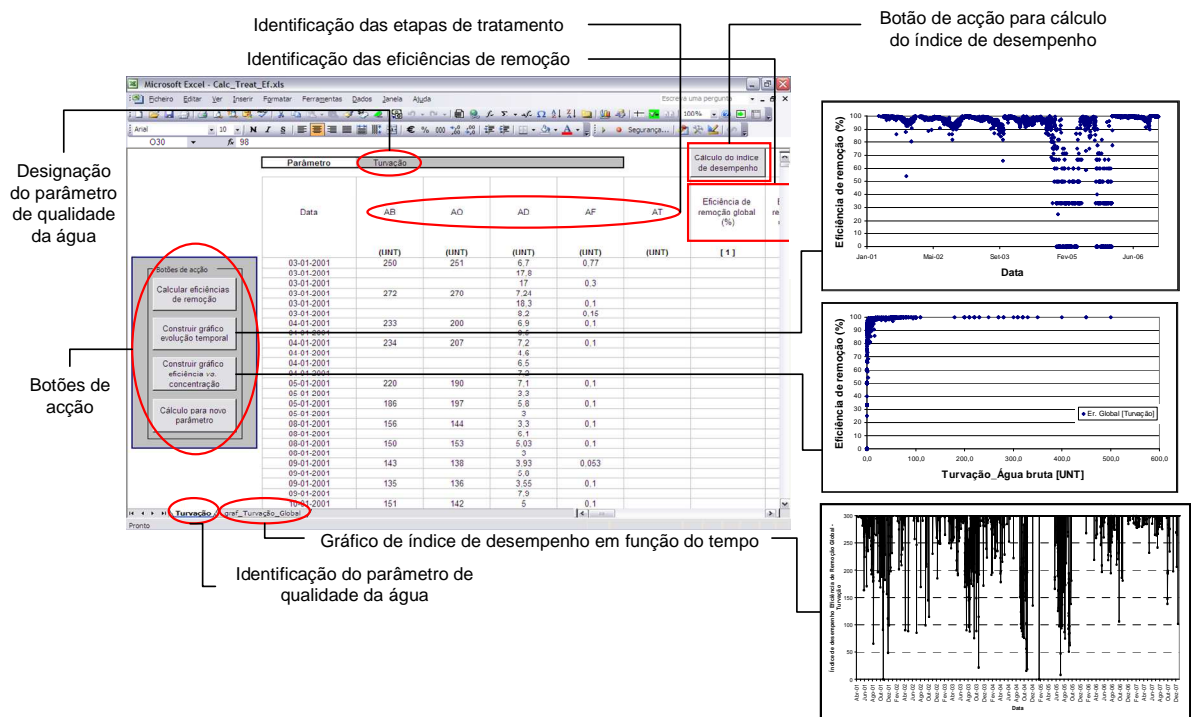


Figura 94 – Screenshots de uma folha de cálculo do módulo *Calc_Treat_Ef.xls* e de visualização de resultados

iii) **Cálculo do índice de desempenho e visualização de resultados** – o cálculo do índice de desempenho é feito para cada valor de eficiência de tratamento aplicando funções de desempenho. Os resultados são visualizados na forma de quadro e de representação gráfica do índice de desempenho em função do tempo. Tal como no módulo *Calc_Wat_Q.xls*, existe também um quadro-resumo com valores mínimos, médios e máximos do índice de desempenho

em cada ano.

Este módulo possui uma funcionalidade que permite representar graficamente diferentes eficiências de remoção (a seleccionar pelo utilizador) em função do tempo num mesmo gráfico, permitindo analisar as OPU/etapas de tratamento mais ou menos eficientes na remoção de determinado parâmetro.

6.3.2.4. Módulo de cálculo da avaliação de desempenho operacional em termos do funcionamento dos órgãos

O módulo *Calc_UOP.xls* calcula a avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos de acordo com a metodologia descrita na secção 5.4. O módulo encontra-se organizado por OPU e a avaliação de desempenho engloba as seguintes etapas (Figura 95):

i) **Importação de dados de operação** – após o utilizador indicar a OPU, os diferentes órgãos a ela associados e o parâmetro de operação que pretende estudar, a importação dos dados de operação é efectuada automaticamente a partir do módulo *Input_Op.xls*. Em algumas OPU são também importados dados de qualidade da água do módulo *Input_Wat_Q.xls*. Podem ser estudadas as OPU atrás referidas no módulo *Input_Op.xls*.

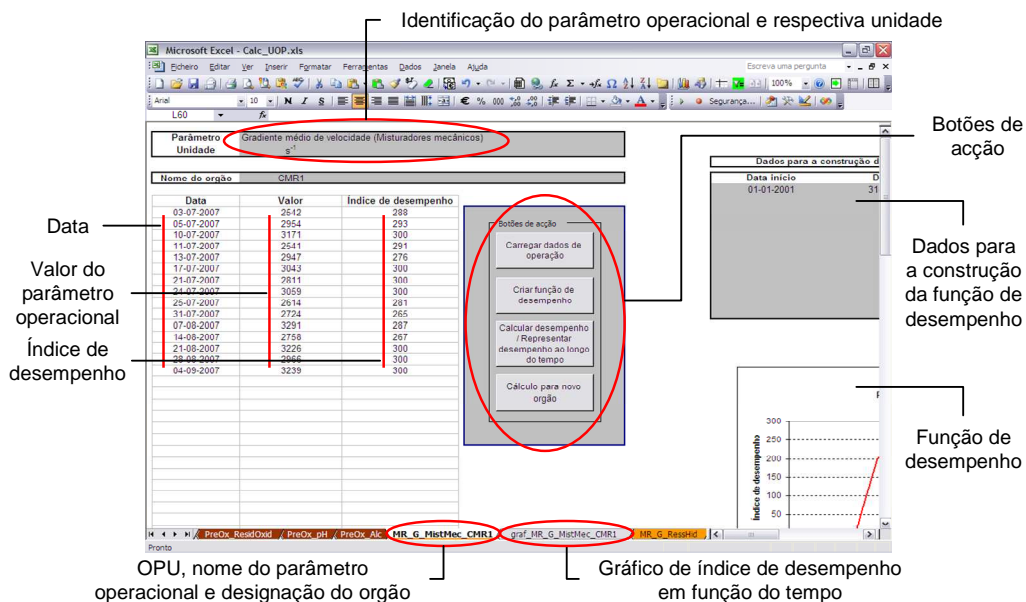


Figura 95 – Screenshot de uma folha de cálculo do módulo *Calc_UOP.xls*

ii) Construção da função de desempenho – a função de desempenho para o parâmetro de operação em estudo é construída mediante a definição, pelo utilizador, dos critérios de avaliação de desempenho. Podem ser usados valores por defeito existentes na base de dados da ferramenta (provenientes da bibliografia; permitem atingir, no máximo, índices de desempenho de 200) ou valores definidos pelo próprio utilizador. Os valores do utilizador resultam da experiência de operação e do histórico da ETA, incluindo, por exemplo, resultados de ensaios de optimização de condições de operação (*e.g.*, *Jar test*) e, se verificados no período em análise, permitem atingir índices de desempenho máximo de 300. A inserção ou não destes dados reflecte-se, portanto, na função de desempenho construída e, conseqüentemente, no índice de desempenho obtido.

iii) Cálculo do índice de desempenho e visualização de resultados – o cálculo do índice de desempenho é feito para cada valor de cada parâmetro de operação, por aplicação das funções de desempenho definidas em ii). No caso de existirem várias funções de desempenho associadas a diferentes períodos temporais, o cálculo é efectuado com a função de desempenho correspondente à data do dado operacional. Os resultados são visualizados em quadro (série temporal) e através de representação gráfica do índice de desempenho em função do tempo. Tal como nos outros módulos, existe um quadro-resumo com todos os parâmetros de operação estudados, que permite uma visualização rápida dos resultados obtidos e que reporta para o gráfico do índice de desempenho em função do tempo para o parâmetro seleccionado.

6.4. Considerações finais

Apresentou-se neste capítulo uma ferramenta de cálculo automático para apoio à avaliação de desempenho de ETA, que se torna indispensável caso esta avaliação seja feita de modo intensivo.

Interessa salientar os seguintes aspectos relativos a esta ferramenta de cálculo, alguns deles evidenciados pela aplicação aos cinco casos de estudo:

- facilidade de instalação em qualquer computador;
- facilidade de utilização, quer em termos da ferramenta em si que é *user-friendly* (contemplando, por exemplo, a detecção da introdução de dados incorrectos e a apresentação de mensagens de erro que auxiliam o utilizador no processo de cálculo), quer em termos da informação de base necessária (uma vez que esta corresponde aos dados usualmente recolhidos na rotina de operação de uma ETA);
- flexibilidade, uma vez que o utilizador pode:
 - escolher de entre o conjunto de parâmetros para avaliação de desempenho disponíveis na ferramenta quais os que pretende estudar (não necessita, portanto, de avaliar o desempenho sob todos os pontos de vista);
 - incluir novos parâmetros para avaliação de desempenho que não estejam já previstos na ferramenta, mas que sejam relevantes para o seu caso particular;
 - definir os seus próprios critérios de avaliação de desempenho, podendo, por exemplo, escolher os parâmetros para construir as funções de desempenho;
- facilidade de importação/exportação de dados de/para outros ficheiros Microsoft Excel®;
- facilidade de manipulação e tratamento dos resultados obtidos (por exemplo, os gráficos gerados podem ser facilmente formatados e alterados de acordo com as especificações do utilizador);
- apresentação clara de resultados em diversos formatos (*e.g.*, quadros com séries temporais, gráficos com evolução temporal do índice de desempenho, quadros-resumo que sintetizam a informação de cada ano analisado).

Foram descritas neste capítulo as potencialidades actuais da ferramenta de cálculo automático.

No futuro e na sequência da sua aplicação e validação em outros casos de estudo, ela poderá ser refinada de modo a incorporar novas funcionalidades, nomeadamente a inclusão de outros processos e operações unitárias de tratamento. Estas alterações são facilmente implementadas

devido à estrutura modular da ferramenta.

7. Descrição dos casos de estudo

7.1. Considerações gerais

Foram seleccionados cinco casos de estudo para aplicação da metodologia de avaliação de desempenho operacional, nomeadamente as quatro ETA integradas no sistema de abastecimento da Águas do Algarve, S.A. (Alcantarilha, Fontainhas, Tavira, Beliche) e uma ETA da responsabilidade de outra entidade gestora que será neste texto tratada de forma anónima e designada por ETA A. Neste último caso, apesar da menor disponibilidade de dados relativamente aos outros casos de estudo (o que limitou a aplicação da metodologia apenas à componente da qualidade da água tratada), optou-se pela sua inclusão neste trabalho para demonstrar que a metodologia é aplicável a ETA de pequenas dimensões e que é sensível a diferenças de desempenho (*a priori* suspeitava-se do menor desempenho desta ETA). No Quadro 70 apresenta-se um resumo comparativo das características dos casos de estudo.

A empresa Águas do Algarve, S.A. é responsável pela produção de água para consumo humano no Algarve, dispondo para o efeito de quatro estações de tratamento de água – as ETA de Alcantarilha e Fontainhas, no Barlavento Algarvio e as ETA de Tavira e Beliche, no Sotavento Algarvio (Figura 96). A água tratada é transportada e fornecida em alta aos municípios da região.

Os cinco casos de estudo seleccionados correspondem a estações de tratamento com características distintas, em particular, dimensão, tipo de origem de água bruta e sequência de tratamento (apesar de todas as ETA possuírem tratamento convencional, existem algumas diferenças no tratamento em termos de órgãos e reagentes usados). A sua selecção teve em consideração o facto de possuírem sequências de tratamento correspondentes às sequências-tipo

identificadas no capítulo 3.



Figura 96 – Sistema de abastecimento da Águas do Algarve, S.A.

Quadro 70 – Caracterização comparativa dos casos de estudo

Nome	Capacidade máxima de produção	Origem	OPU
ETA de Alcantarilha (Barlavento)	259.000 m ³ /dia (2 linhas pré-oxidação e 3 linhas C/F/D em paralelo)	Superficial (albufeira do Funcho) Subterrânea (aquífero Querença-Silves) [apenas quando necessário]	Pré-oxidação (ozono) Adsorção PAC Coagulação Floculação Decantação Filtração Desinfecção final (cloro)
ETA de Fontainhas (Barlavento)	26.000 m ³ /dia (2 linhas de tratamento)	Superficial (albufeira da Bravura)	Pré-oxidação (dióxido de cloro) Adsorção PAC Coagulação Floculação Decantação Filtração Desinfecção final (cloro)
ETA de Tavira (Sotavento)	190.000 m ³ /dia (2 linhas pré-oxidação/C/F/D em paralelo)	Superficial (albufeira de Odeleite e Beliche)	Pré-oxidação (ozono) Remineralização Adsorção PAC Coagulação Floculação Decantação Filtração Desinfecção final (cloro)
ETA de Beliche (Sotavento)	12.960 m ³ /dia (1 linha de tratamento)	Superficial (albufeira de Odeleite e Beliche)	Pré-oxidação (ozono) Adsorção PAC Coagulação Floculação Decantação Filtração Desinfecção final (cloro)
ETA A	4.320 m ³ /dia (1 linha de tratamento)	Superficial (albufeira)	Pré-oxidação (hipoclorito de sódio) Coagulação Floculação Decantação Filtração Desinfecção final (hipoclorito de sódio)

7.2. Estações de tratamento de água da Águas do Algarve

7.2.1. ETA de Alcantarilha

A ETA de Alcantarilha começou a ser explorada pela AdA, findo o seu período de construção (ano 2000) e é a ETA do sistema de abastecimento de água ao Algarve com maior capacidade nominal de tratamento, situando-se a 12 km da albufeira do Funcho (43 hm³ de capacidade máxima de armazenamento, 212 km² de área da bacia hidrográfica), que constitui a sua origem de água. Por motivos associados à gestão dos recursos hídricos disponíveis na região, a esta ETA pode também ser aduzida água subterrânea proveniente do Aquífero Querença-Silves, através de captações disponibilizadas pelo Perímetro de Rega do Vale da Vila. No futuro, esta ETA será adicionalmente abastecida por uma segunda origem de água superficial que é a albufeira de Odelouca, actualmente em construção. A capacidade máxima de produção de água potável da estação é de 259.000 m³/dia que corresponde a um caudal nominal de 3 m³/s, equivalente a uma população de 620.000 habitantes para o horizonte temporal de 2025. A flexibilidade necessária para fazer face à acentuada sazonalidade do consumo de água tratada é proporcionada pelas três linhas de C/F/D em paralelo, cada uma com uma capacidade nominal de 1 m³/s. A água bruta é transportada graviticamente desde a albufeira do Funcho até à ETA e a água tratada é elevada desde a ETA até aos pontos de entrega (reservatórios).

A sequência de tratamento instalada na ETA de Alcantarilha (Figura 97) corresponde a um tratamento convencional de água superficial e consiste em pré-oxidação com ozono (produzido no local a partir de oxigénio líquido) (está também prevista a possibilidade de dosear cloro, em caso de necessidade), adsorção com carvão activado em pó, coagulação com um policloreto de alumínio de elevada basicidade, floculação (com adição de poliacrilamida, quando necessário), decantação lamelar, filtração rápida em areia e desinfecção final com cloro. Na mistura rápida pode também ser adicionado (desde 2002) permanganato de potássio, quando existe excesso de manganês na água bruta. Caso a qualidade da água bruta o permita, a estação pode funcionar

apenas em modo de filtração directa. Na Figura 98 pode ver-se o pormenor das linhas de tratamento em paralelo com os vários órgãos que as compõem.

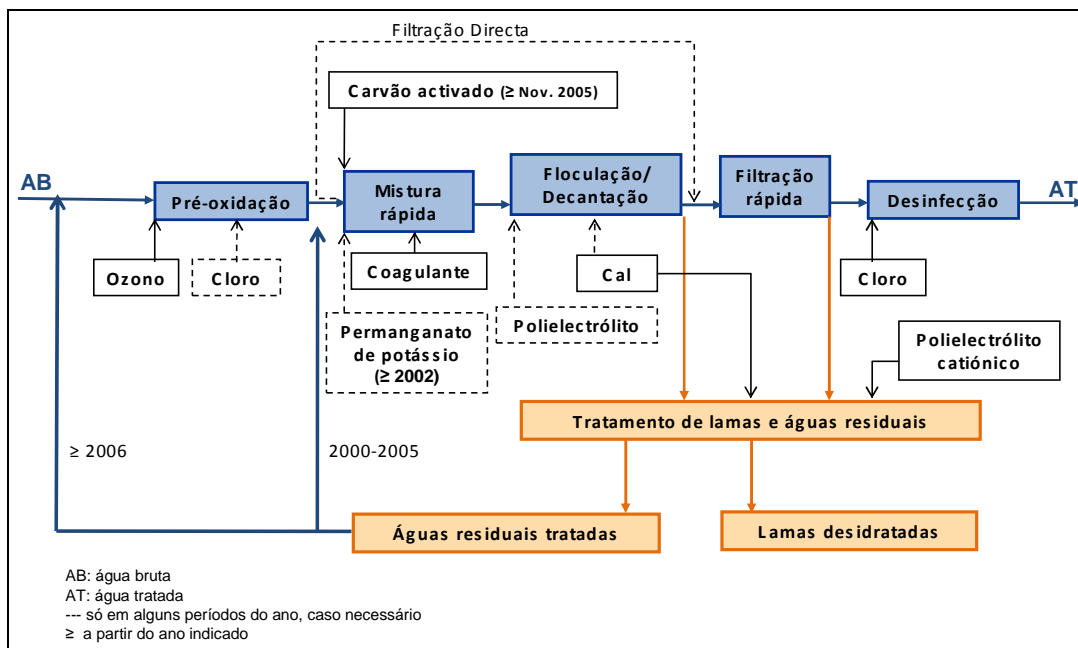


Figura 97 – Esquema geral de tratamento da ETA de Alcantarilha

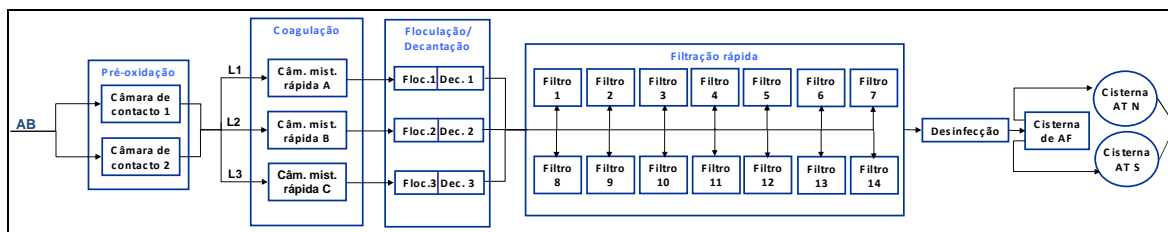


Figura 98 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Alcantarilha

Os objectivos de cada OPU ou etapa de tratamento são apresentados em 7.4.

As águas residuais do processo de tratamento (correspondentes às lamas produzidas nos decantadores-espessadores, à água de lavagem dos filtros e às escorrências da desidratação de lamas) são totalmente recuperadas. As lamas resultantes do processo de tratamento são condicionadas com cal e polielectrólito catiónico. As lamas condicionadas são desidratadas mecanicamente em filtros-prensa, armazenadas temporariamente e posteriormente transportadas a destino final adequado ou valorizadas. As águas residuais de processo são reintroduzidas na linha líquida de tratamento (até 2005, na mistura rápida; a partir de 2005, na entrada de água

bruta).

7.2.2. ETA de Fontainhas

A ETA de Fontainhas está localizada na freguesia de Mexilhoeira Grande no Barlavento Algarvio e capta a água bruta na albufeira da Bravura (32 hm³ de capacidade máxima de armazenamento, 76 km² de área da bacia hidrográfica). Tem apenas uma linha de tratamento com capacidade de *ca.* 26.000 m³/dia e fornece, em conjunto com a ETA de Alcantarilha, os municípios de Lagos e Vila do Bispo podendo, também, abastecer parcialmente o concelho de Portimão. No total, serve uma população aproximada de 52.000 habitantes.

A sequência de tratamento convencional desta estação é apresentada na Figura 99 e na Figura 100, e inclui pré-oxidação com dióxido de cloro (produzido no local a partir de ácido clorídrico e clorito de sódio), adsorção com carvão activado em pó, coagulação com policloreto de alumínio de elevada basicidade, floculação (com adição de poliacrilamida, quando necessário), decantação (decantador de manto de lamas Pulsator), filtração rápida em areia e ajuste de pH (com cal). A água filtrada é misturada com água tratada proveniente da ETA de Alcantarilha, após o que tem lugar a desinfecção final com cloro. Tal como na ETA de Alcantarilha, pode ser usado o permanganato de potássio quando existe excesso de manganês e ferro na água bruta. Caso a qualidade da água bruta o permita, a estação pode funcionar apenas em modo de filtração directa.

Os objectivos de cada OPU ou etapa de tratamento são apresentados em 7.4.

As águas residuais geradas no processo de tratamento, provenientes das purgas dos decantadores e da lavagem dos filtros, são sujeitas a um tratamento posterior, num decantador-espessador. A água decantada aqui obtida retorna ao circuito de tratamento, sendo reintroduzida na entrada de água bruta. As lamas do decantador-espessador são desidratadas em filtros-prensa e, posteriormente, transportadas até destino final adequado ou valorizadas.

Uma vez que é feita a mistura da água filtrada da ETA de Fontainhas com a água tratada da ETA

de Alcantarilha, considerou-se, para efeitos de avaliação de desempenho desta estação, que os resultados de qualidade da água filtrada correspondem à água tratada por Fontainhas. Exceptuam-se os parâmetros microbiológicos, o cloro residual e os parâmetros relativos a subprodutos da desinfecção final (THM), nos quais foram considerados os resultados da água após mistura com água de Alcantarilha e desinfecção.

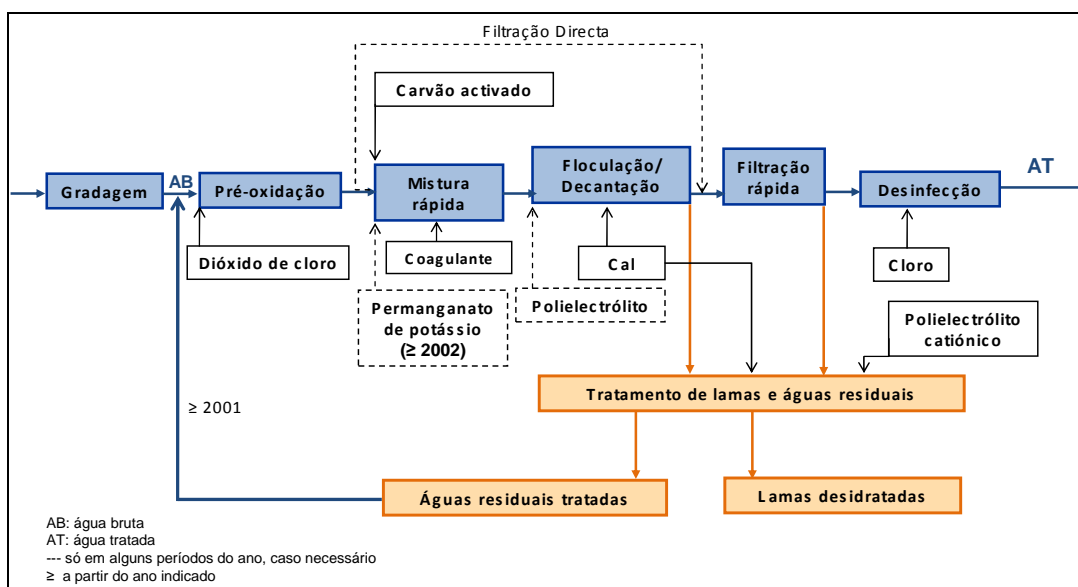


Figura 99 – Esquema geral de tratamento da ETA de Fontainhas

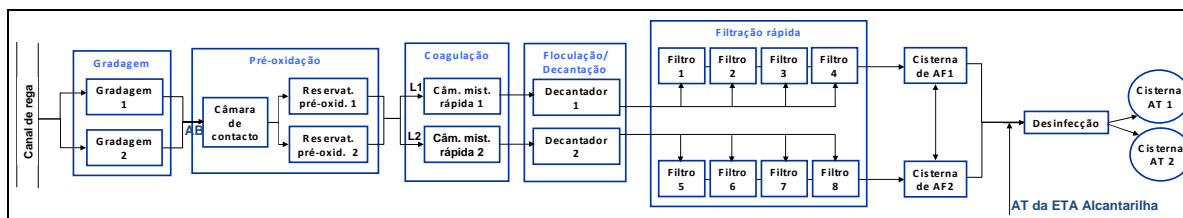


Figura 100 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Fontainhas

7.2.3. ETA de Tavira

A ETA de Tavira é a maior estação de tratamento do sistema de abastecimento de água ao Sotavento Algarvio, com uma capacidade máxima de produção de água de 190.000 m³/dia, repartida por duas linhas com capacidade de 95.000 m³/dia cada. A população máxima servida actualmente é de ca. 460.000 habitantes, prevendo-se que atinja os 530.000 habitantes no ano 2024. A captação de água superficial é efectuada a partir das albufeiras de Odeleite (117 hm³ de

capacidade máxima de armazenamento, 347 km² de área da bacia hidrográfica) e de Beliche (48 hm³ de capacidade máxima de armazenamento, 99 km² de área da bacia hidrográfica) que estão ligadas por um túnel.

A sequência de tratamento existente na ETA de Tavira é convencional. As OPU desta estação são a pré-oxidação com ozono (produzido no local a partir de oxigénio líquido), remineralização (com dióxido de carbono e cal), adsorção em carvão activado em pó, coagulação com policloreto de alumínio de elevada basicidade, floculação (com adição de poliácridamida, quando necessário), decantação (decantador lamelar Pulsator), filtração rápida em areia, ajuste de pH (com cal) e desinfecção final com cloro (Figura 101). É possível efectuar o *bypass* à coagulação/decantação (filtração directa). Na Figura 102 apresenta-se o pormenor da linha de tratamento da fase líquida, podendo ver-se que o caudal de entrada na ETA se divide também por duas linhas em paralelo pré-oxidação/C/F/D para melhor fazer face a variações sazonais.

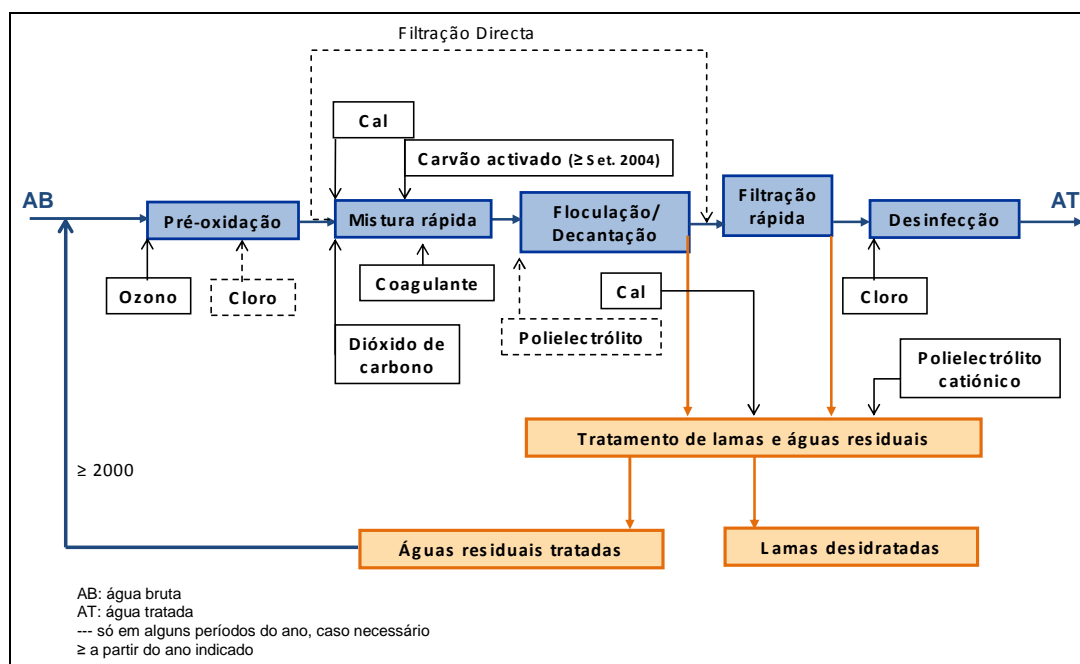


Figura 101 – Esquema geral de tratamento da ETA de Tavira

Os objectivos de cada OPU ou etapa de tratamento são apresentados em 7.4.

As águas residuais de processo (lamas dos decantadores e águas de lavagem dos filtros) são

tratadas por floculação, decantação, espessamento e desidratação. Após desidratação e armazenamento temporário, as lamas são conduzidas a destino final adequado ou valorizadas.

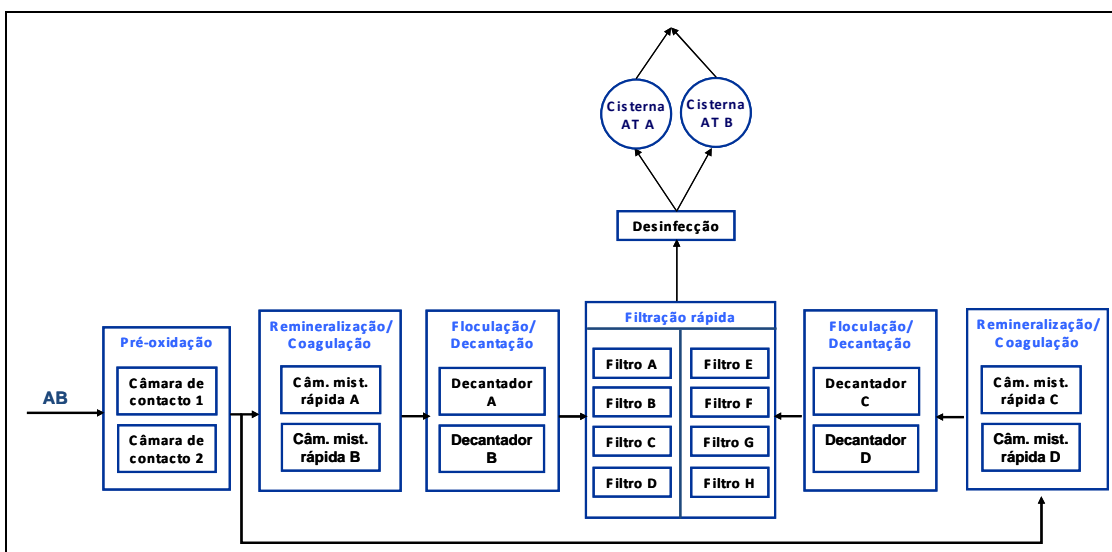


Figura 102 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Tavira

7.2.4. ETA de Beliche

A ETA de Beliche tem uma capacidade máxima diária de produção de 12.960 m³/dia e é alimentada por água proveniente das albufeiras de Odeleite e Beliche, localizando-se junto à barragem desta última. Abastece os concelhos de Alcoutim, Castro Marim e Vila Real de Santo António, servindo uma população máxima de 30.000 habitantes.

A ETA de Beliche tem um tratamento convencional de água superficial que inclui pré-oxidação com ozono (produzido no local a partir de oxigénio líquido), remineralização (com dióxido de carbono e cal), adsorção em carvão activado em pó, coagulação com policloreto de alumínio de elevada basicidade, floculação (com adição de poliacrilamida, quando necessário), decantação (decantador de manto de lamas estático), filtração rápida em areia, ajuste de pH (com hidróxido de sódio) e desinfecção final com cloro (Figura 103). Está prevista a possibilidade de operar em modo de filtração directa. Na Figura 104 apresenta-se o pormenor da única linha de tratamento da estação.

Os objectivos de cada OPU ou etapa de tratamento são apresentados em 7.4.

A ETA de Beliche tem uma linha de tratamento para as lamas geradas no processo constituída por espessamento e desidratação. Após desidratação, as lamas são conduzidas a destino final adequado ou valorizadas. Deste modo, as águas residuais de processo são reaproveitadas, retornando ao início da sequência de tratamento (mistura com água bruta).

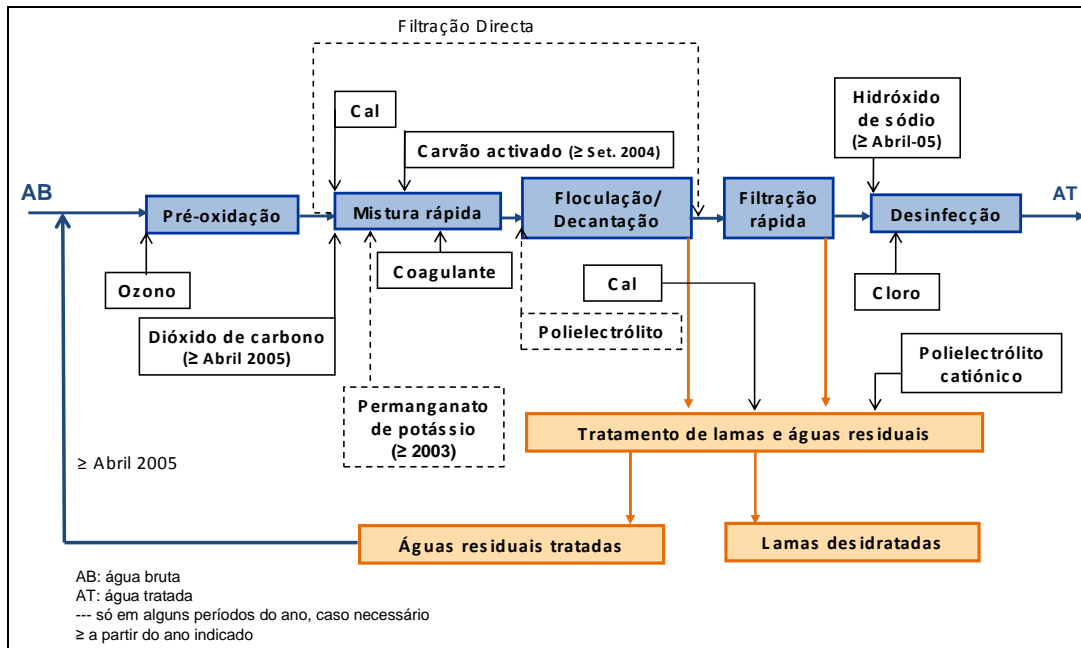


Figura 103 – Esquema geral de tratamento da ETA de Beliche

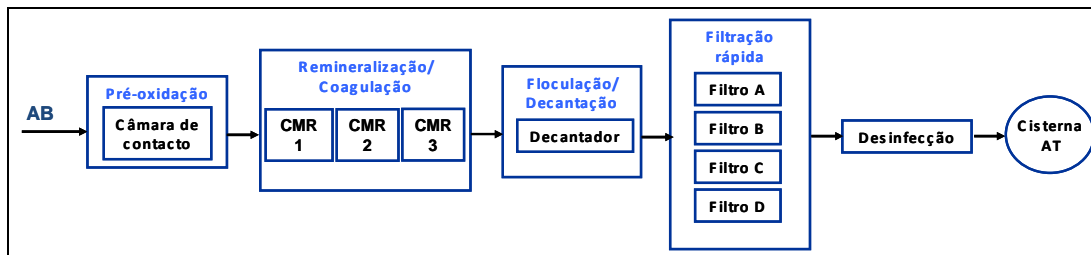


Figura 104 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA de Beliche

7.3. ETA A (anónima)

Para assegurar que esta ETA é tratada de forma anónima, reduziu-se a informação sobre a ETA ao indispensável para a interpretação de resultados.

A captação da água a tratar pela ETA A é feita, em profundidade, numa albufeira cuja bacia hidrográfica tem *ca.* 30 km². A água captada é elevada à cota onde está implantada a estação.

A capacidade máxima da estação é de 180 m³/h, situando-se a gama usual de operação entre 50 e 150 m³/h, não estando a ETA, portanto, a funcionar acima da capacidade para a qual foi dimensionada. A sequência de tratamento instalada é composta por pré-oxidação com hipoclorito de sódio, coagulação, floculação, decantação (manto de lamas), filtração rápida em areia e desinfecção final com hipoclorito de sódio. Na Figura 105 e na Figura 106 representa-se esquematicamente a linha de tratamento. Os objectivos das operações e processos unitários de tratamento existentes na ETA A são apresentados em 7.4.

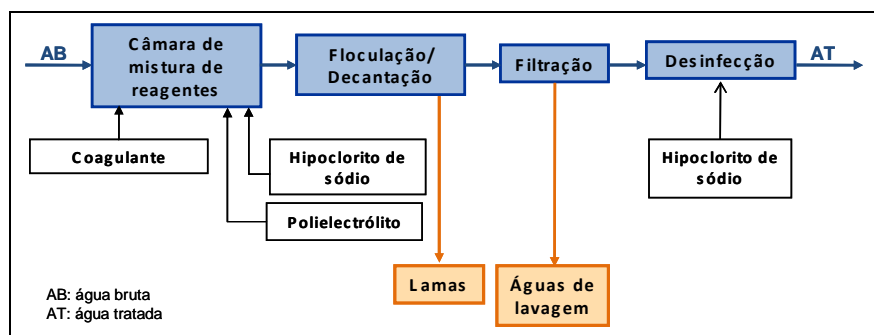


Figura 105 – Esquema geral de tratamento da ETA A

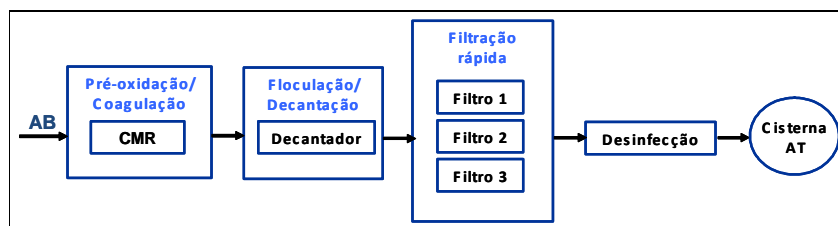


Figura 106 – Esquema pormenorizado da linha de tratamento líquida da ETA A

O funcionamento da ETA é feito de forma descontínua, sendo o período de operação de 12 a 16 horas por dia. A ETA sofreu algumas modificações desde a sua construção, como por exemplo, em 1997, altura em que deixou de ser usado o coagulante sulfato de alumínio e iniciou-se a adição de policloreto de alumínio e de poliacrilamida.

7.4. Objectivos das operações e processos unitários do tratamento

Os objectivos das operações e processos unitários de tratamento existentes nas ETA estudadas são apresentados, resumidamente, no Quadro 71.

Quadro 71 – Objectivos das OPU de tratamento existentes nas ETA estudadas*

OPU	Objectivo
GRADAGEM	▪ Remoção de sólidos de grandes dimensões da água bruta.
PRÉ-OXIDAÇÃO	▪ Controlo do crescimento biológico, melhoria das características organolépticas (cor, cheiro e sabor) e oxidação da matéria orgânica natural (NOM), micropoluentes e metais (como o ferro e manganês).
REMINEERALIZAÇÃO	▪ Aumento da alcalinidade e da dureza da água de modo a facilitar a coagulação/floculação e para que a água não apresente um carácter agressivo para os materiais com os quais contacta na ETA.
MISTURA RÁPIDA	▪ Obj. da coagulação: desestabilização das partículas em suspensão e coloidais por adição de coagulante, de modo a aumentar a tendência para se agregarem formando flocos sedimentáveis. ▪ Obj. da adsorção em carvão activado em pó (PAC): eliminação de substâncias indesejáveis na água, e.g., NOM para controlo de THM, compostos de sabor e cheiro, alguns metais e outros micropoluentes (cianotoxinas e pesticidas).
FLOCULAÇÃO	▪ Crescimento dos flocos previamente formados na coagulação, de modo que sejam sedimentáveis.
DECANTAÇÃO	▪ Remoção da matéria em suspensão (flocos previamente formados na floculação) por sedimentação.
FILTRAÇÃO	▪ Remoção das partículas em suspensão ainda presentes na água decantada (flocos não sedimentáveis). ▪ Pode reduzir o número de microrganismos.
AJUSTE DE pH	▪ Ajuste final do pH da água para corrigir o seu carácter agressivo.
DESINFECÇÃO FINAL	▪ Remoção/inactivação de microrganismos patogénicos. ▪ Garantia de existência de um residual de desinfectante ao longo do sistema de distribuição da água tratada.

* Nem todas as ETA possuem todas as OPU.

7.5. Período estudado e dados de base

A avaliação de desempenho operacional foi aplicada aos cinco casos de estudo descritos nas secções 7.2 e 7.3, nomeadamente as ETA de Alcantarilha, Tavira, Fontainhas e Beliche da Águas do Algarve e uma ETA anónima (ETA A) sob responsabilidade de outra entidade gestora. A avaliação de desempenho global foi aplicada a quatro casos de estudo que são as ETA da Águas do Algarve. No Quadro 72 indicam-se as componentes do PAS aplicadas em cada um dos casos de estudo, assim como o período estudado.

Quadro 72 – Aplicação do sistema de avaliação de desempenho aos casos de estudo - período estudado

Componente do PAS	ETA				
	Alcantarilha	Fontainhas	Tavira	Beliche	ETA A
Avaliação de desempenho global	2001-2006	2001-2006	2001-2006	2001-2006	N.A.
Avaliação de desempenho operacional					
Qualidade da água tratada	2001-2007	2001-2007	2002-2007	2002-2007	1994-2003
Eficiência do tratamento	2001-2007	2001-2007	2002-2007	2002-2007	N.A.
Funcionamento dos órgãos	2006-2007	2006-2007	2006-2007	2006-2007	N.A.

N.A.: não aplicada

Todos os dados de base usados foram fornecidos pelas entidades gestoras das ETA. Esta informação refere-se a:

- **dados de qualidade da água bruta, tratada e após cada órgão de tratamento** – obtidos no âmbito dos planos de monitorização da qualidade da água ao longo da linha de tratamento que

as entidades gestoras têm implementados. Com excepção dos dados de turvação à saída de cada filtro da ETA de Tavira, que resultam de medições efectuadas em linha, todos os outros dados de qualidade da água foram obtidos com análises efectuadas em laboratório;

- **dados relativos à infra-estrutura da ETA** – obtidos com base no projecto das ETA e actualizados nos casos em que ocorreram alterações ao projecto (Quadro 73);
- **dados de processo** – obtidos no âmbito da monitorização do processo que as entidades gestoras efectuam em rotina na ETA (Quadro 73);
- **dados relativos à operação e manutenção, gestão de subprodutos, segurança, recursos humanos e recursos económico-financeiros** (Quadro 74).

Quadro 73 – Dados de processo e dados relativos à infra-estrutura recolhidos nos casos de estudo

<i>Dados de processo</i>	<i>Características da infra-estrutura</i>
Caudal de água entrada	Volume de cada CMR
Linhas em funcionamento (n.º)	Volume de cada CML
Filtros utilizados (n.º)	CML em paralelo (n.º)
Turvação à saída de cada filtro	Área superficial de cada decantador
Duração dos ciclos de filtração	Comprimento do decantador ocupado por lamelas
Características da lavagem dos filtros (caudais instantâneos de ar e água, duração de cada fase da lavagem)	Características das lamelas (inclinação, altura, espaçamento)
Volume de água utilizado por ciclo de lavagem dos filtros	Altura do meio de enchimento dos filtros
	Características do meio de enchimento (coeficiente de uniformidade, diâmetro efectivo)
	Área de cada filtro

CMR: câmara de mistura rápida; CML: câmara de mistura lenta

Quadro 74 – Dados relativos à operação, manutenção, gestão de subprodutos, segurança, recursos humanos e recursos económico-financeiros recolhidos nos casos de estudo

Tipo de dados	Dados
Operação e manutenção	Volumes de água (entrada, saída, recirculada, águas residuais)
	Disponibilidade dos recursos hídricos para captação
	Capacidade volúmica máxima de tratamento
	Períodos de funcionamento e de paragem da ETA
	Análises realizadas à água tratada (n.º, conformidade com legislação)
	Jar tests realizados
	Equipamentos (n.º de bombas, equipamentos de emergência, equipamento de transmissão de sinal, medidores em linha de qualidade da água, medidores de caudal, medidores de pressão, medidores de nível da água, quadros eléctricos, doseadores de reagentes)
	Características das bombas doseadoras de reagentes (possibilidade de regulação e calibração)
	Potência eléctrica instalada na ETA
	Avarias (n.º)
	Calibrações de equipamento (medidores em linha de qualidade da água, medidores de caudal, medidores de pressão, medidores de nível da água, doseadores de reagentes)
	Inspecções de equipamentos (equipamentos de emergência, de transmissão de sinal, bombas, quadros eléctricos)
	Inspecções de filtros
	Limpeza de células de reservatórios de água tratada
	Pontos de amostragem
	Supervisão e controlo automático de OPU
Consumo de energia	

Quadro 74 (cont.) – Dados relativos à operação, manutenção, gestão de subprodutos, segurança, recursos humanos e recursos económico-financeiros recolhidos nos casos de estudo

Tipo de dados	Dados
Gestão de subprodutos	Quantidade, características e modo de gestão de subprodutos gerados
Segurança	Acidentes de trabalho Derrames e fugas acidentais de produtos químicos
Recursos humanos	Recursos humanos (n.º de empregados, tipo de formação, trabalho suplementar, assiduidade)

8. Aplicação do sistema de avaliação de desempenho global a casos de estudo

8.1. Considerações iniciais

De modo a testar o sistema de ID apresentado no capítulo 4, aplicou-se às quatro ETA da Águas do Algarve (Alcantarilha, Tavira, Fontainhas e Beliche) um conjunto de 51 ID (ca. 66% do total), tendo sido estudados seis domínios de avaliação. No Quadro 75 apresenta-se o número de ID calculados em cada domínio e para cada ETA. Nos domínios *Qualidade da água tratada* e *Recursos humanos* foram determinados todos os indicadores. Em termos de extensão da aplicação dos ID, seguem-se os domínios *Eficiência e fiabilidade da ETA* e *Segurança* (determinação de 83% e 67% do total de ID propostos, respectivamente). Os domínios menos estudados foram *Utilização de água, energia e materiais*, no qual apenas foram calculados 28% dos ID propostos e o domínio *Recursos económico-financeiros*, no qual não foram determinados quaisquer ID.

Quadro 75 – Balanço dos ID calculados nos casos de estudo

Domínio de avaliação	N.º total ID do PAS	N.º de ID testados em cada ETA				% ID testados
		Alcantarilha	Fontainhas	Tavira	Beliche	
Qualidade da água tratada	8	7	3	6	7	100%
Eficiência e fiabilidade da ETA	35	28	22	26	26	83%
Utilização de água, energia e materiais	7	1	1	2	2	28%
Gestão de subprodutos	7	4	3	3	3	43%
Segurança	3	2	2	2	2	67%
Recursos humanos	8	8	0	8	0	100%
Recursos económico-financeiros	9	0	0	0	0	0%
Total	77	50	31	47	40	66%

Os cálculos foram feitos para os anos de 2001 a 2006. O período de análise para a maioria dos indicadores foi de um ano. No entanto, quando a disponibilidade de dados o permitiu, o cálculo

foi feito, adicionalmente, para as alturas de maior e de menor produção da ETA, de modo a estudar a influência das variações sazonais no desempenho global da estação.

A aplicação do sistema de ID a casos de estudo teve como objectivos específicos: i) avaliar se os ID traduzem a variação do desempenho global de uma ETA ao longo do tempo e ii) avaliar se possibilitam a comparação do desempenho global de ETA distintas. Assim, seguidamente, apresentam-se e discutem-se os resultados desta aplicação tendo em consideração estes dois objectivos. A discussão da evolução temporal do desempenho é mais completa apenas no caso da ETA de Alcantarilha, uma vez que não se pretende fazer aqui uma apresentação exaustiva dos resultados de todas as ETA mas somente demonstrar o objectivo i). Os resultados das outras três ETA são discutidos apenas para efeitos de comparação entre ETA, ou seja, para verificação do objectivo ii).

Incluem-se nesta secção as expressões de cálculo dos ID usadas para obtenção dos resultados aqui apresentados e que podem diferir das expressões apresentadas no capítulo 4 e nas fichas de caracterização do Anexo 1. No capítulo 4 e no Anexo 1 apresenta-se a proposta final de formulação dos ID e que corresponde a uma versão modificada na sequência da aplicação aos casos de estudo. Existem diferenças na expressão de cálculo dos indicadores tBP04, tPe06 e tPe07.

8.2. ETA de Alcantarilha

8.2.1. Domínio de avaliação *Qualidade da água tratada*

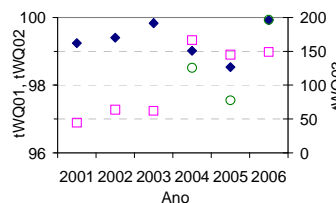
Na Figura 107 apresentam-se os resultados relativos ao domínio de avaliação *Qualidade da água tratada*.

O indicador *tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises* avalia o desempenho da ETA em termos da conformidade da qualidade da água tratada (à saída da ETA) com critérios pré-definidos. Neste caso, os critérios considerados corresponderam aos requisitos da legislação

vigente relativa a água para consumo humano (na torneira do consumidor). Não se adotaram os valores-limite da ERP5001 (mais exigente do que a legislação) porque esta especificação só foi desenvolvida em 2007 e 2008 e, portanto, considerou-se que não seria adequado (e demasiado penalizador), para uma avaliação de desempenho global, aplicá-la de modo retroactivo a um período de seis anos. Na avaliação de desempenho operacional (capítulo 9) tal já foi adoptado.

Este indicador revela níveis elevados de conformidade, variando de 98,5% a 99,9% do total de análises realizadas. O valor mais baixo foi observado em 2005, durante o qual a ETA de Alcantarilha, devido à ocorrência de um período de seca acentuada, tratou água subterrânea ou uma mistura de água subterrânea e superficial. Os resultados do indicador mostram que esta alteração do modo de operação da estação esteve associada a uma ligeira redução global da conformidade (em 1 – 2,5%). O indicador tWQ01 conseguiu, portanto, traduzir uma diminuição do desempenho associado a alterações na qualidade da água bruta.

- **tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises** [% , ♦] = (análises conformes com os critérios/análises realizadas à água tratada)*100
- **tWQ02 – Conformidade dos resultados das análises de sete parâmetros-chave** [% , ○] = (análises dos parâmetros ferro, manganês, alumínio, turvação, THM, bromato e bactérias coliformes conformes com os critérios/análises dos parâmetros ferro, manganês, alumínio, turvação, THM, bromato e bactérias coliformes realizadas)*100
- **tWQ03 – Parâmetros analisados** [% , □] = (parâmetros analisados/parâmetros previstos na legislação)*100



- **tWQ04 – Limpeza de reservatórios da ETA** [%/ano] = ((volume das células de reservatórios de água tratada da ETA que foram limpas *365/período de referência)/volume dos reservatórios de água tratada da ETA)*100
- **tWQ05/06 – Qualidade da água nos pontos de consumo com menor/maior teor de cloro** [mg/L] = Média dos 10% de valores mais baixos (WQ5) / mais elevados (WQ6) de cloro residual livre registados na rede abastecida pela ETA
- **tWQ07 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de THM** [µg/L] = Média dos 10% de valores mais elevados de THM registados na rede abastecida pela ETA

	2005	2006
tWQ04	100%/ano	100%/ano
tWQ05	0,41 mg/L	0,39 mg/L
tWQ06	1,13 mg/L	0,98 mg/L
tWQ07	49 µg/L	51 µg/L

Figura 107 – Resultados dos ID do domínio *Qualidade da água tratada* para a ETA de Alcantarilha

O Quadro 76 apresenta os resultados do cálculo individual deste indicador para cada parâmetro de qualidade, para os casos em que a percentagem de conformidade não foi 100%. Este cálculo pormenorizado evidenciou os parâmetros responsáveis pelas situações de menor desempenho

identificadas pelo indicador tWQ01. No caso da ETA de Alcantarilha, essas situações deveriam-se, essencialmente, aos parâmetros sabor, turvação, manganês, alumínio, bactérias coliformes e bromato. O bromato foi o parâmetro que registou valores mais baixos de conformidade (82,7% em 2005), seguindo-se o manganês (87,0% em 2004).

Quadro 76 – Cálculo individual do indicador tWQ01 para vários parâmetros de qualidade (ETA de Alcantarilha)

Conformidade dos resultados das análises (DL 236/98)	2001	2002	2003
tWQ01.2 – Conformidade dos resultados das análises de turvação (%)	99,6	100,0	100,0
tWQ01.5 – Conformidade dos resultados das análises a temperatura (%)	99,3	100,0	100,0
tWQ01.11 – Conformidade dos resultados das análises a alumínio (%)	100,0	99,7	99,8
tWQ01.23 – Conformidade dos resultados das análises a manganês (%)	96,5	97,4	99,6
tWQ01.37 – Conformidade dos resultados das análises a coliformes totais (%)	98,7	100,0	100,0
tWQ01.38 – Conformidade dos resultados das análises a coliformes fecais (%)	98,6	97,3	99,2
Conformidade dos resultados das análises (DL 243/01)	2004	2005	2006
tWQ01.4 – Conformidade dos resultados das análises a sabor (%)	100,0	100,0	83,3
tWQ01.11 – Conformidade dos resultados das análises a alumínio (%)	100,0	99,4	100,0
tWQ01.23 – Conformidade dos resultados das análises a manganês (%)	87,0	88,9	100,0
tWQ01.37 – Conformidade dos resultados das análises a bactérias coliformes (%)	100,0	99,6	100,0
tWQ01.46 – Conformidade dos resultados das análises a bromato (%)	94,4	82,7	98,1
tWQ01.66 – Conformidade dos resultados das análises a <i>E. Coli</i> (%)	100,0	99,6	100,0
tWQ01.70 – Conformidade dos resultados das análises a <i>Clostridium perfringens</i> (%)	98,2	100,0	100,0

A conformidade dos sete parâmetros considerados no indicador tWQ02 – *Conformidade dos resultados das análises de sete parâmetros-chave* situou-se entre 97,5% e 99,9%, sendo o menor valor observado também em 2005. Este indicador seguiu a mesma tendência de variação temporal do indicador tWQ01, o que demonstra que constituiu uma forma expedita adequada para avaliar a conformidade da água tratada. Neste caso de estudo, uma vez que na abordagem adoptada se admitiu que os critérios para a água tratada à saída da ETA correspondiam aos requisitos da legislação para o ponto de consumo, não foi efectuado o cálculo de tWQ02 para anos anteriores a 2004, uma vez que não existe valor paramétrico para os parâmetros THM e bromato. Assim, nos casos em que se deseje efectivamente aplicar esta forma expedita de avaliação, é necessário definir critérios da EG para a água à saída da ETA.

Em 2001-2003, nem todos os parâmetros de qualidade da água obrigatórios por lei para a água na torneira do consumidor foram analisados na água tratada à saída da ETA (*tWQ03 – Parâmetros analisados* = 44,4-63,5%; Figura 107). No entanto, nos anos seguintes, a ETA de Alcantarilha implementou um plano de controlo da água tratada mais exigente do que a própria

legislação para água na torneira do consumidor, como demonstrado pelos valores de tWQ03 superiores a 100% (145-167%; Figura 107). Este resultado denota a preocupação da EG com o controlo de qualidade da água tratada, também em parâmetros não previstos na lei, mas considerados contaminantes emergentes pela sua perigosidade e/ou resistência ao tratamento.

Os aspectos relacionados com a preservação da qualidade da água após o tratamento na ETA de Alcantarilha foram avaliados pelos indicadores *tWQ04 – Limpeza dos reservatórios da ETA*, *tWQ05 – Qualidade da água nos pontos de consumo com menor teor de cloro*, *tWQ06 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de cloro* e *tWQ07 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de THM*.

O indicador tWQ04 assumiu sempre o valor de 100% no período estudado, o que significa que os reservatórios de água tratada da ETA foram limpos uma vez por ano, proporcionando condições para minimizar o risco de degradação da qualidade da água tratada no sistema de distribuição a jusante da ETA.

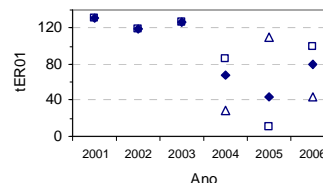
Uma vez que a ETA de Alcantarilha está integrada num sistema em alta, os indicadores tWQ05, tWQ06 e tWQ07 foram determinados considerando como “pontos de consumo” os reservatórios de entrega à entidade gestora em baixa. No cálculo, foram considerados apenas os reservatórios de entrega alimentados exclusivamente pela ETA de Alcantarilha. Os resultados (Figura 107) mostram que o teor de THM nos pontos de entrega (tWQ07) está muito abaixo (é cerca de metade) do valor legislado (100 µg/L, a partir de Dezembro 2008) e que as concentrações de cloro residual (tWQ05 e tWQ06) estão na gama estabelecida na ERP 5001/2 de 2008¹⁰ para distribuição em alta (0,2-1,0 mg/L), com excepção de tWQ06 em 2005, que está *ca.* 10% acima da gama.

¹⁰ Neste caso, recorreu-se à comparação com o valor-limite da ERP5001, devido à ausência na legislação de valores específicos para abastecimento em alta.

8.2.2. Domínio de avaliação *Eficiência e fiabilidade da ETA*

A Figura 108 apresenta os resultados relativos ao domínio de avaliação *Eficiência e fiabilidade da ETA*.

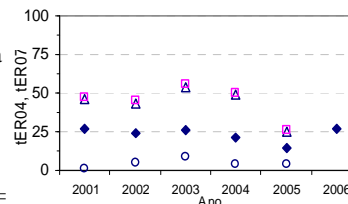
- **tER01 – Utilização da origem de água [%/ano, ♦] =**
 $((\text{volume de água entrada na ETA} \times 365 / \text{período de referência}) / \text{disponibilidade anual do recurso hídrico para captação}) \times 100$
- **tER01.1 – Utilização da origem de água superficial [%/ano, □] =**
 $((\text{volume de água superficial entrada na ETA} \times 365 / \text{período de referência}) / \text{disponibilidade anual do recurso hídrico superficial para captação}) \times 100$
- **tER01.2 – Utilização da origem de água subterrânea [%/ano, Δ] =**
 $((\text{volume de água subterrânea entrada na ETA} \times 365 / \text{período de referência}) / \text{disponibilidade anual do recurso hídrico subterrâneo para captação}) \times 100$



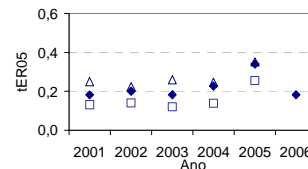
- **tER03 – Satisfação da capacidade máxima de tratamento [%] =**
 $(\text{disponibilidade do recurso hídrico para captação no período de produção máxima} / \text{capacidade volúmica máxima de tratamento no período de produção máxima}) \times 100$
- **tER03.1 – Satisfação da capacidade máxima de tratamento pela origem superficial [%] =**
 $(\text{disponibilidade do recurso hídrico superficial para captação no período de produção máxima} / \text{capacidade volúmica máxima de tratamento no período de produção máxima}) \times 100$
- **tER03.2 – Satisfação da capacidade máxima de tratamento pela origem subterrânea [%] =**
 $(\text{disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo para captação no período de produção máxima} / \text{capacidade volúmica máxima de tratamento no período de produção máxima}) \times 100$

	2001-2003	2003-2006
tER03	21	32
tER03.1	21	21
tER03.2	-	11

- **tER04 – Utilização da ETA [%, ♦] =**
 $(\text{volume de água tratada} / \text{capacidade volúmica máxima de tratamento}) \times 100$
- **tER04.1 – Utilização da ETA no dia de produção máxima [%, Δ] =**
 $(\text{volume de água tratada no dia de produção máxima} / \text{capacidade volúmica máxima de tratamento}) \times 100$
- **tER04.2 – Utilização da ETA no dia de produção mínima [%, ○] =**
 $(\text{volume de água tratada no dia de produção mínima} / \text{capacidade volúmica máxima de tratamento}) \times 100$
- **tER07 – Utilização da capacidade de bombeamento a jusante da ETA [%, □] =**
 $(\text{volume de água tratada bombeado no dia de maior bombeamento} / \text{capacidade máxima de bombeamento de água tratada num dia}) \times 100$



- **tER05 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA [dia, ♦] =**
 $(\text{volume dos reservatórios de água tratada da ETA} \times \text{período de referência}) / \text{volume de água tratada}$
- **tER05.1 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA no período de produção máxima [dia, □] =**
 $(\text{volume dos reservatórios de água tratada da ETA} \times \text{período de produção máxima}) / \text{volume de água tratada no período de produção máxima}$
- **tER05.2 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA no período de produção mínima [dia, Δ] =**
 $(\text{volume dos reservatórios de água tratada da ETA} \times \text{período de produção mínima}) / \text{volume de água tratada no período de produção mínima}$



- **tER12 – Ajuste do tratamento à qualidade da água bruta [n.º/ano, ♦] =**
jar tests realizados no período de referência*365/período de referência
- **tER19 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos [-, □] =**
 $\text{reagentes utilizados pontualmente} / \text{total de reagentes utilizados (n.º)}$

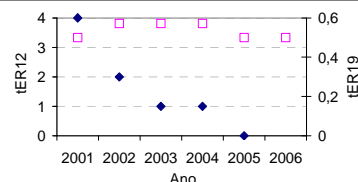
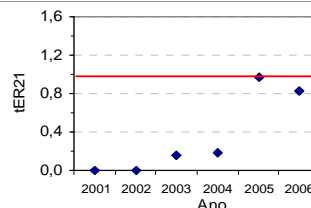


Figura 108 – Resultados de ID do domínio *Eficiência e fiabilidade da ETA* para a ETA de Alcantarilha

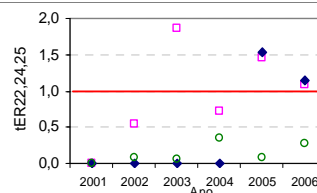
- **tER13 – Monitorização em contínuo da qualidade da água** [n.º/OPU] = pontos de monitorização da qualidade da água em contínuo/(OPU da ETA+1)
- **tER18 – Monitorização da qualidade da água** [n.º/OPU] = pontos de monitorização da qualidade da água/(OPU da ETA+1)

2001-2006	
tER13	0,86
tER18	0,86

- **tER21 – Calibração de doseadores de reagentes** [n.º/(doseador.ano)] = (calibrações de doseadores de reagentes*365/período de referência)/doseadores de reagentes

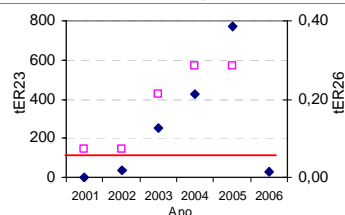


- **tER# – Inspeção de equipamento** [n.º/(equipamento.ano)] = (inspeções de equipamento*365/período de referência)/equipamentos
#: 22 para inspeção de bombas (□), 24 para inspeção de equipamento de transmissão de sinal (♦), 25 para inspeção de quadros eléctricos (○)

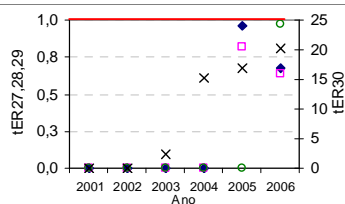


- **tER23 – Inspeção de equipamento de emergência** [%/ano, ♦] = ((potência dos equipamentos de emergência inspeccionados*365/período de referência)/potência dos equipamentos de emergência)*100

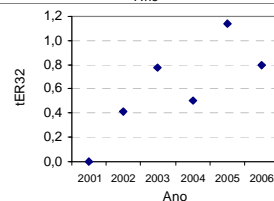
- **tER26 – Inspeção de leitos de enchimento** [n.º/(filtro.ano), □] = (inspeções de filtros*365/período de referência)/filtros



- **tER# – Calibração de equipamento** [n.º/(medidor.ano)] = (calibrações de medidores*365/período de referência)/medidores
#: 27 para calibração de medidores de caudal (♦), 28 para calibração de medidores de nível de água (□), 29 para calibração de medidores de pressão (○), 30 para calibração de medidores em linha da qualidade da água (×)



- **tER32 – Avarias em bombas** [n.º/(bomba.ano)] = (avarias em bombas*365/período de referência)/bombas



- **tER33 – Interrupção do funcionamento da ETA** [hora/ano] = (tempo que a ETA não funcionou no período de referência*365)/período de referência

- **tER34 – Paragem da ETA devido a falhas de energia** [hora/ano] = (tempo que a ETA esteve fora de serviço ou funcionou alimentada por gerador, devido a falhas no abastecimento eléctrico no período de referência*365)/período de referência

	2005	2006
tER33	13,2	16,1
tER34	13,2	9,6

Figura 108 (cont.) – Resultados de ID do domínio *Eficiência e fiabilidade da ETA* para a ETA de Alcantarilha

A ETA de Alcantarilha foi concebida para ser abastecida por água superficial das albufeiras do Funcho e de Odelouca (actualmente em construção). A avaliação do grau de utilização da albufeira do Funcho através do indicador *tER01 – Utilização da origem de água* mostra que, entre 2001 e 2003, a ETA ultrapassou a disponibilidade hídrica destinada ao abastecimento (*tER01* = 131-119%/ano, Figura 108), que neste caso se considerou igual ao volume contratual.

Esta situação foi causada pela ausência da segunda origem prevista de água superficial (albufeira de Odelouca) que, quando em operação, evitará esta sobre-exploração da albufeira do Funcho. Em 2004 e, em especial, em 2005 devido à seca severa, o indicador tER01.1 (relativo somente à utilização da origem de água superficial) diminuiu significativamente (86%/ano em 2004, 11%/ano em 2005). No entanto, esta diminuição do indicador não foi devida a uma diminuição do grau de exploração da origem superficial (ou seja, um aumento de desempenho), mas ao facto de o volume presente na albufeira ser inferior ao volume contratual. Este resultado mostra que, em situações de escassez nas quais a água armazenada na origem é inferior ao volume contratual, o denominador usado no cálculo do indicador deve ser a disponibilidade do recurso hídrico que efectivamente existe, não podendo ser feita a simplificação de substituir esta variável pelo volume contratual, sob pena de os resultados indicarem variações de desempenho não reais. Em última análise, pode-se mesmo optar por não calcular o indicador em anos de escassez hídrica.

Uma vez que a albufeira do Funcho se revelou insuficiente como única origem de abastecimento da ETA, a partir de 2004, a ETA recorreu a água subterrânea para compensar a escassez de água superficial, verificando-se um aumento do grau de utilização da origem subterrânea, tal como demonstrado pelo indicador tER01.2 (Figura 108). Em 2005 observou-se também uma sobre-exploração do recurso subterrâneo (tER01.2 = 110%/ano). Em 2006 a situação de escassez atenuou-se, tendo a ETA retomado a captação de maior volume de água superficial (verificando-se, no entanto, ainda um elevado grau de utilização da origem; tER01.1 = 99%/ano) e diminuído a utilização de água subterrânea (tER01.2 = 43%/ano).

Os indicadores *tER02 – Capacidade de reserva de água bruta na ETA*, *tER03 – Satisfação da capacidade máxima de tratamento*, *tER04 – utilização da ETA*, *tER05 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA* e *tER07 – Utilização da capacidade de bombeamento a montante da ETA* permitem avaliar a ETA quanto à fiabilidade em termos da existência de capacidade de reserva das infra-estruturas existentes.

A inexistência de capacidade de reserva de água bruta na ETA de Alcantarilha ($tER02 = 0$ em todos os anos) pode contribuir para uma menor fiabilidade da estação, uma vez que a produção de água pode necessitar de ser interrompida, caso ocorra contaminação da origem de água ou alterações bruscas da qualidade da água bruta, por não existir capacidade de adequação das condições do tratamento suficientemente rápida para fazer face a essas alterações da água bruta.

De 2001 a 2003, a satisfação da capacidade máxima de tratamento no período de produção máxima (indicador $tER03$ – *Satisfação da capacidade máxima de tratamento*) da ETA de Alcantarilha foi de 21% (proporcionada apenas por uma origem de água superficial) e, em 2004-2006, aumentou para 32% (21% proporcionada pela origem de água superficial e 11% pela origem de água subterrânea) (Figura 108). Os recursos disponíveis no período estudado seriam, portanto, insuficientes para suportar o funcionamento da ETA à capacidade máxima de tratamento durante o período de produção máxima (três meses de Verão).

O indicador $tER04$ – *Utilização da ETA* mostra que, durante o período analisado, a ETA de Alcantarilha esteve sobredimensionada, apresentando, em média (anual), valores inferiores a 26%, entre 25-54% no dia de produção máxima nos anos analisados e inferiores a 8% no dia de produção mínima (Figura 108). Os resultados obtidos entre 2001 e 2003 e em 2006 são esperados uma vez que se está no início do período de concessão, tendo a ETA sido dimensionada para atingir a capacidade máxima apenas no horizonte temporal de 2025. No entanto, em 2004 e 2005 o sobredimensionamento foi mais acentuado pois deveu-se, adicionalmente, à escassez de água na origem de água. Como esperado, esta variação temporal não foi sentida na utilização da ETA no dia de produção mínima. A diferença observada entre os valores do indicador calculado para a situação de produção máxima ($tER04.1 = 43-54\%$) e para a situação de produção mínima ($tER04.2 = 4-8\%$), em 2002 e 2003 (anos hidrológicos normais), traduz a elevada sazonalidade associada e este sistema de abastecimento que se situa numa região turística.

Uma vez que a água é aduzida graviticamente à ETA, o indicador *tER06 – Utilização da capacidade de bombeamento a montante da ETA* não é aplicável neste caso.

O indicador *tER07 – Utilização da capacidade de bombeamento a jusante da ETA* mostra que, no período analisado, existiu uma adequada capacidade de bombeamento a jusante da ETA, verificando-se que, na situação de produção máxima do período estudado (que aconteceu em 2003), apenas 56% da capacidade máxima de bombeamento foi utilizada (Figura 108). A variação ao longo do período estudado (diminuição para 50% em 2004 e para 26% em 2005) segue a diminuição da utilização da origem (*tER01*) e da ETA (*tER04* e, em especial, *tER04.1*) devida à escassez de água. A comparação entre os indicadores *tER07* e *tER04* no dia de produção máxima (*tER04.1* ligeiramente inferior a *tER07*) mostra que, embora com pouca expressão, a capacidade de bombeamento actualmente existente não seria suficiente para bombear imediatamente a água produzida na ETA numa situação em que esta funcionasse à capacidade máxima. Neste caso, a água teria de ser armazenada nos reservatórios de água tratada localizados dentro da ETA.

A capacidade de reserva de água tratada na ETA (*tER05*, Figura 108) permite o abastecimento de água durante 0,18-0,34 dias (*ca.* 4 - 8h) em caso de interrupção do funcionamento da ETA de Alcantarilha. Estes valores são ainda mais baixos (0,12 - 0,26 dias) se apenas for considerado o período de produção máxima (Verão). No entanto, como a água tratada é elevada para reservatórios do sistema de adução, é mais importante a existência de capacidade de reserva a jusante da ETA do que dentro desta. Estes resultados evidenciam que a determinação deste indicador não é relevante para ETA cujo transporte da água tratada é feito por bombeamento. Mesmo quando o transporte da água tratada é gravítico, considera-se que a avaliação de desempenho relativamente a este aspecto não pode deixar de considerar o valor da reserva de água nos reservatórios de adução e distribuição servidos pela ETA. Este indicador é, no entanto, indispensável em sistemas que possuam exclusivamente reservatórios dentro da ETA.

No que diz respeito à continuidade da exploração da ETA, o indicador *tER11 – Período diário de funcionamento da ETA* mostra que a ETA de Alcantarilha funcionou durante 24h/dia, tal como é recomendado a fim de não causar perturbações no processo de tratamento, em particular, dos decantadores.

O indicador *tER12 – Ajuste do tratamento à qualidade da água bruta* (Figura 108), que avalia a fiabilidade da ETA em termos de flexibilidade para responder a variações na qualidade da água bruta, variou entre um valor máximo de 4 ensaios/ano em 2001 e um valor mínimo de zero ensaios em 2005. Estes resultados traduzem a diminuição da prática de realização de ensaios laboratoriais expeditos com o objectivo de optimização da dosagem de reagentes em função da qualidade da água bruta. Embora tenham decorrido três anos sobre o arranque da ETA e já exista um grande controlo da exploração sobre ajustes do tratamento à qualidade da água a tratar, seria recomendável retomar esta prática, pelo menos, nos períodos em que as origens de água a tratar são mais variáveis e se reflectem em diminuições (embora pequenas) da qualidade da água tratada.

A qualidade da água é monitorizada em contínuo em todas as etapas do tratamento (água bruta, água pré-oxidada, água decantada, água filtrada e água tratada; apenas não há, como seria de esperar pelos órgãos usados, controlo entre a floculação e a decantação) e em todas as linhas de tratamento – *tER13 = 0,86 pontos de medição/OPU da linha da fase líquida*. O indicador *tER13* foi calculado apenas para a linha da fase líquida. Todos os filtros (*tER15 – Controlo dos filtros = 100%*) e purga de lamas (*tER16 – Purga de lamas = 100%*) são automatizados e o processo é totalmente supervisionado (*tER17 – Supervisão do processo = 100%*).

Os valores elevados do indicador *tER18 – Monitorização da qualidade da água* (0,86 pontos de monitorização por cada OPU; Figura 108) correspondem, na prática, à existência de pontos de amostragem pontual para controlo da qualidade da água em todas as etapas do tratamento. Em termos do número de pontos de monitorização, a componente da monitorização da qualidade da

água em contínuo tem o mesmo peso que a componente de monitorização da qualidade da água através da recolha pontual de amostras, tal como demonstrado pela igualdade dos valores dos indicadores tER13 e tER18. À semelhança do tER13, o indicador tER18 foi calculado apenas para a linha da fase líquida.

O indicador *tER19 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos* variou, no período estudado, entre 0,50 e 0,57 (Figura 108), o que significa que na ETA de Alcantarilha cerca de metade do total de reagentes foram usados pontualmente (*i.e.*, menos de 50% do tempo). O aumento deste indicador em 2002 deveu-se à introdução de permanganato de potássio como reagente usado pontualmente, o que aumentou a flexibilidade da ETA para fazer face a alterações da qualidade da água bruta, em particular, da concentração de manganês. A posterior diminuição do indicador em 2005 deveu-se à introdução de PAC como reagente usado regularmente. Na realidade, não houve uma diminuição de flexibilidade da ETA, mas o indicador reflecte uma perda de desempenho. Considera-se adequado o indicador reflectir esta perda pelo facto de a solução tecnológica mais correcta não ser (atendendo aos dados disponíveis), em princípio, a instalação de um doseamento permanente de PAC, mas sim a instalação de uma unidade de GAC.

Relativamente à possibilidade de regular os sistemas doseadores de reagentes de modo a adaptar a dose aplicada às características da água a tratar, o indicador tER20 revela um desempenho óptimo da ETA de Alcantarilha uma vez que todos os sistemas doseadores são reguláveis (tER20 = 100%). A implementação de procedimentos de calibração periódica dos doseadores, e avaliada pelo indicador tER21, iniciou-se apenas em 2003, tendo-se, no entanto, observado um aumento do desempenho até 2005 e 2006, quando foram efectuadas 0,8 - 1 calibrações/(doseador.ano). De referir que alguns dos doseadores que não foram calibrados destinam-se à adição de reagentes usados pontualmente (*e.g.*, permanganato de potássio), o que, no entanto, não deixa de ser uma situação não desejável.

Na ETA de Alcantarilha existem também práticas de inspeção e de calibração periódicas, tal como demonstrado pelos indicadores *tER22 – Inspeção de bombas*, *tER23 – Inspeção de equipamentos de emergência*, *tER24 – Inspeção de equipamento de transmissão de sinal*, *tER25 – Inspeção de quadros eléctricos*, *tER27 – Calibrações de medidores de caudal*, *tER28 – Calibrações de medidores de nível de água*, *tER29 – Calibrações de medidores de pressão* e *tER30 – Calibração de medidores em linha da qualidade da água* (Figura 108). Entre 2001 e 2006, houve um aumento do desempenho da ETA relativamente a este aspecto, verificando-se que, em 2006, as bombas, transmissores de sinal e medidores em linha da qualidade da água foram inspeccionados/calibrados mais de uma vez. Como desejável, pela natureza do seu funcionamento e pela sua importância no controlo do processo de tratamento, os medidores em linha da qualidade da água foram os equipamentos calibrados com maior frequência (em 2006: 20 calibrações/(medidor.ano)). No entanto, é ainda necessário melhorar o desempenho em termos de inspeções de quadros eléctricos (*tER25*) e calibrações de medidores de caudal (*tER27*), medidores de nível de água (*tER28*) e medidores de pressão (*tER29*), uma vez que os indicadores mostram que foram inspeccionados/calibrados com uma frequência inferior a uma vez por ano. Em 2003-2005, as percentagens de inspeção dos equipamentos de emergência foram elevadas (*tER23* = 250-770%/ano), tendo alguns equipamentos sido inspeccionados mais do que uma vez. No entanto, em 2006 o desempenho desceu acentuadamente e nem todos os equipamentos de emergência foram inspeccionados (*tER23* = 32%/ano).

Apesar de se ter verificado um aumento da frequência de inspeção dos leitos filtrantes, este procedimento era, em 2005, ainda realizado menos de uma vez por ano (*tER26* = 0,29 inspeções/(filtro.ano)).

Os elevados valores dos indicadores *tER13*, *tER17*, *tER18*, *tER30* e *tWQ03* evidenciam a preocupação da EG com o controlo apertado do processo de tratamento, indispensável à produção de uma água de boa qualidade.

Na ETA de Alcantarilha ocorreram 0-1,14 falhas/(bomba.ano) (tER32, Figura 108). Falhas de outro tipo (*e.g.*, bloqueio do sistema de telegestão, anomalia em válvula) provocaram a interrupção não planeada do funcionamento da ETA durante 13,2 - 16,1 horas/ano (tER33, Figura 108). Em 2005, as paragens não programadas foram todas devidas a falha de energia. Embora a fiabilidade do sistema de abastecimento eléctrico tenha aumentado de 2005 para 2006, neste ano, a falta de energia foi ainda a causa de 60% do tempo total de interrupção do funcionamento (tER34 = 9,6 h/ano, Figura 108).

8.2.3. Domínio de avaliação *Utilização de água, energia e materiais*

Neste domínio, só foi possível avaliar a eficiência de utilização de água na ETA. O indicador tRU01 foi sempre superior a 96% (Figura 109), revelando um desempenho elevado da estação neste aspecto. A ocorrência de valores ligeiramente superiores a 100% (2005 e 2006) é uma consequência do elevado erro máximo do caudalímetro de água bruta (5%, caudalímetro que é propriedade do INAG), quando comparado com os erros máximos dos caudalímetros de água tratada elevada (0,5%).

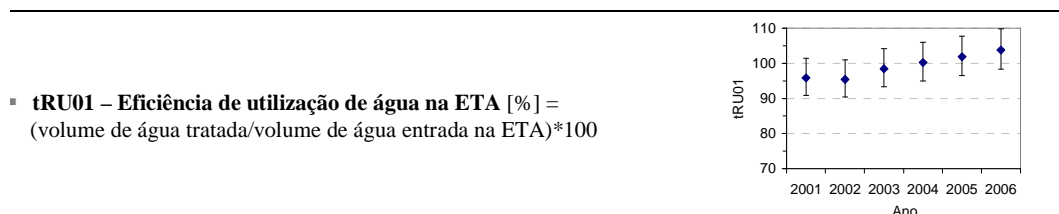


Figura 109 – Resultados de ID do domínio *Utilização de água, energia e materiais* na ETA de Alcantarilha

8.2.4. Domínio de avaliação *Gestão de subprodutos*

O nível de produção de subprodutos do processo de tratamento foi determinado apenas para as lamas. O indicador tBP01 – *Quantidade de lamas produzidas* variou entre 3,6 - 19,9 g/(m³.UNT) (Figura 110), tendo os valores mais elevados sido registados em 2004-2005 e estando associados ao tratamento de água subterrânea com baixa turvação. O teor em matéria seca das lamas produzidas (lamas provenientes da desidratação de lamas na linha de tratamento de lamas) variou

entre 33-44% (*tBP02 – Qualidade das lamas produzidas*, Figura 110).

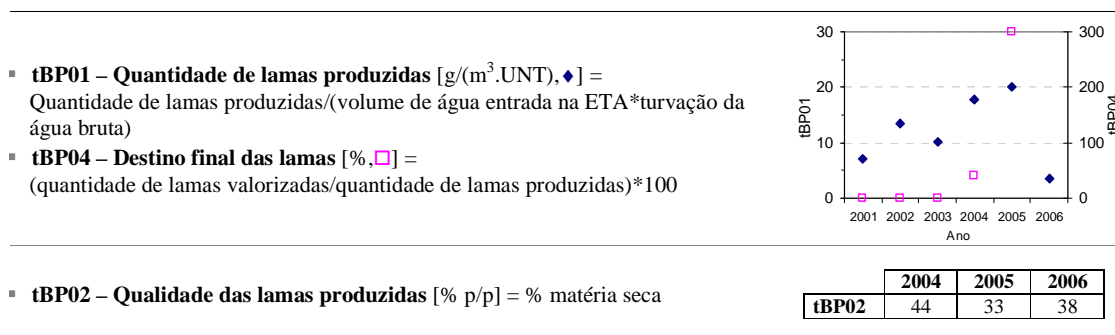


Figura 110 – Resultados de ID do domínio *Gestão de subprodutos* para a ETA de Alcantarilha

O indicador *tBP04 – Destino final das lamas* mostra que, em 2001-2003, não houve valorização de lamas, enquanto que, em 2004, apenas foram enviadas para valorização 41% das lamas produzidas. As restantes lamas produzidas neste período foram enviadas para aterro ou armazenadas e posteriormente valorizadas na indústria cimenteira em 2005 (*tBP04 = 301%*, Figura 110), ou seja, neste ano foram iniciados procedimentos mais adequados de gestão de lamas promovendo a sua valorização. Os resultados aqui apresentados foram obtidos considerando a percentagem de lamas produzidas e não a percentagem de lamas escoadas tal como na formulação do indicador que consta do Anexo 1. A formulação do Anexo 1 foi já um refinamento na sequência da aplicação do indicador aos casos de estudo.

Durante o período analisado, as águas residuais do processo, potenciais causadoras de impactos ambientais negativos, nunca foram lançadas no meio receptor (*tBP07 – Descarga de água residual em meios hídricos = 0*), tendo sido tratadas e totalmente recirculadas no processo.

8.2.5. Domínio de avaliação *Segurança*

Relativamente ao desempenho da ETA de Alcantarilha em termos de segurança ambiental, não houve registo de derrames acidentais nem de fugas de produtos químicos ou de subprodutos do tratamento (*tSa01 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos = 0*).

O desempenho em termos de segurança do pessoal foi avaliado pelo indicador *tSa02 – Acidentes de trabalho*, que mostra que apenas em 2006 ocorreram dois acidentes de trabalho requerendo

acompanhamento médico ($tSa02 = 38,5/(10^3 \text{ empregado.ano})$, Figura 111).

▪ **tSa01 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos** [kg/m^3] =
Quantidade de produtos químicos ou subprodutos derramados ou libertados
acidentalmente/volume de água tratada

	2004	2005	2006
tSa01	0	0	0
tSa02	0	-	38,5

▪ **tSa02 – Acidentes de trabalho** [$\text{n.}^\circ/(10^3 \text{ empregado.ano})$] =
(acidentes de trabalho*365/período de referência)/n.º equivalente de empregados a
tempo inteiro afectos à ETA

Figura 111 – Resultados de ID do domínio *Segurança* para a ETA de Alcantarilha

8.2.6. Domínio de avaliação *Recursos humanos*

Em termos de disponibilidade de pessoal, em 2006, a ETA de Alcantarilha tinha *ca.* 2 empregados/ 10^6 m^3 de água tratada ($tPe01$, Figura 112), não tendo o pessoal de *outsourcing* sido contabilizado neste indicador. De acordo com IRAR (2007), o intervalo de referência do indicador AA17 (definido de modo análogo a $tPe01$, mas aplicado a toda a entidade gestora) para entidades em alta, correspondente a um bom desempenho, situa-se entre 1,0 e 1,7 empregados/ 10^6 m^3 , o que reflecte uma organização bem dimensionada para a prestação deste serviço. A comparação deste valor com o resultado de $tPe01$, sugere que a equipa da ETA de Alcantarilha está ligeiramente sobredimensionada. No entanto, nesta ETA, há que atender à sazonalidade e ao facto de não ser possível aumentar a dimensão da equipa apenas no período de produção máxima da estação (Verão).

Uma análise da distribuição do pessoal de acordo com a qualificação ($tPe02$ - *Pessoal com formação superior*, $tPe03$ - *Pessoal com escolaridade mínima obrigatória*, Figura 112) revela que, na estrutura de recursos humanos, a maior componente corresponde a empregados com escolaridade mínima obrigatória (56%) e que quase um terço do pessoal possui formação superior.

A formação do pessoal ($tPe04$ e $tPe05$, Figura 112) foi sobretudo feita externamente à empresa (99% do tempo total de formação; 66,9 h/(empregado.ano)).

- **tPe01 – Pessoal afecto ao tratamento** [n.º/10⁶ m³] =
n.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA/volume de água tratada
- **tPe06 – Absentismo** [dia/(empregado.ano)] =
(ausências ao trabalho dos empregados afectos à ETA*365/período de referência)/n.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA
- **tPe07 – Absentismo por acidente de trabalho ou doença** [dia/(empregado.ano)] =
(ausências por motivo de acidente de trabalho ou doença dos empregados afectos à ETA*365/período de referência)/n.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA
- **tPe08 – Trabalho suplementar** [%/ano] =
((trabalho suplementar dos empregados afectos à ETA*365/período de referência)/horas normais do trabalho dos empregados afectos à ETA)*100
- **tPe02 – Pessoal com formação superior** [%] =
(n.º equivalente de empregados a tempo inteiro com formação superior afectos à ETA/n.º equivalente de empregados a tempo inteiro afecto à ETA)*100
- **tPe03 – Pessoal com escolaridade mínima obrigatória** [%] =
(n.º equivalente de empregados a tempo inteiro com, pelo menos, escolaridade mínima obrigatória afectos à ETA/n.º equivalente de empregados a tempo inteiro afecto à ETA)*100
- **tPe04 – Tempo total de formação** [hora/(empregado.ano)] =
(horas de formação dos empregados afectos à ETA*365/período de referência)/n.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA
- **tPe05 – Tempo de formação interna** [hora/(empregado.ano)] =
(horas de formação interna dos empregados afectos à ETA*365/período de referência)/n.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA

	2006
tPe01	2,08
tPe06	37
tPe07	2,5
tPe08	4,0

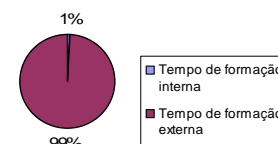
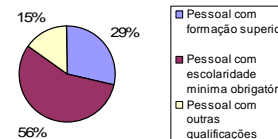


Figura 112 – Resultados de ID do domínio *Recursos humanos* para a ETA de Alcantarilha

Em 2006, o absentismo total (tPe06, Figura 112) relativo às ausências do local de trabalho motivadas por causas relacionadas com o trabalho (doença profissional e acidentes de trabalho) e por outras causas (*e.g.*, doença não profissional, licenças de maternidade/paternidade, assistência a familiares) foi de 37 dias/(empregado.ano), dos quais apenas 2,5 dias/(empregado.ano) foram devidos a acidente de trabalho ou doença (tPe07, Figura 112). Este bom resultado de tPe07 é coerente com o resultado do indicador tSa02 do domínio de avaliação *Segurança*.

Em 2006, o trabalho suplementar correspondeu a 4% do trabalho regular (tPe08).

Os resultados dos indicadores tPe06 e tPe07 aqui apresentados foram obtidos considerando no denominador da fórmula de cálculo o *número equivalente de empregados a tempo inteiro afecto à ETA* e não o *total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados* tal como consta do Anexo 1. A formulação do Anexo 1 foi já um refinamento na sequência da aplicação do indicador aos casos de estudo.

8.3. Análise comparativa das ETA da Águas do Algarve

8.3.1. Domínio de avaliação *Qualidade da água tratada*

Na Figura 113 apresentam-se os resultados relativos ao indicador *tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises* para as ETA da AdA. Tal como na ETA de Alcantarilha, atingiram-se elevados níveis de cumprimento dos critérios de qualidade da água tratada à saída da ETA, sendo os valores sempre superiores a 97,2%. Um valor abaixo de 98% foi apenas observado na ETA de Beliche em 2002, tendo porém ocorrido uma melhoria significativa do desempenho ao longo do período estudado, também observada consistentemente na ETA de Tavira. Na ETA de Fontainhas, observou-se também uma melhoria entre 2001 e 2003, mas posteriormente o desempenho diminuiu, apresentando piores resultados em 2006 do que nos anos anteriores. Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das quatro ETA em conjunto, o valor de Beliche em 2002 é considerado *outlier*¹¹ e a gama P25-P75 (sem considerar o *outlier*) é 99,2-99,8%.

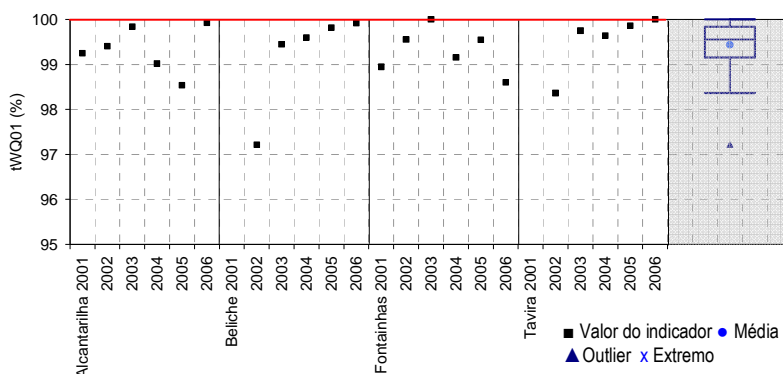


Figura 113 – Conformidade das análises da água tratada nas ETA da AdA (indicador tWQ01)

No que diz respeito à conformidade dos sete parâmetros-chave, os valores do indicador tWQ02 em 2004 e 2005 são superiores nas outras três ETA relativamente à ETA de Alcantarilha (Figura 114), situando-se sempre acima de 99,4%. Estes resultados evidenciam a existência de menos

¹¹ Consideraram-se *outliers* os valores que estão no intervalo $P75+1,5(P75-P25)$ a $P75+3(P75-P25)$ ou no intervalo $P25-1,5(P75-P25)$ a $P25-3(P75-P25)$. Consideraram-se *extremos* os valores superiores a $P75+3(P75-P25)$ ou inferiores a $P25-3(P75-P25)$. P25: percentil 25. P75: percentil 75.

problemas com o controlo do manganês e bromato. Em 2006, os níveis de conformidade são já idênticos nas quatro ETA e sempre superiores a 99,5%. Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das quatro ETA em conjunto, os valores de Alcantarilha em 2004 e 2005 são considerados *outlier* e extremo, respectivamente, e a gama P25-P75 (sem considerar o *outlier* e o extremo) é 99,7-99,9%.

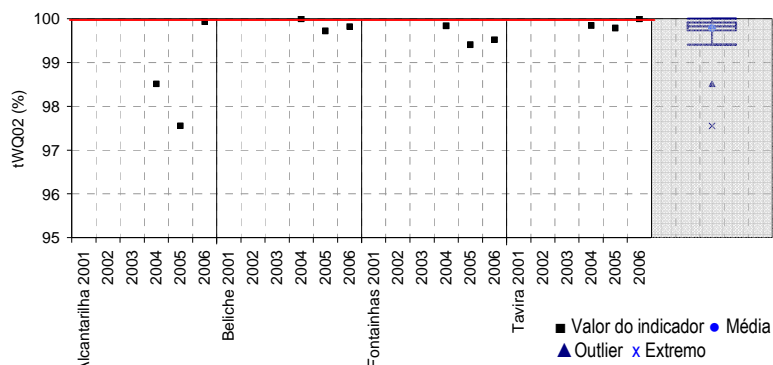


Figura 114 – Conformidade das análises de sete parâmetros-chave nas ETA da AdA (indicador tWQ02)

Tal como a ETA de Alcantarilha, a ETA de Fontainhas apresentou valores do indicador *tWQ03 – Parâmetros analisados* inferiores a 100% nos anos de 2001-2003 e registou um aumento significativo entre 2004 e 2006, atingindo valores muito superiores ao valor de referência de 100% (121-150%, Figura 115). Em 2002, a ETA de Beliche também não analisava à saída da ETA todos os parâmetros obrigatórios por lei para a água na torneira do consumidor (*tWQ03* = 67%), mas o desempenho aumentou nos anos seguintes até se atingirem valores de 145%. Na ETA de Tavira o indicador situou-se sempre acima de 100%, no período estudado (109-143%). Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das ETA da AdA em conjunto, a gama P25-P75 é 64-143%. Considerando apenas o período 2004-2006, esta gama passa a ser 129-145%.

Os indicadores de qualidade da água nos pontos de consumo, com menor teor de cloro (*tWQ05*), com maior teor de cloro (*tWQ06*) e com maior teor de THM (*tWQ07*) não foram calculados para a ETA de Fontainhas porque não existem reservatórios de entrega exclusivamente abastecidos por esta ETA, uma vez que a água tratada é misturada com água proveniente da ETA de

Alcantarilha. O indicador *tWQ08* – *Qualidade da água nos pontos de consumo com valores mais elevados dos parâmetros microbiológicos* foi calculado apenas para as bactérias coliformes.

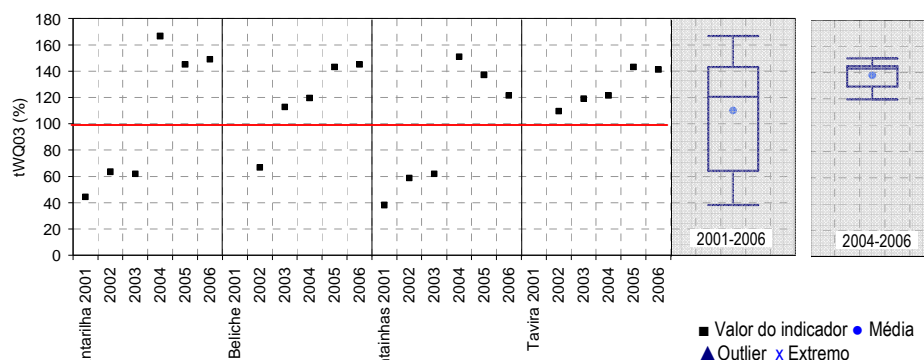


Figura 115 – Parâmetros analisados nas ETA da AdA (indicador tWQ03)

Tal como na ETA de Alcantarilha, o cloro residual nos pontos de entrega da ETA de Tavira (tWQ05 e tWQ06) está na gama estabelecida na ERP 5001/2 (2008) para distribuição em alta (0,2-1,0 mg/L), com excepção de tWQ06 em 2005 e 2006, que está *ca.* 10% acima da gama. Registaram-se valores entre 0,5 mg/L e 0,6 mg/L para o indicador tWQ05 (Figura 116), e entre 1,0 mg/L e 1,1 mg/L para o indicador tWQ06 (Figura 117). Na ETA de Beliche observaram-se valores mais elevados de tWQ06 (1,2-1,7 mg/L), que excederam o requisito da ERP 5001/2 e valores mais baixos de tWQ05 (0,1-0,6 mg/L), que, entre 2002 e 2004, estiveram abaixo da gama da ERP 5001/2. Os teores de THM nos pontos de entrega das ETA de Beliche e Tavira (tWQ07, Figura 118) variaram entre 36 µg/L e 93 µg/L, estando abaixo do valor paramétrico da legislação. Os valores mais elevados registaram-se no caso da ETA de Beliche, em concordância com o facto de esta ETA apresentar também os valores mais elevados de tWQ06. Na ETA de Beliche, o indicador tWQ08 (Figura 119) variou inversamente com o indicador tWQ05, ou seja, reflectiu o défice de cloro residual em 2002 e 2003 – anos em que tWQ08 não foi zero (Figura 119) – e demonstrou a validade da referência proposta para este indicador, no sistema da AdA.

Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das ETA da AdA em conjunto, a gama P25-P75 é 0,19-0,47 mg/L para o indicador tWQ05, 1,13-1,56 mg/L para o indicador tWQ06 e

47-51 µg/L para o indicador tWQ07.

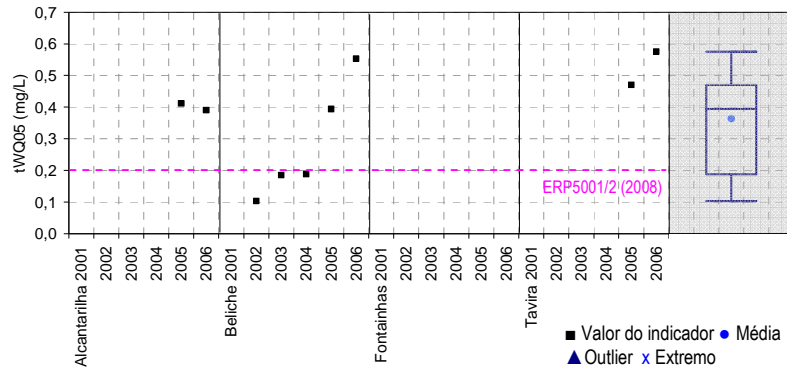


Figura 116 – Qualidade da água nos pontos de entrega das ETA da AdA com menor teor de cloro (indicador tWQ05)

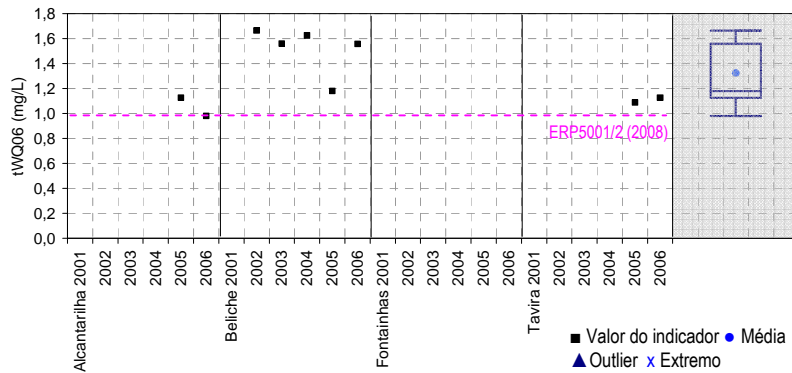


Figura 117 – Qualidade da água nos pontos de entrega das ETA da AdA com maior teor de cloro (indicador tWQ06)

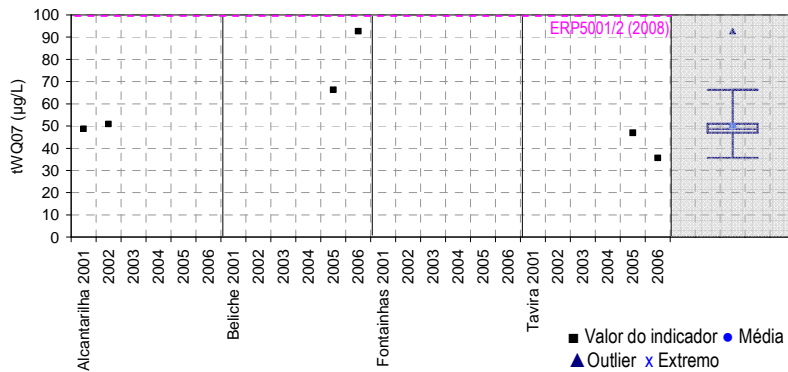


Figura 118 – Qualidade da água nos pontos de entrega das ETA da AdA com maior teor de THM (indicador tWQ07)

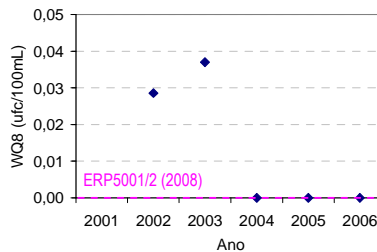


Figura 119 – Qualidade da água nos pontos de entrega da ETA de Beliche com valores mais elevados de bactérias coliformes (indicador tWQ08)

8.3.2. Domínio de avaliação *Eficiência e fiabilidade da ETA*

Na Figura 120 apresentam-se os resultados relativos ao indicador *tER01 – Utilização da origem de água* para as ETA de Tavira, Beliche e Fontainhas que apenas usaram água superficial no período estudado. Uma vez que as ETA de Tavira e Beliche captam água da mesma origem e que existe apenas um valor contratual comum às duas ETA, o cálculo deste indicador foi feito em conjunto para as duas ETA. A percentagem de utilização da origem variou entre 69% e 109% no caso de Tavira+Beliche e entre 84% e 127% no caso de Fontainhas, verificando-se, tal como na ETA de Alcantarilha, uma sobre-exploração do recurso como consequência da seca nos anos 2004 e 2005.

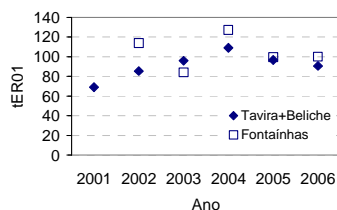


Figura 120 – Utilização das origens de água das ETA de Tavira, Beliche e Fontainhas (indicador tER01)

O indicador *tER02 – Capacidade de reserva de água bruta na ETA* é nulo em todas as ETA da AdA, o que constitui uma fragilidade pelas razões atrás referidas. No entanto, pode dizer-se que a fiabilidade da ETA de Tavira é maior neste aspecto, uma vez que existe um reservatório entre a captação e a ETA (Reservatório de Santo Estêvão). Este reservatório constitui, de certo modo, uma reserva de água bruta pois tem o mesmo nível de protecção que as instalações da ETA.

O indicador relativo à satisfação da capacidade máxima de tratamento no período de produção máxima (*tER03*) assumiu, na ETA de Fontainhas, valores de 48%, superiores aos observados na ETA de Alcantarilha. Uma vez que são abastecidas pela mesma origem, só é possível avaliar as ETA de Tavira e Beliche em conjunto, verificando-se que a disponibilidade das albufeiras de Odeleite e Beliche apenas é suficiente para cobrir 49% da capacidade máxima de tratamento no período de produção máxima.

Uma vez que o período estudado corresponde ao início da concessão e se assumiu uma expansão

do fornecimento, todas as ETA da AdA estão sobredimensionadas, como evidenciado pelo indicador *tER04 – Utilização da ETA*. As ETA de Beliche e de Fontainhas apresentam as maiores percentagens de utilização das quatro ETA da AdA, verificando-se que o indicador *tER04* assumiu valores na gama 34-62% e 41-60%, respectivamente (Figura 121). A ETA de Alcantarilha é a que apresenta menores percentagens de utilização, devido à, já referida, ausência da segunda origem de água superficial. Relativamente à utilização no dia de produção máxima, as ETA de Beliche e Tavira apresentaram valores do indicador *tER04.1* superiores à ETA de Alcantarilha, chegando a ser atingida a capacidade máxima de tratamento na ETA de Beliche em 2003 e na ETA de Tavira em 2002 (Figura 122), situação não desejável. No entanto, nos restantes anos do período estudado, estes valores baixaram para a gama 61-81% e 56-76%, para Tavira e Beliche, respectivamente. O indicador *tER04.2* mostra que também a utilização das ETA de Beliche e Tavira no dia de produção mínima foi superior à da ETA de Alcantarilha (Figura 123), variando entre 28-40% e 27-32%, respectivamente.

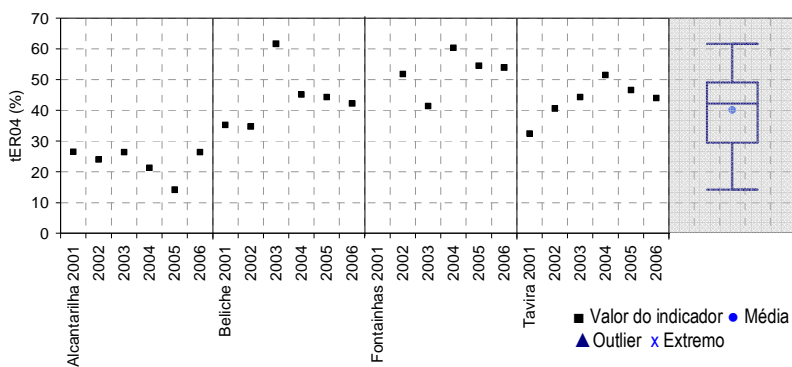


Figura 121 – Utilização das ETA da AdA (indicador tER04)

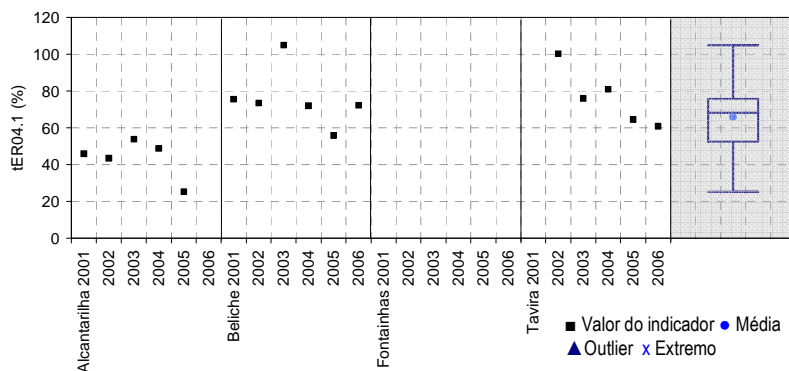


Figura 122 – Utilização das ETA da AdA no dia de maior produção (indicador tER04.1)

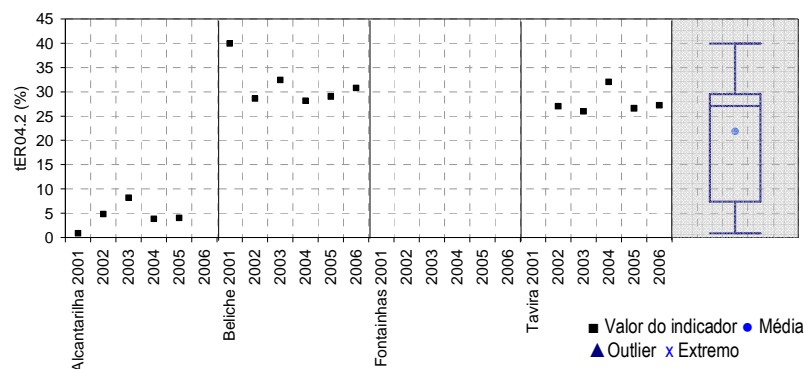


Figura 123 – Utilização das ETA da AdA no dia de menor produção (indicador tER04.2)

Tal como na ETA de Alcantarilha, existe também uma grande sazonalidade nas outras ETA, evidenciado pela diferença entre os valores do indicador calculado para a situação de produção máxima (tER04.1: *ca.* 60-100%) e para a situação de produção mínima (tER04.2: *ca.* 25-40%).

Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das ETA da AdA em conjunto, a gama P25-P75 dos indicadores tER04, tER04.1 e tER04.2 é 29-49%, 53-76% e 7,4-29%, respectivamente.

Os resultados do indicador tER07 (Figura 124) mostram que, no período estudado, a capacidade de reserva de bombeamento a jusante da ETA de Beliche foi menor do que na ETA de Alcantarilha (26-56%). Observaram-se, em geral, valores de 52-70% e, em 2003, foi praticamente atingida a capacidade máxima das bombas da água tratada (tER07 = 98%). Na ETA de Beliche a relação entre a capacidade de bombeamento da água tratada e a capacidade máxima de tratamento é muito mais desfavorável do que na ETA de Alcantarilha, uma vez que tER04.1 é muito inferior a tER07 (por exemplo, em 2003, com a ETA a 62% no dia de produção máxima, as bombas funcionavam já a 98% da sua capacidade). Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das duas ETA em conjunto, a gama P25-P75 (sem considerar um *outlier*) é 48-68%.

A capacidade de reserva de água tratada (tER05, Figura 125) da ETA de Tavira é semelhante à da ETA de Alcantarilha. A capacidade de reserva da ETA de Beliche é inferior à destas duas

ETA, permitindo uma autonomia de distribuição apenas de *ca.* 1-2 h. Mas também aqui se aplicam as considerações relativamente à análise de resultados feitas para a ETA de Alcantarilha, uma vez que em todas as ETA o transporte da água tratada é feito por bombagem. Em Beliche, esta capacidade de armazenamento de água tratada é importante devido à já referida falta de capacidade das bombas de água tratada para escoar a água produzida em situações de produção máxima. Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das ETA da AdA em conjunto, a gama P25-P75 é 0,09-0,23 dias.

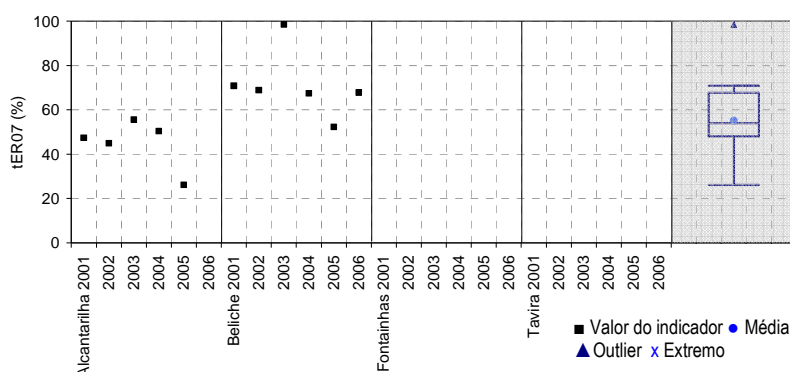


Figura 124 – Utilização da capacidade de bombeamento a jusante das ETA da AdA (indicador tER07)

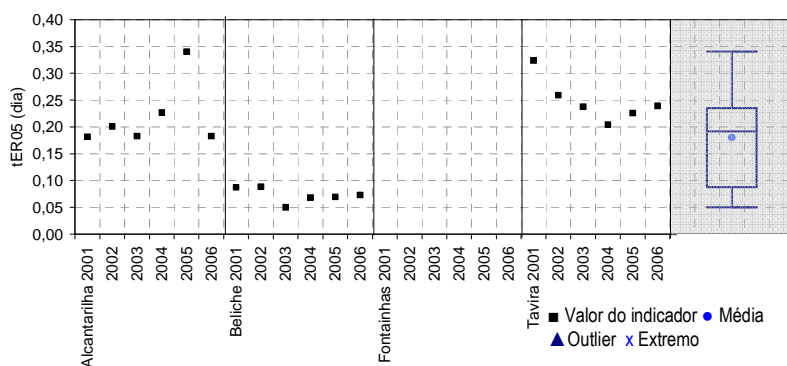


Figura 125 – Capacidade de reserva de água tratada nas ETA da AdA (indicador tER05)

Tal como desejável, na ETA de Tavira o indicador *tER11 – Período diário de funcionamento da ETA* foi sempre igual a 24h/dia. A ETA de Beliche interrompe a operação cerca de três meses no ano, mas durante o período em que funciona, fá-lo também de modo contínuo. O facto de a sequência de tratamento da ETA de Beliche incluir decantação com manto de lamas torna mais relevantes os resultados obtidos para este indicador.

Tal como na ETA de Alcantarilha, o desempenho em termos do grau de automação das ETA de Tavira, Beliche e Fontainhas é bom, verificando-se que todos os filtros ($tER15 = 100\%$) e purga de lamas dos decantadores ($tER16 = 100\%$) são automatizados, o processo é totalmente supervisionado ($tER17 = 100\%$) e a percentagem de sistemas automáticos de doseamento de reagentes é elevada ($tER14 = 67-89\%$, Figura 126). Relativamente à monitorização em contínuo da qualidade da água, a ETA de Tavira é a que apresenta um melhor desempenho. No caso das ETA de Tavira e de Fontainhas, os valores do indicador $tER13$ (Quadro 77) são superiores ao valor de referência de 1. Tal facto deve-se, em Tavira, à existência de pontos de monitorização em todos os filtros, e, em Fontainhas, a um maior grau de monitorização das duas linhas de tratamento em paralelo, o que não acontece nas outras duas ETA que apenas monitorizam a mistura da água proveniente dos vários órgãos de cada OPU. Estes resultados do indicador $tER13$ referem-se apenas à linha da fase líquida.

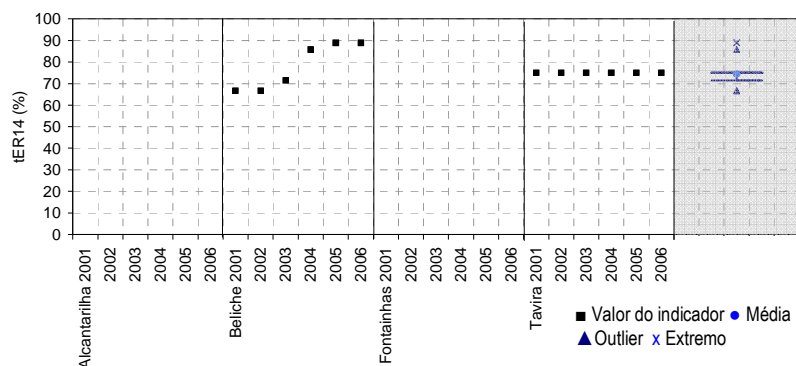


Figura 126 – Controlo do doseamento de reagentes nas ETA da AdA (indicador $tER14$)

Quadro 77 – Monitorização pontual (indicador $tER18$) e monitorização em contínuo (indicador $tER13$) da qualidade da água nas ETA da AdA (2001-2006)

Indicador	ETA de Alcantarilha	ETA de Fontainhas	ETA de Tavira	ETA de Beliche
$tER13$	0,86	1,14	3,0	0,86
$tER18$	0,86	0,86	0,71	0,71

A monitorização pontual da qualidade da água no processo ($tER18$ – Monitorização da qualidade da água) é agora maior nas ETA de Alcantarilha e Fontainhas (Quadro 77). Em termos de número de pontos de monitorização, o peso da componente em contínuo na

monitorização da qualidade da água é maior nas ETA de Tavira, Fontainhas e Beliche, uma vez que tER13 é superior a tER18. Os resultados do indicador tER18 referem-se apenas à linha da fase líquida. Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das ETA da AdA em conjunto, a gama P25-P75 (sem considerar *outliers*) dos indicadores tER13 e tER18 é 0,86-1,14 e 0,71-0,86, respectivamente.

No período estudado, a fiabilidade em termos da possibilidade de doseamento de reagentes alternativos (tER19, Figura 127) foi sempre maior na ETA de Alcantarilha, seguindo-se a ETA de Tavira. Em 2001, a ETA de Fontainhas não possuía reagentes alternativos, situação que se alterou nos anos seguintes, com a disponibilização de permanganato de potássio. Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das ETA da AdA em conjunto, a gama P25-P75 é 0,14-0,41.

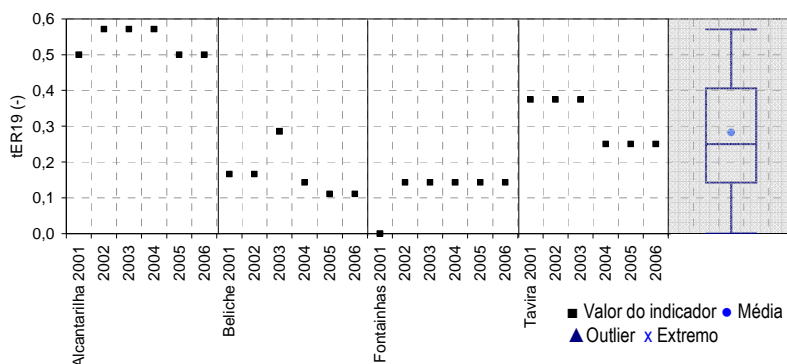


Figura 127 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos nas ETA da AdA (indicador tER19)

Tal como na ETA de Alcantarilha, o indicador tER20 – *Doseadores reguláveis* revela um desempenho óptimo das outras três ETA da AdA, uma vez que é possível regular as doses adicionadas em todos os sistemas doseadores (tER20 = 100%). A frequência de calibração dos doseadores (tER21, Figura 128) é maior nas ETA de Beliche e Tavira, tendo entre 2004-2006 atingido valores superiores ao valor de referência de 1 calibração/(medidor.ano). Em todas as ETA, os resultados do indicador tER21 reflectem também um aumento do desempenho entre 2001 e 2006. Efectuando o tratamento estatístico de todos os resultados das ETA da AdA em conjunto, a gama P25-P75 é 0,29-1,03 calibrações/(medidor.ano).

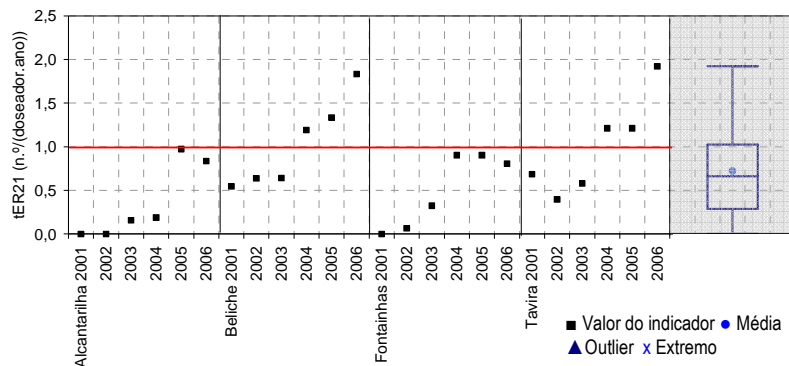


Figura 128 – Calibração de doseadores nas ETA da AdA (indicador tER21)

As práticas de inspeção e de calibração foram intensificadas em todas as ETA, entre 2001 e 2006. A frequência de inspeção de bombas (tER22, Figura 129) foi, em geral, semelhante nas ETA de Alcantarilha, Tavira e Beliche, sendo inferior na ETA de Fontainhas. A gama P25-P75 é 0,53-1,17 inspeções/(bomba.ano).

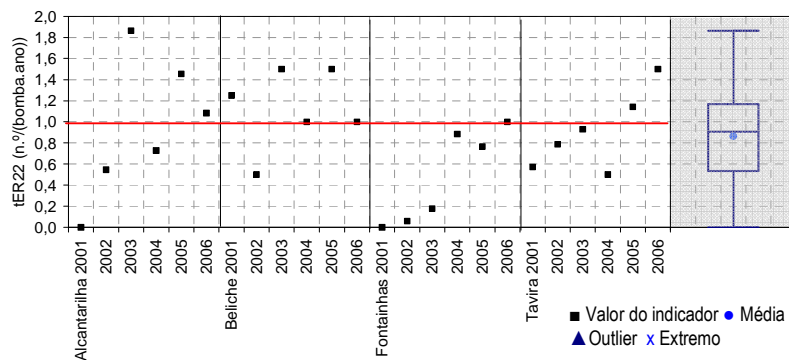


Figura 129 – Inspeção de bombas nas ETA da AdA (indicador tER22)

A ETA de Alcantarilha (com excepção do ano de 2006) foi a estação que teve maior preocupação com a inspeção de equipamento de emergência (tER23, Figura 130). A gama P25-P75 relativa a todos os dados das ETA da AdA (sem considerar extremos e *outliers*) é de 0-55%/ano, o que reflecte a situação generalizada de inspeção insuficiente deste tipo de equipamentos no período estudado. A ETA de Fontainhas apresentou o pior desempenho, uma vez que apenas efectuou inspeções destes equipamentos em 2006.

O indicador tER24 (Figura 131) mostra que não foram realizadas inspeções de equipamentos de transmissão de sinal nas ETA de Alcantarilha e de Fontainhas até 2004, enquanto que nas ETA

de Tavira e Beliche esses procedimentos foram implementados mais cedo (em 2002 e 2001, respectivamente). Esta situação é análoga à calibração de medidores de caudal (tER27, Figura 133) e à calibração de medidores de pressão (tER29, Figura 135). As gamas P25-P75 são 0-0,89 inspeções/(equipamento de transmissão de sinal.ano), de 0-0,72 calibrações/(medidor de caudal.ano) e 0-0,91 calibrações/(medidor de pressão.ano), o que reflecte a insuficiente inspeção ou calibração deste tipo de equipamentos no período estudado.

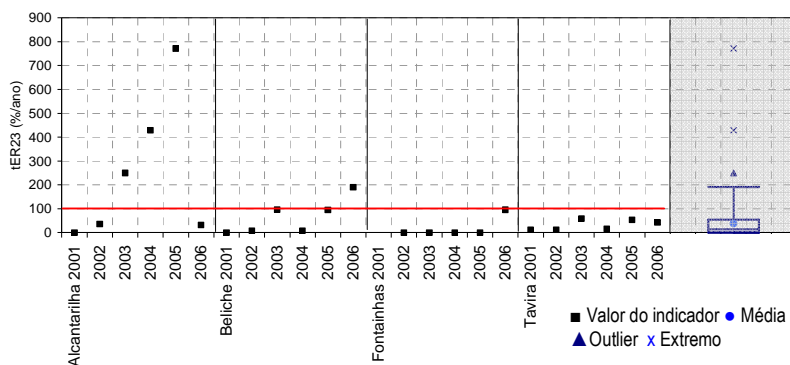


Figura 130 – Inspeção de equipamento de emergência nas ETA da AdA (indicador tER23)

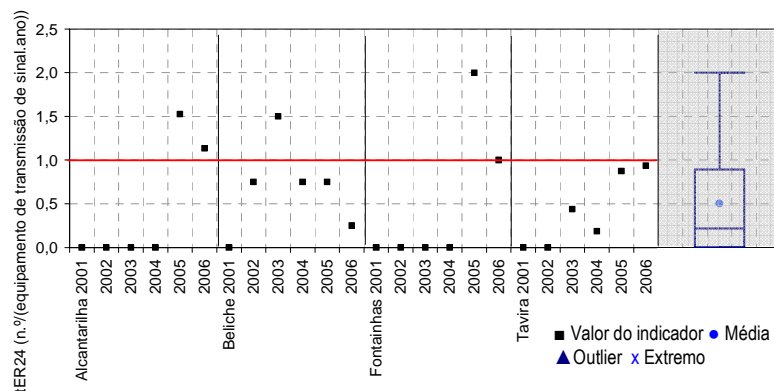


Figura 131 – Inspeção de equipamento de transmissão de sinal nas ETA da AdA (indicador tER24)

A inspeção de quadros eléctricos (tER25, Figura 132) foi mais frequente nas ETA de Tavira e de Beliche, que atingiram, nos últimos anos do período estudado, valores superiores a 1 inspeção/(equipamento.ano), ao contrário das ETA de Alcantarilha e de Fontainhas. A gama P25-P75 é 0,07-0,73 inspeções/(equipamento.ano).

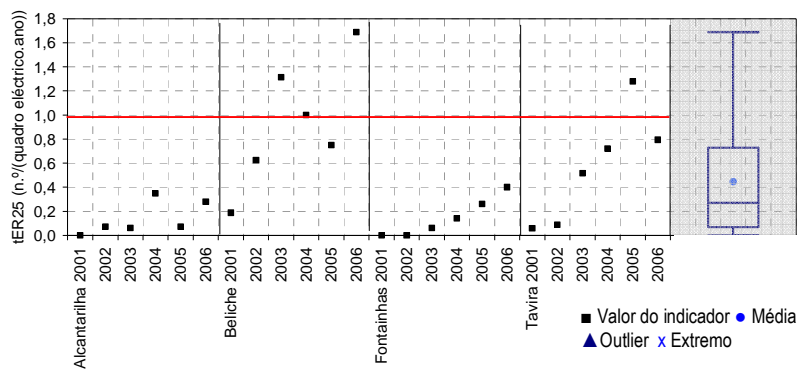


Figura 132 – Inspeção de quadros eléctricos nas ETA da AdA (indicador tER25)

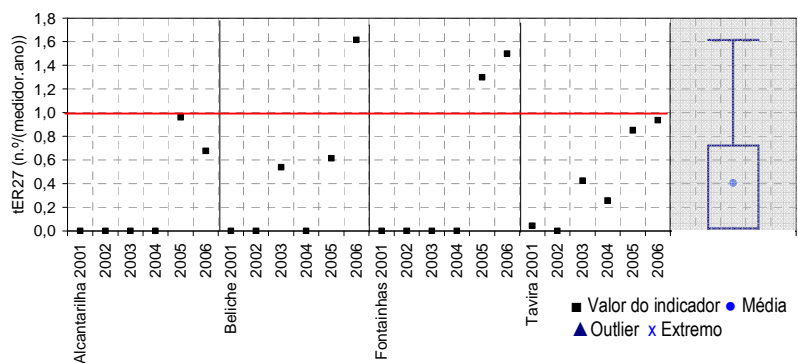


Figura 133 – Calibrações de medidores de caudal nas ETA da AdA (indicador tER27)

O indicador *tER28 – Calibrações de medidores de nível de água* (Figura 134) registou valores superiores nas ETA de Beliche e Fontainhas, sendo, em 2004 e 2005, superiores ao valor de referência de 1 calibração/(medidor.ano). A gama P25-P75 observada foi 0-0,87 calibrações/(equipamento.ano).

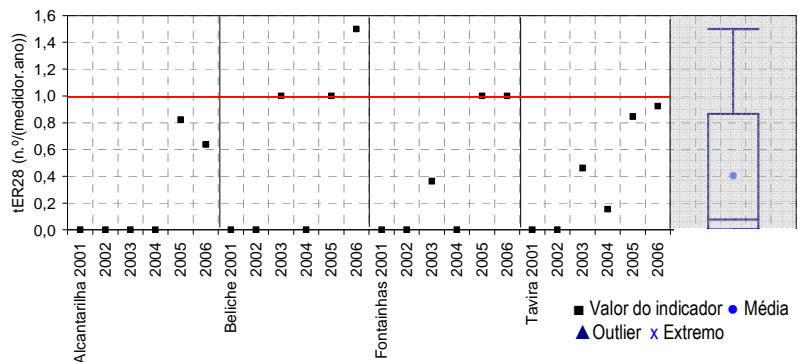


Figura 134 – Calibrações de medidores de nível de água nas ETA da AdA (indicador tER28)

O desempenho em termos de calibração de medidores em linha de qualidade da água (tER30, Figura 136) é semelhante nas três ETA, observando-se um aumento destes procedimentos no

período estudado desde uma situação em que não eram feitas qualquer calibrações (em 2001-2002) até uma situação em que são feitas 18-28 calibrações/(equipamento.ano) (em 2006). A gama P25-P75 é 0,04-18 calibrações/(equipamento.ano), reflectindo este cenário.

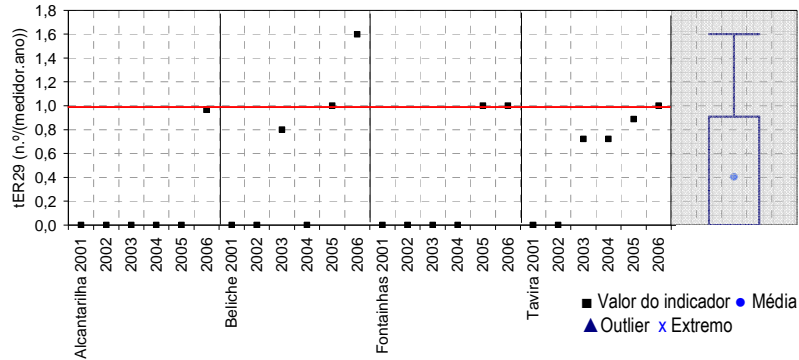


Figura 135 – Calibrações de medidores de pressão nas ETA da AdA (indicador tER29)

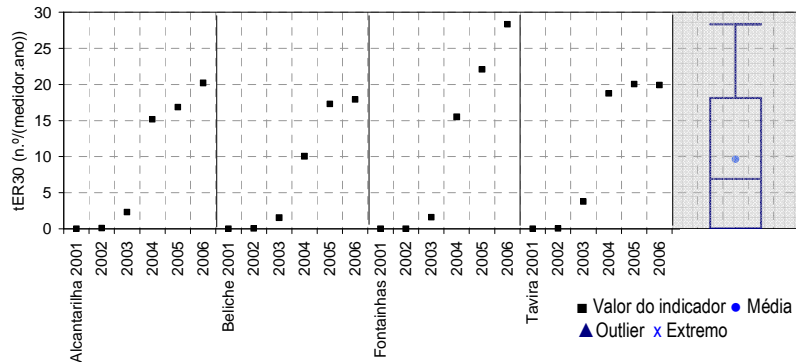


Figura 136 – Calibração de medidores em linha da qualidade da água nas ETA da AdA (indicador tER30)

De referir que a determinação dos indicadores relativos à inspecção e manutenção de equipamento se baseou nos registos incluídos na base de dados de manutenção da AdA e que foram iniciados de forma sistemática apenas em 2005. Assim, os resultados aqui apresentados podem estar subestimados, uma vez que antes dessa data as intervenções preventivas poderão ter sido efectuadas sem, contudo, haver qualquer registo.

O indicador tER32 calculado para as bombas (Figura 137) mostra que a ETA de Beliche é a que apresenta menor número de avarias nestes equipamentos, não tendo sido registadas ocorrências a partir de 2004. Comparando as ETA de Fontainhas e Beliche parece haver, como expectável, uma correlação inversa entre os valores dos indicadores tER22 (inspecções de bombas) e tER32

(avarias em bombas), ou seja, a frequência de inspeções de bombas é maior em Beliche do que em Fontainhas e a ocorrência de avarias é menor em Beliche. Nas ETA de Alcantarilha e Tavira não se observa esta relação. A gama P25-P75 é 0,12-0,65 avarias/(bomba.ano).

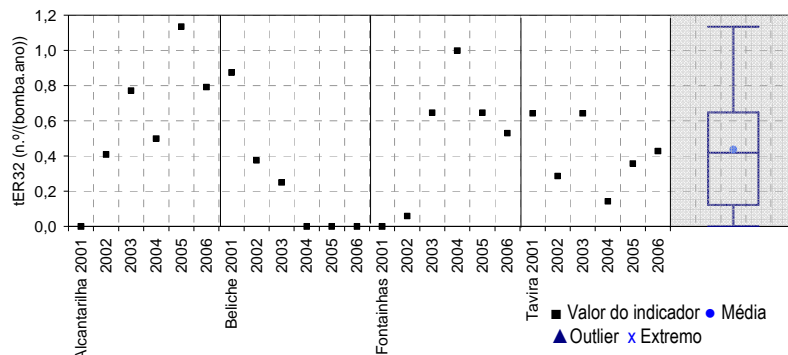


Figura 137 – Avarias em bombas nas ETA da AdA (indicador tER32)

8.3.3. Domínio de avaliação *Utilização de água, energia e materiais*

Até 2004, o desempenho em termos da eficiência de utilização de água na ETA foi superior nas ETA de Alcantarilha e Tavira, situando-se o indicador tRU01 na gama 96-104% e 95-98%, respectivamente (Figura 138). No entanto, a melhoria observada nas restantes ETA, permitiu que no último ano do período estudado se registassem valores sempre superiores a 95%, sendo Beliche a ETA que ainda tem o desempenho mais baixo. O facto de o indicador tRU02 ser mais elevado em Beliche sugere que o menor desempenho desta ETA em termos da conversão de água bruta em água tratada pode dever-se a consumo elevado de água no processo e não nos outros usos. Tal como já explicado para a ETA de Alcantarilha, os valores de tRU01 ligeiramente superiores a 100% que também se observam na ETA de Fontainhas, devem-se à menor fiabilidade dos dados obtidos com os caudalímetros de água bruta (que não são propriedade da AdA). A gama P25-P75 dos resultados do indicador tRU01 (sem considerar extremos e *outliers*) é 95-98%.

A percentagem de água recirculada no processo (indicador tRU02) apenas foi calculada, nas ETA do Sotavento Algarvio, para o ano de 2006, sendo mais baixa na ETA de Tavira (4%) do que na ETA de Beliche (8%). O facto de o indicador tBP02 (relativo à percentagem de matéria

seca das lamas desidratadas; Figura 140) ser maior na ETA de Tavira do que na ETA de Beliche (ou seja, a água recirculada de Tavira possui uma componente maior de água proveniente da desidratação de lamas), sugere que a maior recirculação de água na ETA de Beliche pode ter origem no maior consumo de água na lavagem de filtros.

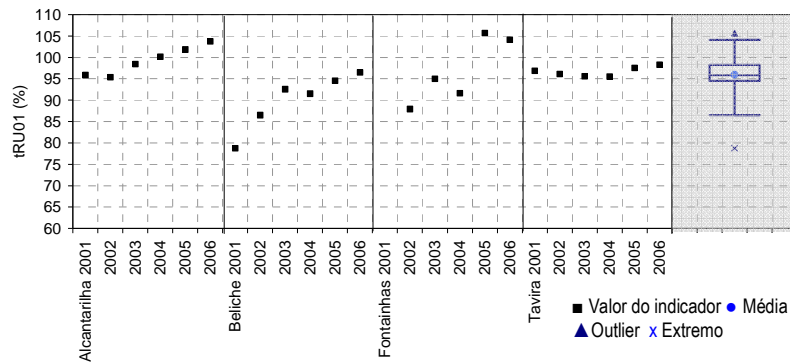


Figura 138 – Eficiência de utilização de água nas ETA da AdA (indicador tRU01)

8.3.4. Domínio de avaliação *Gestão de subprodutos*

A ETA de Tavira apresentou, em geral, a menor produção específica de lamas (tBP01, Figura 139) que foi também a mais constante durante o período estudado, variando entre 7,5 g/(m³.UNT) e 11,1 g/(m³.UNT). Os valores mais elevados registaram-se em 2004 na ETA de Fontainhas (28,6 g/(m³.UNT)), em 2004-2005 na ETA de Alcantarilha (17,7-20,0 g/(m³.UNT)) e em 2002 na ETA de Beliche (19,7 g/(m³.UNT)). Os valores relativos a todas as ETA (sem considerar um *outlier*) têm uma gama P25-P75 de 7,5-11,7 g/(m³.UNT).

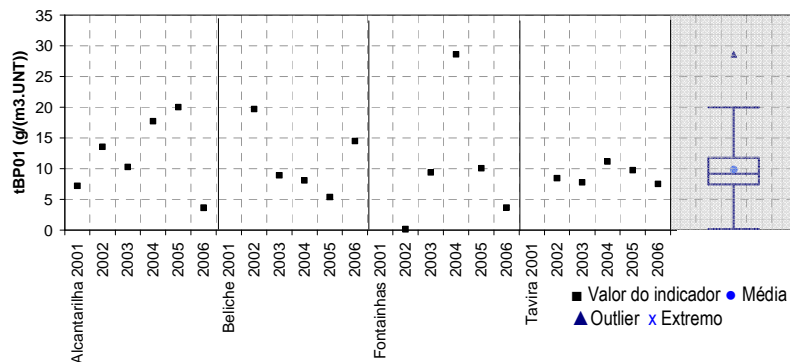


Figura 139 – Quantidade de lamas produzidas nas ETA da AdA (indicador tBP01)

O teor em matéria seca das lamas produzidas nas ETA de Alcantarilha, Tavira e Fontainhas foi

maior (24-38%) do que na ETA de Beliche (13-23%) (Figura 140). Estes resultados estão relacionados com a tecnologia usada para a desidratação de lamas: a ETA de Beliche utiliza centrifugação que, em regra, origina lamas com maior teor de humidade, enquanto que as restantes ETA possuem filtros-prensa que permitem uma desidratação mais eficaz (AWWA, 1999). O indicador *tBP02 – Qualidade de lamas* reflectiu, portanto, esta diferença no tipo de tratamento de lamas. O desempenho pode ser considerado bom uma vez que os teores em matéria seca conseguidos encontram-se dentro das gamas típicas da bibliografia: 10-35% para a centrifugação com adição de polielectrólito e 20-50% para filtros-prensa (AWWA, 1999). Os valores relativos a todas as ETA da AdA têm uma gama P25-P75 de 24-36%.

Tal como em Alcantarilha, em nenhuma das outras ETA da AdA ocorreu lançamento de águas residuais de processo não tratadas em meios hídricos ($tBP07 = 0$), tendo-se procedido sempre ao seu tratamento e recirculação no processo.

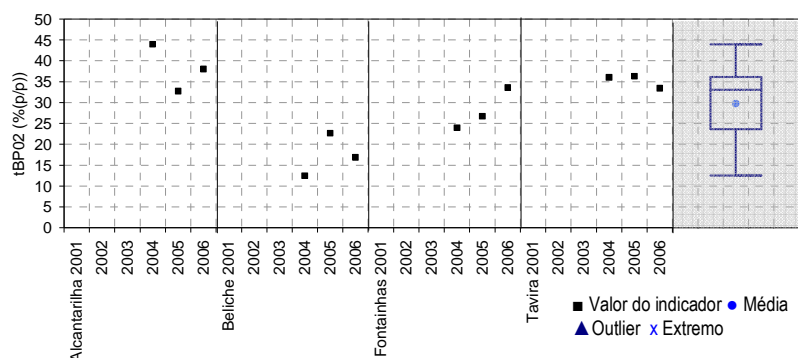


Figura 140 – Qualidade de lamas produzidas nas ETA da AdA (indicador tBP02)

8.3.5. Domínio de avaliação *Segurança*

Como desejável, os indicadores deste domínio são nulos ou situam-se próximo de zero para as quatro ETA da AdA (Quadro 78).

Em termos de segurança ambiental, apenas na ETA de Fontainhas, em 2005, há registo de ocorrência de um derrame de produto químico (soda cáustica), que, no entanto, foi de pequena dimensão ($tSa01 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos = 0,00051 \text{ kg/m}^3$).

Nas ETA de Fontaínhas e de Beliche o desempenho em termos de segurança do pessoal foi superior uma vez que não houve registos de acidentes de trabalho com empregados afectos ao funcionamento das ETA. Em 2006, foram identificadas duas situações de acidente de trabalho que requereram acompanhamento médico nas ETA de Alcantarilha e de Tavira. De qualquer modo, estas ocorrências conduziram a valores baixos do indicador *tSa02 – Acidentes de trabalho* (38,5 acidentes/(10³ empregado.ano) e 42,6 acidentes/(10³ empregado.ano), respectivamente).

Quadro 78 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos (indicador *tSa01*) e acidentes de trabalho (indicador *tSa02*) nas ETA da AdA (2004-2006)

Indicador	ETA de Alcantarilha			ETA de Fontaínhas			ETA de Tavira			ETA de Beliche
	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004-2006
<i>tSa01</i> [kg/m ³]	0	0	0	0	0,00051	0	0	0	0	0
<i>tSa02</i> [n.º/(10 ³ empregado.ano)]	0	nc	38,5	0	0	0	nc	nc	42,6	0

nc: não calculado

8.3.6. Domínio de avaliação *Recursos humanos*

O indicador *tPe01 - Pessoal afecto ao tratamento* mostra que a dimensão da equipa de pessoal da ETA de Tavira (1,54 empregados/10⁶m³ de água tratada) é inferior à da ETA de Alcantarilha (2,06 empregados/10⁶m³ de água tratada) (Quadro 79).

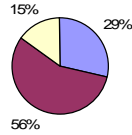
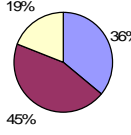
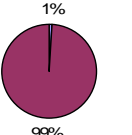
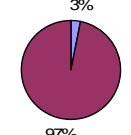
Os indicadores *tPe02 - Pessoal com formação superior* e *tPe03 - Pessoal com escolaridade mínima obrigatória* mostram que, apesar de a estrutura em termos de qualificação desses empregados ser semelhante nas ETA de Alcantarilha e Tavira, no primeiro caso a percentagem de pessoal com escolaridade mínima obrigatória é superior e a percentagem de pessoal com formação superior é inferior (Quadro 79).

O tipo de formação recebida (interna ou externa à empresa) é análogo nas duas ETA, como demonstrado pelos indicadores *tPe04 – Tempo de formação* e *tPe05 – Tempo de formação interna* (Quadro 79).

O absentismo, quer total (*tPe06*), quer devido a acidente de trabalho ou doença (*tPe07*) – 43 dias/(empregado.ano) e 2,7 dias/(empregado.ano), respectivamente –, foi superior na ETA de Tavira.

Na ETA de Tavira, a necessidade de realizar trabalho suplementar foi menor do que na ETA de Alcantarilha, sendo o indicador tPe08 1,6% e 4,0%, respectivamente.

Quadro 79 – Resultados dos indicadores do domínio *Recursos Humanos* para as ETA da AdA (2006)

Indicador	ETA de Alcantarilha	ETA de Tavira
tPe01 – Pessoal afecto ao tratamento	2,08 empregado/10 ⁶ m ³	1,54 empregado/10 ⁶ m ³
tPe02 – Pessoal com formação superior		
tPe03 – Pessoal com escolaridade mínima obrigatória		
tPe04 – Tempo total de formação		
tPe05 – Tempo de formação interna		
tPe06 – Absentismo	37 dia/(empregado.ano)	43 dia/(empregado.ano)
tPe07 – Absentismo por acidente de trabalho ou doença	2,5 dia/(empregado.ano)	2,7 dia/(empregado.ano)
tPe08 – Trabalho suplementar	4,0 %/ano	1,6 %/ano

8.4. Considerações finais

Neste capítulo apresentaram-se os resultados da aplicação a quatro casos de estudo da componente de avaliação de desempenho global de ETA proposta na presente dissertação (capítulo 4).

Os resultados evidenciam que o sistema de ID para ETA proposto traduz, de uma forma objectiva e quantitativa, o desempenho global de uma estação de tratamento convencional, nos domínios e aspectos relevantes do seu desempenho. O sistema é sensível a alterações à escala temporal neste desempenho, reflectindo os aspectos observados na realidade e permite também identificar as causas dessas alterações. Além disso, foi também demonstrado que a metodologia permite efectuar comparações entre o desempenho de ETA distintas (com diferentes dimensões, origens de água bruta e tecnologias/órgãos de tratamento), realçando as unidades com melhor e pior desempenho em cada um dos domínios de avaliação estudados.

Relativamente ao desempenho das ETA estudadas, os resultados obtidos mostram que, em geral, o desempenho da ETA de Alcantarilha aumentou durante o período estudado. O menor desempenho foi registado em 2005 quando, devido à seca extrema, a ETA processou água

subterrânea ou mistura de água superficial e subterrânea, o que, nalguns casos, se reflectiu negativamente na qualidade da água tratada à saída da ETA, em particular, no que se refere aos parâmetros bromato e manganês. Contudo, na generalidade, a ETA teve capacidade para ultrapassar estas dificuldades e, em especial devido à elevada preocupação da EG com o controlo apertado do processo de tratamento, foi capaz de cumprir os objectivos de qualidade definidos pela EG.

Em geral, nas quatro ETA, as áreas nas quais se observaram melhores desempenhos foram as relativas a i) qualidade da água tratada, ii) continuidade da operação, iii) grau de automação e monitorização do processo, iv) eficiência de utilização de água na ETA, v) produção e gestão de subprodutos, nomeadamente, em termos da qualidade das lamas (teor de matéria seca), da adequação do seu destino final e do lançamento de águas residuais de processo não tratadas em meios hídricos, vi) segurança ambiental (derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos) e do pessoal (acidentes de trabalho). Os menores desempenhos foram registados em aspectos relativos a: i) exploração da origem de água (sobretudo, em situações de contingência), ii) existência de reserva de capacidade da infra-estrutura, apenas em termos da reserva de água bruta e da capacidade de bombeamento (somente em algumas situações); iii) optimização do doseamento de reagentes; iv) calibração e inspecção de alguns tipos de equipamento. De referir que, em algumas áreas (*e.g.*, recursos humanos, quantidade de lamas produzidas), sem uma aplicação mais alargada do sistema de ID, não é possível neste momento classificar os resultados obtidos como correspondendo a bom ou a mau desempenho.

A análise conjunta do desempenho das quatro ETA permitiu identificar estatísticas associadas aos ID (Quadro 80) que reflectem a situação do universo dos casos de estudo e dão uma ideia das gamas de valores observados. Para cada indicador, foram determinados os percentis 25 e 75 relativos à totalidade dos valores registados, após eliminação de *outliers* e de valores extremos. Estas gamas poderão ser usadas, no futuro com vista à definição de valores de referência para

alguns indicadores do sistema proposto – aqueles que não têm já gamas de referência pré-estabelecidas (como é o caso de *tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises*, que, por razões óbvias, tem um valor de referência de 100%). Esta definição de gamas de referência com base em gamas P25-P75, exigiria uma análise cuidada dos valores usados no cálculo dos percentis, de modo a avaliar a necessidade de excluir alguns valores correspondentes a situações anómalas (*e.g.*, *tER04.1* em 2005 para Alcantarilha) e que não foram classificados, no tratamento estatístico, como *outliers* ou extremos. Além disso, para se conseguir uma maior robustez das gamas de referência, deveria ser feita a determinação adicional dos ID em outras ETA de características distintas das estudadas nesta tese, sendo todos os resultados tratados conjuntamente.

Quadro 80 – Gamas dos indicadores de desempenho observadas nos casos de estudo

Indicador	Gama observada		Indicador	Gama observada	
	P25	P75		P25	P75
<i>tWQ01</i>	99,2	99,8	<i>tER18</i>	0,71	0,86
<i>tWQ02</i>	99,7	99,9	<i>tER19</i>	0,14	0,41
<i>tWQ03</i>	64,3	143,1	<i>tER20</i>	100,0	100,0
<i>tWQ05</i>	0,19	0,47	<i>tER21</i>	0,29	1,03
<i>tWQ06</i>	1,13	1,56	<i>tER22</i>	0,53	1,17
<i>tWQ07</i>	47,0	51,0	<i>tER23</i>	0,00	54,8
<i>tER04</i>	29,5	49,1	<i>tER24</i>	0,00	0,89
<i>tER04.1</i>	52,5	75,7	<i>tER25</i>	0,07	0,73
<i>tER04.2</i>	7,37	29,5	<i>tER27</i>	0,00	0,72
<i>tER05</i>	0,09	0,23	<i>tER28</i>	0,00	0,87
<i>tER07</i>	48,1	67,7	<i>tER29</i>	0,00	0,91
<i>tER11</i>	24,0	24,0	<i>tER30</i>	0,04	18,1
<i>tER13</i>	0,86	1,14	<i>tER32</i>	0,12	0,65
<i>tER14</i>	75,0	75,0	<i>tRU01</i>	94,5	98,3
<i>tER15</i>	100,0	100,0	<i>tBP01</i>	7,5	11,7
<i>tER16</i>	100,0	100,0	<i>tBP02</i>	23,6	36,1
<i>tER17</i>	100,0	100,0			

A aplicação da componente de avaliação de desempenho global do PAS aos casos de estudo com sazonalidade relevante evidenciou a importância do cálculo dos indicadores relacionados com a existência de capacidade da infra-estrutura não só em termos médios anuais, mas também para os períodos de maior e menor produção da ETA, uma vez que o desempenho é nitidamente

diferente.

O grau de aplicação dos ID (Quadro 75) permitiu identificar as áreas onde a menor disponibilidade de dados condiciona a avaliação de desempenho global. Nas ETA estudadas, verificou-se que os dados de qualidade da água tratada são os mais abundantes, assim como os relativos aos recursos humanos. Tal facto deve-se à necessidade de cumprimento de requisitos legais (relativos à qualidade da água para consumo humano e relativos a aspectos laborais) nestes domínios. A informação de base é mais escassa no domínio do armazenamento, doseamento e consumo de reagentes, e da gestão de subprodutos que não as lamas (*e.g.*, meios de enchimento). As causas desta dificuldade prendem-se com o facto de não serem efectuados registos deste tipo de dados na rotina da operação da ETA, de forma sistemática e em suportes que permitam o seu fácil processamento para cálculo das variáveis dos ID.

A questão que se coloca relativamente aos dados económico-financeiros não é em termos da sua disponibilidade, mas da necessidade de adaptação do formato em que se encontram, uma vez que são já utilizados correntemente mas com outros objectivos de contabilidade e gestão económico-financeira.

Uma vez que o cálculo de ID exige valores anuais das variáveis, verifica-se, em todos os domínios, que, em geral, os dados não estão disponíveis numa forma directamente utilizável na avaliação de desempenho global, sendo necessário efectuar o seu processamento (em geral, agregação para o período de referência).

Por último, interessa referir que a aplicação de ID feita no âmbito deste trabalho foi a mais extensa possível porque se tratou de um teste do sistema de avaliação de desempenho. Na prática, cada utilizador da metodologia não terá que analisar todos os domínios de avaliação e aplicar todos os ID propostos, mas somente os que servem os seus objectivos específicos, previamente estabelecidos.

9. Aplicação do sistema de avaliação de desempenho operacional a casos de estudo

9.1. Avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada

9.1.1. Funções de desempenho, limites de quantificação e valores-limite usados

Na sequência do exposto na secção 5.2.2.1, foram definidas funções de desempenho para 78 parâmetros físico-químicos de qualidade da água (legislados e não legislados). As funções relativas aos parâmetros para os quais se apresentam resultados neste capítulo 9 constam da Figura 141 e as funções relativas aos restantes parâmetros constam do Anexo 4. No caso do cloro, pH e Índice de Saturação de Langelier, foram aplicadas as funções de desempenho apresentadas na secção 5.2.2.1 (Figura 53b, Figura 54 e Figura 55). Foram definidas funções de desempenho para 8 parâmetros microbiológicos (apresentadas na secção 5.2.2.2, Figura 56).

No âmbito deste estudo, um dos objectivos da aplicação da avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada foi a comparação do desempenho dos diferentes casos de estudo. Nestas situações de *benchmarking*, para que a comparação seja justa, é necessário usar os mesmos LQ e VL para a construção das funções de desempenho. Caso a metodologia fosse aplicada apenas a uma ETA, deveriam ser usados os LQ dos seus métodos analíticos e os VL correspondentes aos critérios para a água à saída da estação.

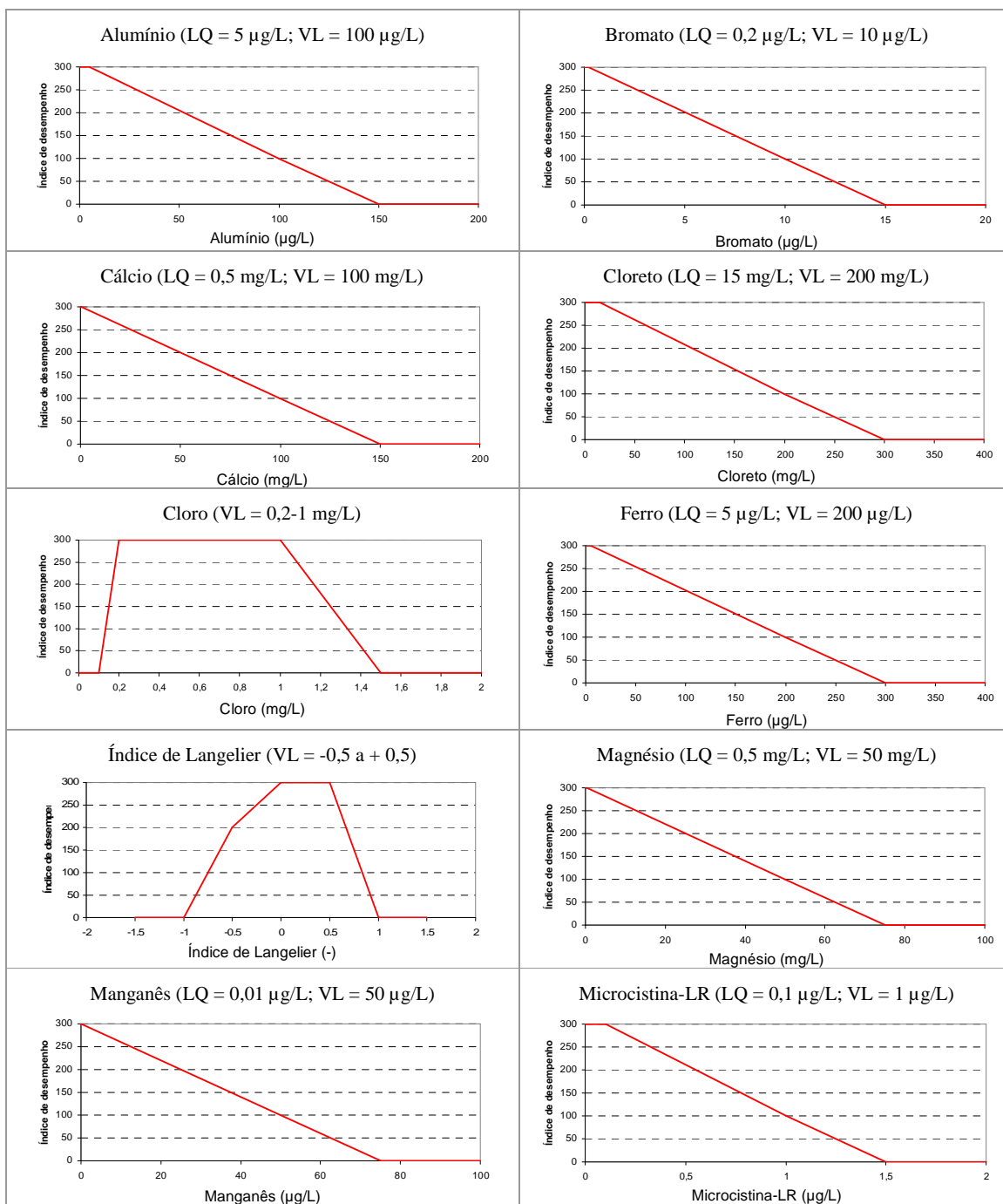


Figura 141 – Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas a parâmetros físico-químicos

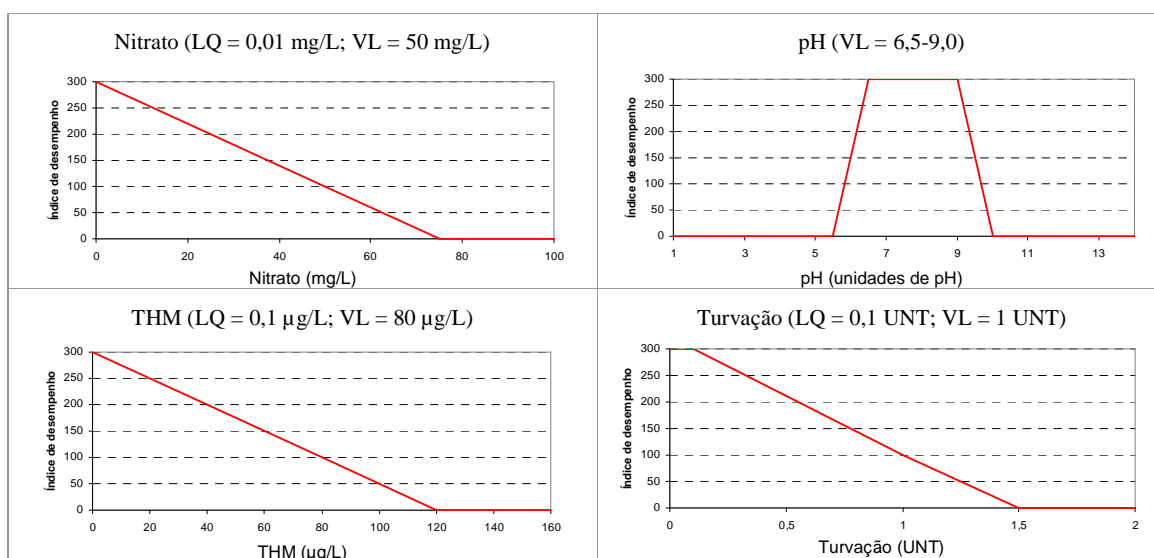


Figura 141 (cont.) – Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas a parâmetros físico-químicos

Na presente dissertação, os LQ usados na definição das funções de desempenho dos parâmetros físico-químicos são os referenciados em WHO (2006), no Decreto-Lei n.º 306/2007 ou obtidos numa consulta a alguns laboratórios nacionais acreditados para análise de água para consumo humano. Para cada parâmetro, foi escolhido sempre o valor mais baixo destas três fontes.

Para a definição da função de desempenho de cada parâmetro de qualidade da água foi considerado como VL o mais exigente dos seguintes valores:

- valor paramétrico do Decreto-Lei n.º 306/2007;
- valor recomendado no Decreto-Lei n.º 306/2007;
- limite de aceitação da Especificação de Requisitos de Produto ERP5001/2 de 2008;

e, nos casos em que existem requisitos diferentes para diferentes anos (bromato, chumbo e THM), foram adoptados os valores mais exigentes, *i.e.*, os que entram em vigor a partir de Dezembro de 2008.

Do Anexo 4 constam os valores de LQ e VL usados para cada parâmetro físico-químico estudado.

Foram considerados os mesmos valores de LQ e VL para todo o período analisado. Alguns VL

foram, portanto, aplicados retroactivamente.

9.1.2. Resultados e discussão

A aplicação aos casos de estudo da metodologia de avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada teve por objectivo o seu teste e validação, pretendendo-se, em particular, verificar: i) se a actual proposta traduz a variação do desempenho de uma ETA ao longo do tempo associada a eventuais alterações no tratamento tecnológicas, na água bruta ou nas condições de operação e ii) se possibilita a comparação entre o desempenho de ETA distintas. Assim, seguidamente, apresentam-se e discutem-se os resultados desta aplicação tendo em consideração estes dois objectivos. A discussão da evolução temporal do desempenho é mais completa apenas no caso da ETA de Alcantarilha uma vez que não se pretende fazer aqui uma apresentação exaustiva dos resultados de todas as ETA mas somente demonstrar o objectivo i). Os resultados das outras quatro ETA são discutidos apenas para efeitos de comparação entre ETA, ou seja, para verificação do objectivo ii).

A avaliação do desempenho em termos da qualidade da água tratada é, em primeiro lugar, feita parâmetro a parâmetro, sendo depois feita uma análise do desempenho em termos globais com base na agregação da informação fornecida pelos vários parâmetros.

No Anexo 6 apresentam-se os resultados relativos à variação temporal dos índices de desempenho em termos da qualidade da água tratada para todos os parâmetros de qualidade da água para os quais existiam dados dos casos de estudo. Estes índices foram obtidos pela aplicação das funções de desempenho atrás descritas a séries temporais das concentrações na água à saída da ETA (indicadas no Quadro 72 da secção 7.4) de cada um dos 78 parâmetros de qualidade da água estudados.

No caso dos parâmetros que possuíam um volume significativo de dados (*e.g.*, turvação, alumínio), além da representação dos índices de desempenho ao longo do tempo, a informação

foi adicionalmente processada de modo a facilitar a sua leitura e interpretação, tendo sido criados gráficos de distribuição temporal dos índices de desempenho e gráficos de distribuição dos índices de desempenho relativamente ao volume anual de água tratada na ETA.

9.1.2.1. Turvação

Relativamente ao parâmetro turvação, a Figura 142 mostra que o desempenho da ETA de Alcantarilha foi, em geral, bom (índices de desempenho na gama 200-300). Existem situações pontuais em que o índice apresentou valores inferiores a 100 (desempenho insatisfatório), o que correspondeu a incumprimento dos objectivos para a qualidade da água tratada (neste caso, 1 UNT, valor estabelecido na ERP5001/2 de 2008). A ETA de Alcantarilha entrou em funcionamento em 2000 e, no período 2001-2003, tratou sempre água superficial. Porém, no período 2004-2006, devido à escassez de água na origem superficial da ETA, tratou por vezes uma mistura de água superficial e subterrânea (Julho-Novembro 2004, Maio-Setembro 2005 e Novembro 2005-Dezembro 2006) ou só água subterrânea (Dezembro 2004-Abril 2005 e Outubro 2005). Observa-se que, neste segundo período 2004-2006, o desempenho da ETA foi afectado, pois a ocorrência de índices mais baixos foi ligeiramente maior do que nos anos anteriores 2002 e 2003.

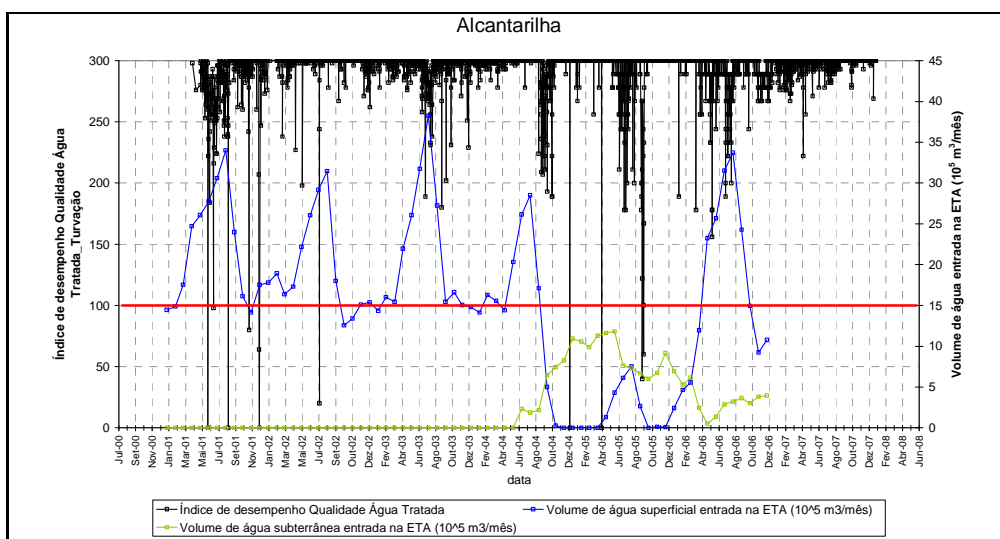


Figura 142 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação

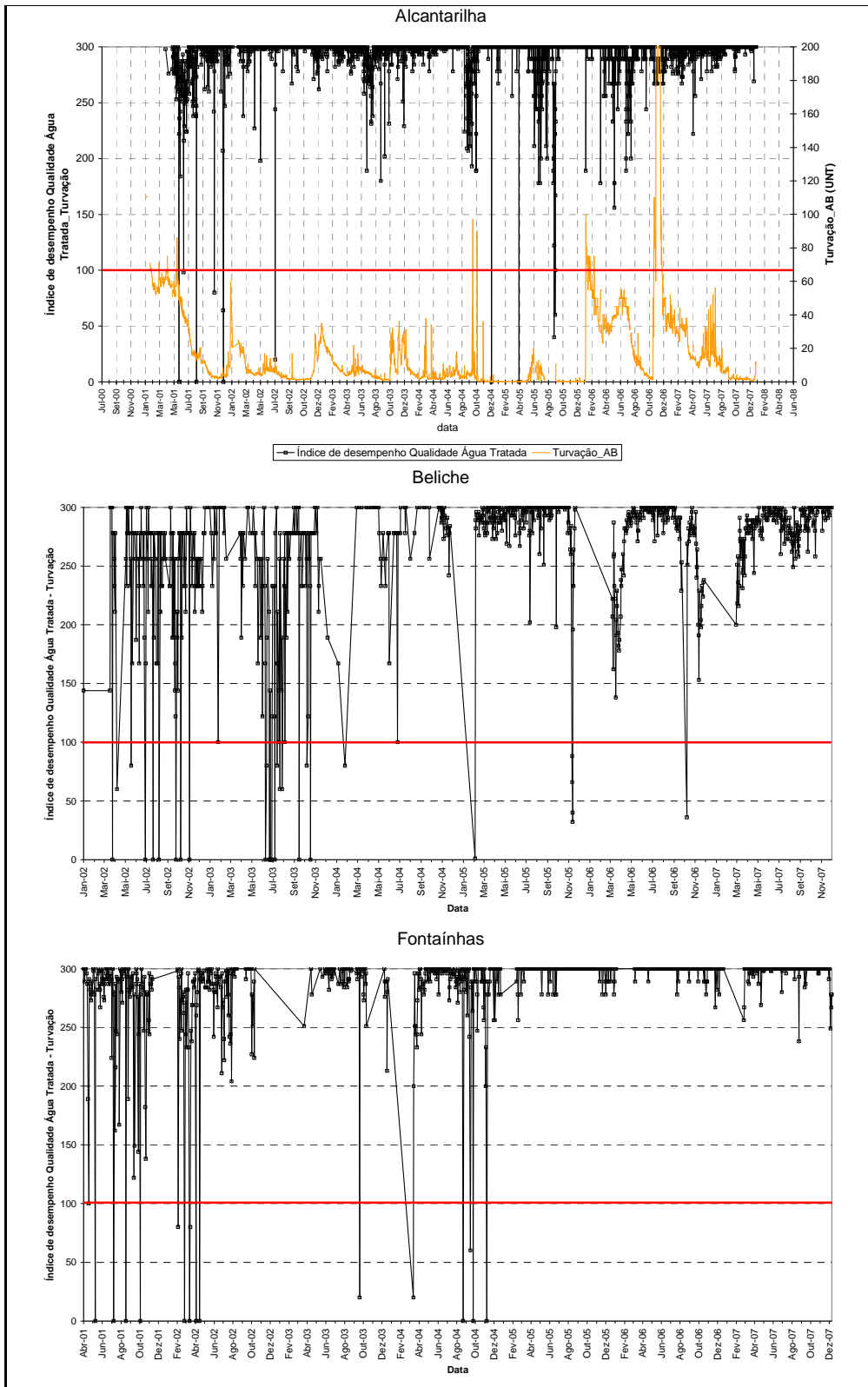


Figura 142 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação

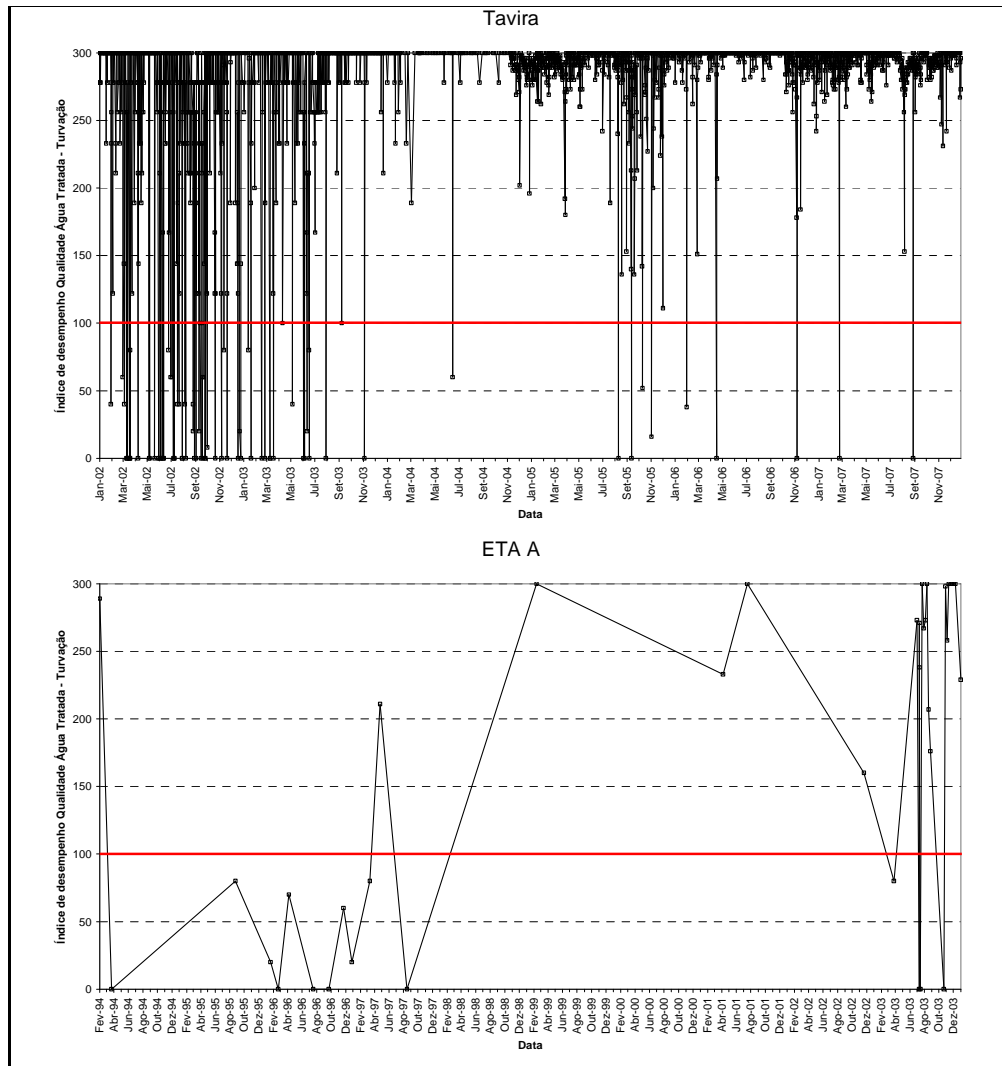


Figura 142 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação

A análise comparativa do índice de desempenho com o volume de água entrada na ETA de Alcantariilha (Figura 142) sugere que a estação teve um tempo de reacção para ajuste das condições óptimas de tratamento quando o volume de água processada sofreu variações significativas. Nestas situações, os índices baixaram, tornando a aumentar e mantendo-se mais estáveis nos períodos durante os quais o volume processado é mais constante (Inverno). Além da variação da quantidade da água bruta, há também que considerar a sua qualidade e uma vez que turvações mais altas originadas por fortes precipitações (geralmente, no Inverno) são mais fáceis de remover do que turvações muito baixas, seria de esperar que o menor desempenho estivesse

associado a valores menores de turvação. Porém, a análise comparativa do índice de desempenho com a turvação da água bruta (Figura 142) mostra que existem situações onde isso se verificou mas também existem casos onde turvações mais elevadas estiveram associadas a desempenhos inferiores (*e.g.*, Fevereiro-Julho 2006). Estes últimos corresponderam a períodos de variação acentuada quer do caudal quer de turvação afluente. Assim, as alterações da quantidade da água bruta, em especial quando associadas a alterações da sua qualidade, parecem influenciar tanto ou mais o desempenho da ETA do que as alterações da turvação da água afluente.

Na Figura 143 apresenta-se a percentagem de dias completos em que a água tratada saiu de cada ETA com índices de desempenho nas várias gamas. Na legenda, entre parêntesis, indica-se o total de dias do ano para o qual havia dados e que foi, portanto, analisado.

Verifica-se que, na ETA de Alcantarilha, em 85-100% dos dias de cada ano (dependendo do ano) o desempenho foi bom, com índices associados à turvação da água tratada superiores a 250. Em 1-26 dias (dependendo do ano) os índices situaram-se entre 200-250, sendo, portanto, o desempenho ainda bom. Apenas em 2004-2005 houve 2-5 dias com índices na gama 100-200 (desempenho aceitável), coincidente com a escassez de água na origem superficial. É também visível uma evolução positiva entre 2001 e 2007, ano em se registou um desempenho superior a 250 em todos os dias, com excepção de um dia no qual o índice assumiu um valor entre 200 e 250.

Especialmente em estações de tratamento como a de Alcantarilha que apresentam uma sazonalidade acentuada, interessa complementar a análise em termos de dias com a avaliação da percentagem do volume total de água tratada que saiu da estação com determinado índice de desempenho. A Figura 144 mostra que, em todos os anos, 100% do volume total tratado no ano teve associado um índice de desempenho superior a 250, ou seja, o desempenho foi sempre bom. De referir que esta análise foi feita com base em volumes mensais de água tratada (único dado disponível) e, conseqüentemente, com médias mensais de índices, o que explica a pequena

discrepância relativamente à análise anterior em termos de dias.

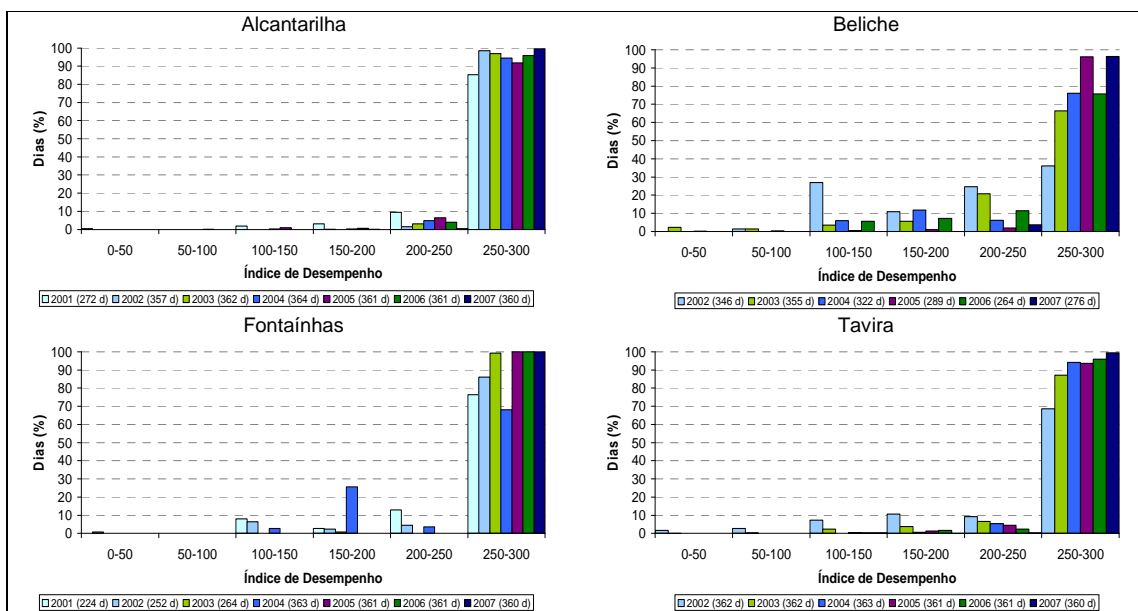


Figura 143 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação

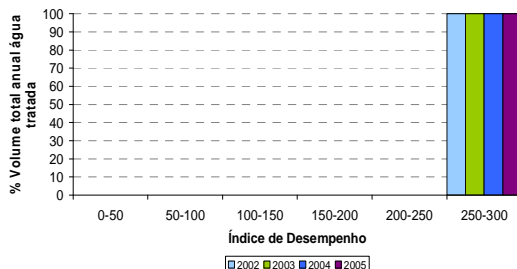


Figura 144 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - turvação - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantariilha

A observação conjunta dos gráficos da Figura 142 e da Figura 143 permite comparar o desempenho das várias ETA em estudo relativamente à qualidade da água tratada em termos da turvação.

Apesar de ligeiramente inferior à ETA de Alcantariilha, as outras três ETA da AdA apresentaram também um desempenho bom. Os índices de desempenho assumiram valores superiores a 200 em 78-100%, 72-100% e 61-100% dos dias (dependendo do ano) nas ETA de Tavira, Fontainhas e Beliche, respectivamente. Os valores mais baixos destas gamas corresponderam ao ano de 2002 e, no caso de Beliche e Fontainhas, adicionalmente aos anos de 2003 e 2004, respectivamente.

Em Beliche, a percentagem de dias com desempenho entre 200 e 250 e com desempenho aceitável (índice entre 100 e 200) foi superior ao das restantes ETA, o que traduz um menor desempenho desta ETA, em particular, em 2002 mas também nos anos 2003, 2004 e 2006. Também no que se refere aos valores de desempenho insatisfatório (índice entre 0 e 100), a ETA de Beliche é a que apresenta piores resultados, verificando-se, no entanto, que a percentagem de dias com este comportamento nunca ultrapassou os 3% durante o período analisado.

Em todas as ETA, com excepção dos anos de 2004 em Fontainhas e 2006 em Beliche, nos quais o desempenho sofreu uma ligeira queda, é claramente visível um aumento da percentagem de dias com índices mais elevados, o que traduz uma melhoria do desempenho no período estudado, em relação ao cumprimento do VL de 1 UNT para a turvação da água tratada.

A ETA A apresentou, em geral, um desempenho pior do que as outras quatro ETA, sobretudo no período 1994-1997 no qual 85% dos índices de desempenho registados foram inferiores a 100. Em 2003, a situação melhorou, verificando-se que aquela percentagem baixou para 20% e que aumentaram as situações de bom desempenho (75% dos valores foram superiores a 200).

9.1.2.2. Alumínio

O alumínio não existe naturalmente na água bruta em concentrações significativas, sendo adicionado no tratamento na forma de coagulante pré-polimerizado nos quatro casos de estudo da AdA. Na ETA de Alcantarilha, o desempenho em termos do seu residual na água tratada (não removido na sequência C/F/D/Filtração) foi, em geral, bom tal como demonstrado por índices maioritariamente na gama 200-300 (Figura 145 e Figura 146). O desempenho baixou nos períodos de 2004, 2005 e 2006 em que a estação tratou também água subterrânea. Neste períodos, verificou-se uma diminuição do índice de desempenho (ou seja, o aumento do residual de alumínio na água tratada) com o aumento da percentagem de água subterrânea na água bruta, o que indica que as condições do processo de tratamento não foram atempadamente adaptadas às alterações de qualidade e de caudal da água bruta, tendo havido provavelmente sobredosagem de

coagulante durante algum tempo. O menor desempenho nestes períodos é traduzido pela maior ocorrência de valores inferiores do índice (entre 100 e 200), mas que correspondem ainda a um desempenho aceitável. Contudo, em 2005 e 2006, parece ter havido um melhor controlo do processo de tratamento, uma vez que, apesar de estar também a ser tratada só água subterrânea ou uma mistura de água superficial/subterrânea, observaram-se menos índices abaixo de 200 do que em 2004. Existiram apenas algumas situações de incumprimento do objectivo de $100 \mu\text{g/L}^{12}$ (índice < 100) nos anos de 2002, 2003, 2006 e, sobretudo, em 2004.

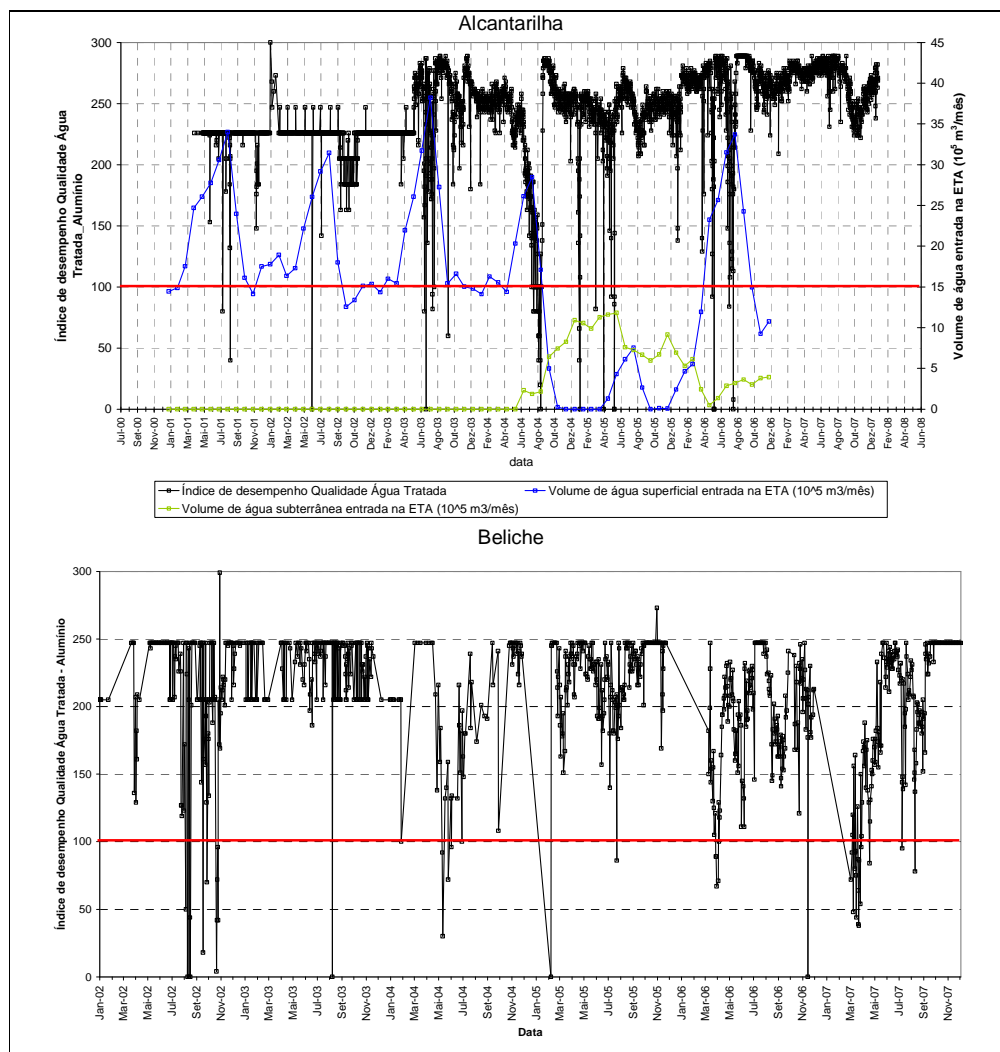


Figura 145 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - alumínio

¹² Como já referido, no período estudado, o requisito legal relativo ao alumínio era $200 \mu\text{g/L}$ e, portanto, neste capítulo a aplicação do valor $100 \mu\text{g/L}$ está a ser feita retroactivamente.

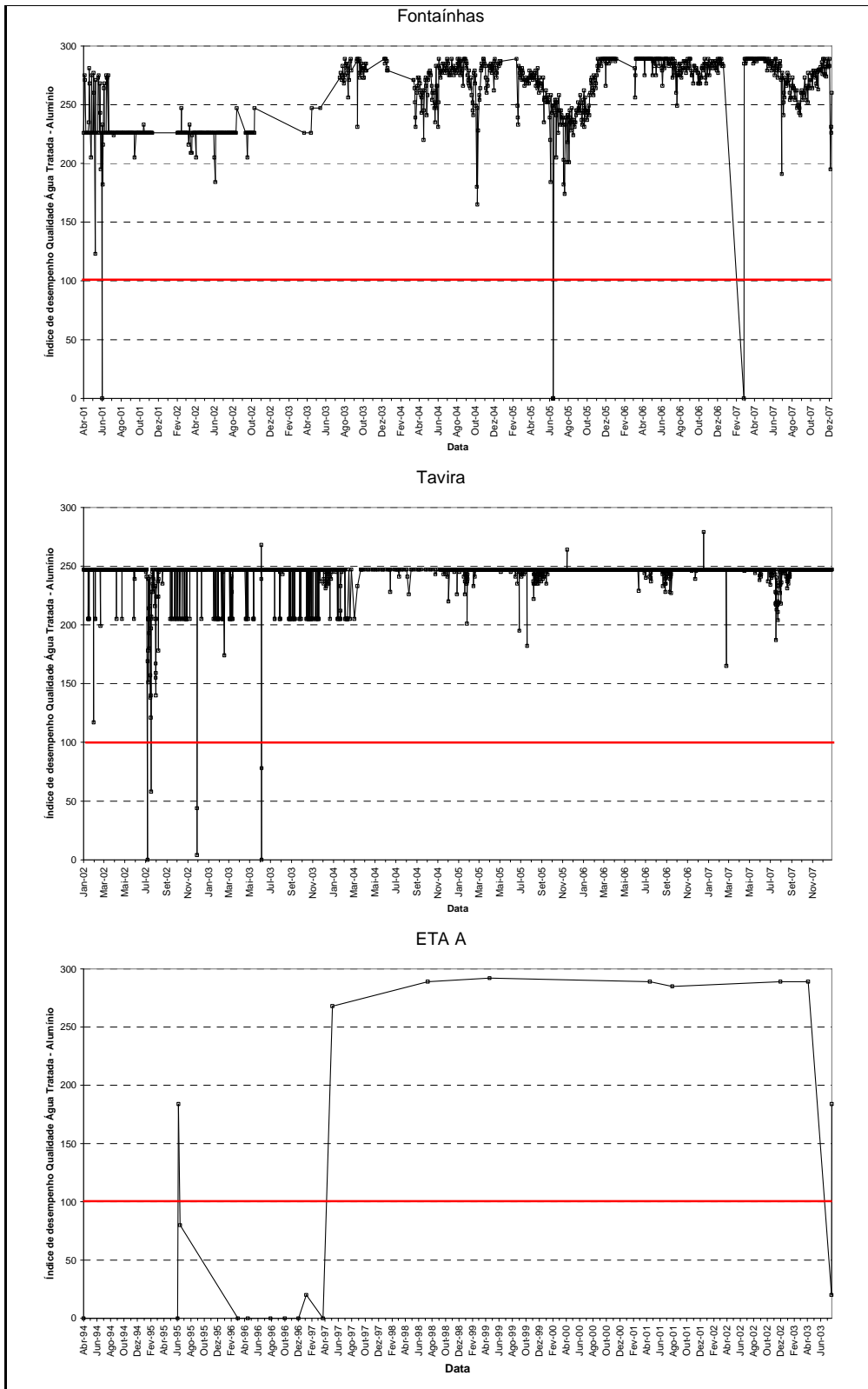


Figura 145 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - alumínio

Tal como já observado no caso da turvação, a resposta da ETA de Alcantarilha a alterações na quantidade de água bruta não foi suficientemente rápida, pelo que o desempenho diminuiu quando ocorreram variações significativas da quantidade de água a tratar, sugerindo novamente uma insuficiente optimização das condições de operação.

A Figura 146 mostra que, em 83-100% de dias completos de cada ano (dependendo do ano), a água tratada em Alcantarilha teve associado um índice de desempenho relativo ao parâmetro alumínio superior a 200, registando-se o valor mais baixo (83%) em 2004 e o valor mais elevado (100%) em 2007. Com excepção de 2007, observaram-se em todos os anos situações de desempenho aceitável, registando-se 4-14% de dias (dependendo do ano) com índices na gama 100-200. O ano de 2004 foi o que apresentou maior percentagem de tempo com desempenho inaceitável (3% dos dias). Este ano foi, portanto, o pior em termos de desempenho relativo ao parâmetro alumínio.

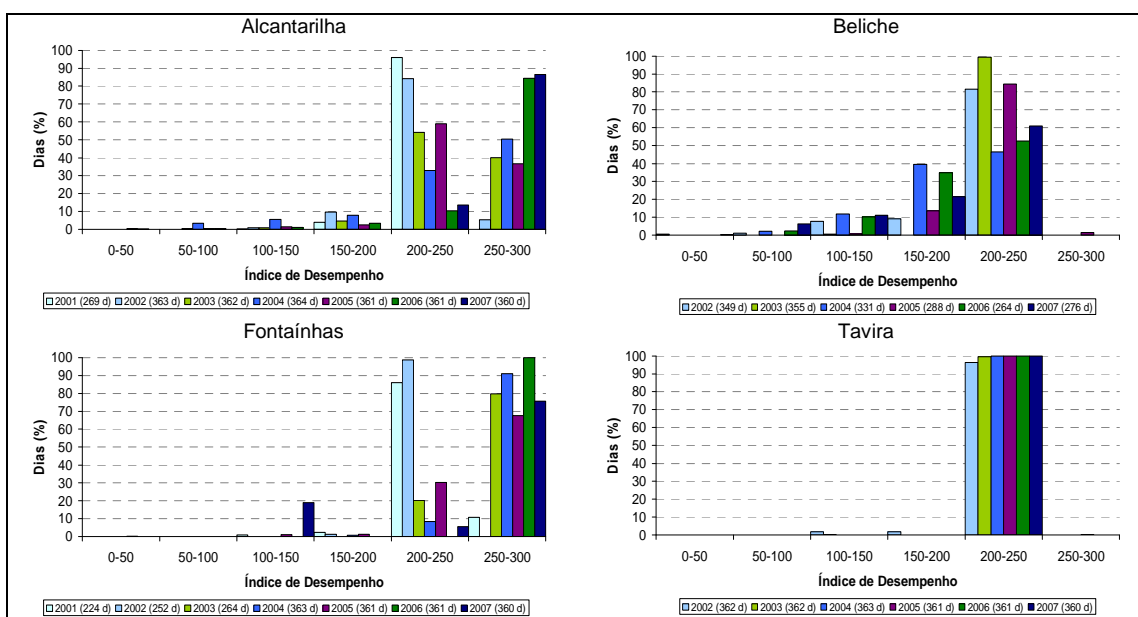


Figura 146 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - alumínio

A Figura 147 mostra que, em 2003 e 2005, 100% do volume tratado teve um índice correspondente a bom desempenho. Em 2002 apenas ca. 5% da água saiu da ETA com um índice correspondente a um desempenho aceitável e o ano de 2004, surge novamente, nesta

análise, como o pior do período estudado, uma vez que essa percentagem aumentou para 30%.

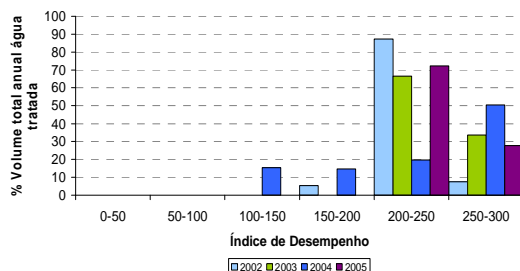


Figura 147 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - alumínio - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

Comparando as quatro ETA da AdA (Figura 145 e Figura 146), todas apresentaram, em geral, um desempenho bom. No entanto, a ETA de Tavira teve um desempenho ligeiramente melhor pois a percentagem de dias com índices de desempenho entre 200 e 300 é superior ao das outras ETA (Tavira: 96-100%; Alcantarilha: 89-100%; Fontaínhas: 81-100%; Beliche: 47-99%, dependendo do ano; Figura 146). Também na Figura 145 é clara a maior facilidade de controlo deste parâmetro por esta ETA, seguindo-se Fontaínhas.

Beliche teve um desempenho inferior, verificando-se que a percentagem de dias com desempenho bom (gama 200-300) é inferior ao das outras ETA (Figura 146). Também no que se refere aos valores de desempenho insatisfatório (índice entre 0 e 100) Beliche foi a ETA com piores resultados, verificando-se, no entanto, que a percentagem de dias com este comportamento nunca ultrapassou 6% (Figura 146). Beliche foi também a ETA com maior percentagem de dias na classe de desempenho aceitável (índice entre 100 e 200), cujo valor máximo (52%) foi registado em 2004 (Figura 146).

Ao contrário do parâmetro turvação, não é notória, em nenhuma ETA, uma melhoria contínua do desempenho ao longo de todo o período estudado. No entanto, observam-se também maiores dificuldades nos anos de arranque, sendo os anos seguintes mais favoráveis (comportamento mais evidente em Tavira) (Figura 145).

No caso da ETA A, o desempenho registou um aumento no período posterior a 1997 (mais de

88% dos valores de índice de desempenho registados foram superiores a 200), ano em que o sulfato de alumínio foi substituído por um coagulante pré-polimerizado de alumínio o que, aparentemente, permitiu um melhor controlo da coagulação e floculação.

9.1.2.3. Manganês e ferro

Relativamente ao ferro, o desempenho da ETA de Alcantarilha foi sempre muito bom, situando-se os índices de desempenho sempre na gama 250-300 (Figura 148). Tal deve-se ao facto de a concentração na água bruta (< 50 µg/L) ser já muito inferior ao VL (200 µg/L). O comportamento do manganês foi distinto, observando-se a ocorrência de índices de desempenho inferiores (Figura 149).

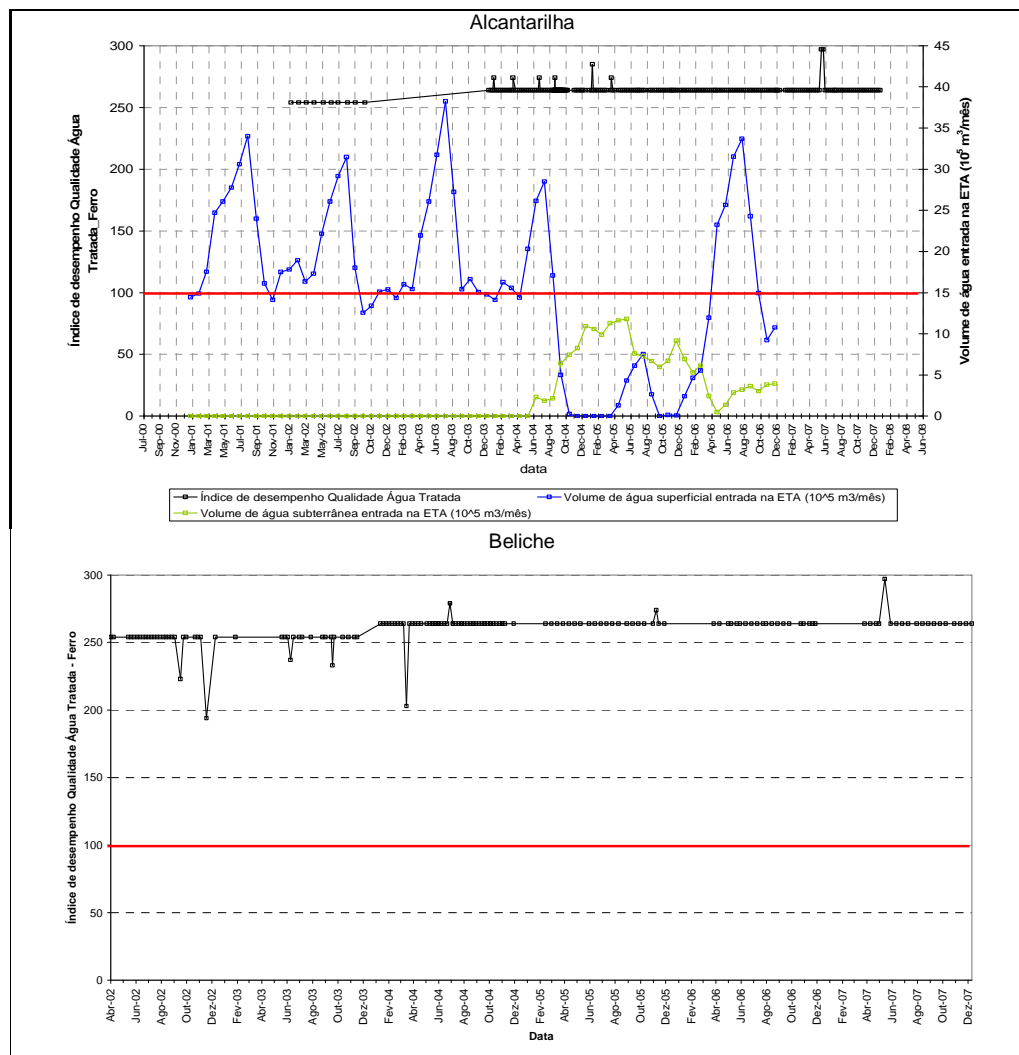


Figura 148 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - ferro

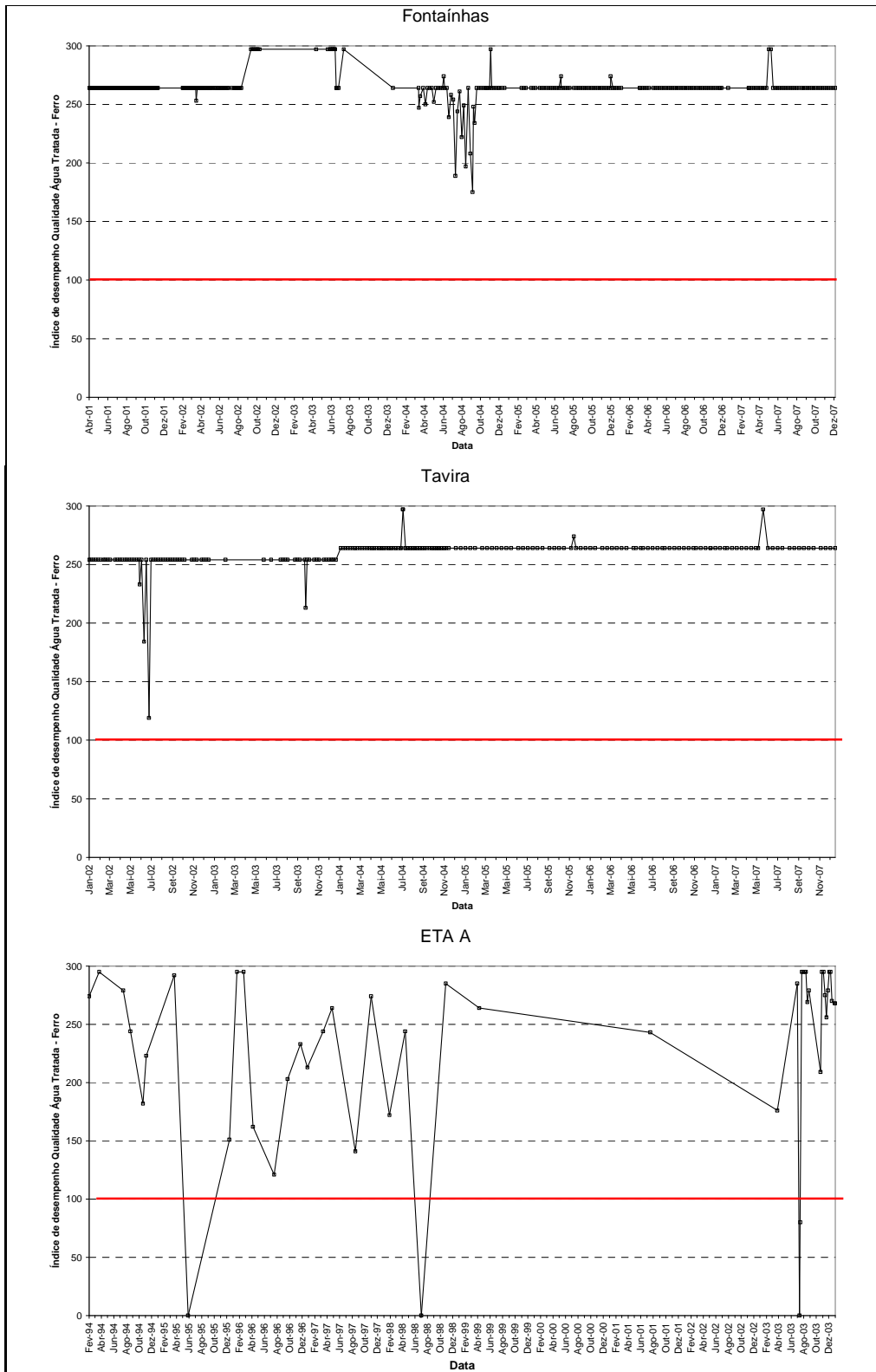


Figura 148 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - ferro

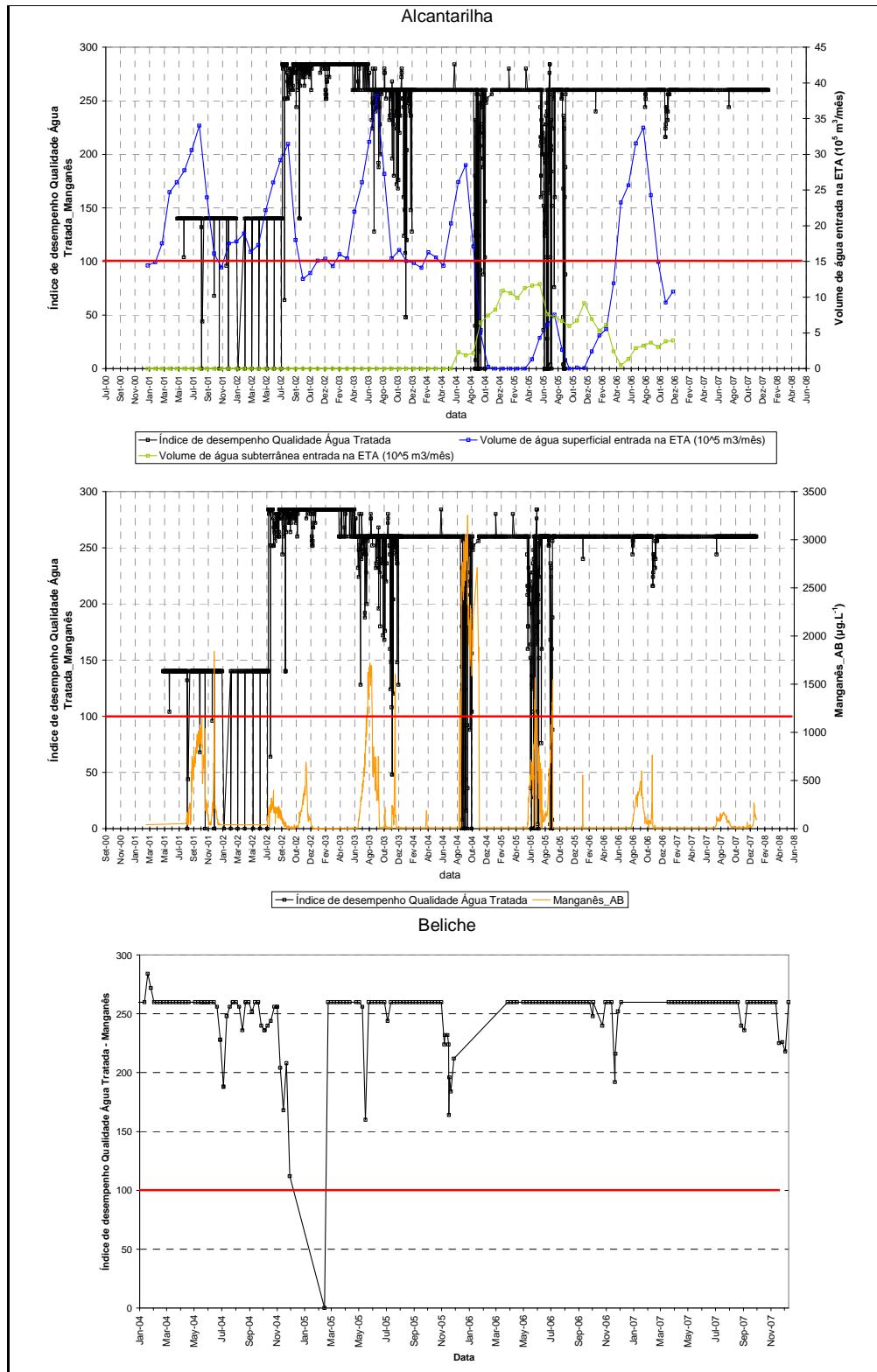


Figura 149 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - manganês

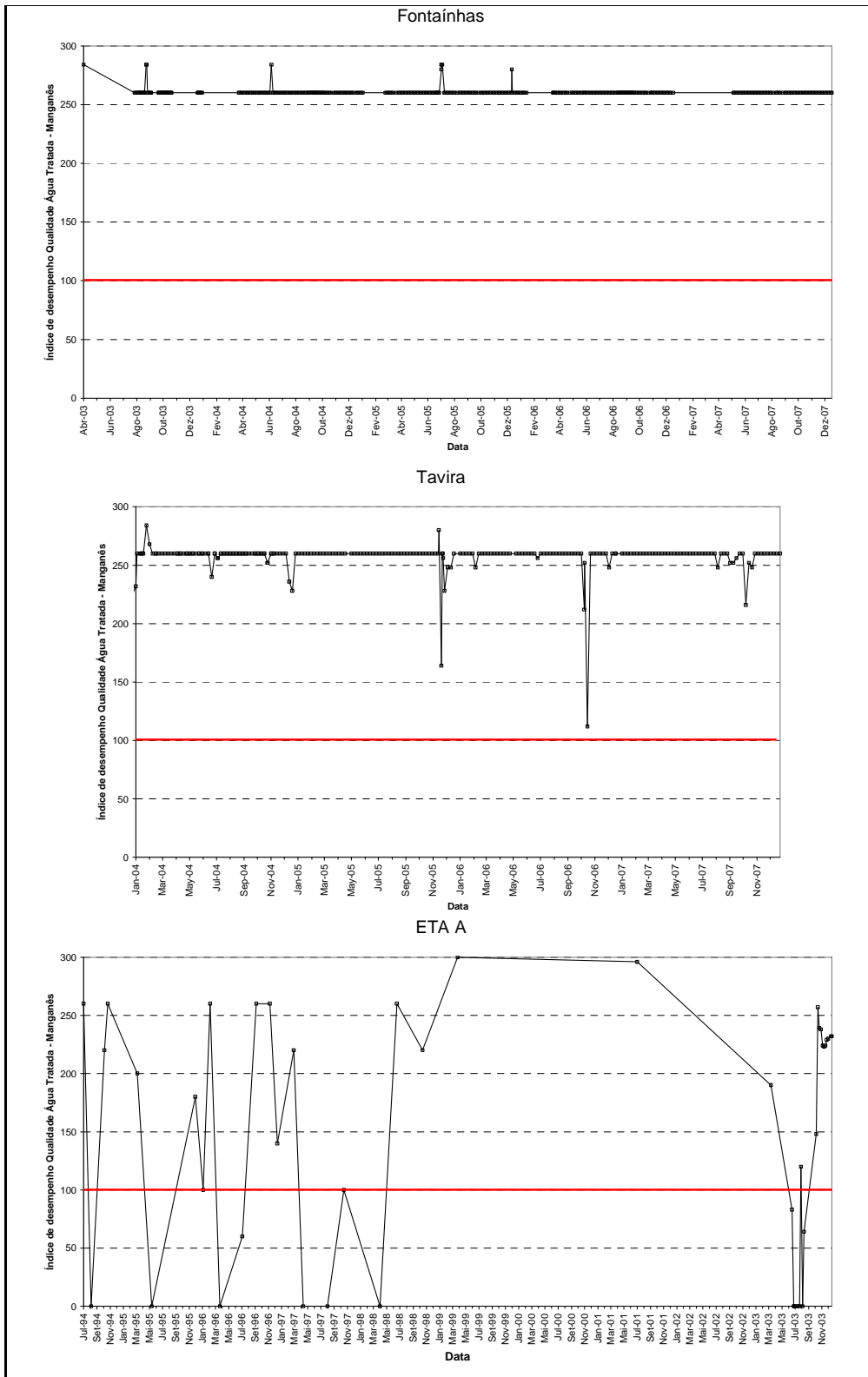


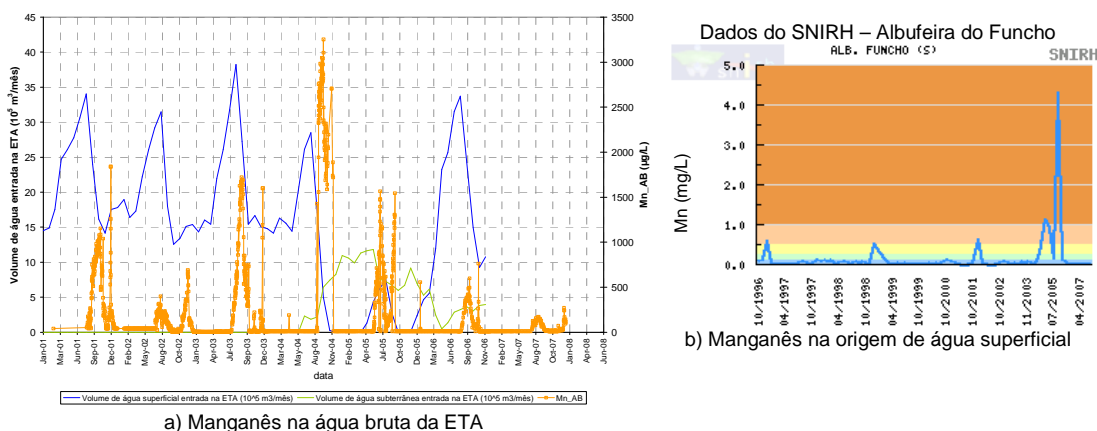
Figura 149 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - manganês

Em termos do controlo do manganês, são evidentes duas situações distintas (Figura 149) – antes e após Julho de 2002. Até aquela data, o desempenho foi, em geral, aceitável (índices entre 100-200), registando-se, por vezes, algumas inconformidades com o VL (índices inferiores a 100). Após Julho de 2002, a instalação na ETA do permanganato de potássio como pré-oxidante (que, por ser um oxidante mais fraco do que o ozono, permite uma oxidação mais controlada do manganês do estado de oxidação +2 ao estado de oxidação intermédio +4, que é precipitável, e não à forma solúvel com estado de oxidação +7) melhorou significativamente o controlo do manganês passando o desempenho a ser, em geral, bom (índices entre 200-300).

Após 2002, a Figura 149 mostra que os períodos de menor desempenho coincidiram com concentrações mais elevadas de manganês na água bruta e que, em geral, ocorreram entre Junho e Dezembro¹³ (Campinas e Rosa, 2000). Registaram-se alguns períodos de maior dificuldade de controlo do manganês como Agosto-Dezembro de 2003, Agosto-Outubro 2004 e Maio-Setembro 2005. No primeiro caso, além da já referida influência da concentração de manganês na água bruta, observou-se uma diminuição progressiva do índice de desempenho com a variação do caudal à entrada da ETA, o que sugere novamente, uma adaptação insuficiente das condições de tratamento. Os outros dois casos correspondem aos anos de seca e ao tratamento conjunto de água subterrânea e superficial. A Figura 150a mostra que a maior contribuição para o manganês na água a tratar (mistura de água superficial e subterrânea) teve origem na água superficial captada na albufeira em período de seca, uma vez que quando foi tratada apenas água subterrânea o teor em manganês na água bruta não foi elevado; na Figura 150b os dados de monitorização do INAG na albufeira do Funcho mostram também o pico de manganês em 2005

¹³ Em Junho-Setembro, devido à estratificação da albufeira do Funcho, existe manganês em profundidade resultante da redução e solubilização, em condições anóxicas, do manganês presente nos sedimentos. Neste período, a menor quantidade de água armazenada na albufeira obriga à captação em zonas de maior concentração de manganês, pelo que a sua concentração é mais elevada na água bruta afluente à ETA. No Outono-Inverno, devido à mistura de águas na albufeira, existem concentrações de manganês elevadas quer em profundidade quer à superfície, pelo que a sua concentração na água bruta é também elevada. Neste período, pode ainda haver *input* de manganês dos inertes arrastados por precipitações fortes.

na origem de água superficial. No entanto, a causa directa do menor desempenho não deixa de ser o tempo de adaptação da ETA à mudança, *i.e.*, o tempo de optimização das condições de funcionamento na sequência das alterações das características (quantidade e/ou qualidade) da água bruta. De notar que, em 2006 e 2007, já praticamente não se observou este comportamento, o que se deve à não ocorrência de concentrações tão elevadas na água bruta e, eventualmente, também a uma melhoria na operação da ETA.



a) Manganês na água bruta da ETA
 Figura 150 – Proveniência do manganês na água bruta da ETA de Alcantarilha no período de seca 2004-2005

A Figura 151 mostra também o que já foi atrás referido, distinguindo o período 2001-2002 como o de pior desempenho: em 2001, a água tratada por Alcantarilha apresentou índices entre 100 e 200 em 94% dos dias e índices inferiores a 100 em 6% dos dias; em 2002, observa-se uma melhoria apesar de estas percentagens serem ainda de 40% e 11%, respectivamente. A partir de 2003, o desempenho foi bom em 89-100% dos dias (dependendo do ano), ocorrendo as situações de desempenho inaceitável em menos de 1% do tempo.

Em termos de volume de água tratada (Figura 152), em 2002, a percentagem do volume anual tratado com desempenho bom associado foi de 50%, com desempenho aceitável de 43% e com desempenho insatisfatório de 7,4%. Após 2002, a percentagem de volume de água com índices superiores a 200 foi sempre 70-100% (dependendo do ano). Estes resultados evidenciam novamente a melhoria do desempenho devida à introdução do permanganato de potássio em 2002.

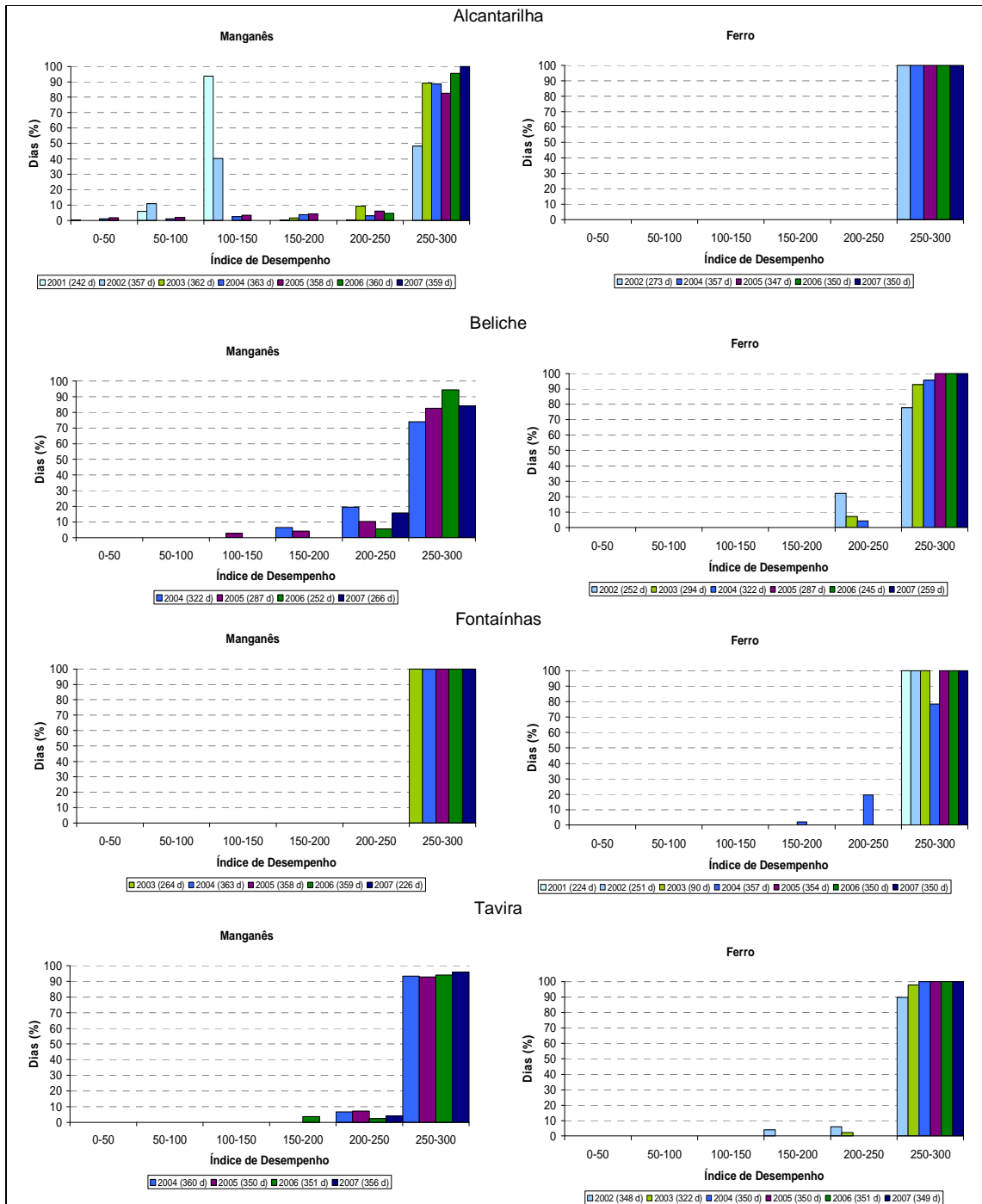


Figura 151 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - manganês e ferro

No caso do ferro, no período analisado, o desempenho de Alcantariilha foi bom no total de dias (Figura 151) e para o total de volume tratado (Figura 152).

Fontainhas – a única ETA que usa um pré-oxidante diferente – é a ETA que apresentou melhor desempenho em termos do manganês na água tratada, com *ca.* 100% dos dias com índices

superiores a 200 (Figura 151). Este melhor desempenho pode estar também associado ao facto de a concentração na água bruta ser menor do que nas outras ETA (dados não disponíveis), mas estes resultados expressam que o dióxido de cloro é, conforme esperado, mais eficaz no controlo do manganês do que o ozono, por não ser um oxidante tão forte (ao contrário do ozono, o dióxido de cloro não é capaz de oxidar o manganês ao estado de oxidação +7 e, portanto, não se correm riscos de sobredosagem do oxidante).

Tal como Alcantarilha e Fontainhas, as ETA de Tavira e Beliche tiveram, em quase 100% do tempo, bom desempenho em termos do parâmetro ferro.

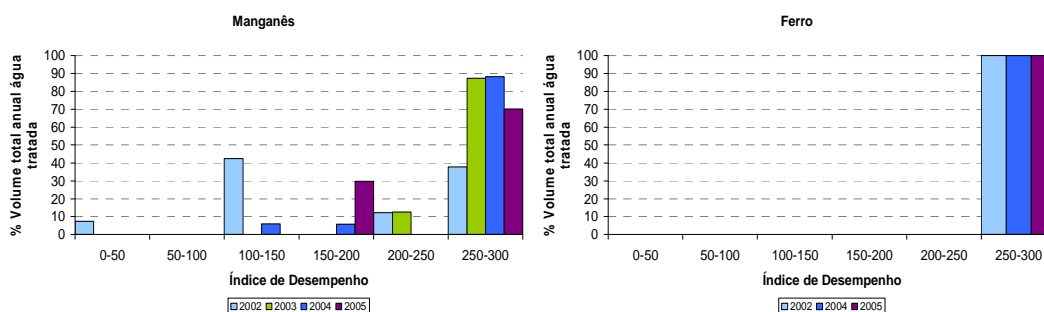


Figura 152 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - manganês e ferro - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

No caso do manganês, Tavira e Beliche apresentam também, em geral, um desempenho bom entre 2004 e 2007, com índices na gama 200-300 em 93-100% do tempo (dependendo do ano) em Beliche e 96-100% do tempo (dependendo do ano) em Tavira. Embora ambas as ETA estejam na gama do bom desempenho, os resultados mostram que Tavira teve um comportamento ligeiramente melhor pois a percentagem de dias com índice superior a 250 (93-96%, dependendo do ano) foi maior do que em Beliche (74-94%, dependendo do ano).

A ETA A apresenta claramente mais problemas no controlo quer de ferro, quer de manganês durante todo o período analisado, estando os índices de desempenho nas duas gamas 100-200 e 200-300 e observando-se ainda 4 e 16 valores inferiores a 100 para o ferro e manganês, respectivamente (Figura 148 e Figura 149), e que ocorreram em períodos nos quais houve aumento das concentrações na água bruta. Nesta estação foi diagnosticada uma adição de pré-

oxidante em quantidade inferior ao estequiometricamente necessário para oxidar a totalidade de ferro e manganês presentes na água bruta. Foi esta, portanto, a razão do seu pior desempenho.

9.1.2.4. Cloro residual e trihalometanos (THM)

Na ETA de Alcantarilha, o desempenho em termos do cloro residual foi, em geral, bom mas com uma ocorrência significativa de desempenhos aceitáveis e de um reduzido número de desempenhos insatisfatórios que se observaram sobretudo em 2005 (Junho-Novembro) e 2004 (Setembro-Novembro) (Figura 153). Do modo como foi definida a função de desempenho (secção 9.1.1), os valores baixos do desempenho podem dever-se quer a um excesso de cloro quer a uma concentração insuficiente. Neste caso, todas as situações foram devidas a excesso de cloro, com excepção do dia 28/11/2008, no qual parece ter ocorrido uma falha na desinfecção final pois a água tratada apenas tinha 0,15 mg/L de cloro. O excesso de cloro nos períodos referidos (tratamento de mistura de água superficial e subterrânea) pode ter sido devido a desajuste do tratamento à qualidade da água bruta (aumento da dose aplicada de desinfectante ou diminuição da carência da água) ou a uma solicitação extraordinária relacionada com o período de seca (em que a água entregue em alta pela AdA era depois misturada, pelos municípios, com água de captações subterrâneas).

Para que, pela simples observação do índice, se possa concluir se o menor desempenho é devido a uma concentração de cloro em excesso ou insuficiente seria necessário dividir a função de desempenho aqui proposta em duas, uma penalizando concentrações elevadas e outra penalizando concentrações baixas.

Na ETA de Alcantarilha, apesar de, como já referido, existirem por vezes concentrações elevadas de cloro, não se observou a formação excessiva de THM, sendo o desempenho bom (Figura 154). A única excepção é o período Julho-Setembro de 2004, no qual se observou, por vezes, uma queda do índice para valores aceitáveis ou insatisfatórios. A comparação com outros períodos com concentrações de cloro igualmente elevadas mas que não chegaram a originar

teores elevados de THM sugere que, neste período de 2004, o controlo de NOM precursora de THM não foi suficiente para limitar a formação de subprodutos da oxidação final. Este comportamento esteve associado ao facto de a ETA processar água subterrânea, o que provocou um abaixamento do SUVA da água bruta de 1,22-4,44 L/(m.mgC) (água superficial) para 0,74-1,46 L/(m.mgC) (mistura de água superficial e subterrânea) e 0,08-0,62 L/(m.mgC) (água subterrânea), que, por sua vez, correspondeu a uma alteração da natureza da matéria orgânica da água bruta. Também se verificou, neste período, um aumento da alcalinidade da água bruta (desde valores inferiores a 100 mgCaCO₃/L, em períodos de tratamento só de água superficial, até valores que atingiram 300 mgCaCO₃/L, em períodos de tratamento só de água subterrânea). Estes dois factores podem ter diminuído a eficiência de remoção de NOM¹⁴. Após Setembro de 2004 (até Março 2005), apesar de se continuar a tratar água subterrânea e o SUVA continuar a ser baixo e a alcalinidade elevada (e, portanto, a remoção de matéria orgânica continuar a ser baixa), o SUVA foi mais favorável em termos de minimização do potencial de formação de THM¹⁵, sendo os teores de THM suficientemente baixos de modo a permitir um bom desempenho. O mesmo sucedeu em Outubro-Novembro 2005. Assim, apenas em Julho-Setembro 2004, a mistura com água subterrânea parece ter sido desvantajosa em termos do controlo de THM. Fora deste período, a dosagem de cloro não produziu teores elevados de THM.

De referir que esta análise do cloro e THM baseou-se no VL estipulado na ERP5001/2 de 2008 para o ponto de entrega e aqui avalia-se o seu cumprimento à saída da ETA. No caso do cloro, este facto pode ser em parte a justificação para a tendência observada de residuais excessivos de desinfectante. No caso dos THM o desempenho pode ter sido sobrestimado. No entanto, há que

¹⁴ De acordo com Edzwald e Benschoten (1990), para valores de SUVA de 4-5 L/(m.mgC), o COD da água é composto maioritariamente por substâncias húmicas, é relativamente hidrófobo, aromático, de peso molecular elevado e é mais facilmente removido do que a matéria orgânica mais hidrófila; para valores de SUVA inferiores a 3 L/(m.mgC), o COD da água é composto maioritariamente por material não-húmico, relativamente hidrófilo, menos aromático, de menor peso molecular e mais difícil de remover.

De acordo com EPA (1999), o aumento de alcalinidade diminui significativamente a remoção de NOM.

¹⁵ De acordo com EPA (2001), o potencial de formação de THM aumenta com o SUVA. Em águas com SUVA abaixo do valor-guia 2 L/(m.mgC), o potencial de formação de THM é baixo.

ter em consideração que existem pontos de entrega muito próximos da ETA (a própria ETA é um ponto de consumo).

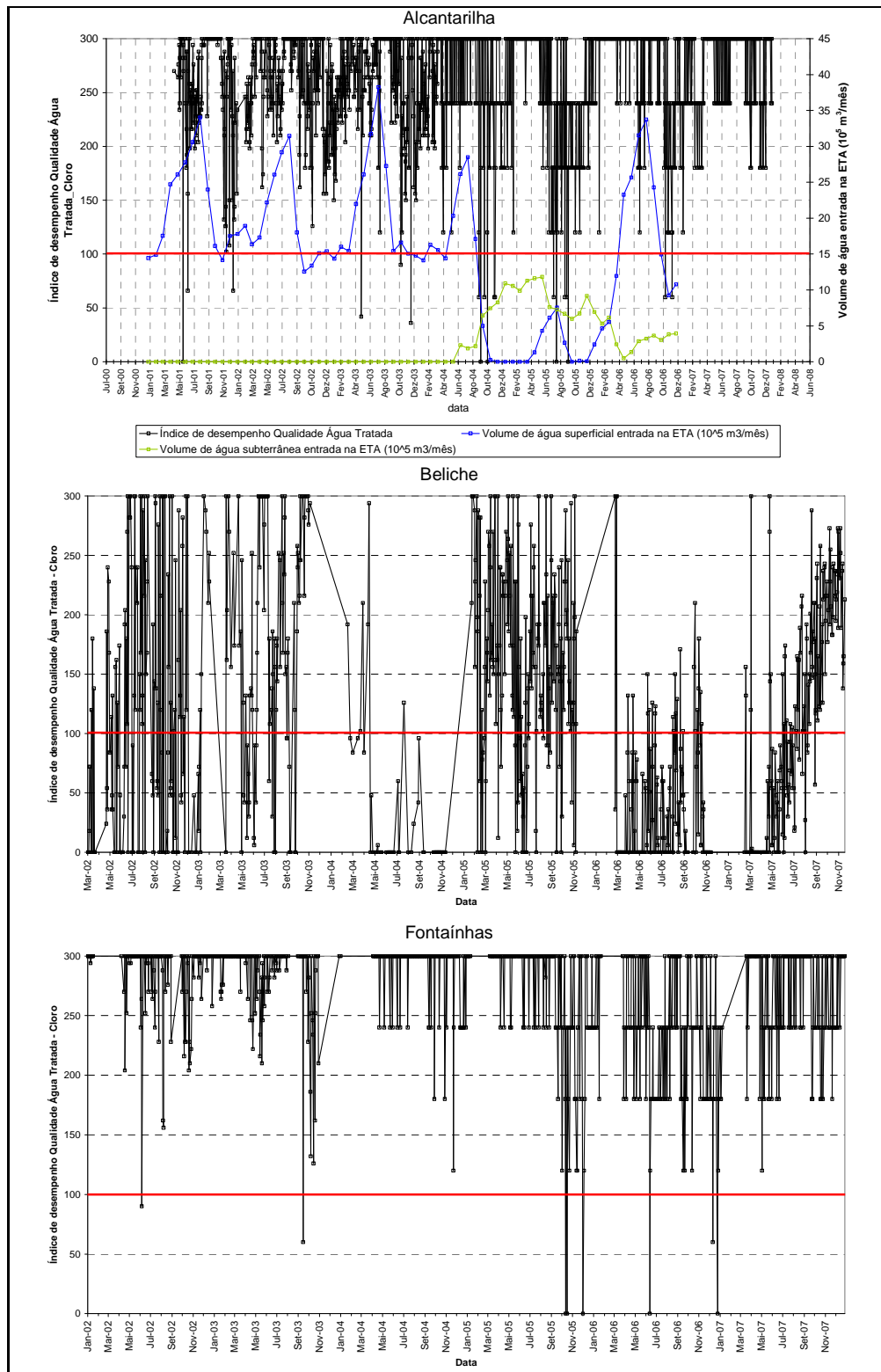


Figura 153 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloro

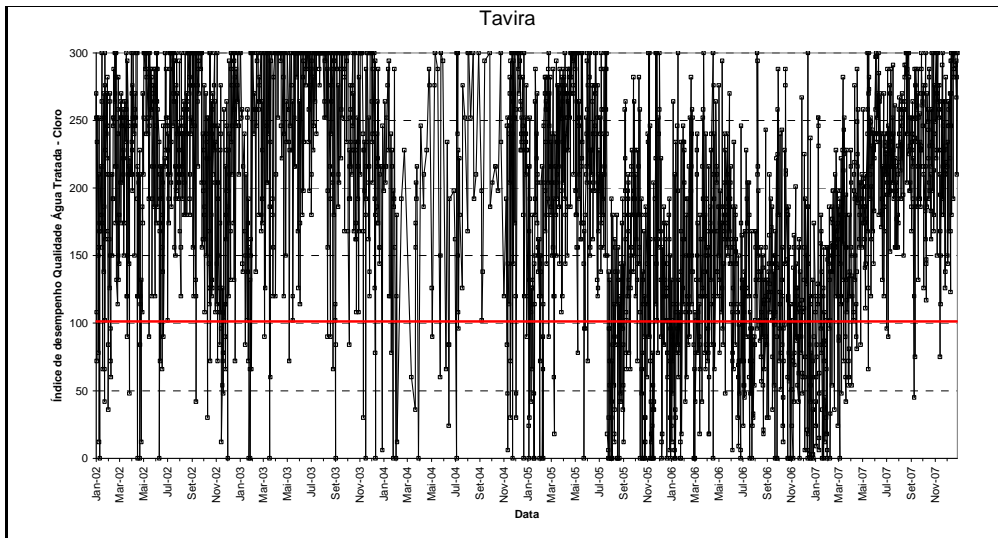


Figura 153 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloro

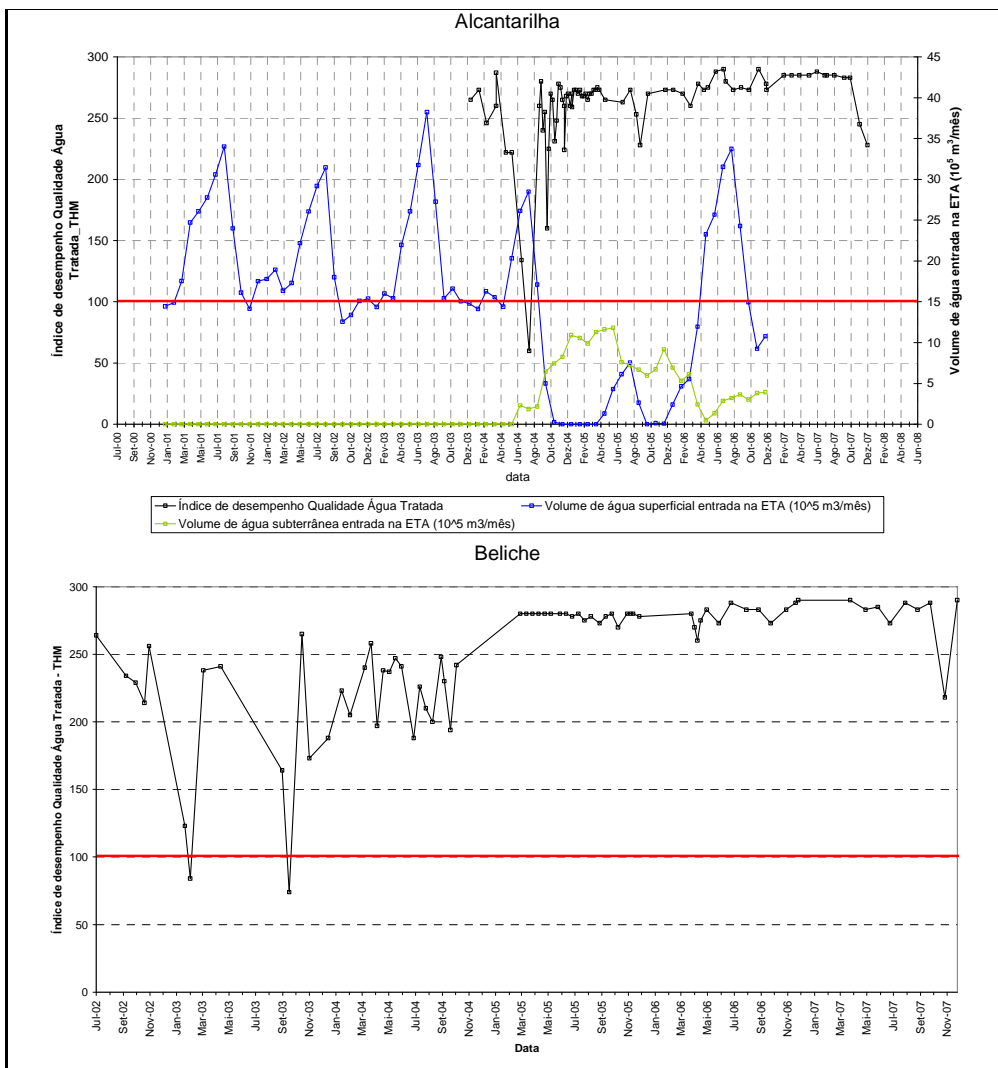


Figura 154 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - THM

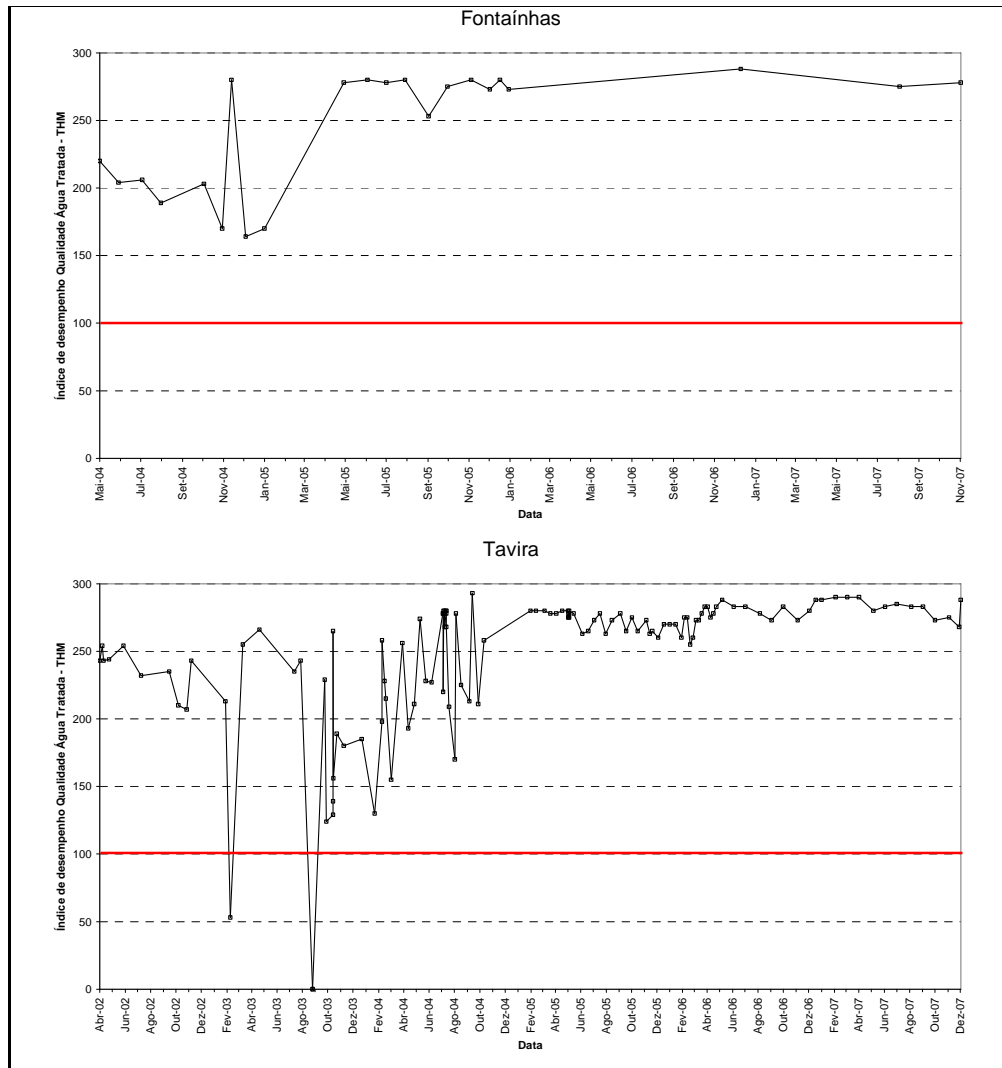


Figura 154 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - THM

Relativamente ao cloro (Figura 155), a água tratada à saída da ETA de Alcantarilha apresentou um desempenho bom em 79-99% dos dias (dependendo do ano), sendo o valor mais baixo correspondente ao ano 2005, pelas razões atrás expostas. Em termos de volume (Figura 156), praticamente toda a água proveniente de Alcantarilha teve associados índices superiores a 200, com exceção de 2005 quando 22% do volume tratado teve índices na gama 150-200.

Numa análise comparativa das quatro ETA observa-se uma semelhança do nível de desempenho em termos do cloro entre as duas estações do Barlavento e as duas estações do Sotavento.

Tal como Alcantarilha, Fontainhas apresentou na maior parte dos dias (82-99%, dependendo do

ano) um desempenho acima de 200 (ligeiramente superior a Alcantarilha) (Figura 153 e Figura 155). No entanto, neste caso o pior ano foi 2006.

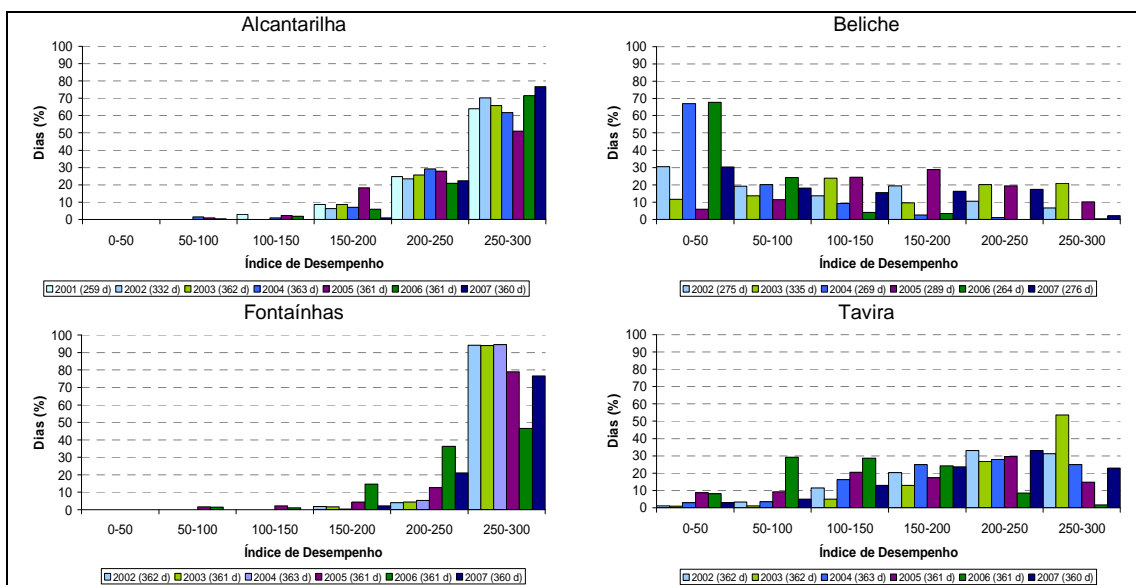


Figura 155 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloro

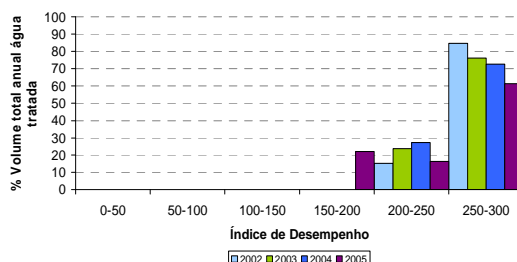


Figura 156 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloro - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

O desempenho de Tavira, seguida de Beliche, foi claramente inferior, facto traduzido pela ocorrência de uma percentagem significativa de situações nas quais o desempenho é aceitável ou insatisfatório (Figura 153). Em Tavira, a percentagem de dias com desempenho bom foi inferior à das ETA do Barlavento (10-81%, dependendo do ano), sendo a percentagem de dias com desempenho aceitável muito significativo (37-53%, dependendo do ano). A ocorrência de valores na gama insatisfatória foi maior em Beliche que, em quatro dos anos estudados, registou índices maioritariamente inferiores a 100 (2002: 50%, 2004: 87%, 2005: 53%, 2006: 92%). O ano de 2006 foi também o pior para estas duas ETA (Figura 153 e Figura 155). Estes resultados são explicados pelo facto de a água tratada por Tavira e Beliche ter maiores tempos de percurso

até aos pontos de entrega, pelo que são necessários maiores residuais de desinfectante à saída da ETA.

Ao contrário do cloro, em termos de THM já não se observou, em geral, uma diferença de desempenho entre as quatro ETA. Todas elas apresentaram maioritariamente índices correspondentes a desempenho bom, observando-se alguns valores de desempenho aceitável nos primeiros anos, havendo, portanto, uma melhoria do desempenho ao longo período estudado. Porém, é de referir, novamente, que esta análise é feita considerando como VL o valor indicado na ERP5001/2 como valor máximo admitido nos pontos de entrega da água. Assim, atendendo a que o teor de THM aumenta (ou mantém-se) com o tempo de percurso na rede de distribuição a jusante da ETA, o facto de à saída da ETA se ter um bom desempenho não é condição suficiente para que nos pontos de entrega ele também o seja.

Relembra-se que, no período estudado, o requisito legal relativo aos THM era 150 µg/L e que, nesta análise, a aplicação do valor 100 µg/L está a ser feita retroactivamente.

9.1.2.5. Bromato

Por reacção do brometo presente na água bruta com o ozono, utilizado como pré-oxidante, forma-se bromato. De acordo com vários estudos citados na revisão bibliográfica de Rosa *et al.* (2007), esta reacção é favorecida pelo aumento da concentração de brometo, da alcalinidade, do pH, da dose de ozono aplicada e do tempo de contacto, e depende ainda do teor de amónio e de matéria orgânica na água.

Relativamente a este parâmetro, o desempenho da ETA de Alcantarilha situou-se, em geral, entre o aceitável e o insatisfatório, verificando-se que os índices correspondentes a um bom desempenho assumem, no máximo, o valor de 202 (Figura 157). De 2004 a 2006 existem períodos em que há quedas no índice de desempenho até valores inferiores a 100, o mesmo já não acontece em 2007, o que denota uma melhoria neste aspecto da qualidade da água tratada.

Os três períodos mais longos de menor desempenho (Janeiro-Março 2005, Outubro 2005-Janeiro 2006 e Outubro-Dezembro 2006) corresponderam ao tratamento de água subterrânea (Janeiro-Março 2005) ou a mistura superficial/subterrânea (Outubro-Dezembro 2005 e Outubro-Dezembro 2006) (Figura 157). Em 2004, ainda antes do início do tratamento da mistura com água subterrânea, observam-se também algumas situações pontuais de desempenho inaceitável. A análise conjunta do índice de desempenho com os parâmetros de qualidade da água bruta que potenciam a formação de bromato e para os quais existe informação nestes casos de estudo (brometo, alcalinidade e pH), permite concluir que (Figura 157) concentrações superiores de brometo não corresponderam necessariamente a um menor desempenho, uma vez que existem períodos nos quais, apesar de o teor deste precursor ser elevado, o desempenho foi aceitável (Julho-Setembro de 2005), ou seja, a ETA conseguiu controlar a formação de bromato por alteração das condições de operação, em especial, da dose de ozono – o tempo de contacto é menor no Verão e a concentração aplicada (dados não disponíveis) pode também ter sido menor.

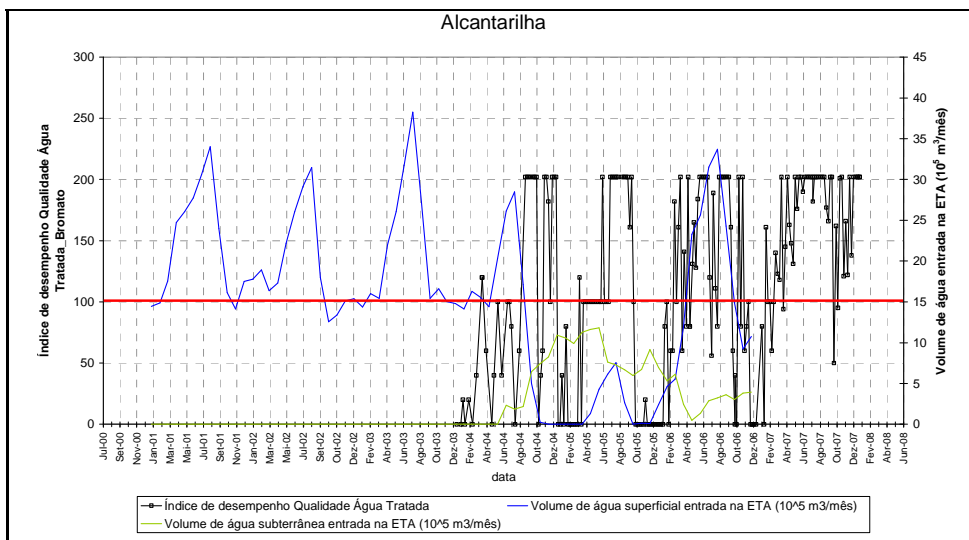


Figura 157 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - bromato

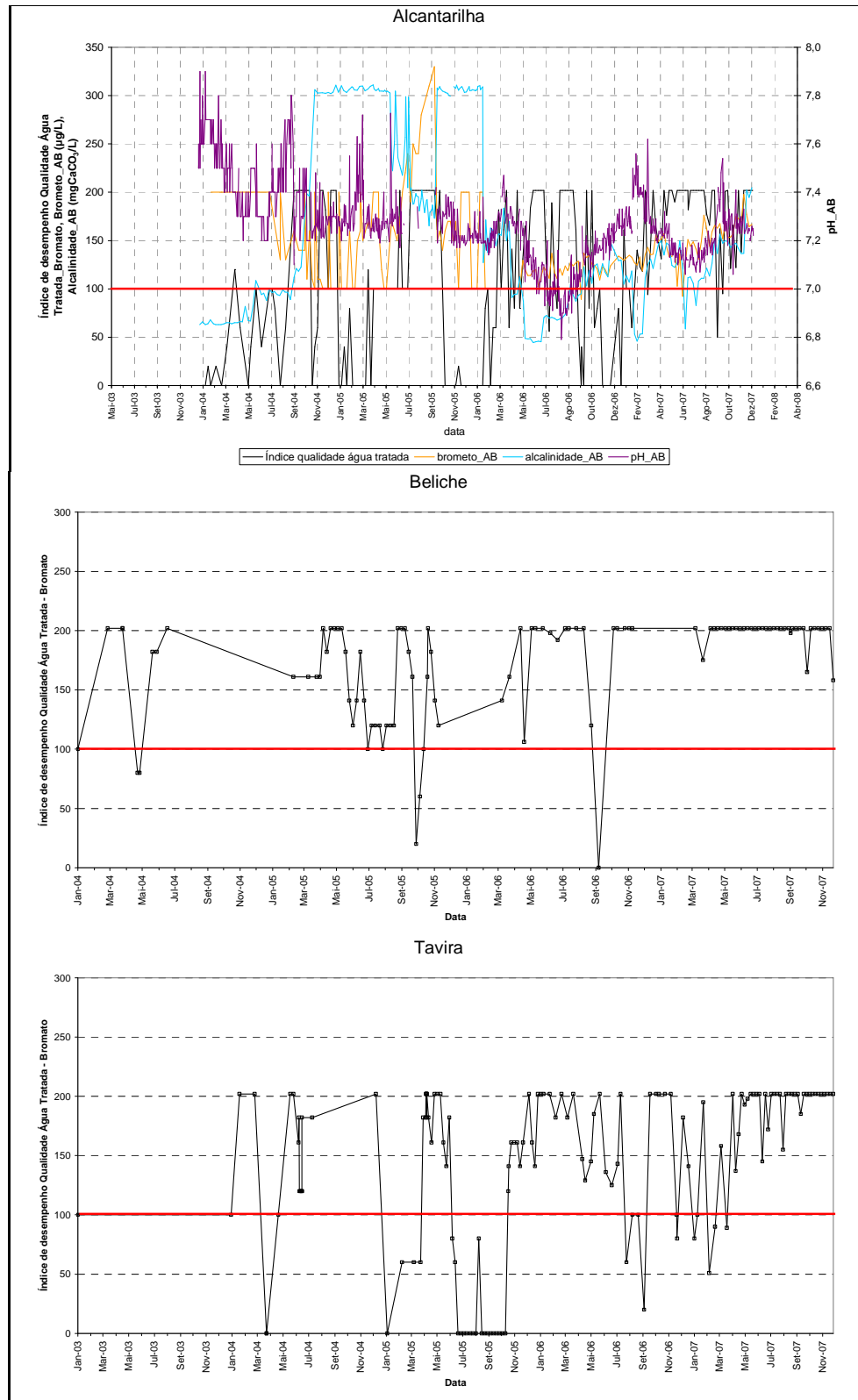


Figura 157 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - bromato

A Figura 158 mostra que, em 2004 e 2005, a percentagem de dias com desempenho insatisfatório (64% e 49%, respectivamente) foi superior à de dias com desempenho aceitável (18% e 33%, respectivamente). Em 2006 e, sobretudo em 2007, houve uma melhoria, sendo que neste ano apenas em 8% dos dias a água tratada pela ETA de Alcantarilha teve associado um índice de desempenho relativo ao parâmetro bromato inferior a 100. Em termos de volume tratado (Figura 159), em 2004 e 2005, as percentagens de água a que correspondem situações de desempenho insatisfatório foram de 72% e 40%, respectivamente.

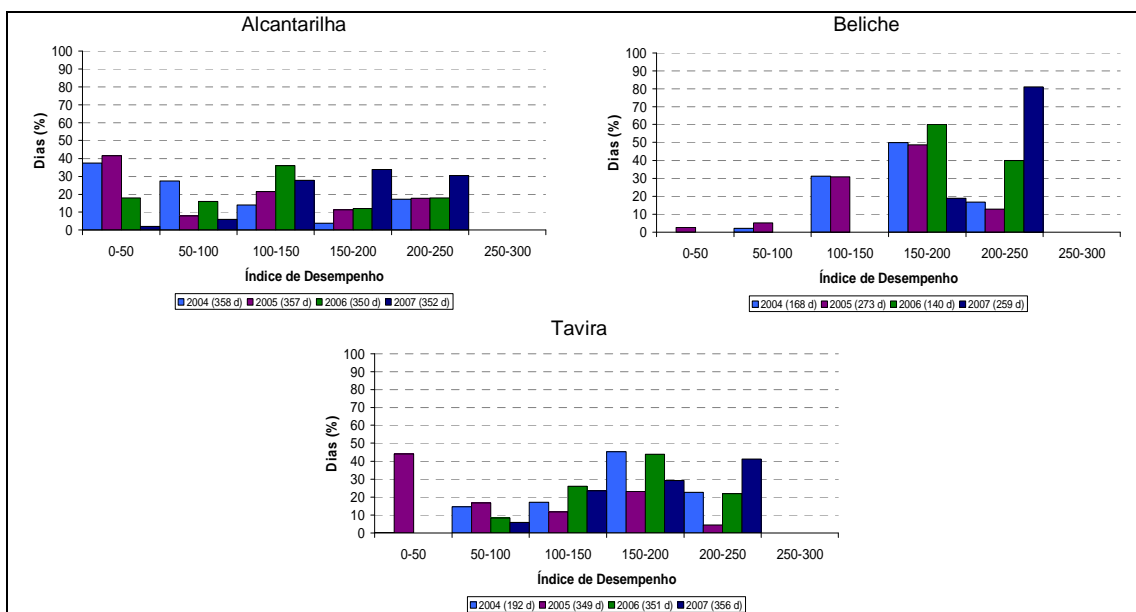


Figura 158 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - bromato

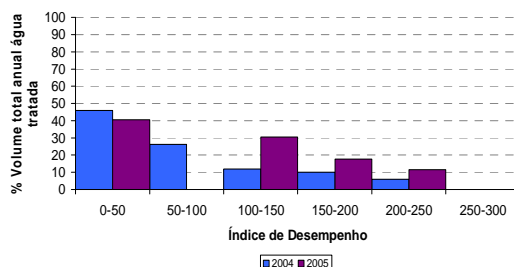


Figura 159 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - bromato - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

A Figura 157 e a Figura 158 evidenciam que as três ETA da AdA que usam ozono tiveram, no período estudado, problemas de controlo da formação de bromato a valores inferiores a 10 µg/L.

Embora não em tantos dias do ano como a ETA de Alcantarilha, a ETA de Tavira também

apresentou um número significativo de índices de desempenho muito baixos (< 100) em 2004 e 2005 (em 15% e 61% dos dias, respectivamente), observando-se também uma melhoria em 2006 e 2007 (8% e 6% de dias, respectivamente).

A ETA de Beliche apresentou o melhor comportamento, uma vez que, em 2004 e 2005, os índices de desempenho inferiores a 100 registaram-se em apenas 2% e 8% dos dias, respectivamente, e em 2006 e 2007 essa percentagem foi nula.

Em nenhuma das ETA existiram índices muito superiores a 200.

O menor desempenho de Alcantarilha, no período analisado, esteve associado a uma maior concentração de brometo na água bruta (*ca.* 89-330 µg/L em Alcantarilha e *ca.* 47-200 µg/L em Tavira e Beliche), sobretudo quando foi tratada água subterrânea, e, eventualmente, a maiores doses de ozono.

Relembra-se, novamente, que a aplicação do valor 10 µg/L está a ser feita retroactivamente e que o requisito legal relativo ao bromato era 25 µg/L (aplicável até Dezembro de 2008).

9.1.2.6. pH

A Figura 160 e a Figura 161 mostram que o desempenho em termos do pH da água tratada foi sempre bom nas ETA de Alcantarilha, Tavira, Beliche e na ETA A, sendo os índices sempre superiores a 250, no primeiro caso, e sempre superiores a 200, nos outros três (com excepção de um valor da ETA A). Fontaínhas teve uma dificuldade ligeiramente maior em manter o pH na gama aconselhada (6,5-9), sobretudo nos primeiros anos de operação (2001-2002), como demonstrado pelos *ca.* 6% de dias com desempenho aceitável e pela maior percentagem de dias com índices 200-250. Tal como discutido para o cloro, a função de desempenho aqui adoptada não permite distinguir se o menor desempenho se deve a valores excessivos de pH ou a valores baixos. Neste caso, as situações de desempenho aceitável de Fontaínhas observadas antes de 2006 foram devidas a valores superiores a 9 e, em 2006, foram devidas a valores inferiores a 6,5.

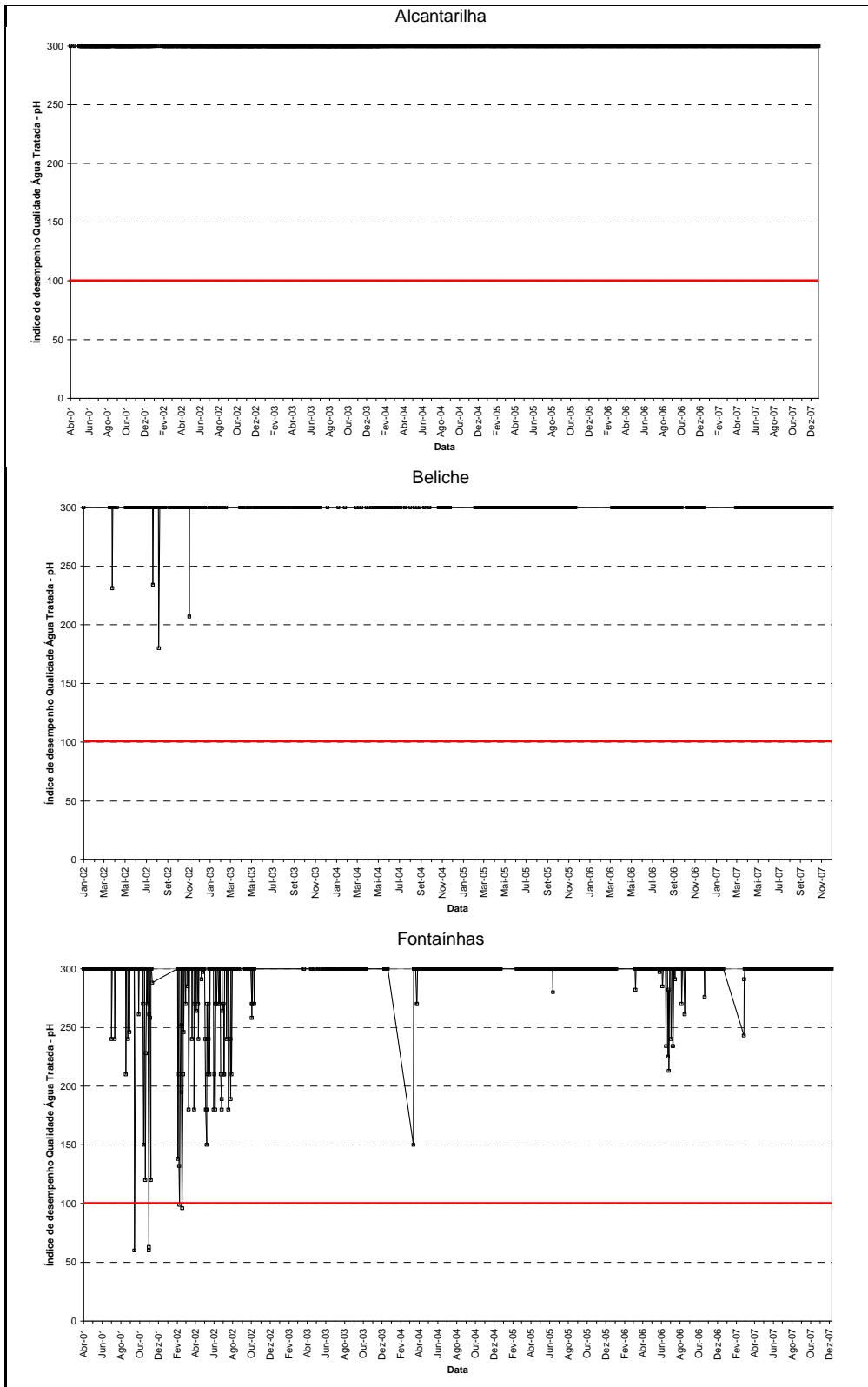


Figura 160 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - pH

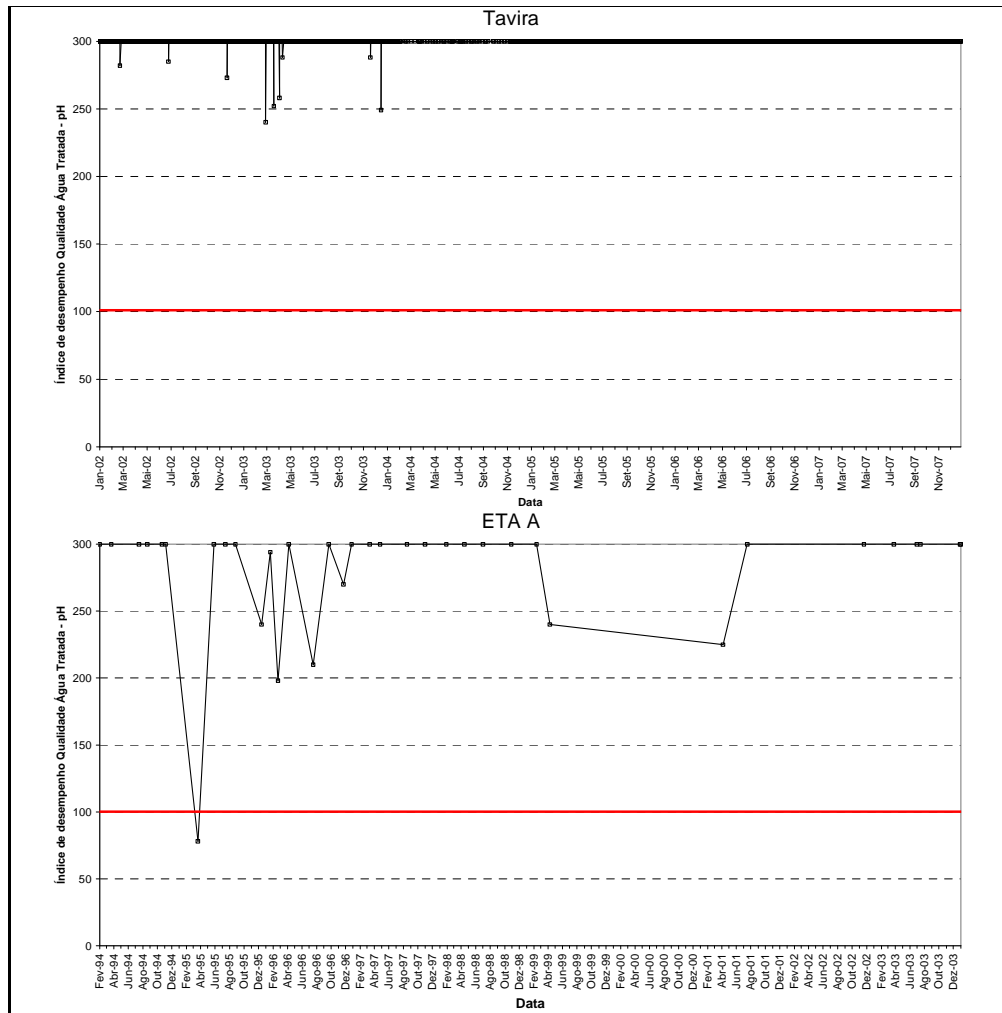


Figura 160 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - pH

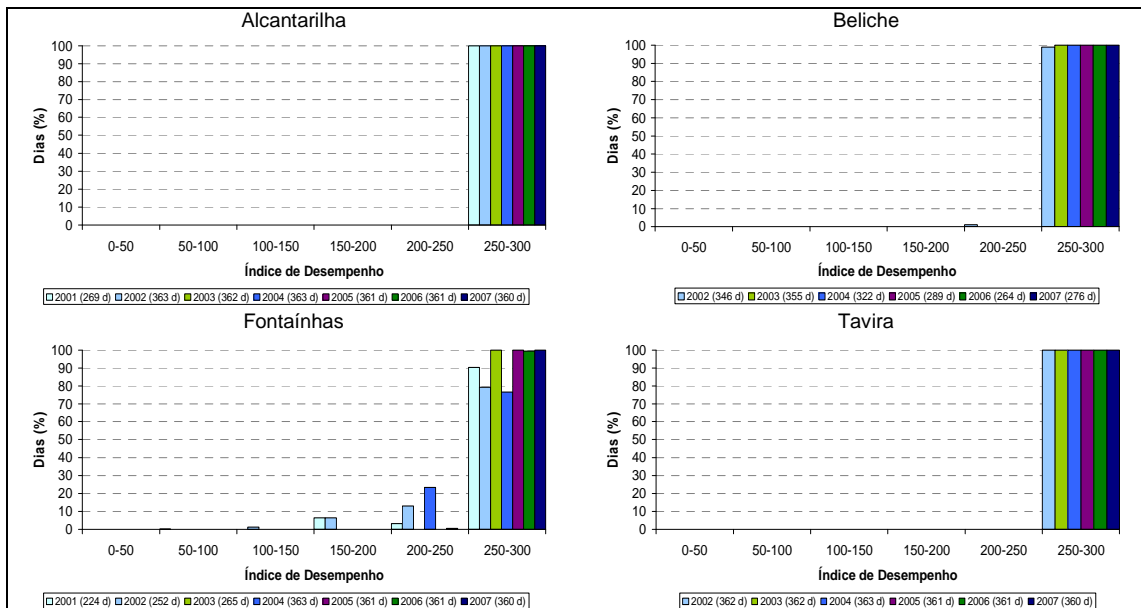


Figura 161 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - pH

9.1.2.7. Cálcio e magnésio

Relativamente aos parâmetros cálcio e magnésio, o desempenho da ETA de Alcantarilha (Figura 162 e Figura 163) foi bom nos anos de 2001-2003 (índices superiores a 200). Em 2004 e 2005 o desempenho baixou significativamente, devido ao tratamento de água subterrânea (que, em geral, possui concentrações destes parâmetros superiores a uma água superficial), para valores aceitáveis (índices entre 100-200), observando-se que a variação do índice seguiu a variação na percentagem de água subterrânea na água bruta. Observa-se também que o menor desempenho esteve associado a maiores concentrações na água bruta. Em 2006 e 2007 registou-se uma melhoria significativa do desempenho.

Em 2001-2003 a percentagem de dias com desempenho bom em termos do cálcio foi de 100%, enquanto que em 2004 esse valor baixou para 77% e em 2005 foi nulo. Em 2006 subiu novamente para 78% e em 2007 para 94% (Figura 164). No caso do magnésio, a situação é muito semelhante, sendo apenas diferentes os valores em 2006 e 2007: 87% e 96%, respectivamente. Quer para o cálcio, quer para o magnésio, na Figura 165 pode também observar-se que, em termos de volume tratado, o pior ano foi, como esperado, 2005, no qual todo o volume tratado teve um desempenho associado aceitável.

Como esperado, uma vez que trataram sempre água superficial macia ou moderadamente dura (<75 mgCaCO₃/L e 75-100 mgCaCO₃/L, respectivamente; AWWA, 1999), as ETA de Fontaínhas, Tavira e Beliche e a ETA A apresentaram sempre um desempenho bom relativamente a estes dois parâmetros com *ca.* 100% dos índices superiores a 250, com excepção do cálcio em Tavira que registou também valores entre 200 e 250 (Figura 162, Figura 163 e Figura 164).

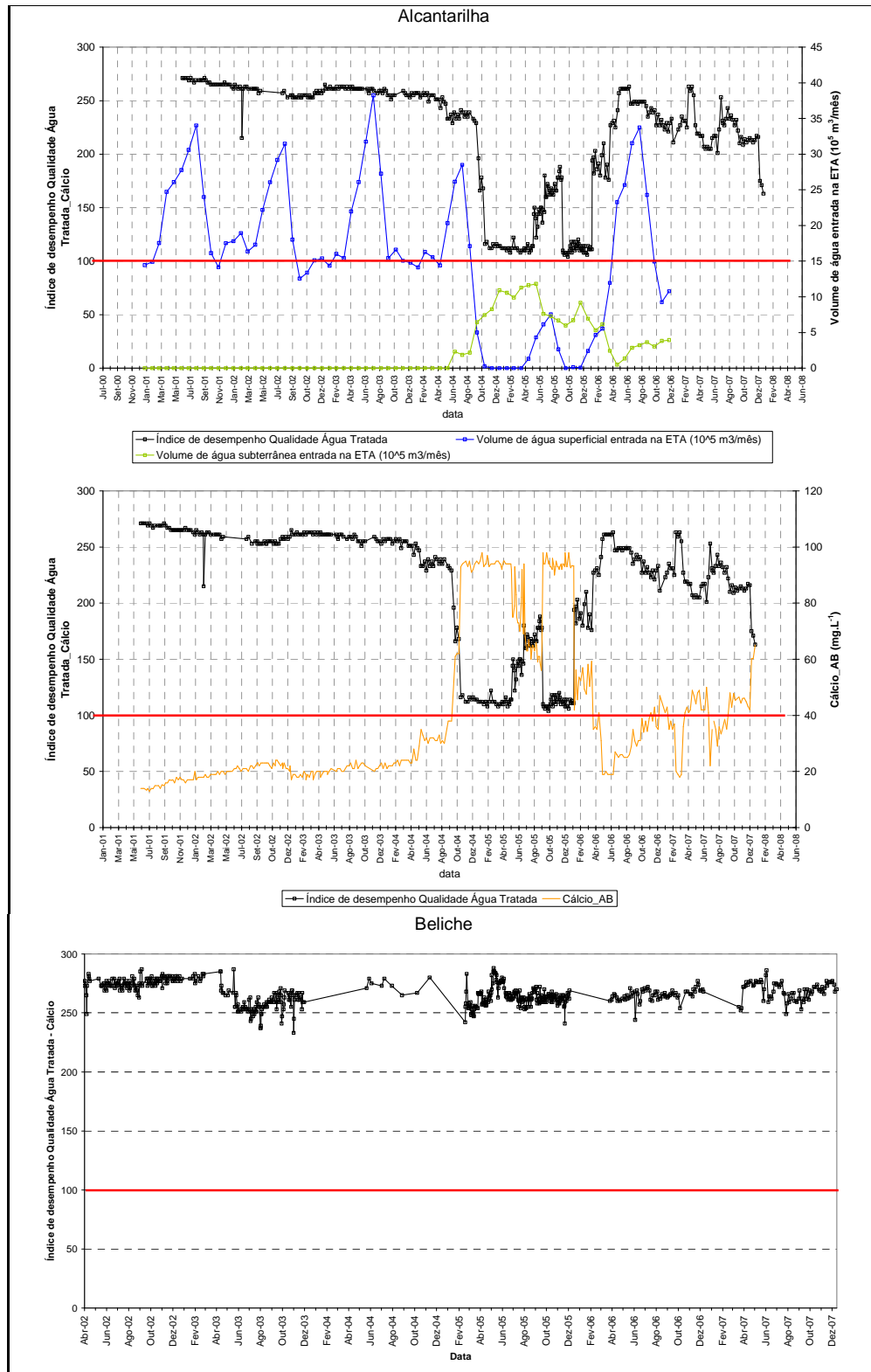


Figura 162 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cálcio

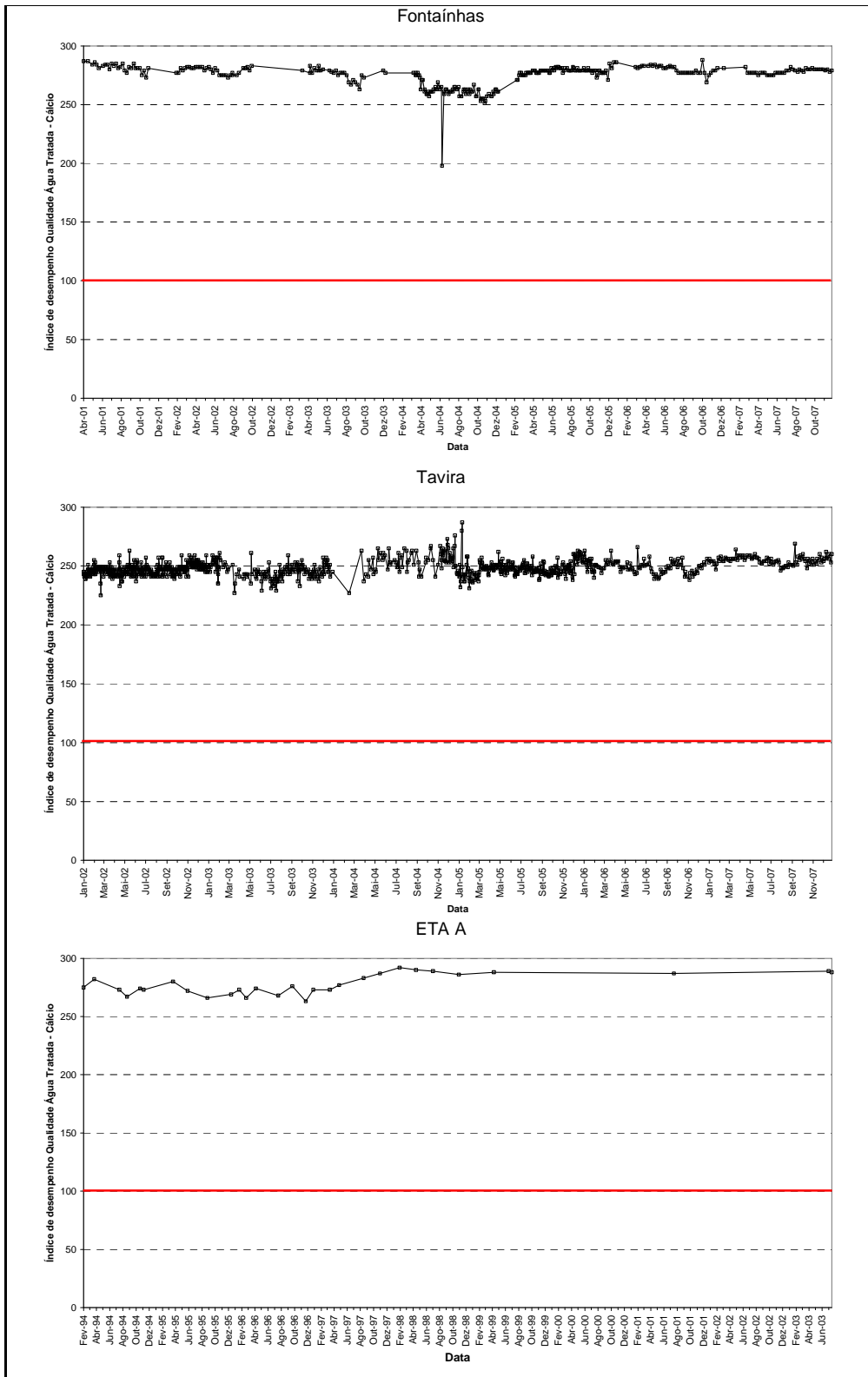


Figura 162 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cálcio

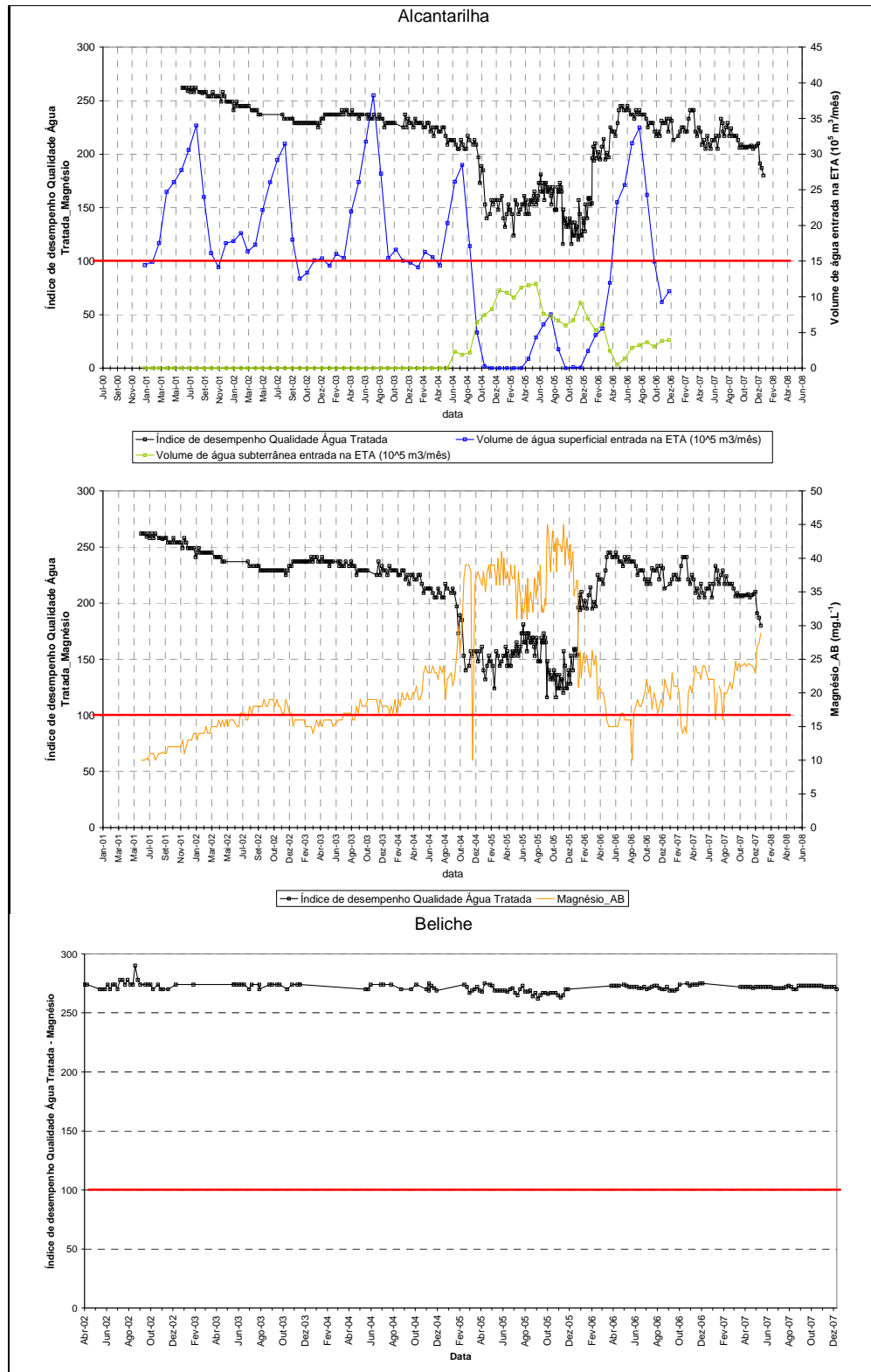


Figura 163 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - magnésio

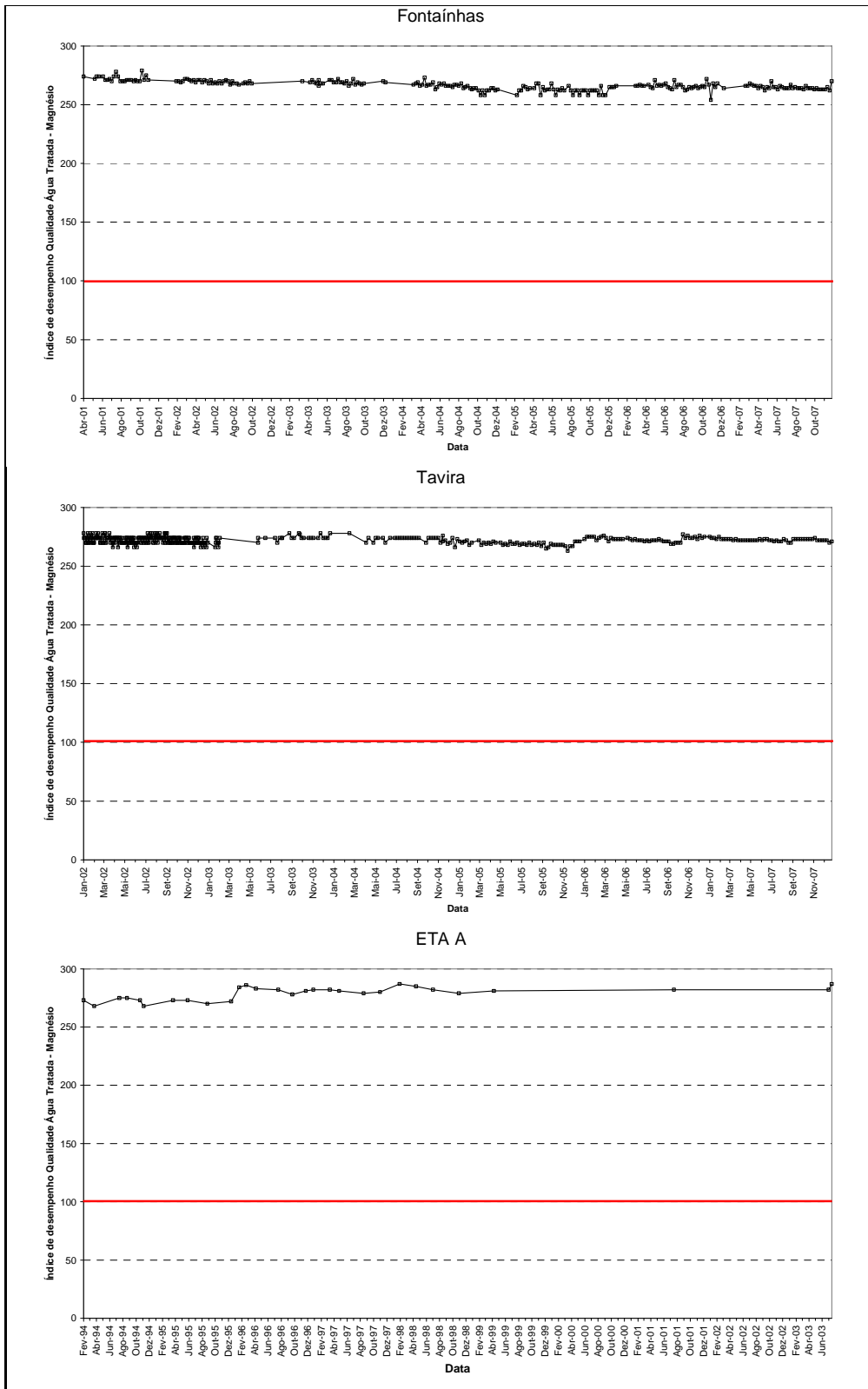


Figura 163 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - magnésio

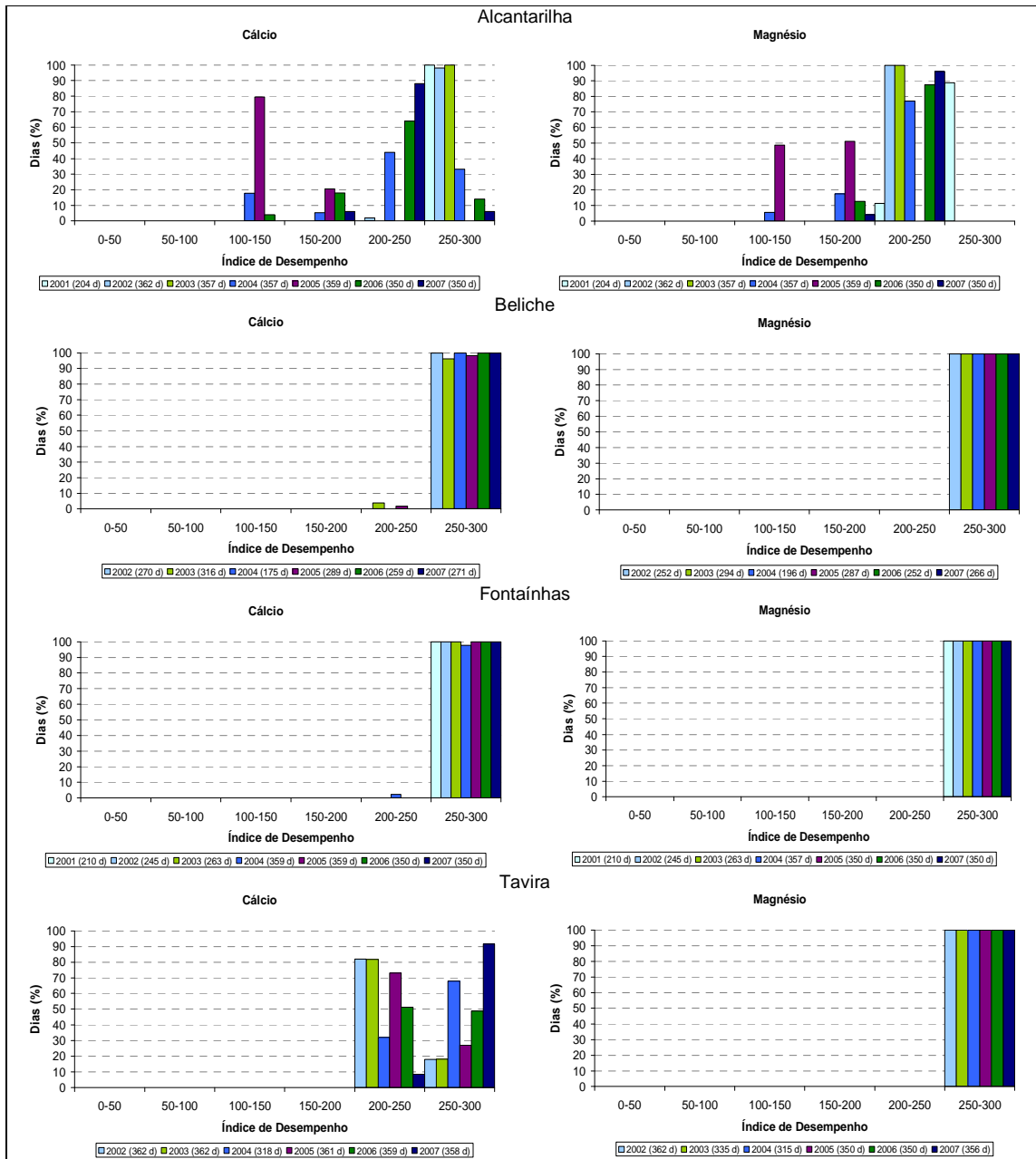


Figura 164 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cálcio e magnésio

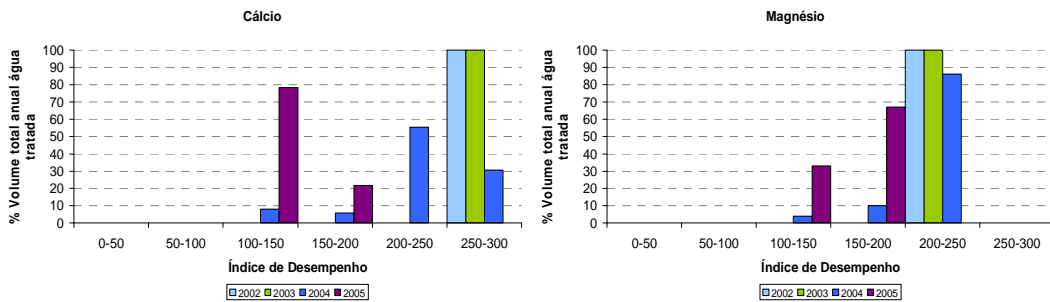


Figura 165 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cálcio e magnésio - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

9.1.2.8. Índice de Saturação de Langelier

A Figura 166 mostra que, na ETA de Alcantarilha, o controlo do equilíbrio calco-carbónico da água tratada sofreu um aumento evidente no período estudado (Julho-Dezembro 2007), passando os índices de desempenho da gama insatisfatório-aceitável para a gama bom (face aos VL -0,5 e +0,5). Fontainhas foi a ETA da AdA que apresentou uma água mais agressiva (IL mais negativos) e, portanto, menor desempenho neste aspecto com índices maioritariamente nulos (*i.e.*, $IL < -1$). As ETA de Tavira e Beliche estiveram numa situação intermédia, sendo no primeiro caso o desempenho ligeiramente melhor (menor percentagem de índices inferiores a 100).

9.1.2.9. Cloreto e nitrato

O desempenho da ETA de Alcantarilha em termos do cloreto e nitrato na água tratada foi bom, não se tendo registado índices inferiores a 200 (Figura 167, Figura 168, Figura 169 e Figura 170). Apesar de não ser tão notório como no caso do cálcio e magnésio, a ETA de Alcantarilha teve também em 2004 e, sobretudo, em 2005 uma ligeira diminuição do desempenho, devido ao tratamento de água subterrânea (com teores em cloreto e nitrato superiores à água da albufeira do Funcho) e ao facto de o tratamento convencional não remover estes dois parâmetros.

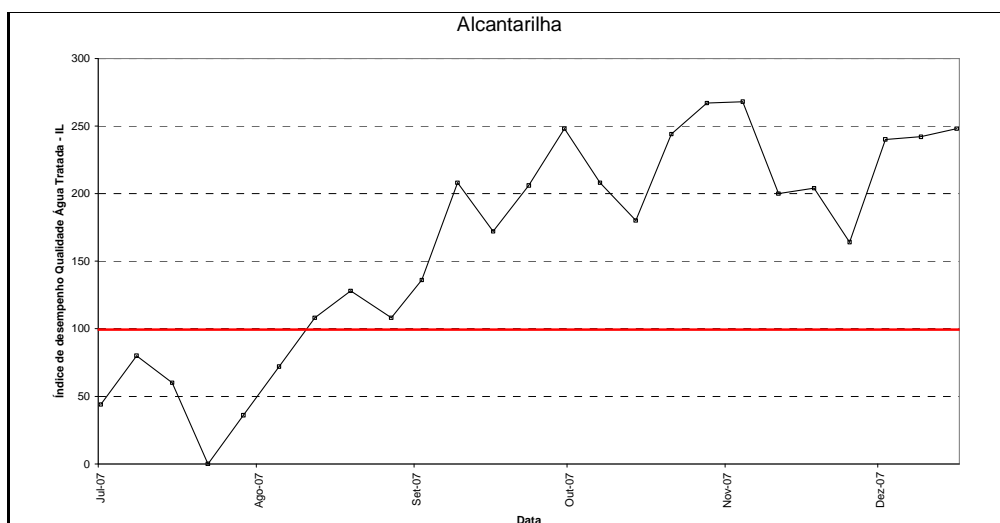


Figura 166 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - Índice de Langelier

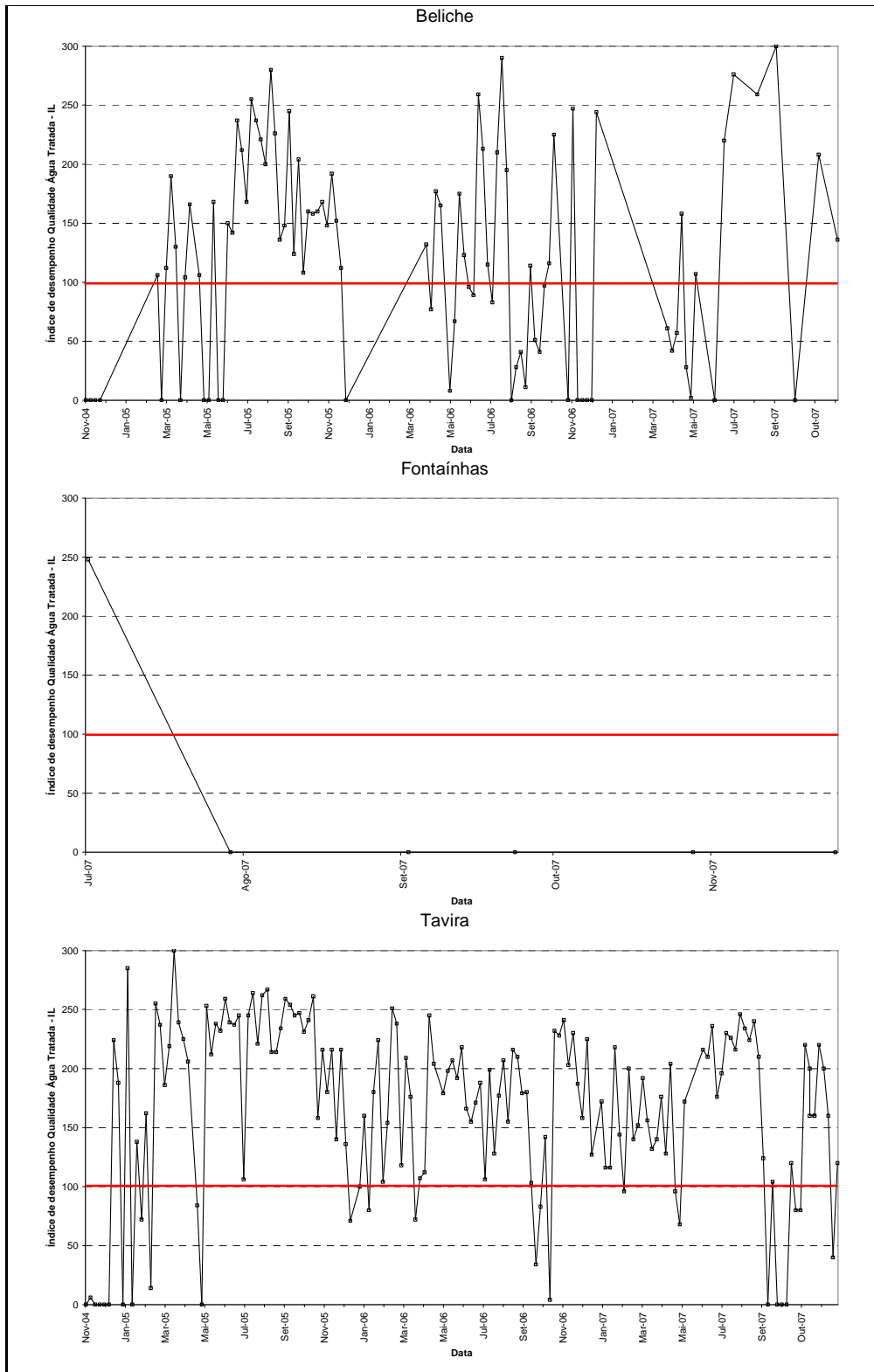


Figura 166 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - Índice de Langelier

Por não terem processado água subterrânea, o desempenho das ETA de Fontainhas, Tavira e Beliche relativamente ao cloreto e nitrato foi ligeiramente superior ao de Alcantarilha, sendo os

índices associados à água tratada, em geral, sempre superiores a 250 (Figura 167, Figura 168 e Figura 169). A ETA A também apresentou um desempenho sempre bom relativamente aos dois parâmetros.

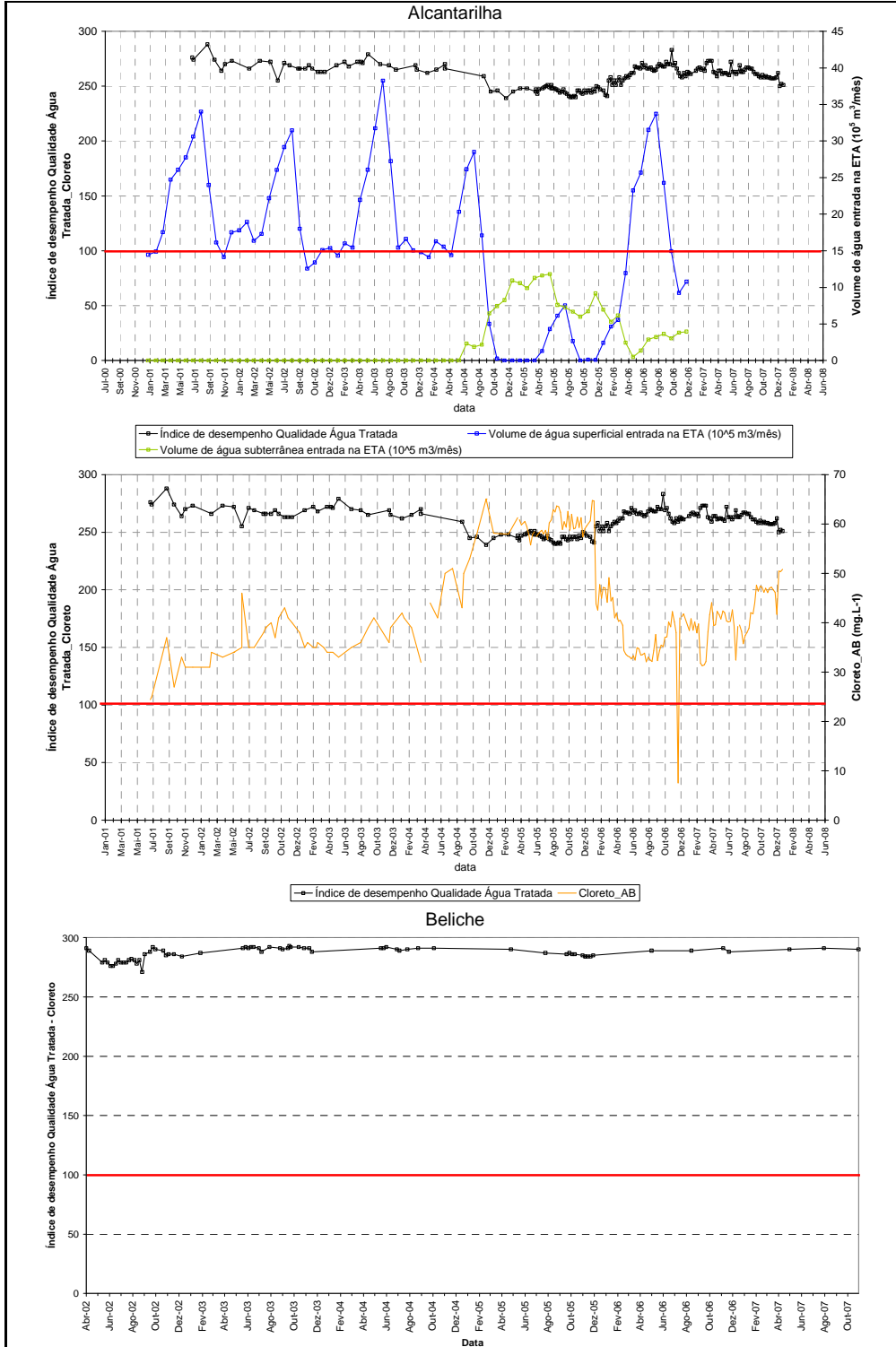


Figura 167 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloreto

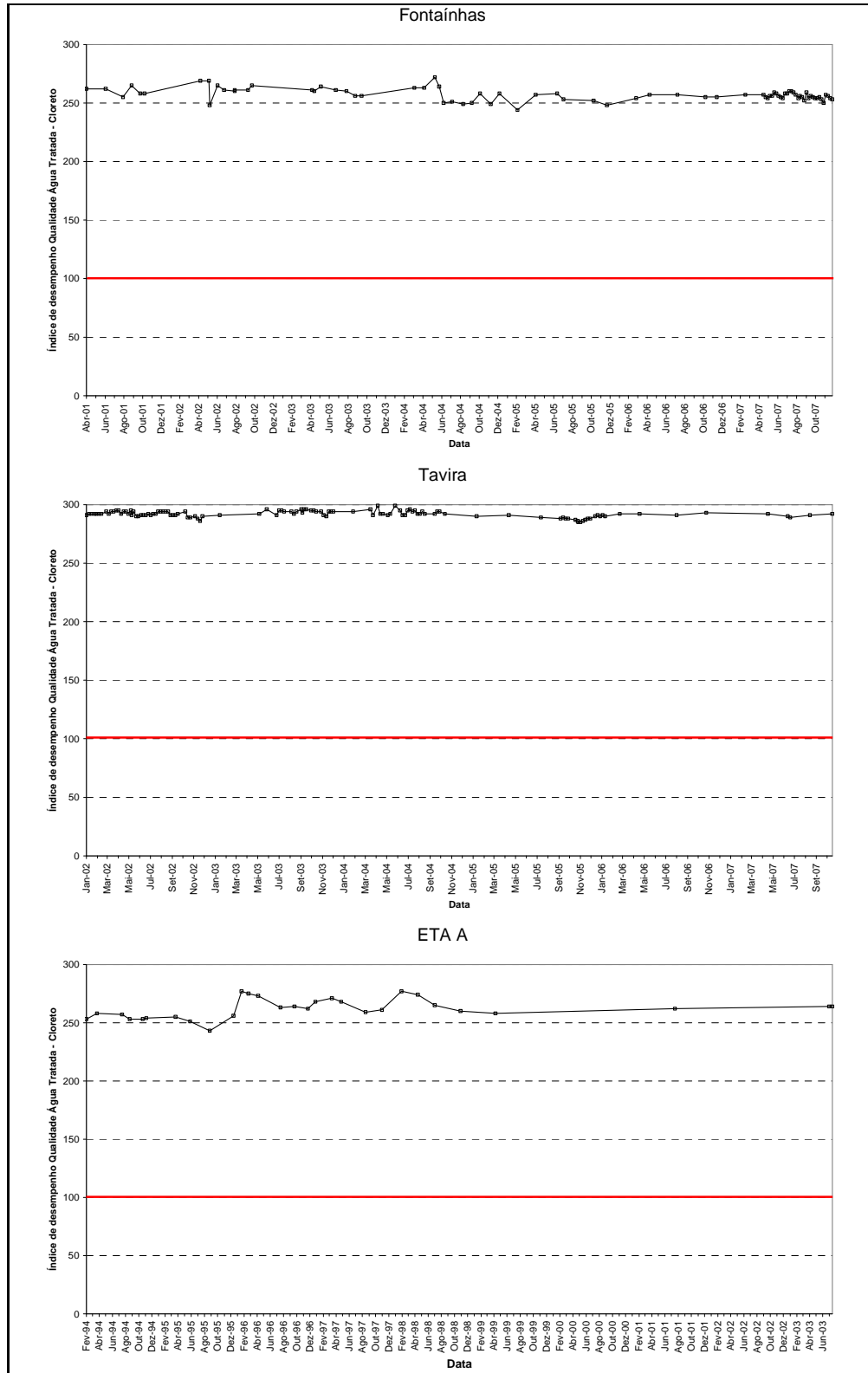


Figura 167 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloreto

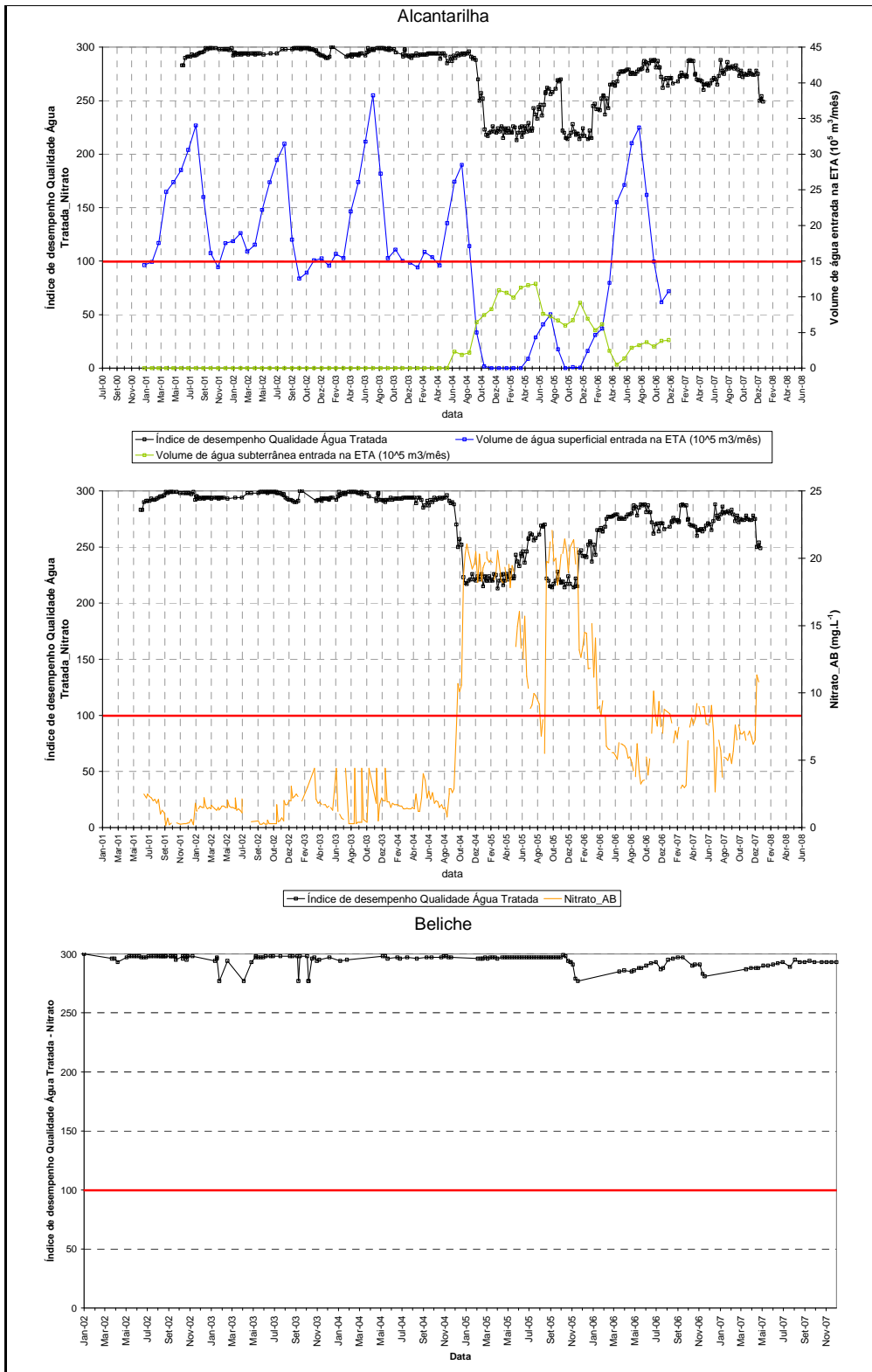


Figura 168 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - nitrato

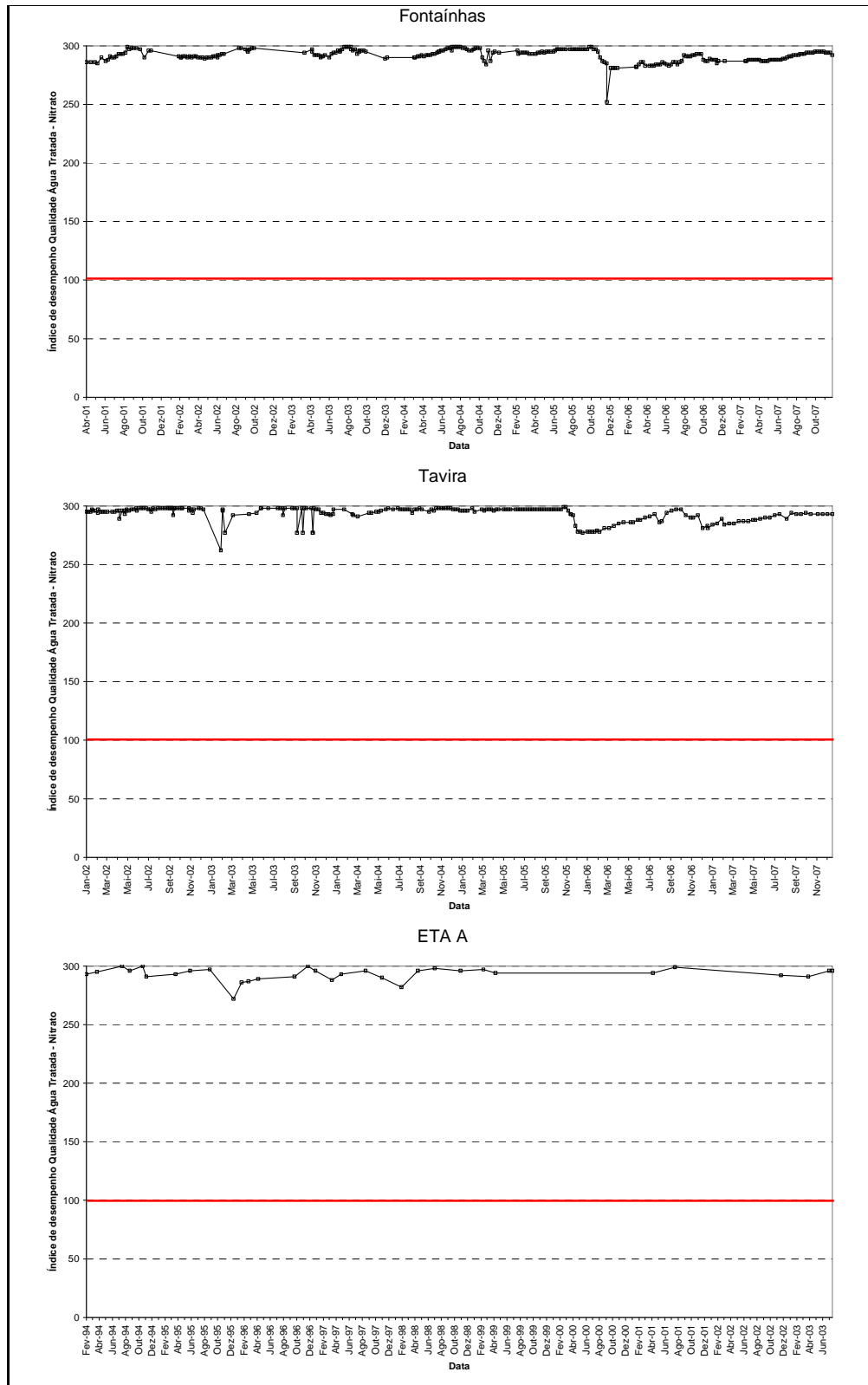


Figura 168 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - nitrato

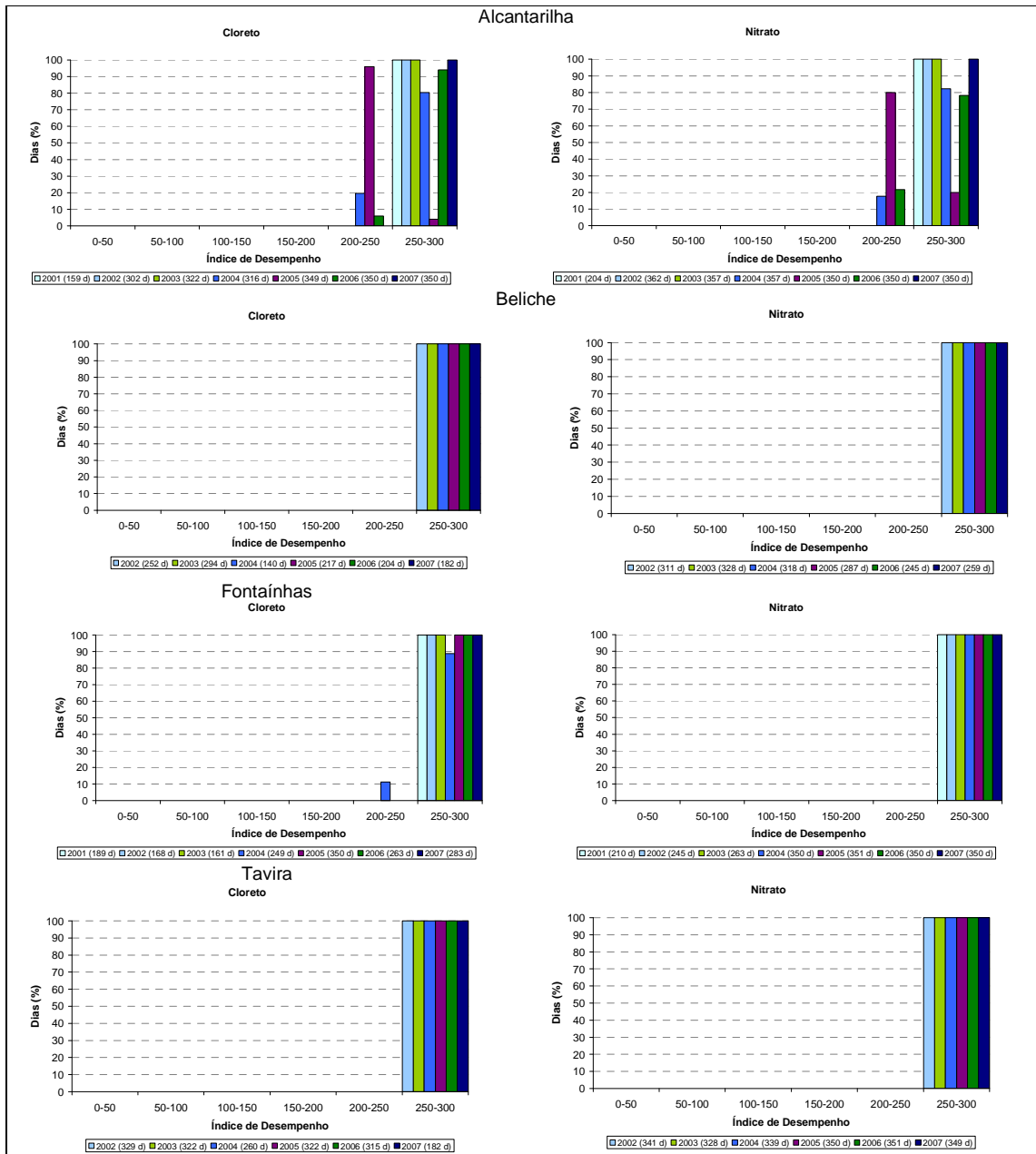


Figura 169 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloreto e nitrato

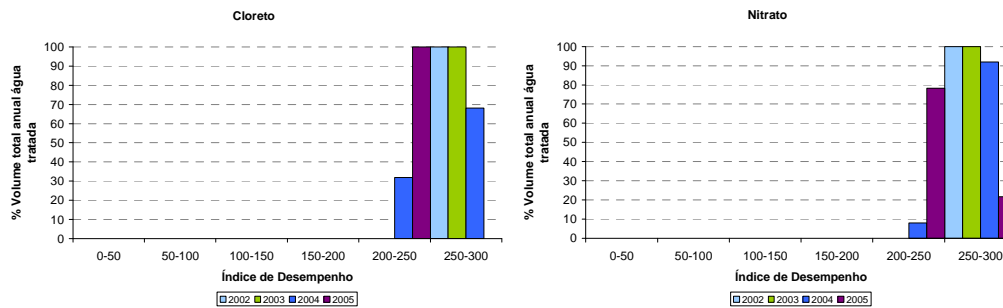


Figura 170 – Distribuição do índice de desempenho de qualidade da água tratada - cloreto e nitrato - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

9.1.2.10. Microcistina-LR

Relativamente à microcistina-LR¹⁶, a ETA de Alcantarilha apresentou um desempenho bom, com excepção de 2006, onde se observa uma ligeira diminuição para a gama de desempenho aceitável em 21% dos dias (Figura 171 e Figura 172) durante um período (Março-Maio) em que a concentração de microcistina na água bruta aumentou (Figura 171) associada à ocorrência de um *bloom* de cianobactérias na albufeira do Funcho.

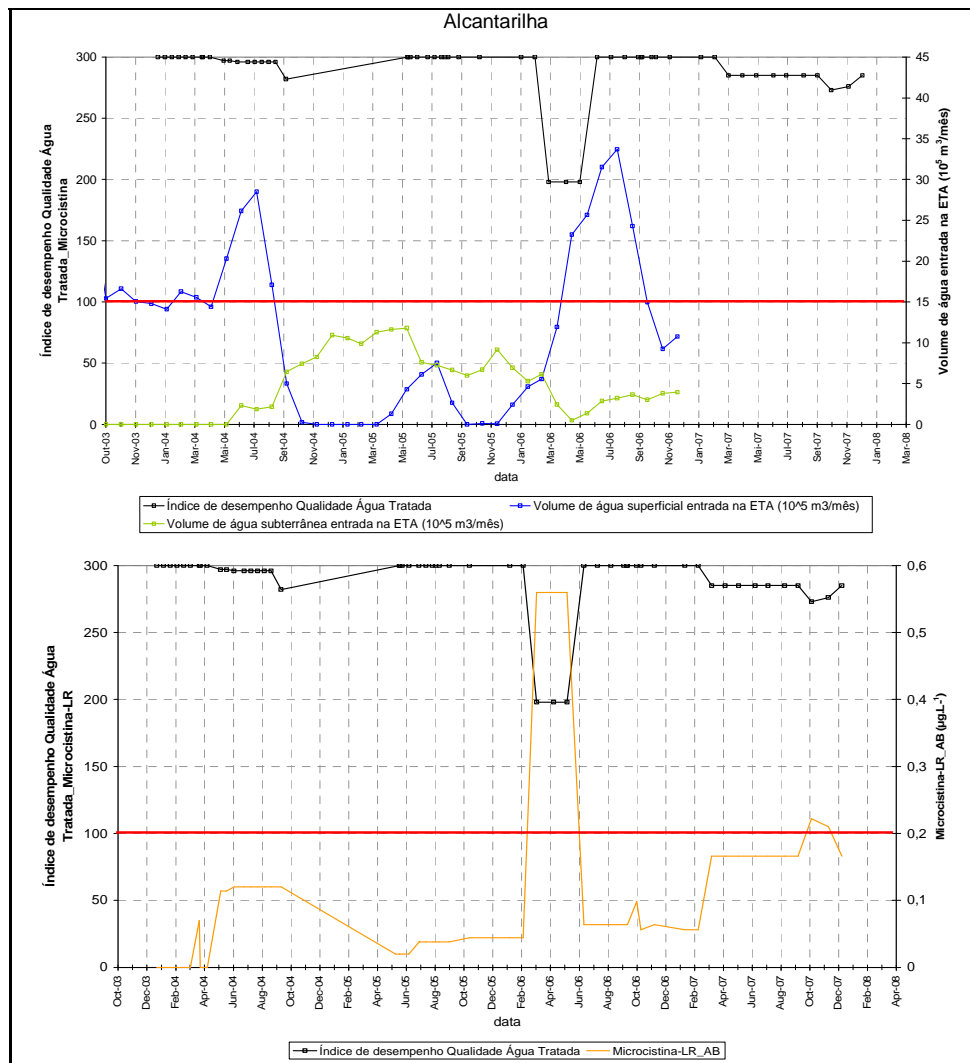


Figura 171 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - microcistinas (expressas como microcistina-LR)

¹⁶ Os resultados aqui apresentados dizem respeito a todas as variantes de microcistinas quantificadas nas amostras, expressas como equivalentes de microcistina-LR. Este procedimento da AdA denota uma postura conservativa, uma vez que os valores obtidos são comparados com o requisito legal (que se refere só a microcistina-LR).

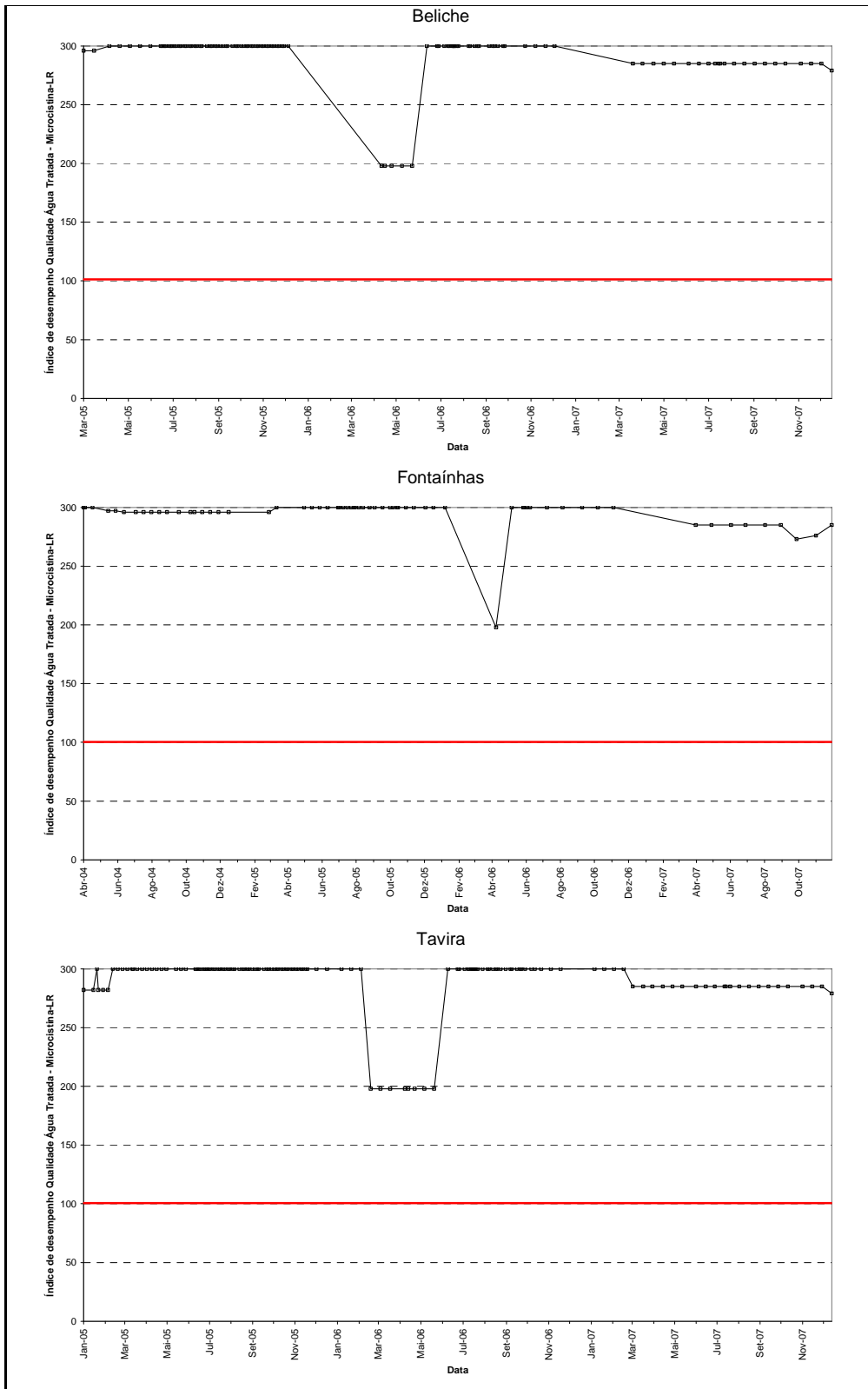


Figura 171 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - microcistinas (expressas como microcistina-LR)

Os *blooms* de cianobactérias aconteceram não só na origem que abastece a ETA de Alcantarilha, mas também nas origens que abastecem as outras ETA da AdA, o que originou índices de desempenho inferiores neste ano em todas elas (Figura 171 e Figura 172). Apenas em 2006, se registaram índices na gama aceitável (Beliche: em 18% dos dias, Tavira: em 29% dos dias; Figura 172), sendo o desempenho bom no restante período analisado. A produção de microcistinas no *bloom* da albufeira da Bravura foi menos intensa, tendo o desempenho de Fontainhas sido menos afectado do que as outras três ETA (não se chegaram a observar índices inferiores a 200).

A Figura 171 mostra que as quedas de desempenho se registaram no mesmo período (Março-Junho 2006) em todas as ETA. Em 2007, o comportamento foi análogo mas não tão intenso, não sendo suficiente para baixar o desempenho até à gama aceitável em nenhuma ETA, tendo-se os índices mantido sempre acima de 250.

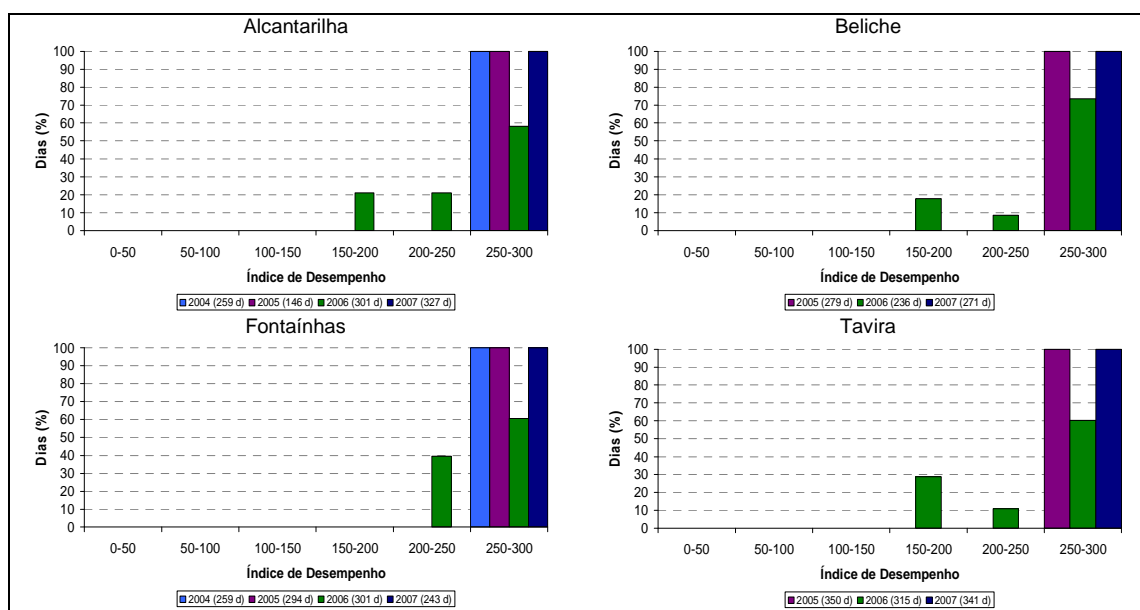


Figura 172 – Distribuição temporal do índice de desempenho de qualidade da água tratada - microcistinas (expressas como microcistina-LR)

9.1.2.11. Restantes parâmetros físico-químicos

Em geral, o desempenho das quatro ETA da AdA relativo aos restantes parâmetros físico-químicos estudados (resultados apresentados no Anexo 6) foi bom, com algumas situações de

desempenho aceitável ou de índices iguais a 100.

9.1.2.12. Parâmetros microbiológicos

Relativamente aos parâmetros *Cryptosporidium parvum*, enterococos e *Giardia lamblia*, o desempenho das ETA da AdA foi sempre excelente (índice sempre igual a 300) no período analisado, nunca tendo sido detectados estes organismos na água tratada.

A Figura 173 e a Figura 174 apresentam a variação temporal do índice de desempenho relativo às bactérias coliformes e à *Escherichia coli*, respectivamente. O desempenho das quatro ETA da AdA foi, em geral, bom, observando-se apenas 2-8 casos (dependendo da ETA) em que o índice baixou a valores insatisfatórios que correspondem, em geral, à detecção de 1-2 ufc/100 mL (e de 16,4 ufc/100 mL num caso em Fontainhas). Relativamente à *Escherichia coli*, as ETA de Tavira e Beliche apresentaram sempre índices iguais a 300. Na ETA de Alcantarilha, a Figura 173 mostra que nenhum dos casos de menor desempenho correspondeu a picos de concentração na água bruta e quando esses picos ocorreram o tratamento conseguiu remover/inactivar estes microrganismos. Em Junho de 2005, quando era tratada uma mistura de água superficial e subterrânea, registaram-se situações de menor desempenho no caso dos dois parâmetros. Ao contrário de Junho 2005, a inconformidade relativamente às bactérias coliformes observada em Agosto 2001 não correspondeu a inconformidade de *Escherichia coli*.

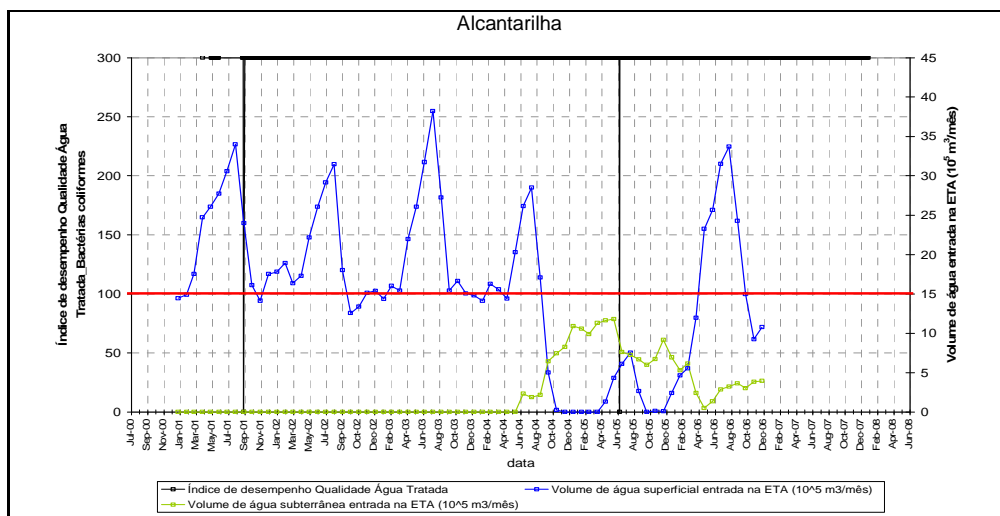


Figura 173 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - bactérias coliformes

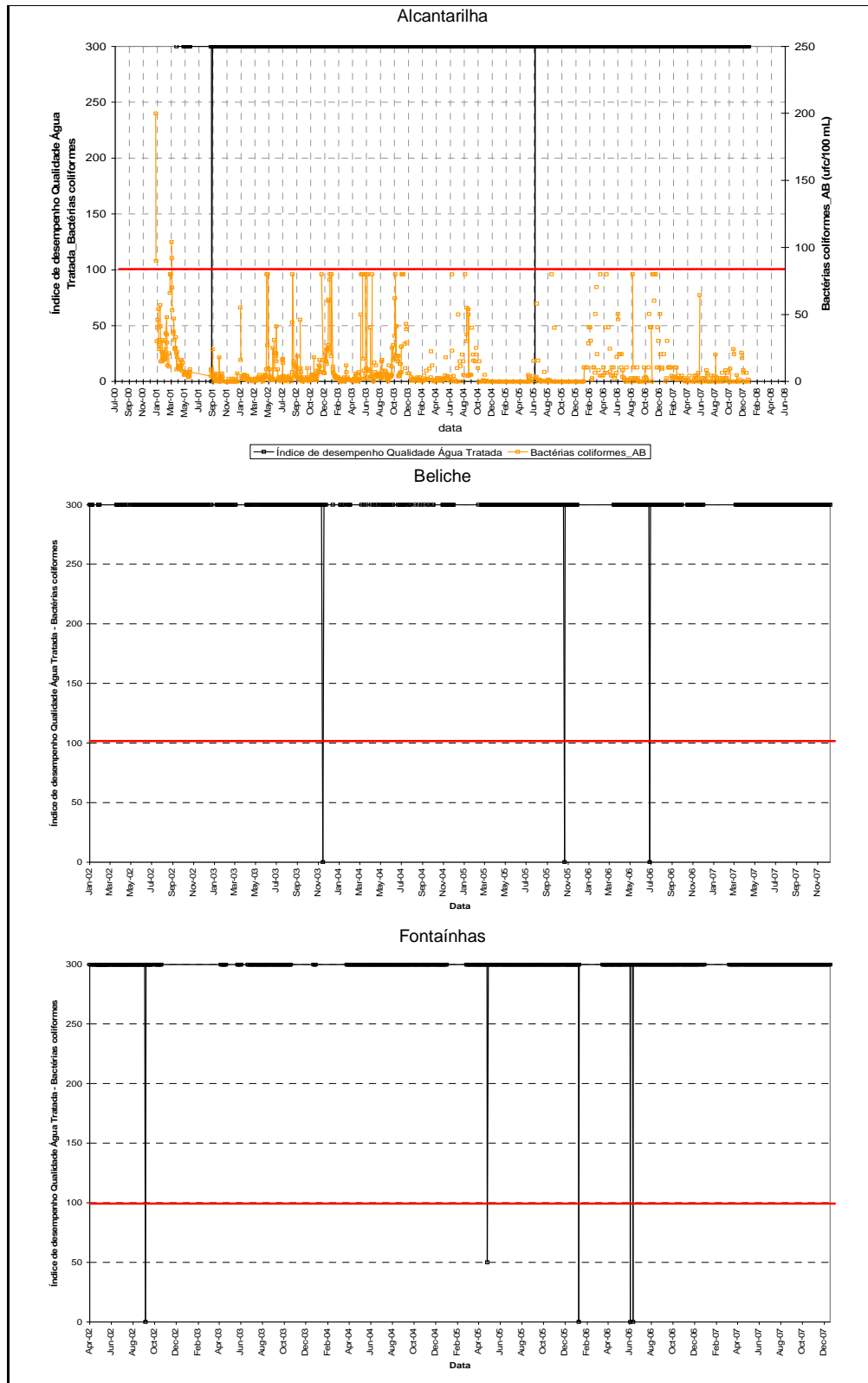


Figura 173 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - bactérias coliformes

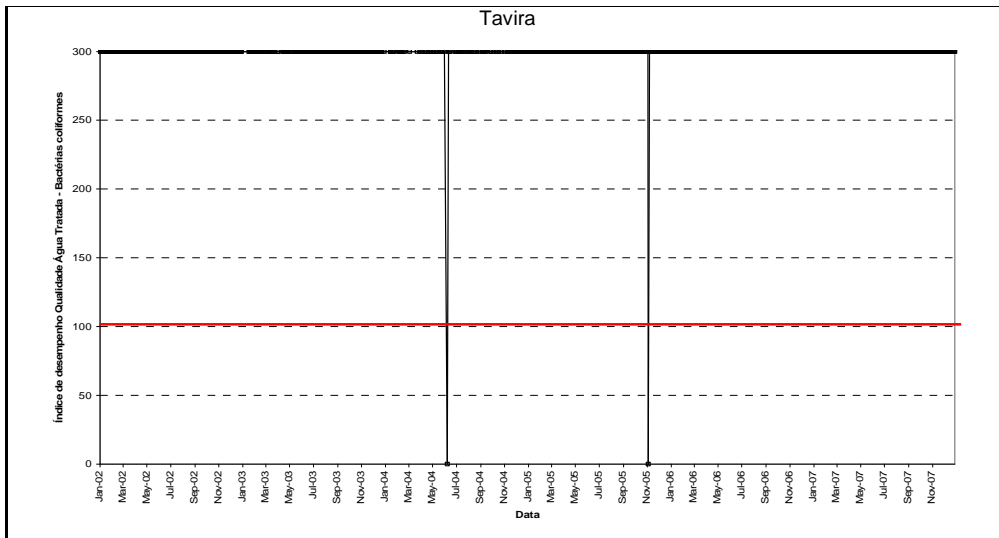


Figura 173 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - bactérias coliformes

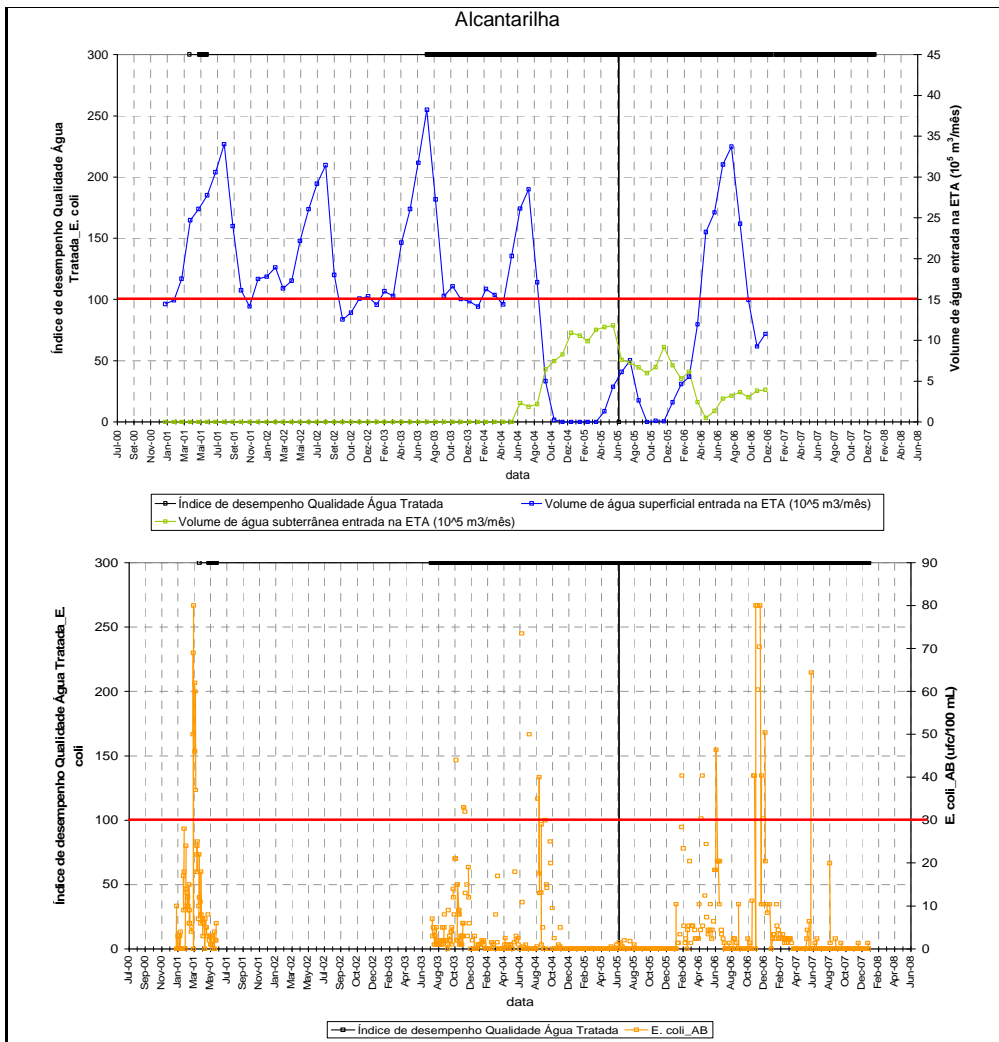


Figura 174 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - *Escherichia coli*

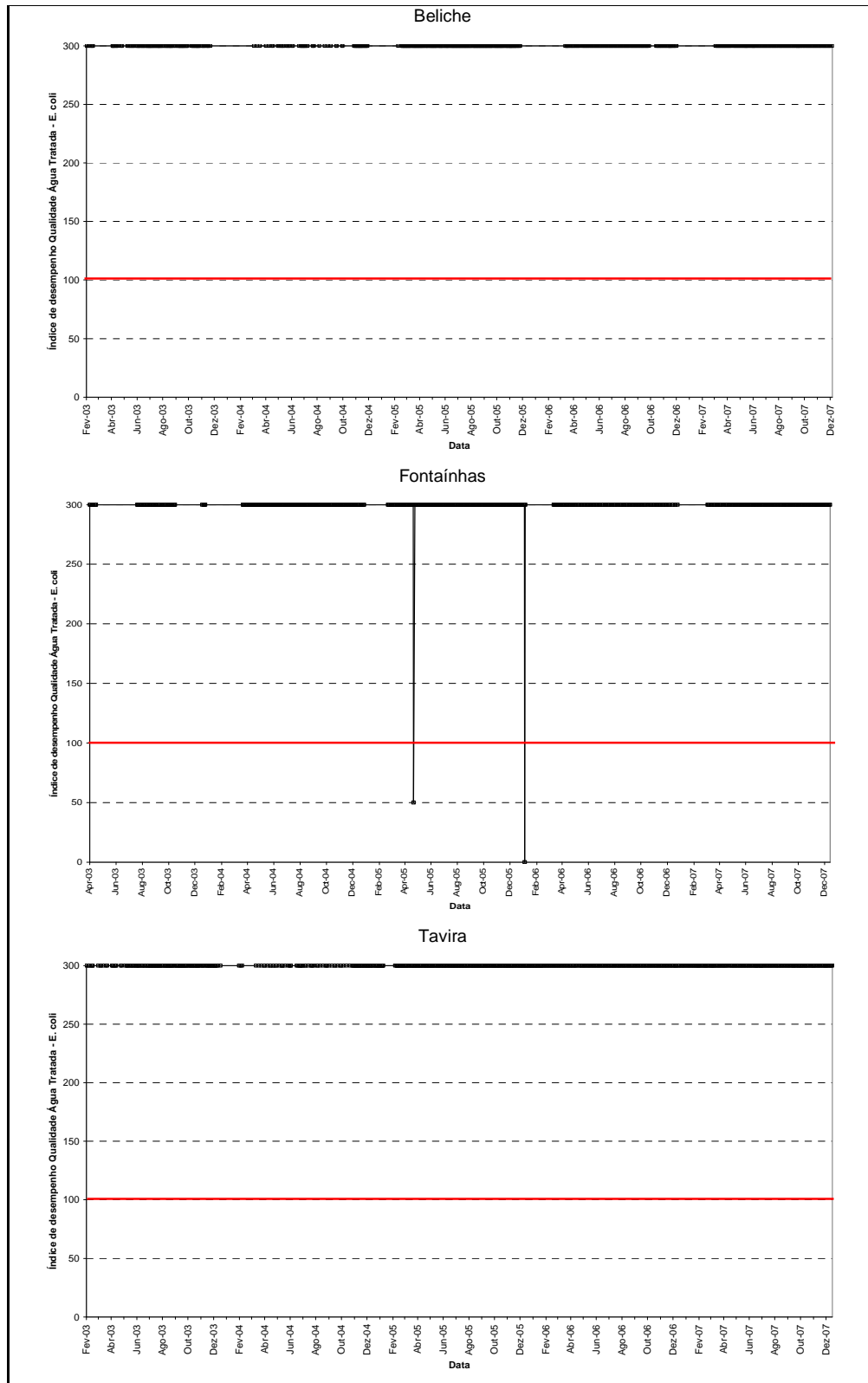


Figura 174 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - *Escherichia coli*

A Figura 175 apresenta a variação temporal do índice de desempenho relativo ao *Clostridium Perfringens*. O desempenho das quatro ETA da AdA foi, em geral, bom, observando-se apenas em Alcantarilha uma situação de abaixamento do índice (quando foi tratada água superficial e subterrânea) e, na ETA de Tavira, uma situação em que foi detectada 1 ufc/100 mL, pelo que o índice se anulou. Novamente, verifica-se que, na ETA de Alcantarilha, quando a concentração destes organismos aumentou na água bruta o tratamento conseguiu levar a cabo, eficazmente, a sua remoção/inactivação.

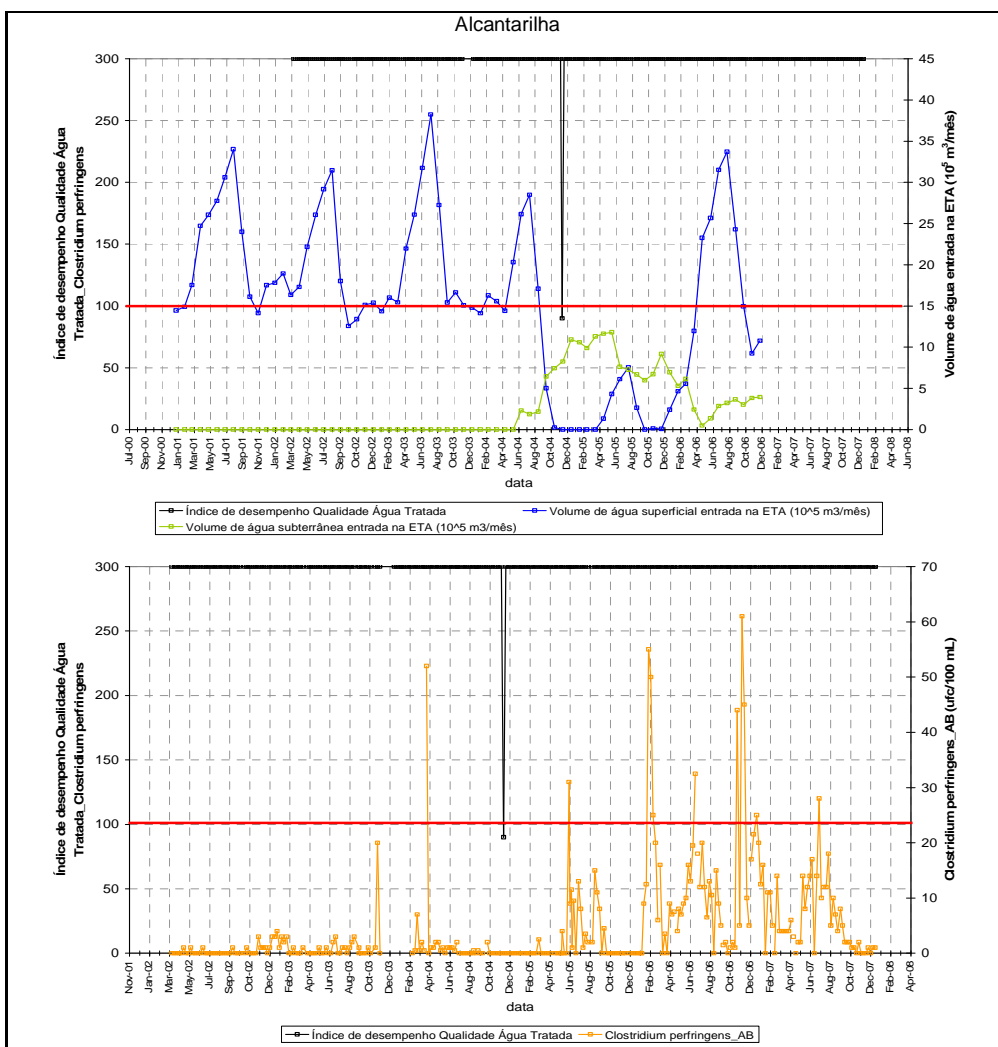


Figura 175 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - *Clostridium perfringens*

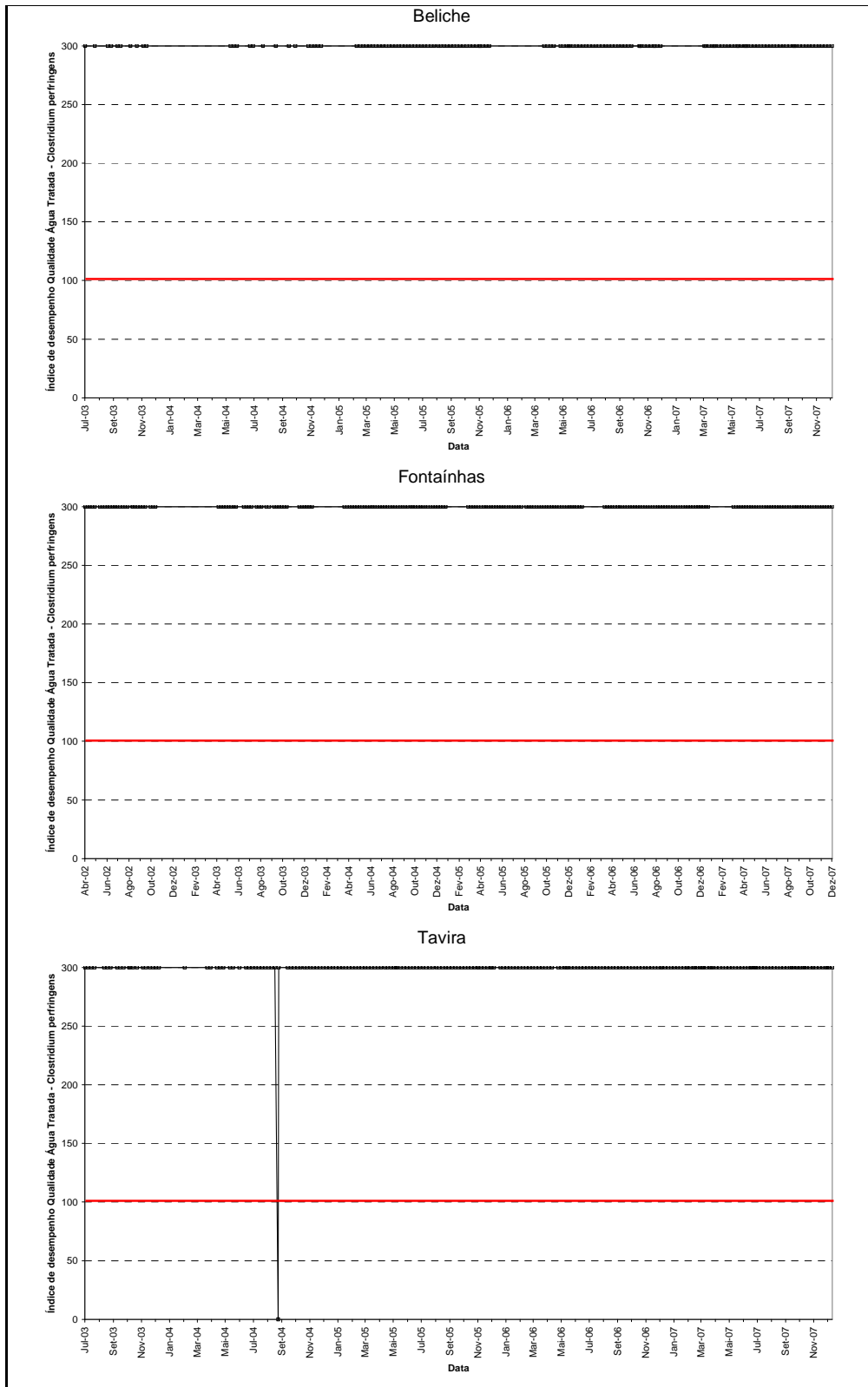


Figura 175 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - *Clostridium perfringens*

Relativamente ao parâmetro número de colónias a 22°C, a Figura 176 mostra o melhor desempenho das ETA de Fontainhas e Tavira face às ETA de Alcantarilha e Beliche, uma vez que o índice se situou sempre acima de 250. Na ETA de Alcantarilha ocorreu uma situação de menor desempenho no período de seca de 2004. Na ETA de Beliche, registaram-se quatro valores de índice inferiores a 100.

O desempenho foi um pouco pior no caso do parâmetro número de colónias a 37°C (Figura 177), uma vez que agora todas as ETA da AdA apresentaram alguns valores do índice nas gamas aceitável e insatisfatório. No entanto, na maior parte do período estudado, o desempenho continuou a ser bom, com índices superiores a 250. A situação de desempenho insatisfatório da ETA de Alcantarilha ocorreu no período de seca de 2004.

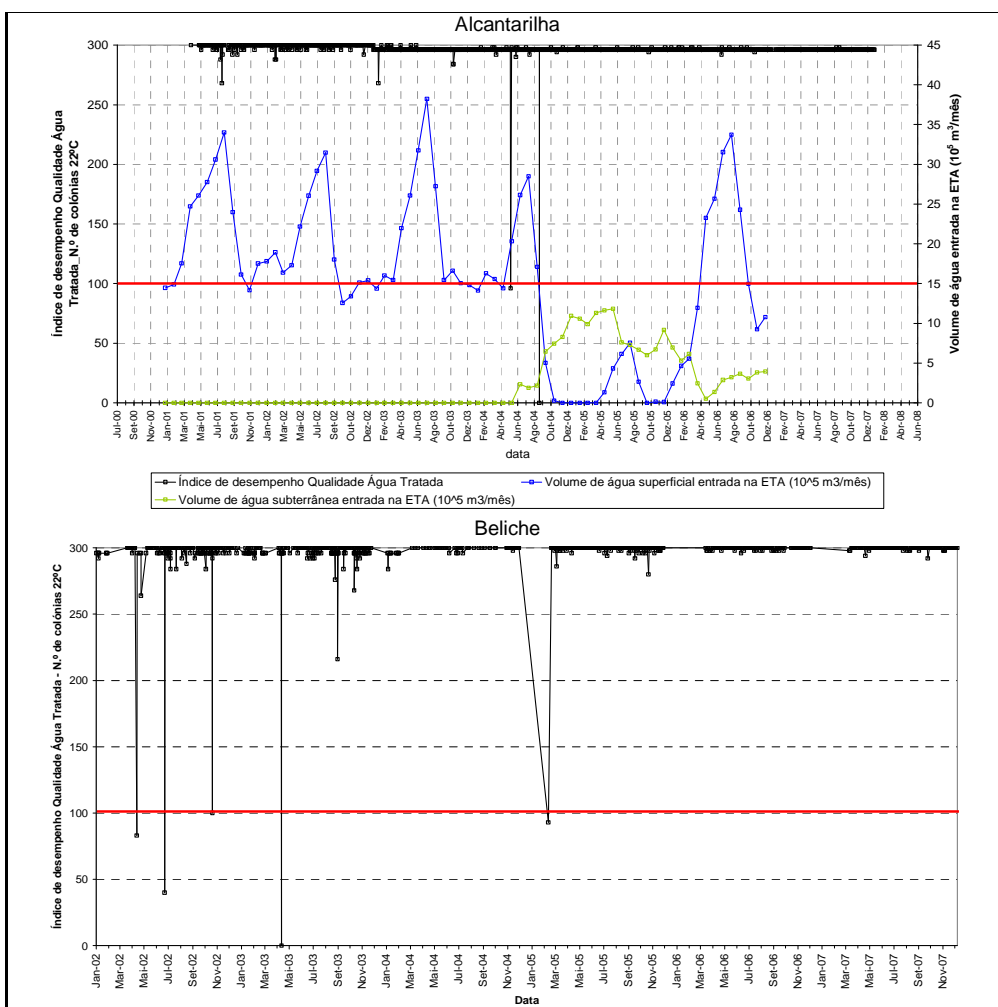


Figura 176 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - N.º colónias a 22°C

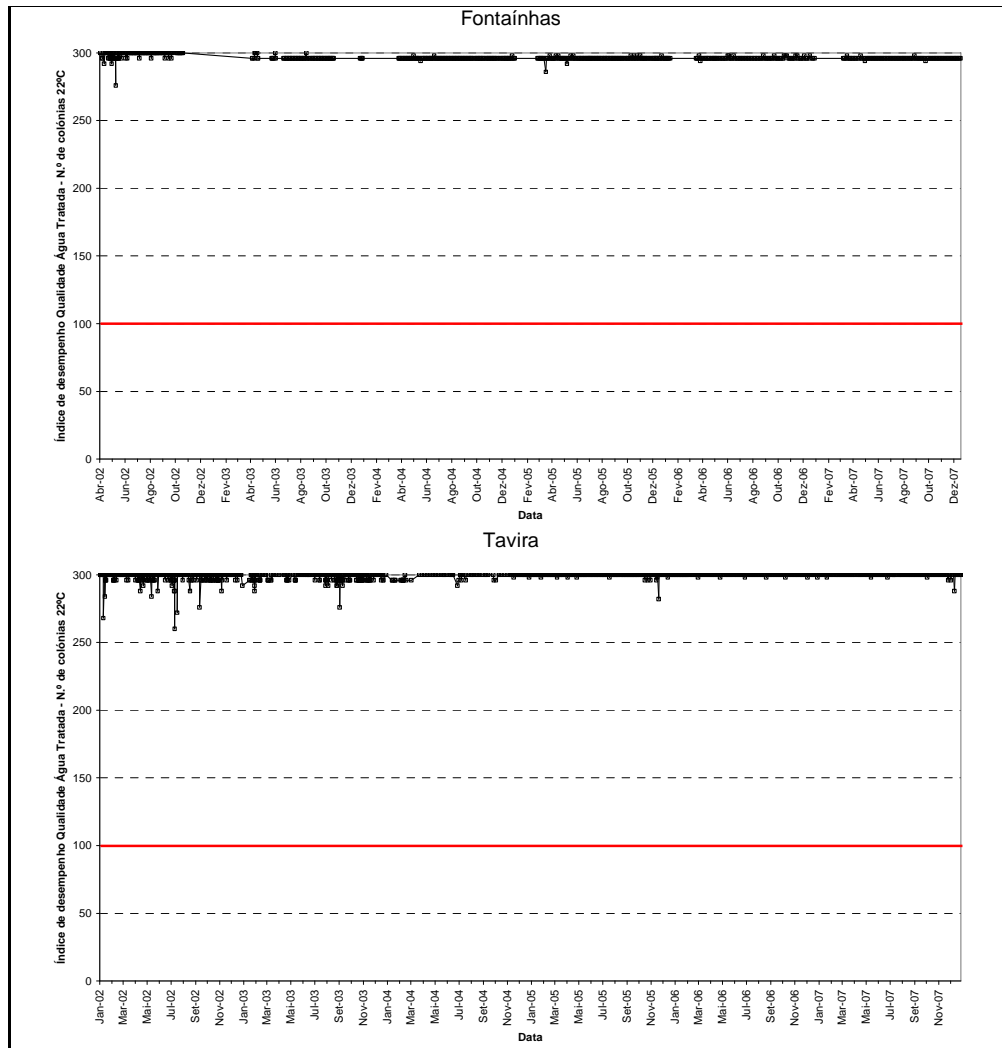


Figura 176 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - N.º colónias a 22°C

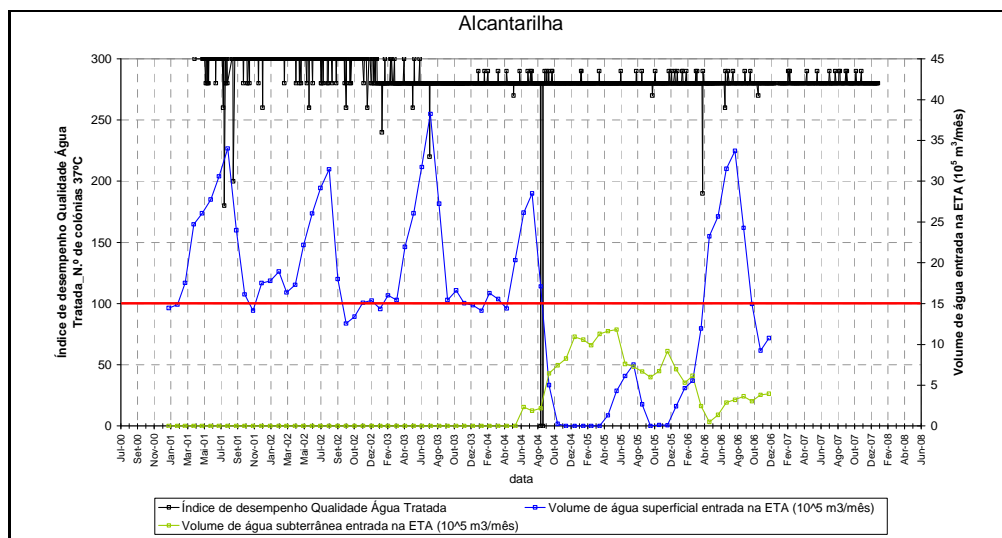


Figura 177 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - N.º colónias a 37°C

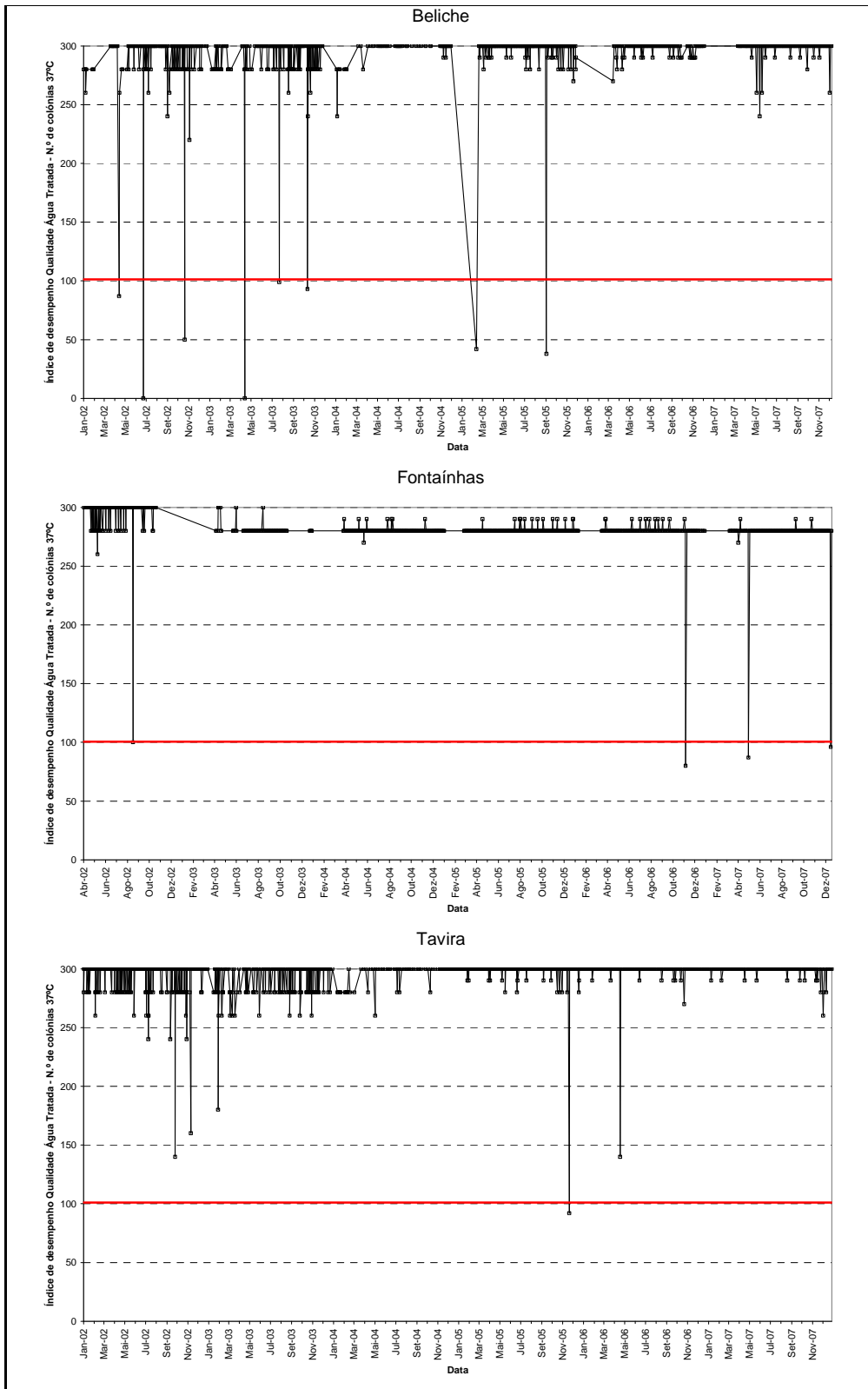


Figura 177 (cont.) – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - N.º colónias a 37°C

9.1.2.13. Análise do desempenho em termos da qualidade da água tratada na globalidade

Nas Figuras 178 a 181 resumem-se os valores máximos e mínimos obtidos para os índices de desempenho da qualidade da água tratada nas ETA de Alcantarilha, Fontaínhas, Tavira e Beliche, respectivamente, entre 2001 e 2007 e para todos os parâmetros para os quais foram disponibilizados dados. Esta representação permite ter uma visão geral do desempenho em termos da qualidade da água tratada, podendo ser identificados quais os parâmetros ou grupos de parâmetros mais problemáticos e que originaram piores desempenhos. A leitura destes gráficos deve ser feita tendo em atenção que os valores mínimos podem ter ocorrido pontualmente.

Foi feita, adicionalmente, uma classificação dos parâmetros em seis grupos (Quadro 81) que auxilia este tipo de análise, sobretudo quando se comparam as quatro ETA.

Verifica-se que, para a ETA de Alcantarilha (Figura 178 e Quadro 81), o desempenho foi melhor no caso dos parâmetros 1,2-dicloroetano, 1,3-dicloropropeno, acefato, alfa-total, antimónio, arsénio, azoto amoniacal, beta-total, boro, cádmio, chumbo, cianeto, cimoxanil, cloreto, clorofeninfos, clorpirifos, *Clostridium perfringens*, condutividade, cor, crómio, *Cryptosporidium parvum*, desetilterbutilazina, diurão, dose indicativa total, endossulfão, endossulfão I, endossulfão II, enterococos, etilparatão, ferro, fluoreto, *Giardia lamblia*, lindano, linurão, mercúrio, metidatão, metolacloro, microcistinas, molinato, níquel, nitrato, nitrito, oxidabilidade, PAH, pH, propanil, selénio, sódio, sulfato, terbutilazina, tirame e trítio, uma vez que os correspondentes índices de desempenho se situaram sempre na gama 200-300.

Relativamente aos parâmetros atrazina, benzeno, cálcio, cobre, desetilatraxina, desetilsimazina, magnésio, simazina, tetracloroetano e tricloroetano o desempenho não foi tão bom, uma vez que, para além de valores de bom desempenho (200-300), registaram-se também um ou mais valores na gama 100-200.

O fosetil-alumínio apresentou índices na gama 100-200.

Vários pesticidas tiveram sempre um desempenho mínimo aceitável (índices sempre iguais a 100): amitrol, captana, dazomete, dimetoato, dinocape, folpete, mancozebe, metame-sódio, paraquato e propinebe. Estes resultados devem-se, certamente, ao facto de os LQ usados serem iguais ao VL.

Os VL estabelecidos para os parâmetros acrilamida, cloreto de vinilo e epícloridrina correspondem aos requisitos legais, que devem ser avaliados com base em especificações dos fabricantes dos reagentes usados no tratamento. No entanto, na ausência dessas especificações, a EG determinou analiticamente a concentração na água tratada, mas usando um método analítico com LQ igual ao VL. Por esta razão, observaram-se índices sempre iguais a 100.

O desempenho foi mais variável e, aparentemente, mais difícil de controlar no caso dos parâmetros alumínio, bactérias coliformes, bromato, cloro, dureza, *Escherichia coli*, Índice de Saturação de Langlier, manganês, número de colónias a 22°C, número de colónias a 37°C, THM e turvação, uma vez que o índice assumiu valores em várias zonas de desempenho incluindo sempre a zona de desempenho insatisfatório.

Com excepção do antimónio, atrazina, benzeno, cádmio, *Clostridium perfringens*, desetilatraxina, desetilsimazina, mercúrio, número de colónias a 22°C, simazina e dos parâmetros já atrás discutidos individualmente para os quais há algumas diferenças de comportamento, o cenário descrito para a ETA de Alcantarilha é também observado para as outras três ETA da AdA como se pode ver, sobretudo, no Quadro 81.

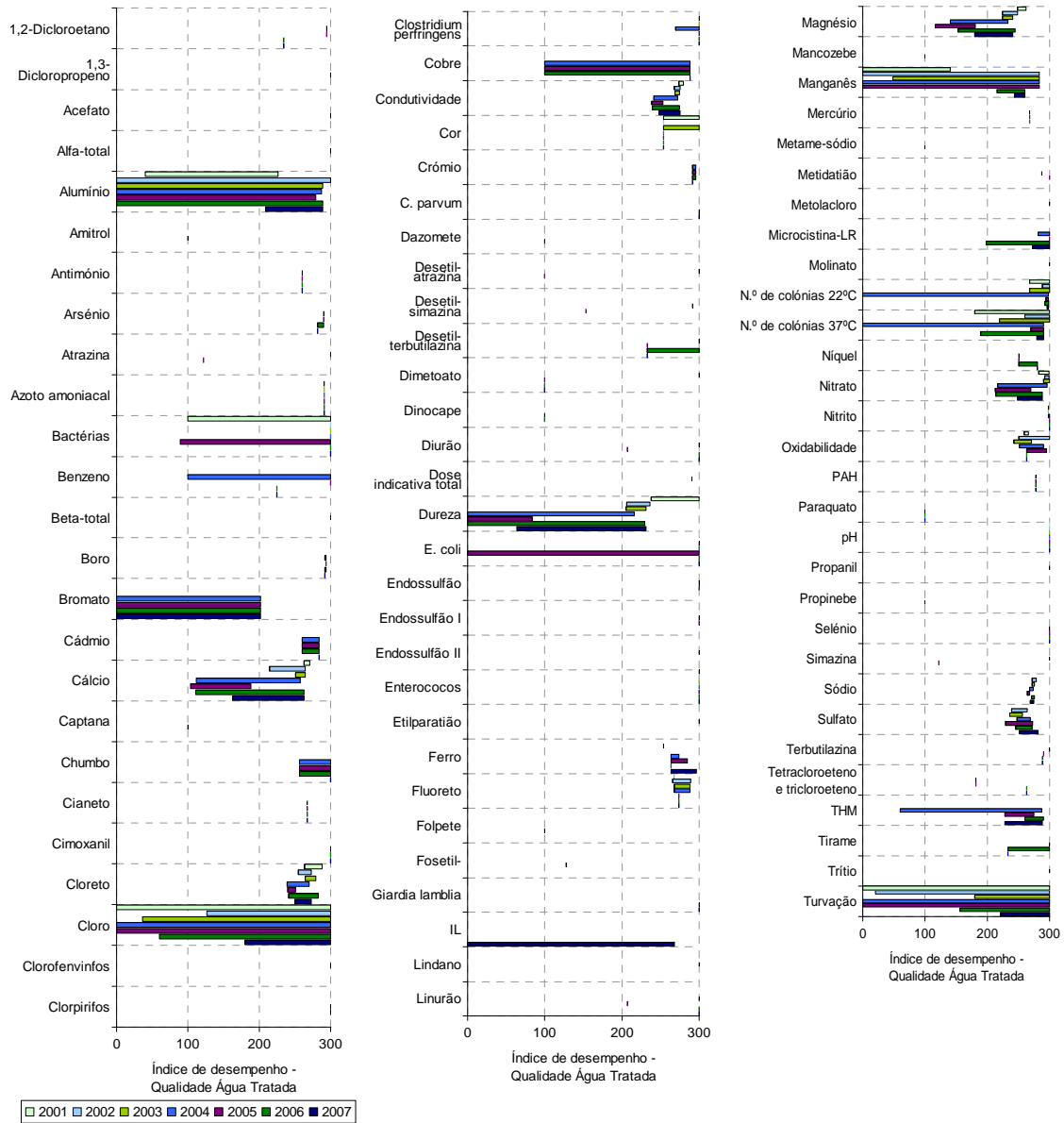


Figura 178 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Alcantarilha em 2001-2007

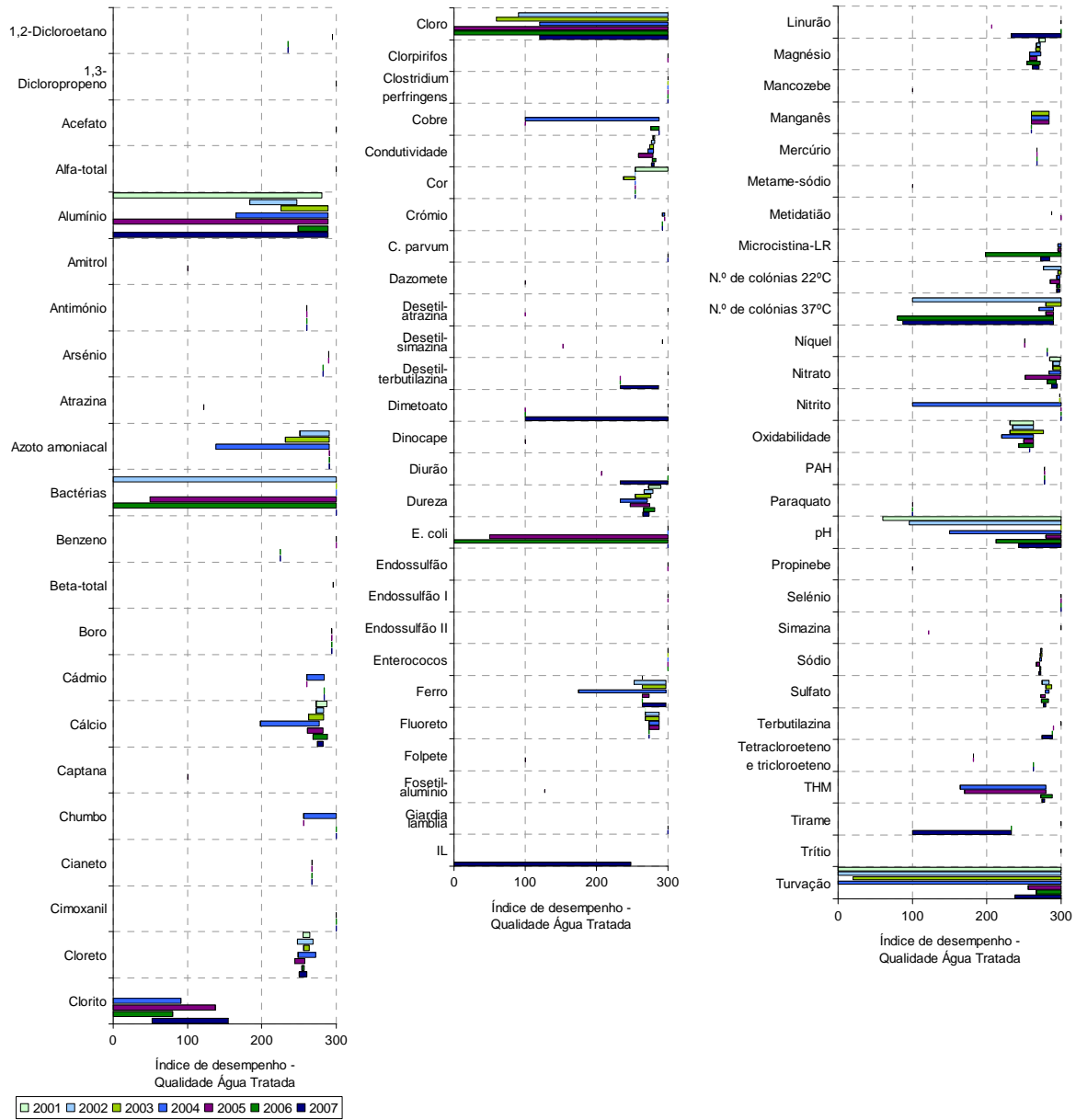


Figura 179 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Fontainhas em 2001-2007

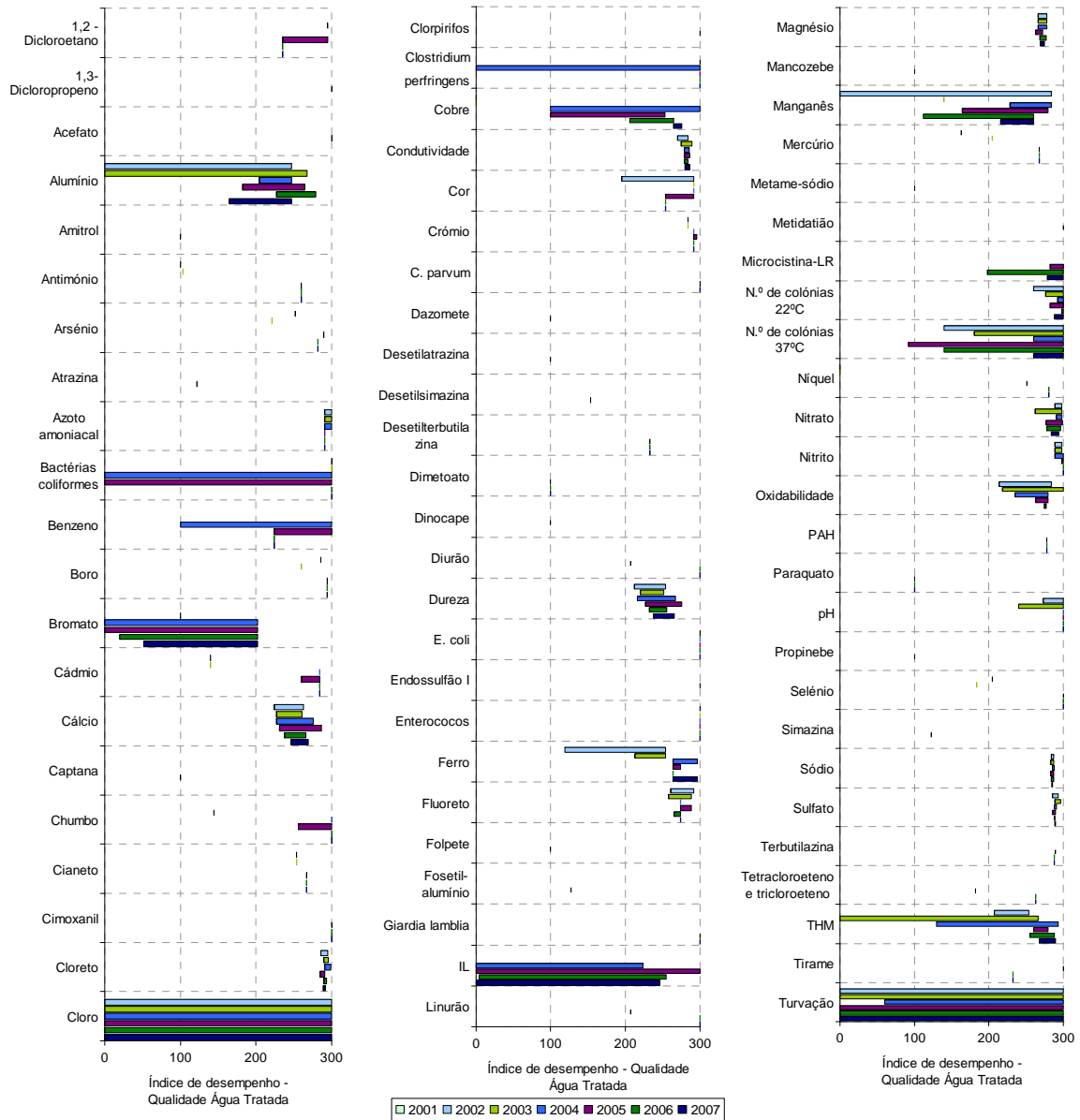


Figura 180 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Tavira em 2001-2007

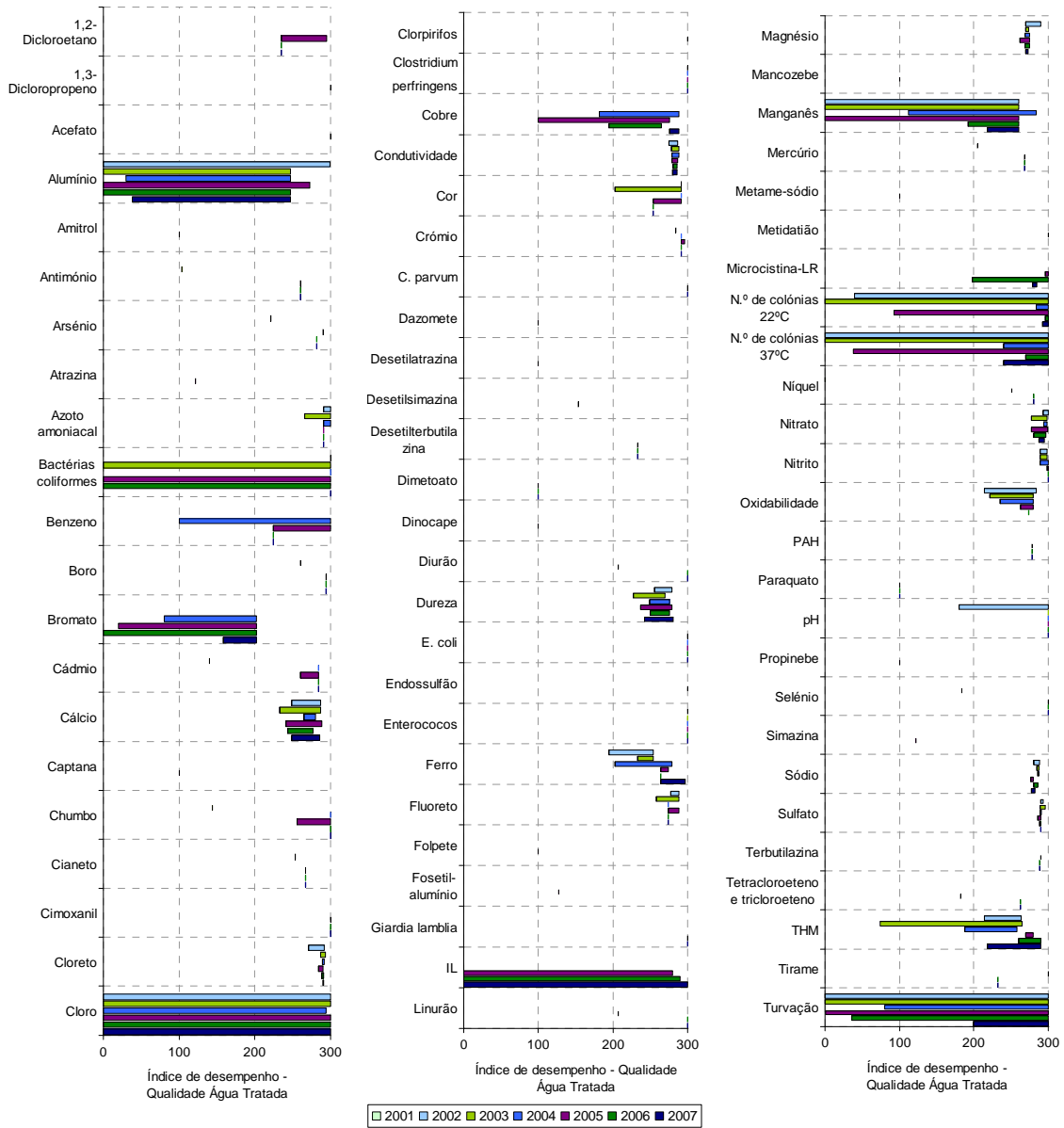


Figura 181 – Valores mínimos e máximos dos índices de desempenho da qualidade da água tratada na ETA de Beliche em 2001-2007

Quadro 81 – Classificação dos parâmetros de qualidade da água tratada em termos de desempenho

Parâmetro	ETA			
	Alcantarilha	Fontainhas	Tavira	Beliche
1,2-Dicloroetano	1	1	1	1
1,3-Dicloropropeno	1	1	1	1
Acefato	1	1	1	1
Alfa-total	1	1	-	-
Alumínio	5	5	5	5
Amitrol	4	4	4	4
Antimónio	1	1	2	2
Arsénio	1	1	1	1
Atrazina	2	3	3	3
Azoto amoniacal	1	1	1	1
Bactérias coliformes	5	5	5	5
Benzeno	2	1	2	1
Beta-total	1	1	-	-
Boro	1	1	1	1
Bromato	5	-	5	5
Cádmio	1	1	2	2
Cálcio	2	1	1	1
Captana	4	4	4	4
Chumbo	1	1	2	2
Cianeto	1	1	1	1
Cimoxanil	1	1	1	1
Cloreto	1	1	1	1
Clorito	-	3	-	-
Cloro	5	5	5	5
Clorofeninfos	1	-	-	-
Clorpirifos	1	1	1	1
<i>Clostridium perfringens</i>	1	1	5	1
Cobre	2	2	2	2
Condutividade	1	1	1	1
Cor	1	1	1	1
Crómio	1	1	1	1
<i>Cryptosporidium parvum</i>	1	1	1	1
Dazomete	4	4	4	4
Desetilatrazina	2	2	4	4
Desetilsimazina	2	2	3	3
Desetilterbutilazina	1	1	1	1
Dimetoato	4	4	4	4
Dinocape	4	4	4	4
Diurão	1	1	1	1
Dose indicativa total	1	-	-	-
Dureza	5	1	1	1
<i>Escherichia coli</i>	5	5	1	1
Endossulfão	1	1	-	1
Endossulfão I	1	1	1	-
Endossulfão II	1	1	-	-
Enterococos	1	1	1	1
Etilparatião	1	-	-	-
Ferro	1	2	2	2
Fluoreto	1	1	1	1
Folpete	4	4	4	4
Fosetil-alumínio	3	3	3	3
<i>Giardia lamblia</i>	1	1	1	1
Índice de Saturação de Langelier ¹	5	5	5	5
Lindano	1	-	-	-
Linurão	1	1	1	1
Magnésio	2	1	1	1
Mancozebe	4	4	4	4

¹Em Alcantarilha e Fontainhas analisado só em 2007; em Tavira e Beliche analisado de Novembro 2004 a Dezembro 2007.

Quadro 81 (cont.) – Classificação dos parâmetros de qualidade da água tratada em termos de desempenho

Parâmetro	ETA			
	Alcantarilha	Fontainhas	Tavira	Beliche
Manganês	5	1	5	5
Mercúrio	1	1	2	1
Metame-sódio	4	4	4	4
Metidatião	1	1	1	1
Metolacloro	1	-	-	-
Microcistinas	1	1	1	1
Molinato	1	-	-	-
N.º de colónias 22°C	5	1	1	5
N.º de colónias 37°C	5	5	5	5
Níquel	1	1	1	1
Nitrato	1	1	1	1
Nitrito	1	1	1	1
Oxidabilidade	1	1	1	1
PAH	1	1	1	1
Paraquato	4	4	4	4
pH	1	5	1	3
Propanil	1	-	-	-
Propinebe	4	4	4	4
Selénio	1	1	2	2
Simazina	2	2	3	3
Sódio	1	1	1	1
Sulfato	1	1	1	1
Terbutilazina	1	1	1	1
Tetracloroeteno e tricloroeteno	2	2	2	2
THM	5	2	5	5
Tirame	1	1	1	1
Trítio	1	1	-	-
Turvação	5	5	5	5

1 parâmetro com índices de desempenho sempre na gama 200-300
2 parâmetro com índices de desempenho nas gamas 100-200 e 200-300
3 parâmetro com índices de desempenho sempre na gama 100-200
4 parâmetro com índices de desempenho sempre igual a 100
5 parâmetro com índices de desempenho <100 (não incluindo os classificados como 6)
6 parâmetro com índices de desempenho sempre <100

A agregação da informação individual de todos os parâmetros é dificultada pelo facto de as determinações analíticas não serem realizadas nas mesmas datas. Assim, e de modo a dispor de uma medida do desempenho em termos de qualidade da água tratada ao nível da ETA, fez-se uma média não ponderada agregando os valores médios anuais dos índices de desempenho de todos os parâmetros estudados. Deste modo, obteve-se, para cada ano, um índice de desempenho de qualidade médio da água tratada em cada ETA. Para se ter uma noção da dispersão entre os vários parâmetros, foram também determinados os percentis 25 e 75. A Figura 182 mostra que:

- em termos médios, o desempenho das quatro ETA da AdA foi bom, observando-se maioritariamente índices na gama 200-300;
- antes do período de escassez de água (2004, 2005), os desempenhos das ETA de Alcantarilha

e Fontainhas foram semelhantes entre si, o mesmo acontecendo entre as ETA de Tavira e Beliche;

- durante o período de escassez (2004 e, sobretudo, 2005), o desempenho sofreu uma diminuição, seguida de uma recuperação após este período; nas ETA do Barlavento, não se atingiu a situação inicial dos anos 2001-2003, mas nas ETA do Sotavento essa situação foi atingida ou ultrapassada;
- após o período de escassez, o desempenho foi mais semelhante entre as quatro ETA da AdA;
- em todas as ETA da AdA, a dispersão de valores relativos aos vários parâmetros foi maior em 2005 (percentil 25 e 75 superiores aos outros anos); nos anos anteriores à escassez (2002-2004), as ETA de Tavira e Beliche apresentaram maior dispersão do que as ETA de Alcantarilha e Fontainhas, sobretudo em 2002.

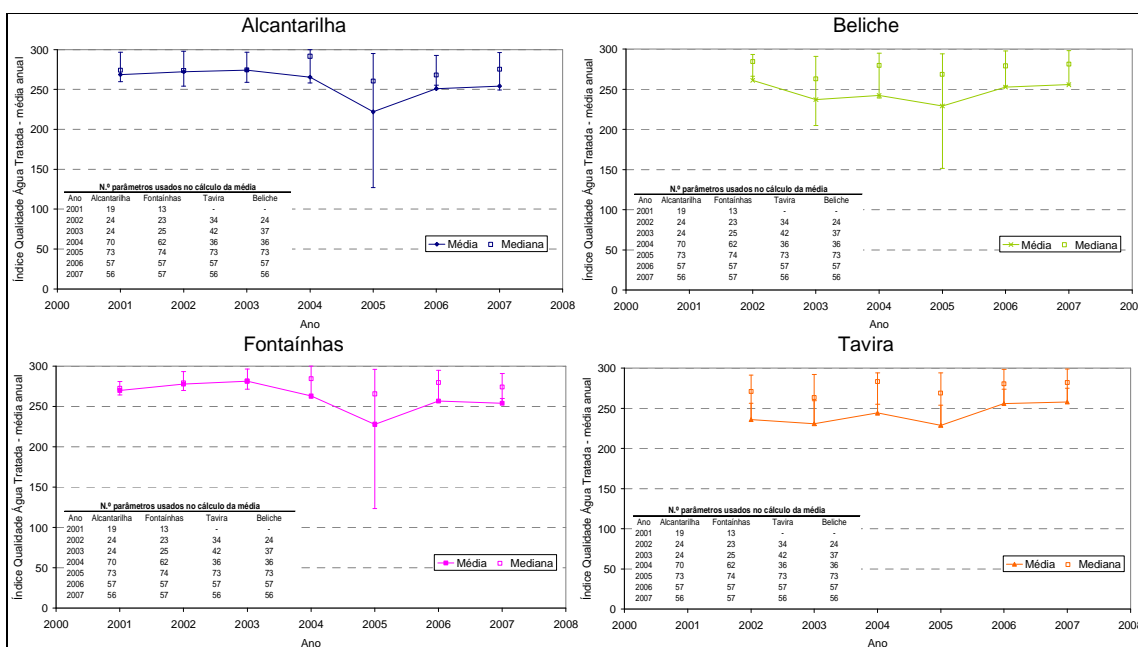


Figura 182 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - média com todos os parâmetros estudados

De notar que este tipo de agregação permite ter uma visão global do desempenho em termos da qualidade da água tratada, mas deve ser analisado tendo em mente que não foram usados sempre os mesmos parâmetros para o cálculo da média (ver quadros incluídos na Figura 182).

Foram também testados outros dois modos de agregação que consistiram em: i) média de índices

de desempenho dos sete parâmetros-chave incluídos no indicador de desempenho tWQ02 (turvação, alumínio, ferro, manganês, bromato, THM e bactérias coliformes) nas datas em que existiam análises para todos (Figura 183a) (no caso da ETA de Fontainhas, não foi considerado o bromato mas o clorito), ii) média anual desses sete parâmetros, mas usando todas as datas para as quais havia dados (Figura 183b).

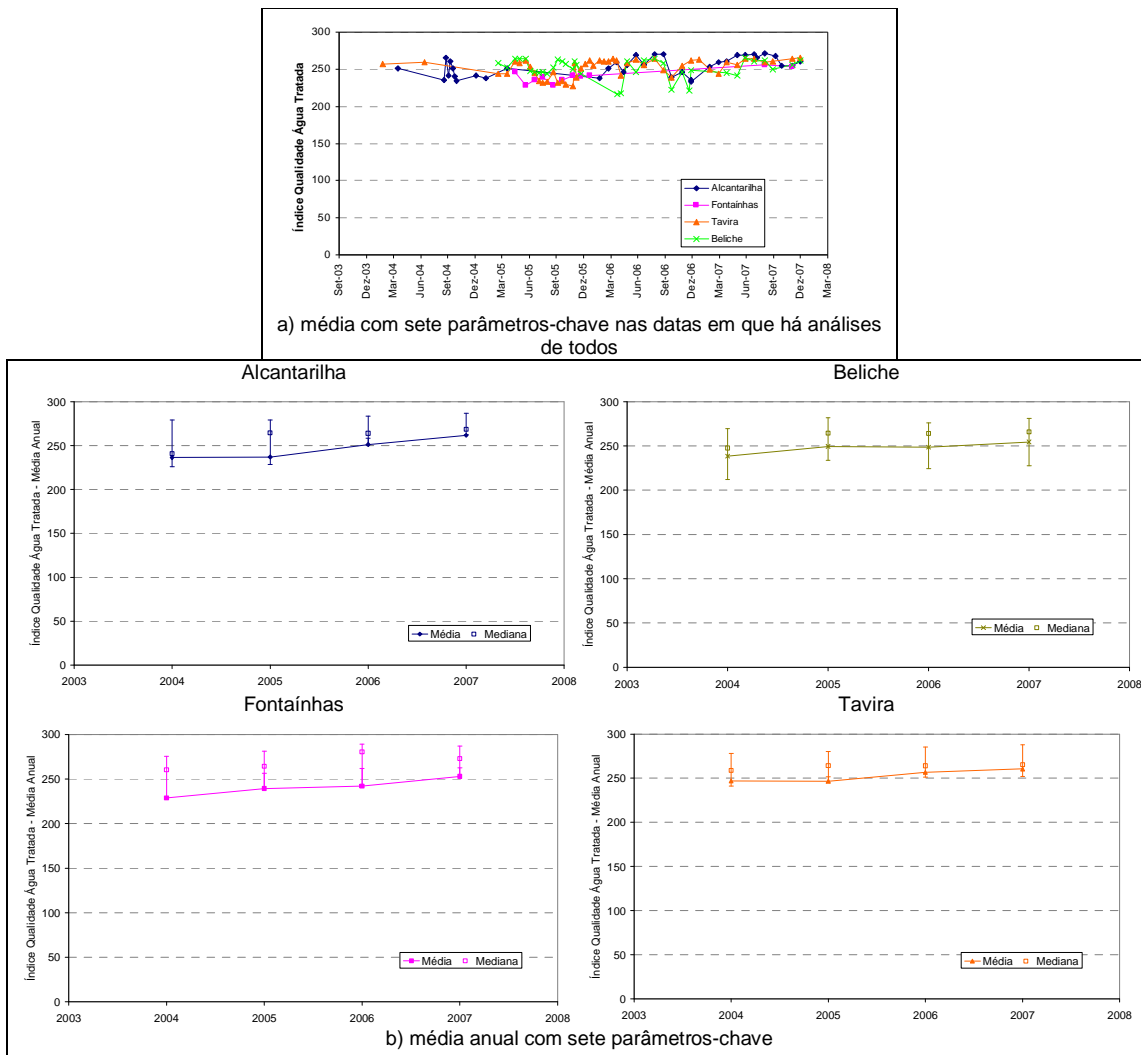


Figura 183 – Índice de desempenho de qualidade da água tratada - média dos sete parâmetros chave

O comportamento observado quando se consideram só os sete parâmetros-chave (Figura 183) é distinto, em alguns anos, do comportamento quando se consideram todos os parâmetros (Figura 182), o que mostra que, nestes casos de estudo, os sete parâmetros-chave não reflectem sempre a situação global. Assim, e apesar de este tipo de agregação ter as vantagens da mais fácil

obtenção de dados para o seu cálculo, o facto de se conseguir fazer uma análise da evolução temporal do desempenho global da ETA a uma escala mais fina do que a anual, e o facto de permitir comparações entre ETA mais justas (uma vez que são sempre usadas médias calculadas exactamente com os mesmos parâmetros), nem sempre se afigura adequado avaliar o desempenho em termos da qualidade da água tratada com base nos sete parâmetros-chave propostos.

Como era expectável, o cálculo aqui apresentado para o índice de desempenho em termos da qualidade da água tratada ao nível da ETA por agregação de índices relativos aos vários parâmetros de qualidade, quer considerando todos os parâmetros, quer considerando apenas os sete parâmetros-chave, teve associada a perda de alguma informação. Verifica-se, por exemplo, que o índice agregado de Alcantarilha se situou sempre entre 200 e 300, enquanto que da discussão relativa a alguns dos parâmetros feita nesta secção se concluiu que há parâmetros problemáticos cujos índices se situam abaixo dessa gama (*e.g.*, bromato).

9.2. Avaliação de desempenho operacional em termos da eficiência do tratamento

9.2.1. Funções de desempenho

Seguindo a metodologia descrita na secção 5.3, foram definidas funções de desempenho a aplicar às eficiências de remoção para as seguintes combinações parâmetro e OPU/conjunto de OPU (para as quais existiam dados suficientes para se efectuar o tratamento estatístico):

- remoção global de turvação;
- remoção de turvação na C/F/D;
- remoção de turvação na filtração;
- remoção de alumínio na filtração.

Como já referido, as funções de desempenho são distintas para concentrações afluentes distintas,

pelo que não é possível apresentar aqui todas as funções, exemplificando-se apenas, na Figura 184, a sua forma no caso da remoção do alumínio na filtração, para concentrações afluentes a esta OPU (*i.e.*, concentração de alumínio na água decantada) de 25 µg/L e 1000 µg/L.

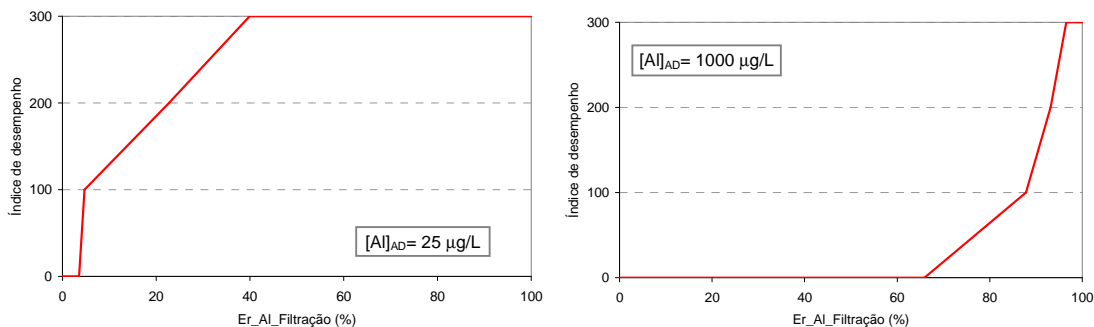


Figura 184 – Funções de desempenho a aplicar a eficiências de remoção do alumínio na filtração para concentrações de alumínio afluentes $[Al]_{AD}$ de 25 µg/L e 1000 µg/L

9.2.2. Resultados e discussão

Tal como na componente qualidade da água tratada da avaliação de desempenho operacional, a aplicação da componente de eficiência do tratamento teve por objectivo avaliar se a metodologia proposta traduz a variação temporal do desempenho de uma ETA e se permite a comparação entre o desempenho de ETA distintas. Assim, a forma de apresentação de resultados é também semelhante: gráficos com variação do índice de desempenho ao longo do tempo, gráficos de distribuição temporal dos índices e, no caso da ETA de Alcantarilha (única que disponibilizou dados de volumes de água tratada que permitem esta representação), gráficos de distribuição dos índices relativamente ao volume anual de água tratada. Uma vez mais, a discussão será mais pormenorizada para Alcantarilha, sendo as restantes ETA avaliadas em termos comparativos.

9.2.2.1. Remoção global de turvação

Na Figura 185 representa-se a evolução temporal do índice de desempenho em termos de eficiência global do tratamento na remoção de turvação. Na Figura 186 apresenta-se a distribuição deste índice pelas várias gamas de desempenho.

O desempenho na ETA de Alcantarilha foi, em geral, bom observando-se, no entanto, três

períodos (Julho-Outubro 2003, Setembro-Novembro 2004 e Junho-Setembro 2005) em que os índices baixaram para valores inferiores a 200 (desempenho aceitável) e inferiores a 100 (desempenho insatisfatório) em algumas datas (Figura 185). Estes períodos coincidiram sempre com o Verão e Outono, altura em que o caudal tratado sofreu variações significativas, pelo que o menor desempenho parece traduzir a existência de um tempo de adaptação atempada das condições de tratamento a essas variações (de notar que, uma vez que este índice de desempenho incorpora já a concentração afluente, não é necessário nesta análise considerar as variações de qualidade da água bruta). Adicionalmente, tal como no caso do desempenho em termos da qualidade da água tratada, o desempenho em termos de eficiência do tratamento foi afectado nos anos de escassez de água na albufeira do Funcho (2004 e 2005). Nestes anos, as alterações da qualidade da água bruta associaram-se às alterações da quantidade, pelo que a necessidade de adaptação de condições de operação foi maior. Em 2006 e, sobretudo, em 2007 estes aspectos de operação da ETA foram melhorados.

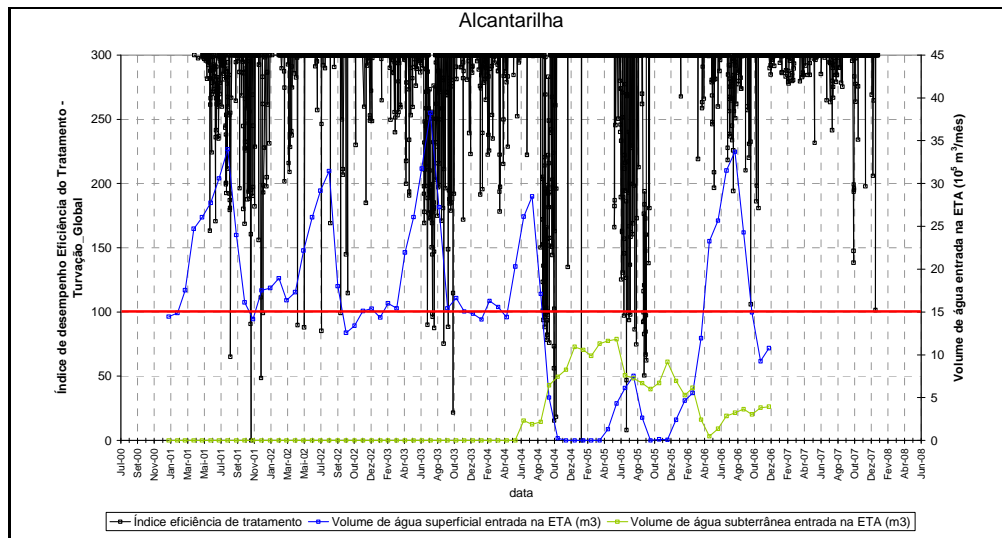


Figura 185 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção global de turvação

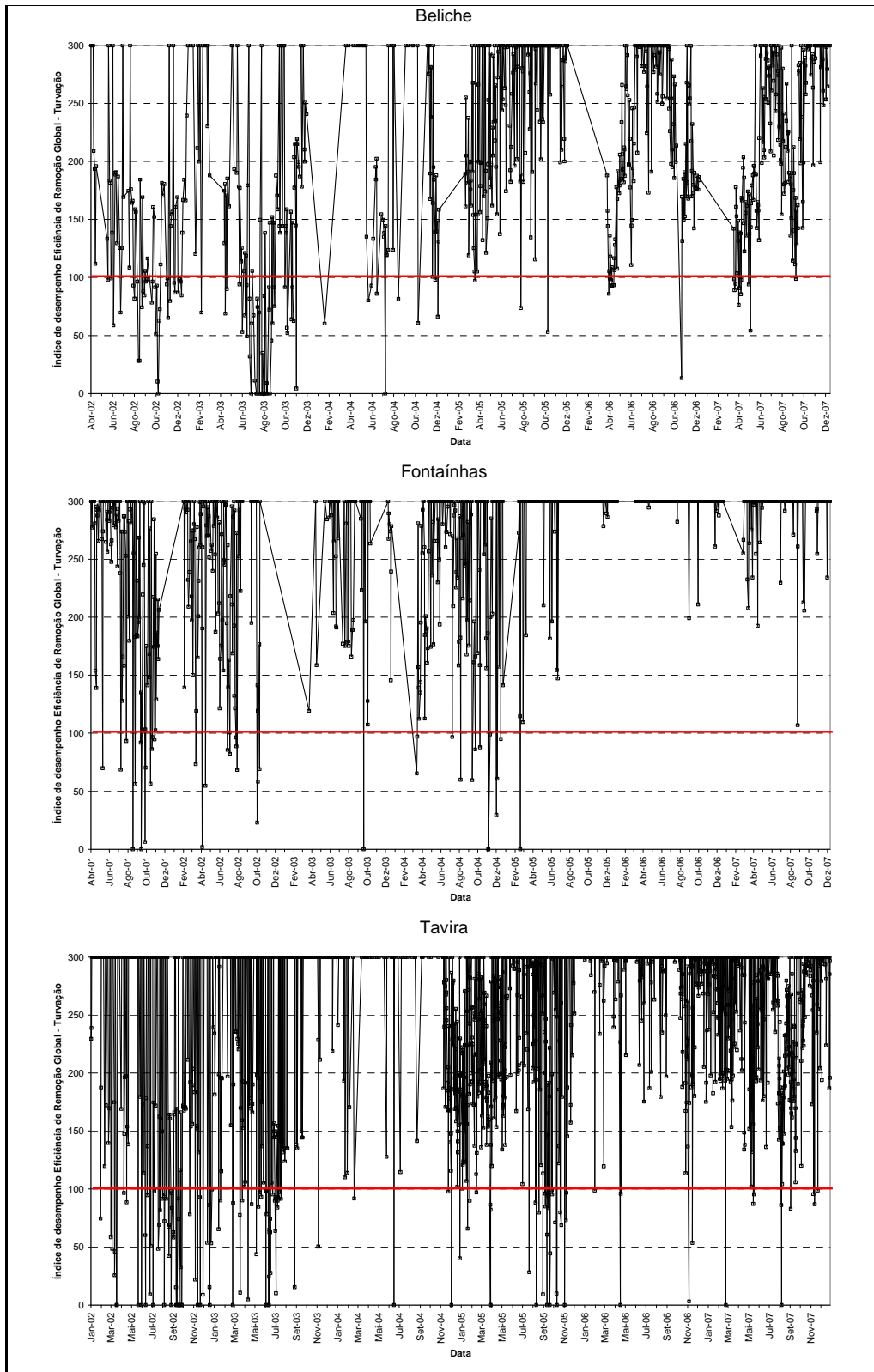


Figura 185 (cont.) – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção global de turvação

A Figura 186 mostra que a ETA de Alcantarilha teve um desempenho bom em 91-100% dos dias (dependendo do ano), sendo os valores mais baixos registados em 2004 e 2005 e o mais elevado em 2007. Em termos de volume tratado, o desempenho foi também sempre bom com exceção do ano de 2004, no qual 6% do volume teve índices associados entre 150 e 200 (Figura 187).

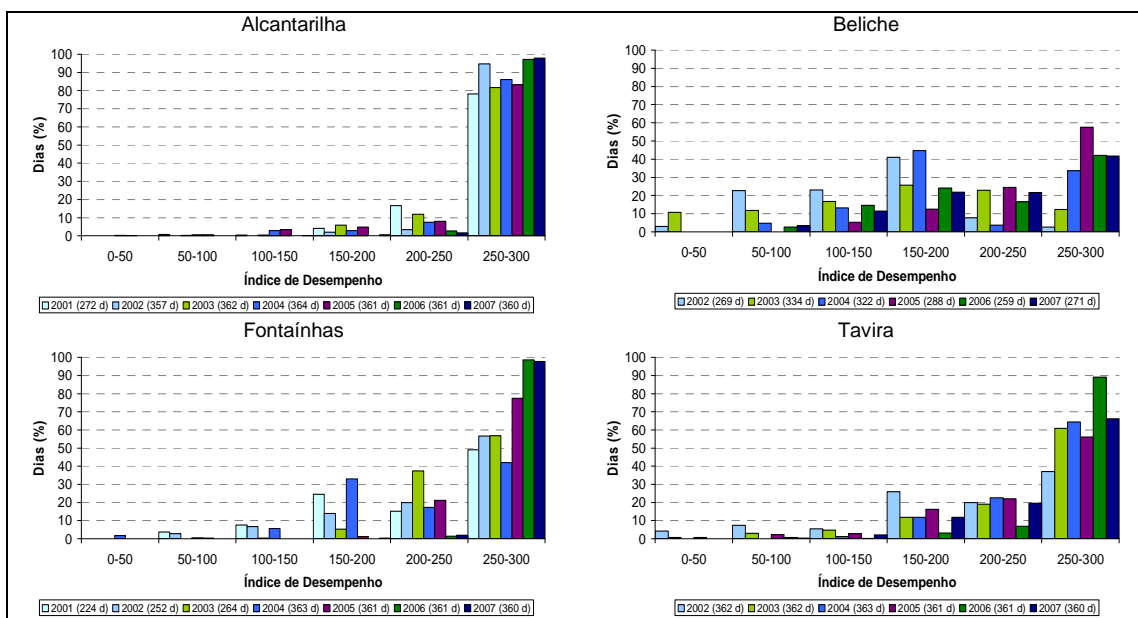


Figura 186 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção global de turvação

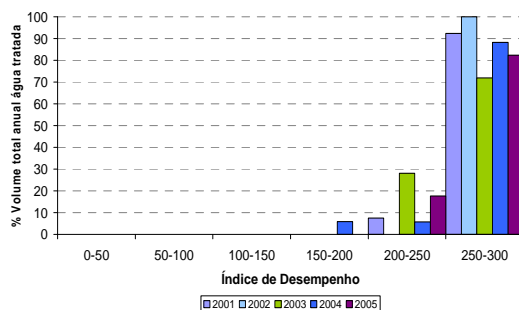


Figura 187 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção global de turvação - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

Com exceção da ETA de Beliche que apresentou uma maior percentagem de dias com desempenho aceitável (18-64%, dependendo do ano) e insatisfatório (5-26%, dependendo do ano), as outras ETA da AdA também apresentaram um bom desempenho (apesar de inferior à ETA de Alcantarilha) no período estudado (Figura 186). Os índices de desempenho assumiram valores superiores a 200 em 59-100% dos dias (dependendo do ano) na ETA de Fontainhas, e em

57-96% dos dias (dependendo do ano) na ETA de Tavira. Nas quatro ETA observa-se uma melhoria do desempenho entre 2001 e 2007.

9.2.2.2. Remoção de turvação na C/F/D e na filtração

Relativamente à remoção de turvação na C/F/D, o desempenho da ETA de Alcantarilha situou-se nas gamas aceitável e bom, com algumas situações de desempenho insatisfatório (Figura 188). Os períodos de menor desempenho foram Julho-Outubro 2003, Outubro 2004-Março 2005 e Agosto-Outubro 2006. O desempenho em termos da eficiência de remoção de turvação na filtração foi, em geral, superior à da C/F/D, observando-se muito menos situações de desempenho aceitável e insatisfatório (Figura 191). Os períodos de menor desempenho da filtração foram Março-Dezembro 2001, Julho 2003, Outubro 2004 e Julho 2006.

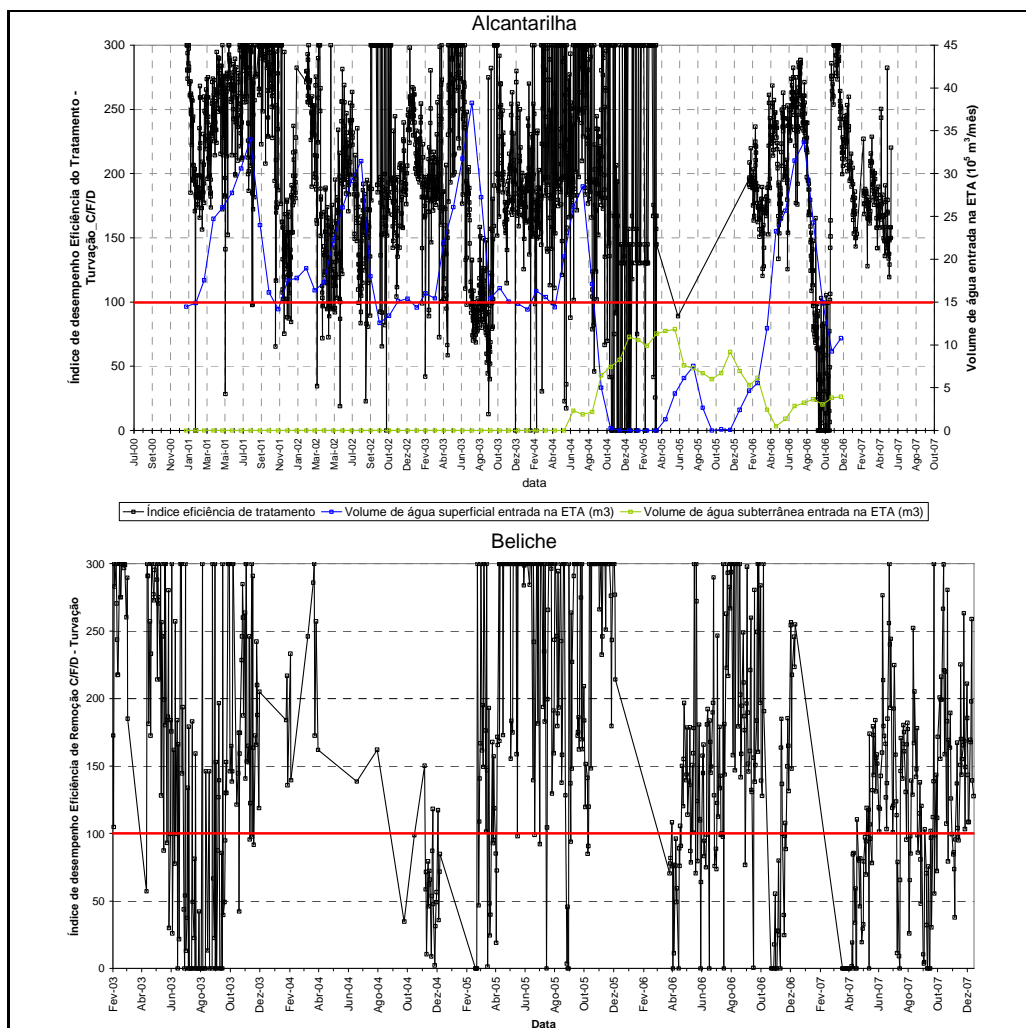


Figura 188 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na C/F/D

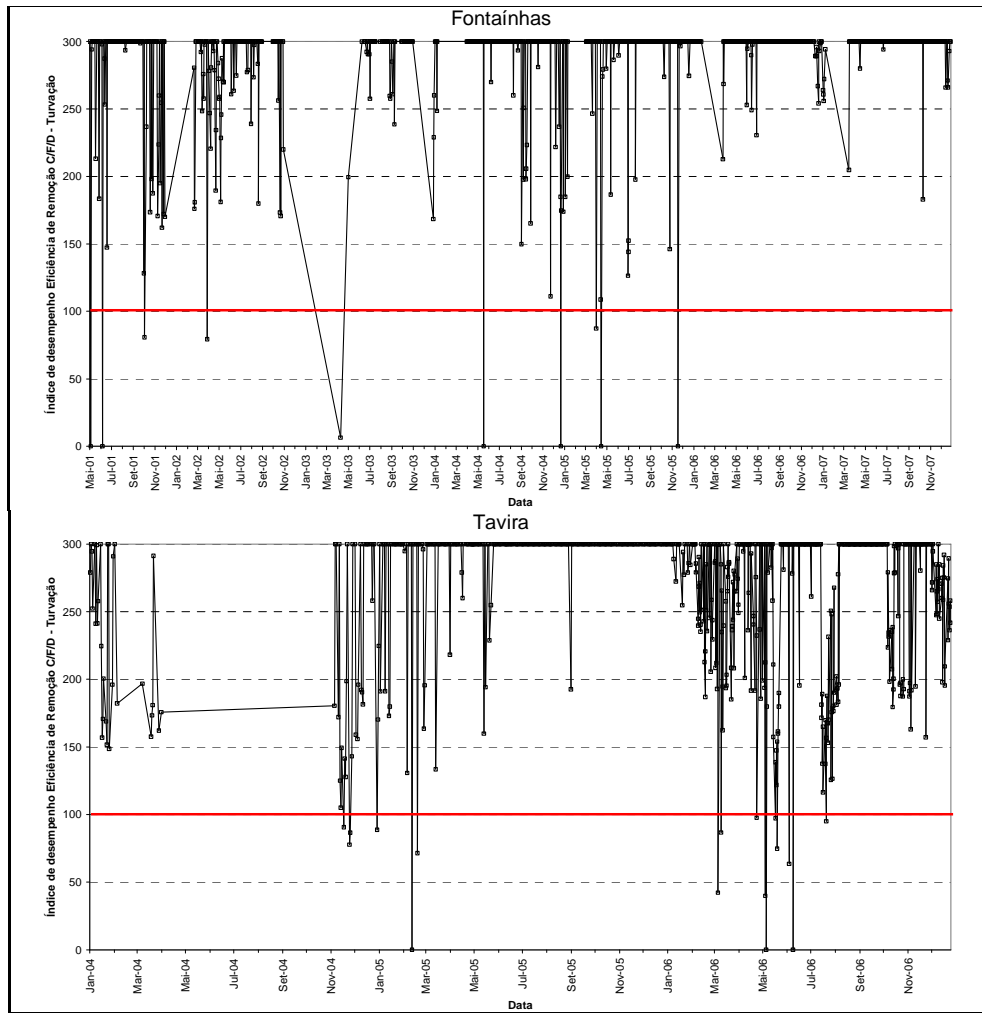


Figura 188 (cont.) – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na C/F/D

Comparando o desempenho da C/F/D e da filtração da ETA de Alcantarilha, observam-se períodos (*e.g.*, Outubro 2004-Março 2005, Agosto-Outubro 2006) nos quais o menor desempenho da C/F/D foi compensado pelo bom desempenho da filtração, permitindo que o desempenho de remoção global da turvação não tenha diminuído (Figura 185). Esta é a situação mais comum mas, por exemplo, em Agosto-Outubro 2003, o bom desempenho da filtração não foi suficiente para compensar o pior desempenho da C/F/D e o desempenho de remoção global de turvação baixou para a gama aceitável e, pontualmente, insatisfatória (não há dados para C/F/D e filtração no período de desempenho da ETA mais fraco – Junho-Setembro 2005). Em Julho de 2006, verificou-se a situação oposta, em que o desempenho da filtração foi inferior ao da C/F/D, tendo agora sido esta a responsável por o desempenho em termos de remoção global

não ter diminuído significativamente (Figura 185).

A Figura 189 confirma que o desempenho da ETA de Alcantarilha em termos da remoção de turvação na C/F/D variou com maior expressão na gama aceitável-bom, com 9-78% dos dias (dependendo do ano) de desempenho bom e 12-91% dos dias (dependendo do ano) com desempenho aceitável. Destacam-se os anos de 2005 e 2007 com pior desempenho, uma vez que foram os anos com menor percentagem de dias com índices superiores a 200 (35% e 9%, respectivamente).

Em termos de remoção de turvação na C/F/D, a ETA de Fontainhas apresentou o melhor desempenho das quatro ETA, com índices de desempenho maioritariamente acima de 200 (em 92-100% dos dias, dependendo do ano; Figura 189). O seu ano menos favorável foi 2003. A ETA de Beliche teve o pior desempenho pois foi a que apresenta maior número de índices inferiores a 100 (em 7-37% dos dias, dependendo do ano; Figura 189). Estes resultados podem estar relacionados com o tipo de decantadores existentes nas quatro ETA (Alcantarilha: manto de lamelas com lamelas; Távira: manto de lamelas Pulsator, Beliche: manto de lamelas estático, Fontainhas: manto de lamelas sem lamelas Pulsator).

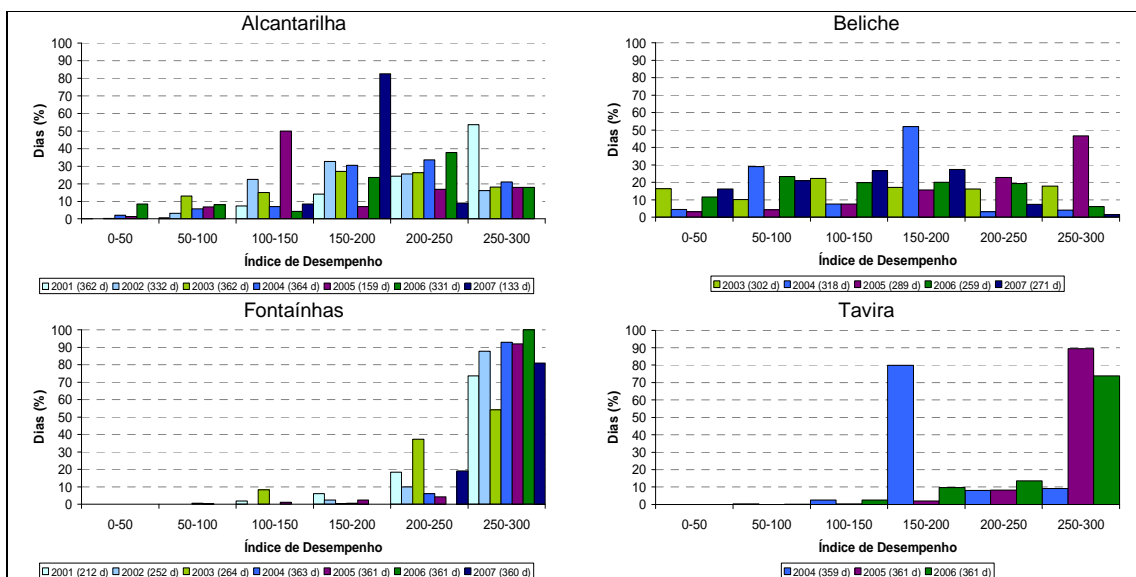


Figura 189 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na C/F/D

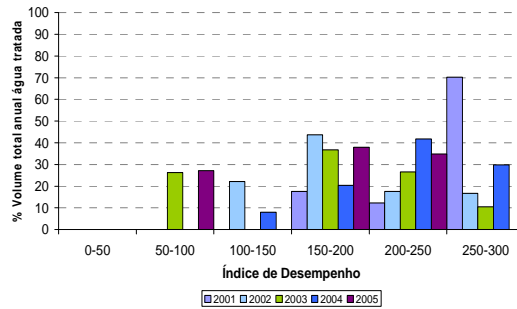


Figura 190 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na C/F/D - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

Em termos de remoção de turvação na filtração, os índices de desempenho das ETA de Alcantarilha e Tavira foram maioritariamente bons (67-99% dos dias em Alcantarilha, 79-100% dos dias em Tavira), sendo Beliche a ETA com menor percentagem de dias com desempenho bom (12-86%, dependendo do ano) e registando-se índices inferiores a 100 em alguns dias (2-18%, dependendo do ano) (Figura 192).

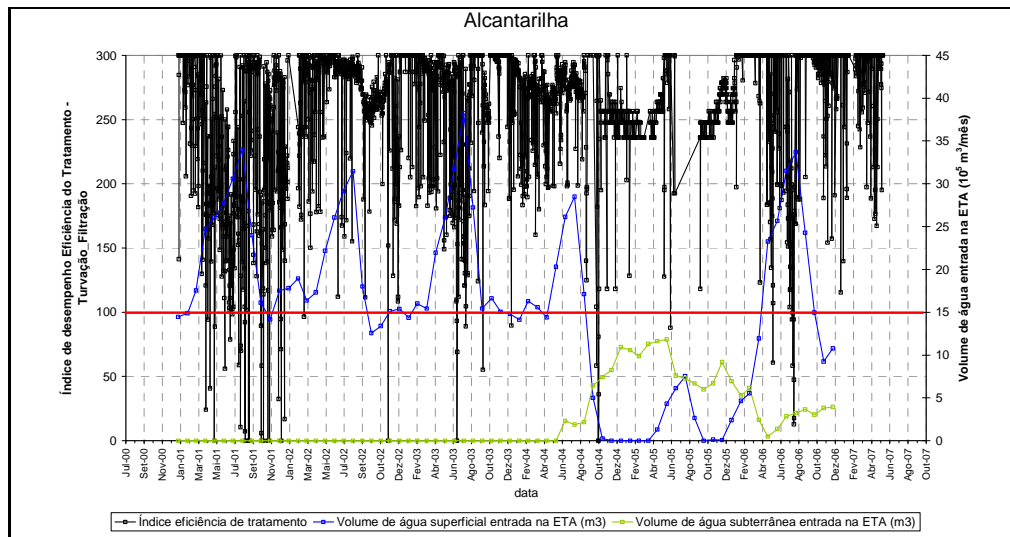


Figura 191 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na filtração

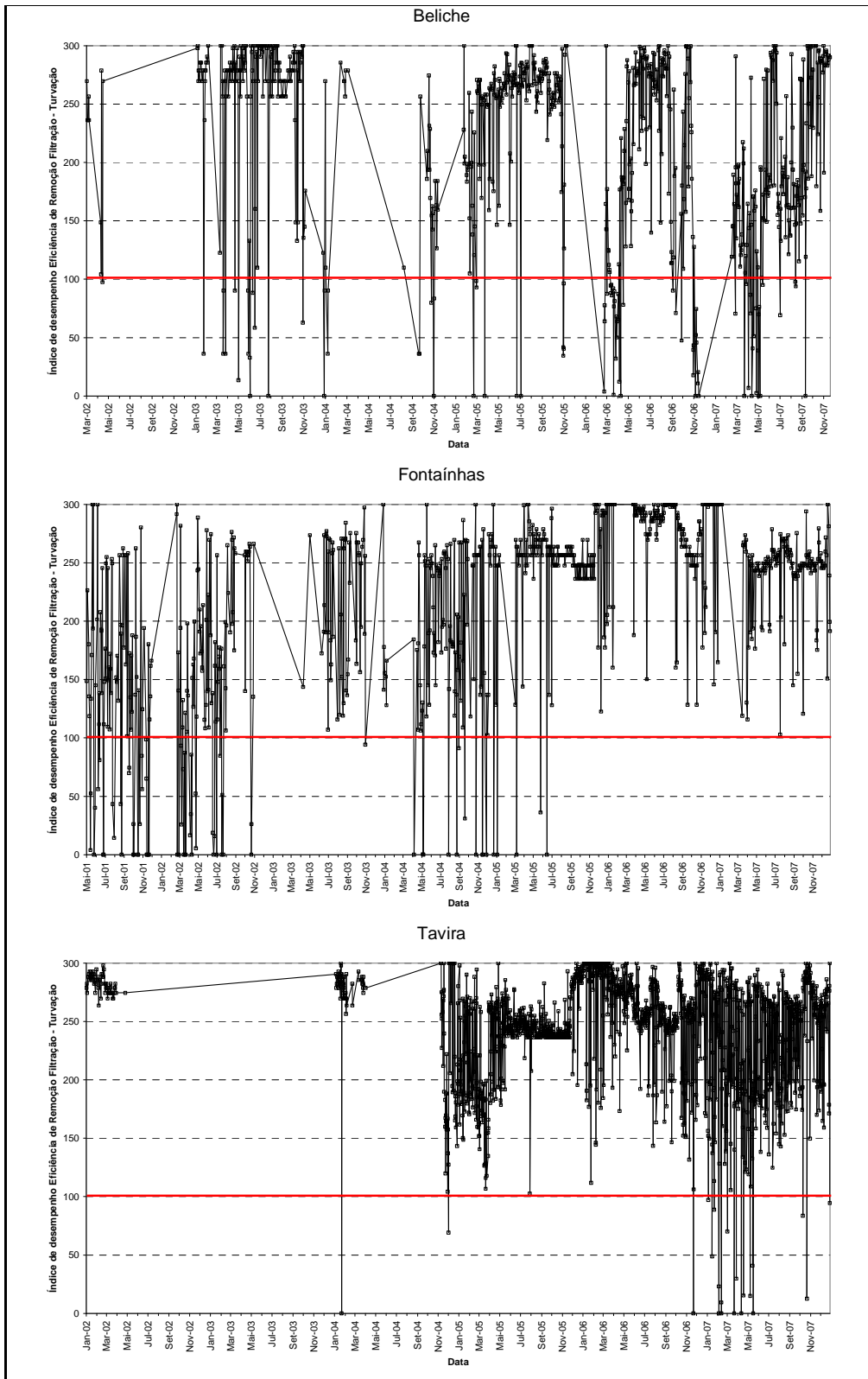


Figura 191 (cont.) – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na filtração

Fazendo uma comparação em termos globais, nas ETA de Alcantarilha e Beliche, o desempenho da C/F/D para remoção da turvação foi, em geral, inferior ao da filtração. Na ETA de Alcantarilha, esse menor desempenho da C/F/D foi, em regra, compensado pela filtração, verificando-se que o mesmo já não aconteceu, em geral, na ETA de Beliche. Na ETA de Fontainhas, o desempenho da C/F/D foi, em geral, superior ao da filtração mas, entre 2001 e 2004, revelou-se insuficiente para compensar o menor desempenho desta última OPU e o desempenho em termos da remoção global de turvação foi intermédio entre o desempenho da C/F/D e da filtração. Em 2005-2007, o desempenho da C/F/D já compensou a filtração e o desempenho de remoção global é agora análogo ao da C/F/D. Na ETA de Tavira, o desempenho da C/F/D foi também superior ao da filtração e análogo ao desempenho da remoção global.

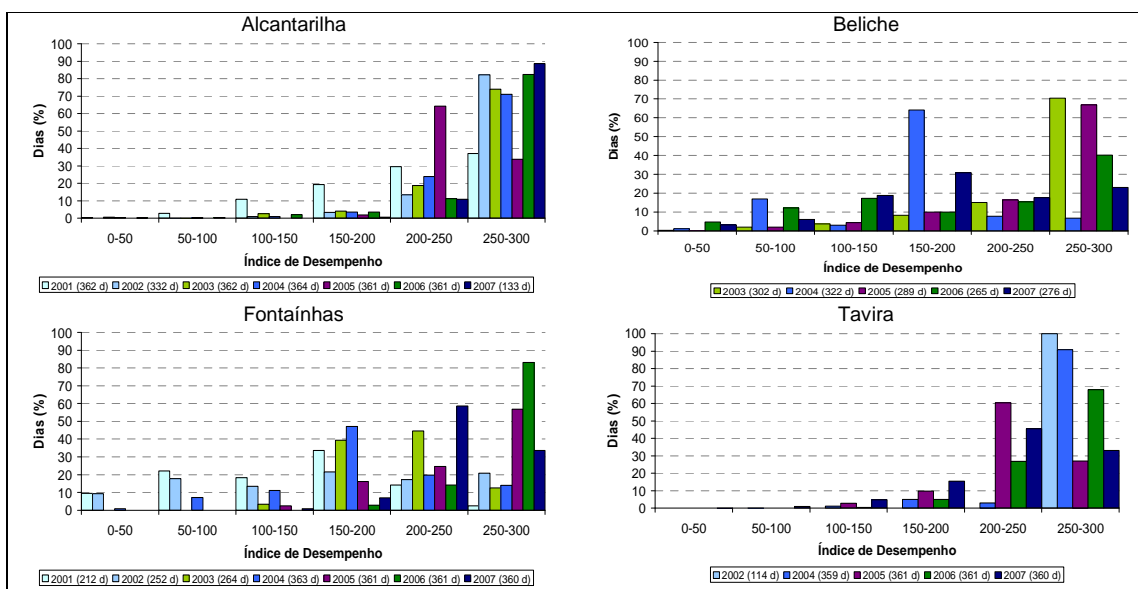


Figura 192 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na filtração

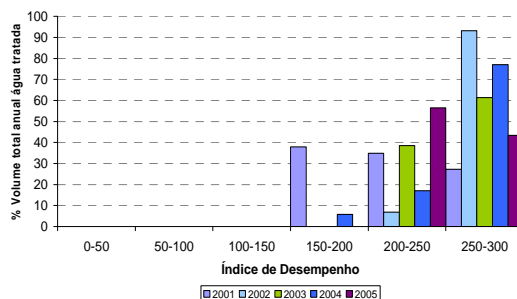


Figura 193 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de turvação na filtração - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

9.2.2.3. Remoção de alumínio na filtração

As Figuras 194 a 196 evidenciam dois grandes períodos distintos em termos do desempenho na ETA de Alcantarilha no que se refere à eficiência da filtração na remoção de alumínio: antes e depois de Maio de 2003. Esta diferença está relacionada com a alteração do LQ do método de análise do alumínio (de 40 µg/L para 10 µg/L) e não com um real aumento do desempenho. Não se analisa, portanto, o desempenho até Maio de 2003.

Após Maio de 2003, o desempenho da ETA de Alcantarilha foi, em geral, bom com algumas situações de desempenho aceitável e insatisfatório (Figura 194). No entanto, a percentagem de dias com desempenho insatisfatório não ultrapassou os 16% e a percentagem de dias com desempenho aceitável não foi superior a 7% (Figura 195). Estes dois valores menos favoráveis registaram-se em 2004, observando-se, nos anos seguintes, uma melhoria, sendo que em 2007 estas percentagens são nulas (Figura 195). As situações de desempenho insatisfatório ocorreram sobretudo em Julho-Setembro 2004, Janeiro-Maio 2005 e Maio-Julho 2006, tendo-se traduzido em diminuições do índice de desempenho em termos de qualidade da água tratada, como se pode ver pela comparação da Figura 145 e da Figura 194.

A comparação efectuada no período Maio 2003-2007 dos índices de desempenho relativos à remoção de turvação na filtração e relativos à remoção de alumínio também na filtração, permite concluir que esta OPU da ETA de Alcantarilha removeu mais eficientemente o alumínio do que a turvação, uma vez que a percentagem de índices entre 250-300 é superior no caso do alumínio.

As ETA de Tavira e Beliche apresentaram um comportamento pior do que a ETA de Alcantarilha, não tendo registado praticamente índices acima de 200 e tendo uma percentagem significativa de dias com desempenho insatisfatório (Tavira: 6-68%, Beliche: 20-94%). Contudo, este menor desempenho pode dever-se novamente ao facto do LQ ser diferente (30 µg/L).

Apesar de ter um desempenho um pouco inferior, a ETA de Fontaínhas apresentou um comportamento semelhante à ETA de Alcantarilha, aplicando-se também neste caso o que foi

referido para o LQ.

Estes resultados demonstram a extrema importância de, quando se efectuam comparações do desempenho em termos da eficiência do tratamento entre ETA e também quando se analisa a sua evolução temporal numa mesma ETA, os dados de qualidade da água estarem associados a métodos analíticos com LQ iguais.

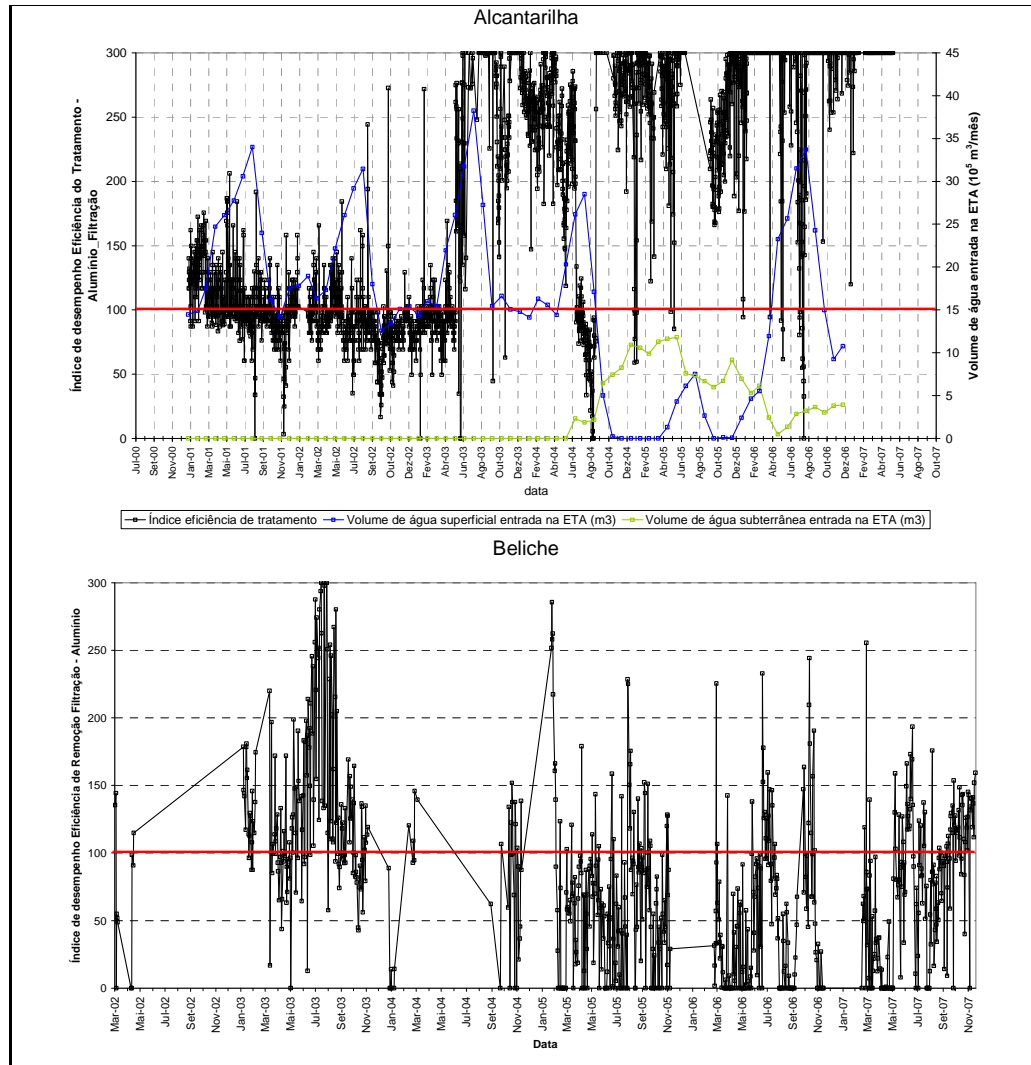


Figura 194 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de alumínio na filtração

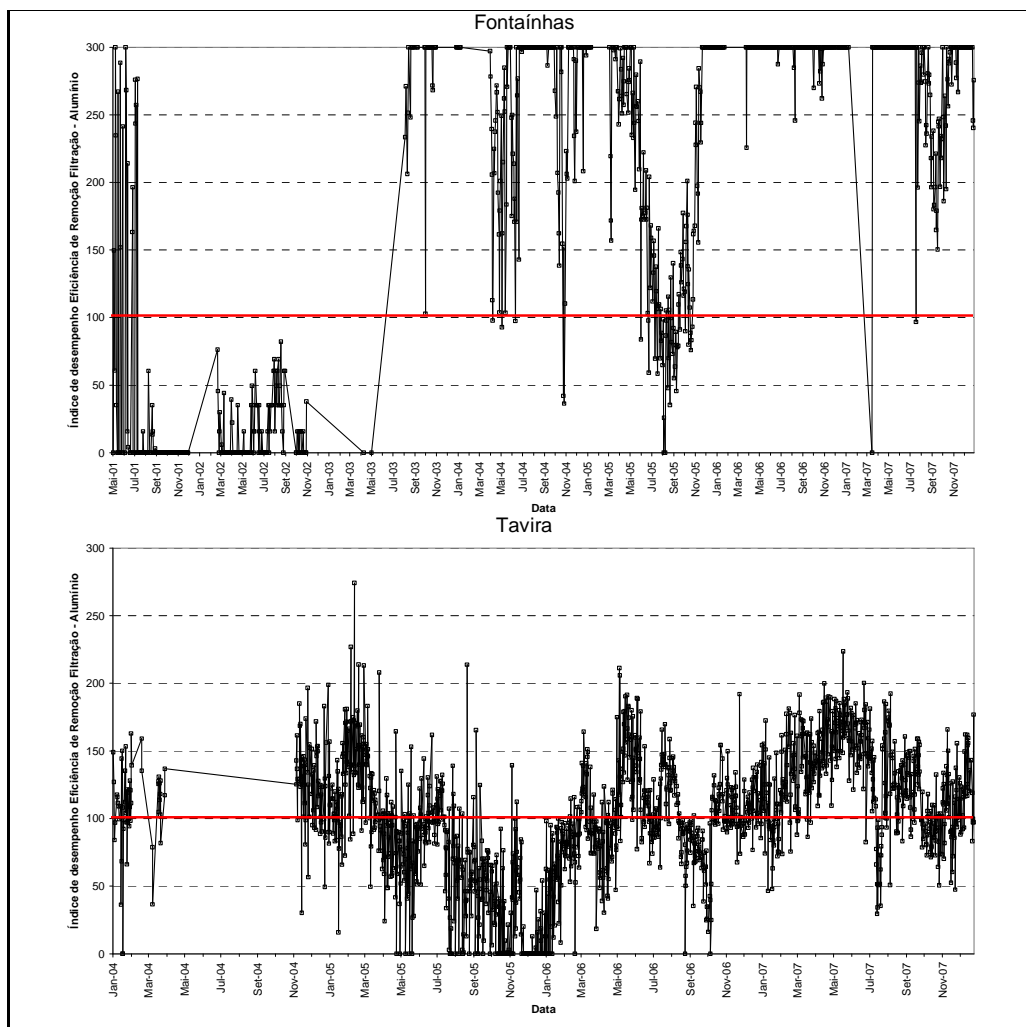


Figura 194 (cont.) – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de alumínio na filtração

9.2.2.4. Agregação dos índices de desempenho

O facto de os índices de desempenho em termos da eficiência do tratamento terem sido determinados apenas para alguns parâmetros não permite efectuar a sua agregação para obtenção de medidas de desempenho ao nível da ETA. De modo a dispor de medidas de desempenho agregadas em termos temporais, fez-se uma média não ponderada dos índices de desempenho em cada ano. Foram também determinados os percentis 25 e 75. Na Figura 197 resumem-se os resultados relativos às ETA de Alcantarilha, Tavira, Fontainhas e Beliche.

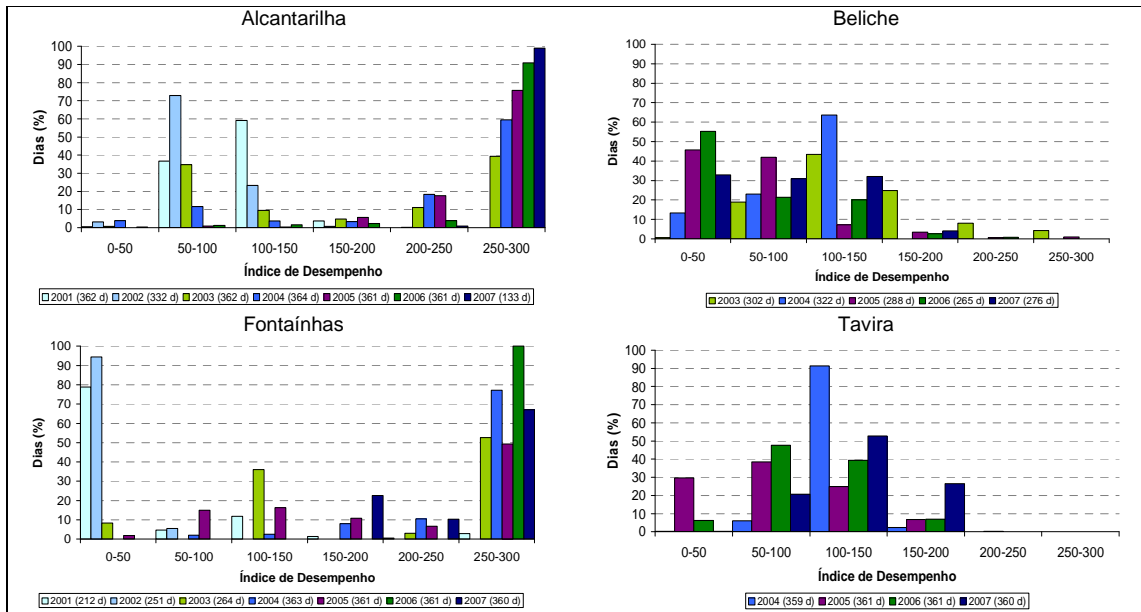


Figura 195 – Distribuição temporal do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de alumínio na filtração

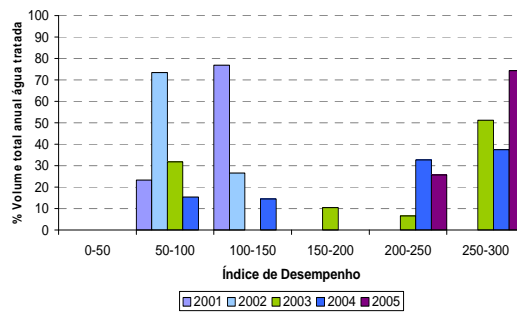


Figura 196 – Distribuição do índice de desempenho de eficiência do tratamento - remoção de alumínio na filtração - relativamente ao volume anual de água tratada na ETA de Alcantarilha

Estes resultados permitem tirar conclusões semelhantes às das secções anteriores, evidenciando, no entanto, as tendências em termos médios anuais:

- os melhores comportamentos são observados para a remoção global de turvação na ETA de Alcantarilha e para a remoção de turvação na C/F/D na ETA de Fontainhas, com médias anuais sempre próximas de 300;
- relativamente à remoção de turvação na C/F/D, na filtração e global, o desempenho bom (médias anuais dos índices entre 200 e 300) é muito expressivo, com excepção da ETA de Beliche; o desempenho da filtração na remoção de alumínio foi também muito positivo;
- nas ETA de Alcantarilha e Beliche, o desempenho da C/F/D para remoção da turvação foi, em

geral, inferior ao da filtração. Na ETA de Alcantarilha, esse menor desempenho da C/F/D foi, em regra, compensado pela filtração, verificando-se que o mesmo já não aconteceu, em geral, na ETA de Beliche;

- na ETA de Fontainhas, o desempenho da C/F/D na remoção de turvação foi, em geral, superior ao da filtração mas, entre 2001 e 2004, revelou-se insuficiente para compensar o menor desempenho desta última OPU e o desempenho em termos de remoção global de turvação é intermédio entre o desempenho da C/F/D e da filtração. Em 2005-2007, o desempenho da C/F/D já compensou a filtração e o desempenho de remoção global foi agora análogo ao da C/F/D;
- na ETA de Tavira, o desempenho da C/F/D para remoção de turvação foi, em 2006 e 2007, também superior ao da filtração (em 2005 foi semelhante em média mas mais variável) e análogo ao desempenho da remoção global.

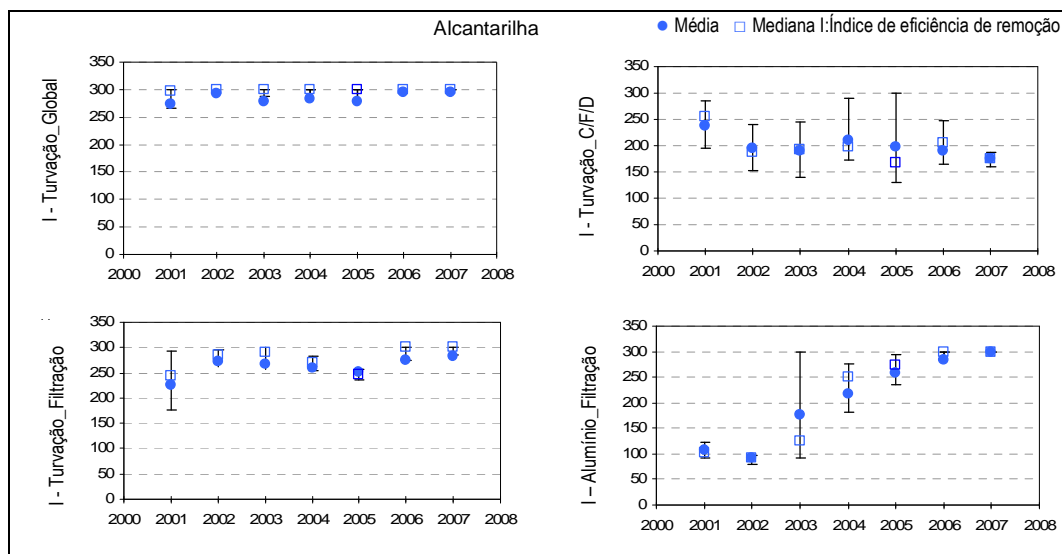


Figura 197 – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - médias anuais, medianas e percentis 25 e 75

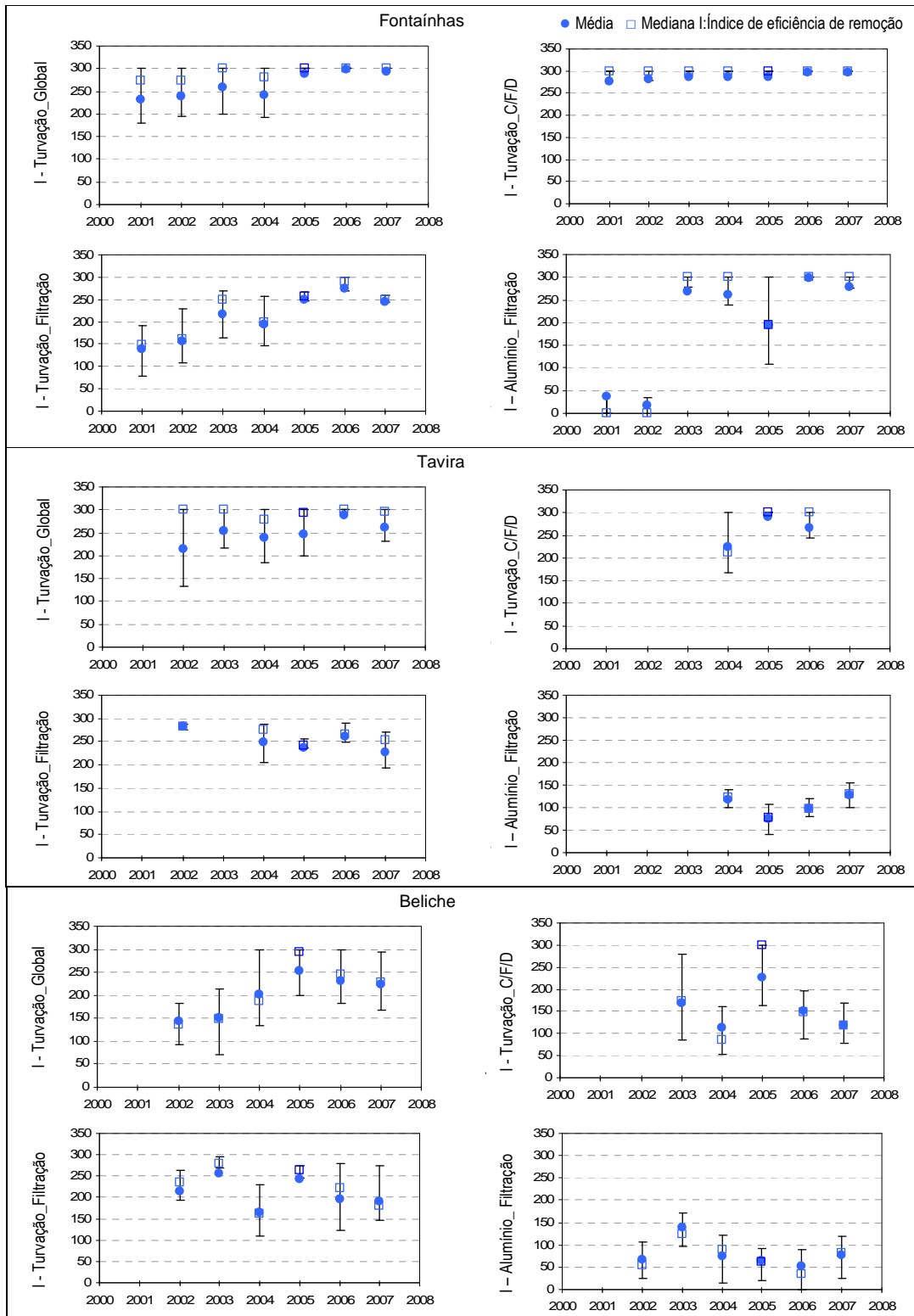


Figura 197 (cont.) – Índice de desempenho de eficiência do tratamento - médias anuais, medianas e percentis 25 e

9.3. Avaliação de desempenho operacional em termos do funcionamento dos órgãos

9.3.1. Funções de desempenho

A avaliação de desempenho em termos do funcionamento dos órgãos foi aplicada aos parâmetros de operação do Quadro 82. Estes parâmetros são os aplicáveis aos tipos de órgãos existentes nos casos de estudo e para os quais existiam dados. As funções de desempenho usadas são as descritas na secção 5.4.3 e indicadas no Quadro 82.

Quadro 82 – Parâmetros de operação aos quais foi aplicada a avaliação de desempenho nos casos de estudo

OPU	Parâmetros de operação	Função de desempenho (da secção 5.4.3)
Coagulação	Tempo de mistura rápida	Figura 62b
	pH da água a coagular	Figura 66a
Floculação	Tempo de mistura lenta	Figura 70
Decantação	Turvação da água decantada	Figura 73
	Carga hidráulica	Alcantarilha: Figura 74c)
	Carga hidráulica superficial	Alcantarilha e Tavira: Figura 74b) Beliche: Figura 74d)
Filtração	Turvação da água filtrada	Figura 77
	Velocidade de filtração	Figura 78b)
	Duração do ciclo de filtração	Figura 79a)
	Velocidade de lavagem com ar	Figura 81 + Quadro 67
	Velocidade de lavagem com água	Figura 81 + Quadro 67
	Duração da lavagem com ar	Figura 81 + Quadro 67
	Duração da lavagem com água	Figura 81 + Quadro 67
	Quantidade de água de lavagem gasta num ciclo de lavagem	Figura 83
	Diâmetro efectivo do meio filtrante	Figura 86 + Quadro 68
	Coefficiente de uniformidade do meio filtrante	Figura 85a)
Altura do leito	Figura 87 + Quadro 69	

9.3.2. Resultados e discussão

Tal como nas outras duas componentes da avaliação de desempenho operacional, a aplicação da componente relativa ao funcionamento dos órgãos teve por objectivo avaliar se a metodologia proposta traduz a variação temporal do desempenho de uma ETA e se permite a comparação entre o desempenho de ETA distintas. Assim, apresentam-se seguidamente os resultados da variação do índice de desempenho no tempo para as quatro ETA da AdA. Uma vez que esta componente de avaliação de desempenho, previsivelmente, permite analisar o funcionamento dos vários órgãos de uma OPU individualmente (por exemplo, avaliar cada filtro do conjunto de

filtros da ETA), nos casos em que houve disponibilidade de dados, são apresentados os resultados específicos de cada órgão para demonstrar que é possível essa análise individual e que ela permite identificar qual o órgão responsável por situações de menor desempenho da OPU. Nos casos em que não existem dados para cada órgão, os resultados correspondem a valores médios da OPU.

Nesta componente da avaliação de desempenho, o período estudado é mais curto (2006-2007) do que em qualquer das outras componentes (OvPA, OpPA_WatQ e OpPA_TreatEf).

9.3.2.1. Tempo de mistura rápida

Na Figura 198 representa-se a evolução temporal do índice de desempenho relativamente ao parâmetro *tempo de mistura rápida*.

O índice de desempenho nas três câmaras de mistura rápida da ETA de Alcantarilha (no Verão as três câmaras têm as mesmas condições de funcionamento; no Inverno a câmara A está parada) foi sempre zero, uma vez que os tempos de mistura excederam sempre mais de 50% o valor-limite superior da gama típica da bibliografia (60 s; policloreto de alumínio), variando entre 2,0 min e 5,4 min. O mesmo aconteceu com Fontainhas (tempos de mistura entre 3,3 min e 5,8 min). As câmaras de mistura A e B da ETA de Tavira apresentaram um comportamento distinto das câmaras de mistura C e D da mesma ETA. Em 2006, o desempenho das câmaras C e D foi superior, registando-se mesmo alguns índices de 200 no Verão. Em 2007, o comportamento das quatro câmaras foi mais semelhante, verificando-se que o desempenho foi maior no Verão (na gama aceitável) do que no Inverno (índice nulo), altura em que os tempos de mistura variaram entre 1,3 min e 3,0 min, sendo, portanto, superiores à gama da bibliografia. Portanto, no Verão, o desempenho das câmaras A e B aumentou de 2006 para 2007 e o oposto aconteceu com as câmaras C e D. A ETA de Beliche, que, em geral, teve tempos de mistura rápida inferiores às outras três ETA (20-72 s), apresentou um desempenho bom no Inverno (com exceção do dia 25/10/2006, no qual ocorreu a paragem/arranque da ETA), mas índices nulos no

Verão, associados a baixos tempos de retenção (20-25 s).

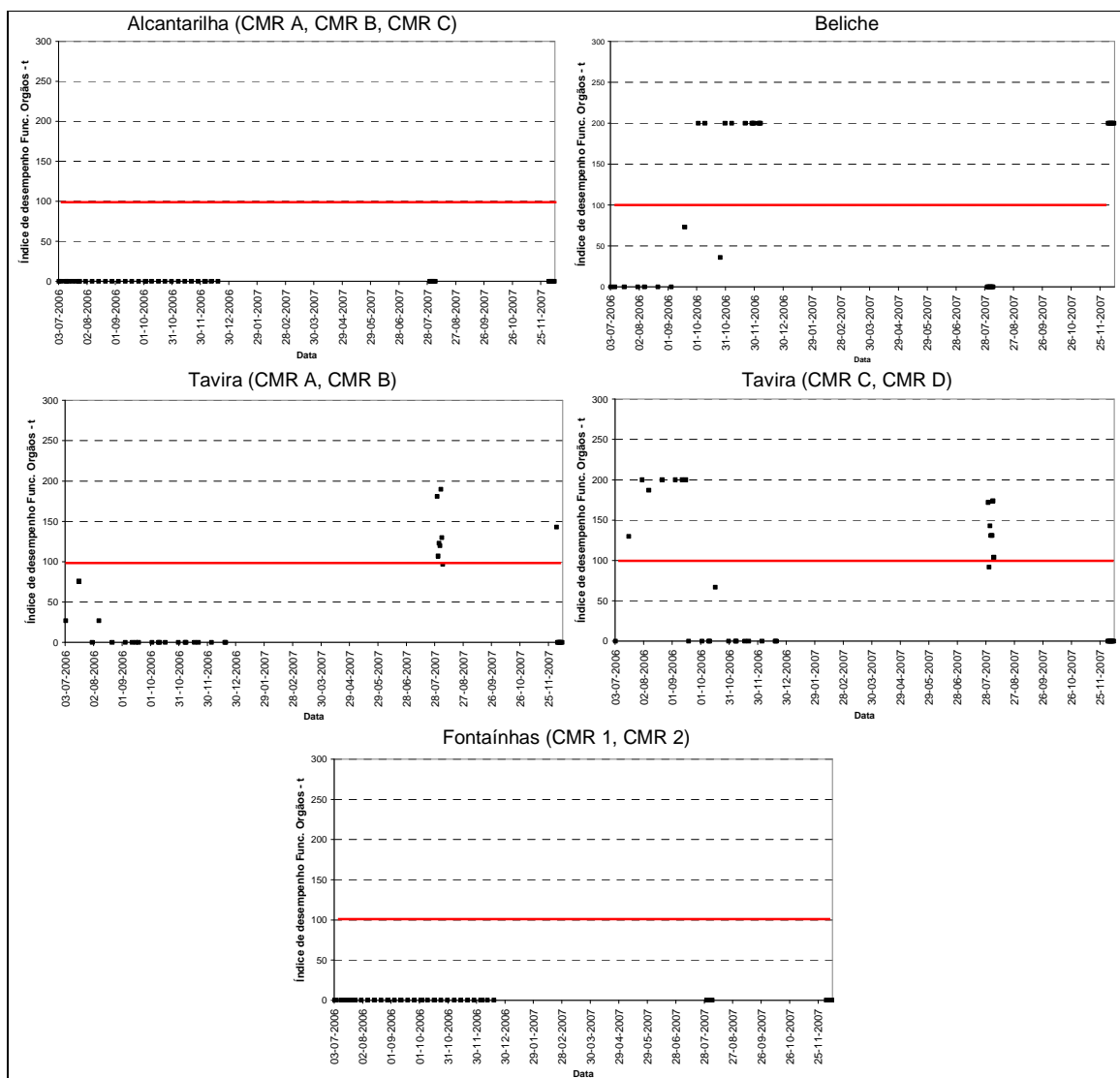


Figura 198 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - tempo de mistura rápida

Em resumo, as situações de menor desempenho nas ETA de Alcantarilha, Fontainhas e Tavira estiveram associadas a tempos de mistura superiores à gama da bibliografia, enquanto que na ETA de Beliche se deveram a tempos inferiores. Uma vez que as ETA da AdA usam coagulantes pré-polimerizados, os tempos de mistura superiores aos valores necessários segundo a bibliografia não têm consequências negativas em termos do processo de tratamento OPU, mas apenas em termos de desperdício de recursos, em especial, de energia. Porém, tempos de mistura demasiado baixos podem ser, eventualmente, insuficientes para a ocorrência das reacções de

coagulação. Uma análise mais cuidada exigiria dados de G e de Gxt (dados não disponíveis).

9.3.2.2. pH da água a coagular

Nas ETA de Alcantarilha e Fontainhas, o pH da água a coagular esteve sempre na gama a que corresponde um desempenho bom (índice = 200) (Figura 199; Alcantarilha: 6,9-7,2; Fontainhas: 6,4-7,1). Apesar de nunca se ter atingido um desempenho insatisfatório, nas ETA de Tavira e Beliche o desempenho foi menor e o pH foi, pontualmente, superior à gama da bibliografia (Tavira: 6,8-7,4; Beliche: 6,8-7,6).

No entanto, e como já referido, a avaliação de desempenho relativamente a este parâmetro deve ter em consideração os resultados de ensaios laboratoriais, nos quais se determina o pH óptimo específico para cada ETA e para cada água a tratar, sendo a penalização à situação de desempenho máximo traduzida pelo afastamento desse pH óptimo. Só deste modo é possível otimizar a operação desta OPU e encontrar potenciais de melhoria.

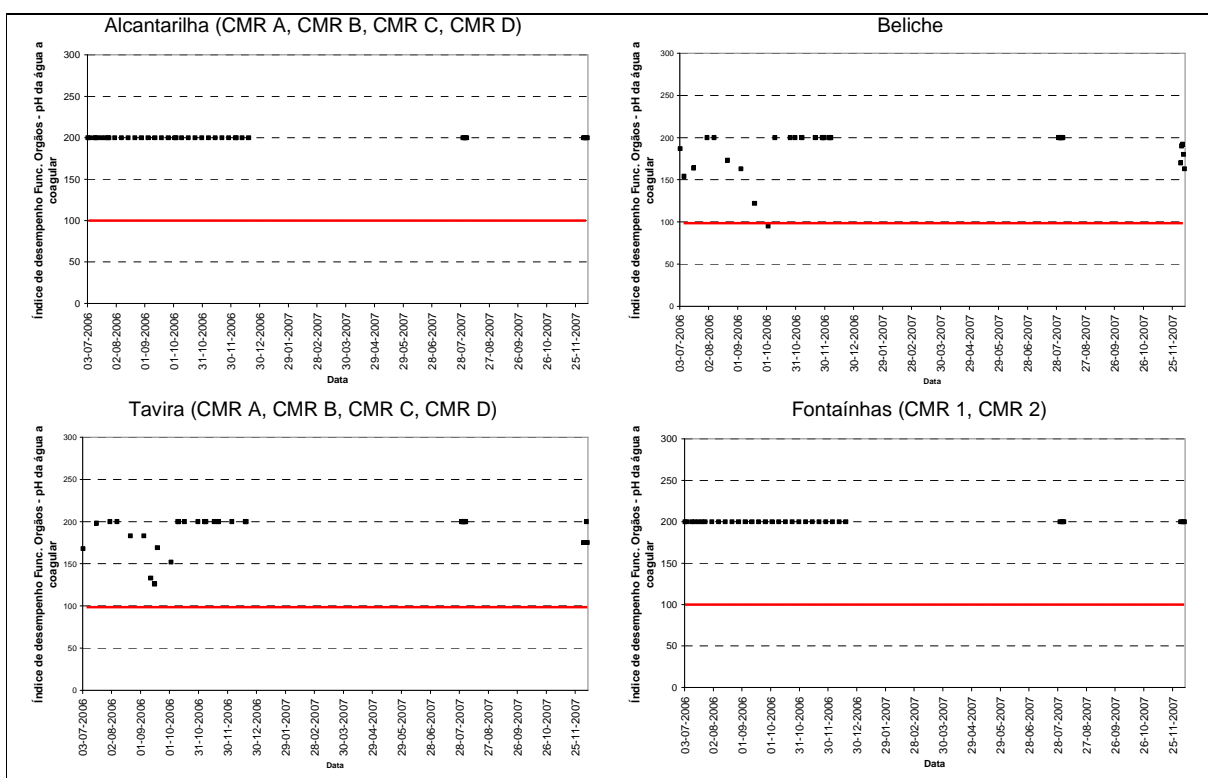
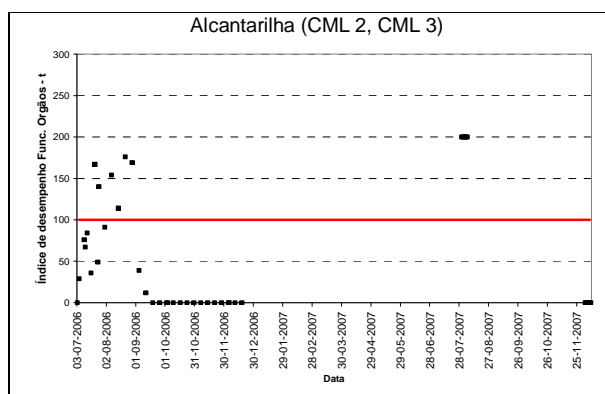


Figura 199 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - pH da água a coagular

9.3.2.3. Tempo de mistura lenta

A Figura 200 mostra que o desempenho em termos do tempo de mistura nas câmaras de mistura lenta da ETA de Alcantarilha se anulou nos períodos de Inverno (a partir do fim de Setembro), nos quais se registaram tempos demasiado longos (entre 55-91 min) que podem originar a ruptura de flocos previamente formados. A forma de operação com três linhas de tratamento no Verão e duas linhas no Inverno não foi, portanto, suficiente para impedir que o desempenho no Inverno baixasse a valores insatisfatórios. Observou-se uma melhoria do desempenho no período do Verão de 2007, quando analisado relativamente ao Verão de 2006, registando-se, no primeiro caso, valores de índice sempre iguais a 200.



a gama do decantador da ETA de Tavira esteve abaixo da gama indicada pelo fabricante deste órgão (5-10 m/h; Degrémont, 1989) que é um modelo patenteado (Pulsator com lamelas). A carga hidráulica superficial do decantador de manto de lamelas da ETA de Beliche situou-se entre 0,9-2,1 m/h, ou seja, sempre na gama típica da bibliografia para este tipo de decantador, com excepção de um dia (25/10/2006), no qual o parâmetro assumiu um valor inferior a essa gama (0,58 m/h) e o índice de desempenho anulou-se. Esta situação foi devida à paragem e arranque da estação durante aquele dia. De notar que este menor desempenho em termos da carga hidráulica superficial não se reflectiu num menor desempenho em termos da turvação da água decantada, como se pode ver na Figura 201.

Nos decantadores lamelares da ETA de Alcantarilha a carga hidráulica (0,39-1,06 m/h) esteve sempre na gama típica da bibliografia (Figura 203).

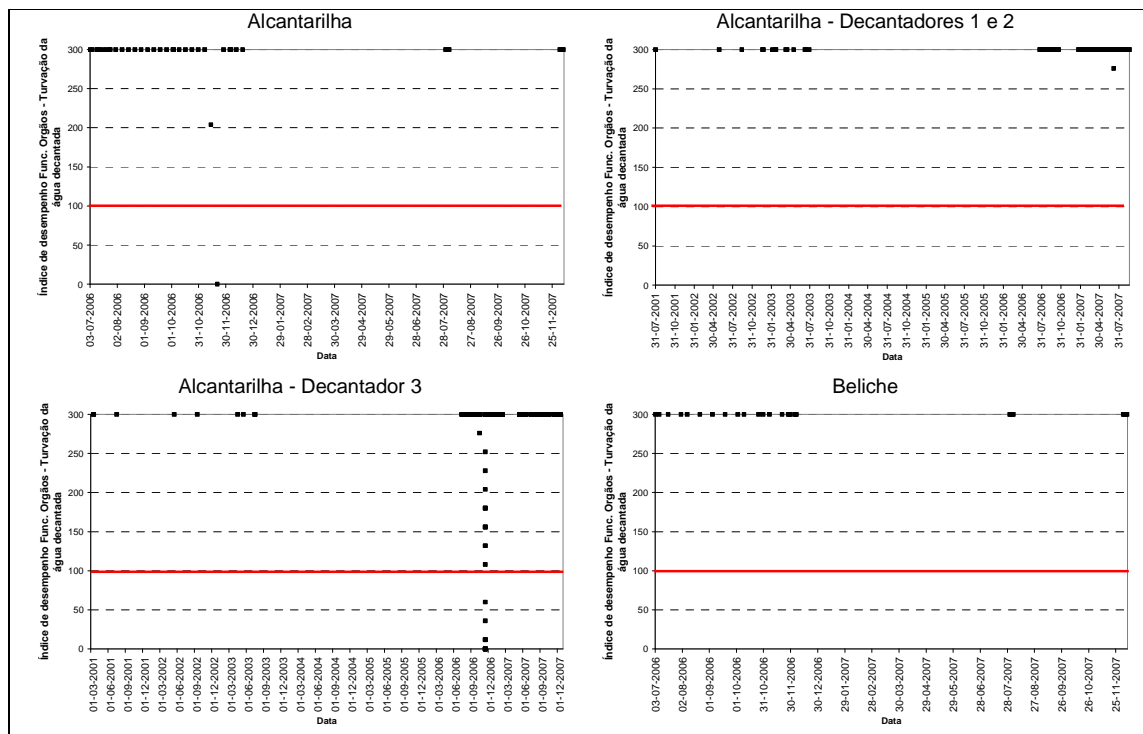


Figura 201 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água decantada

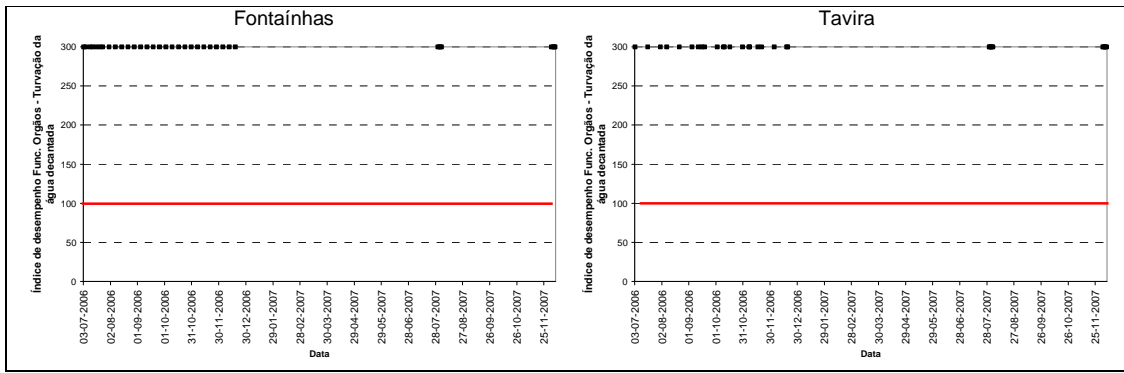


Figura 201 (cont.) – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água decantada

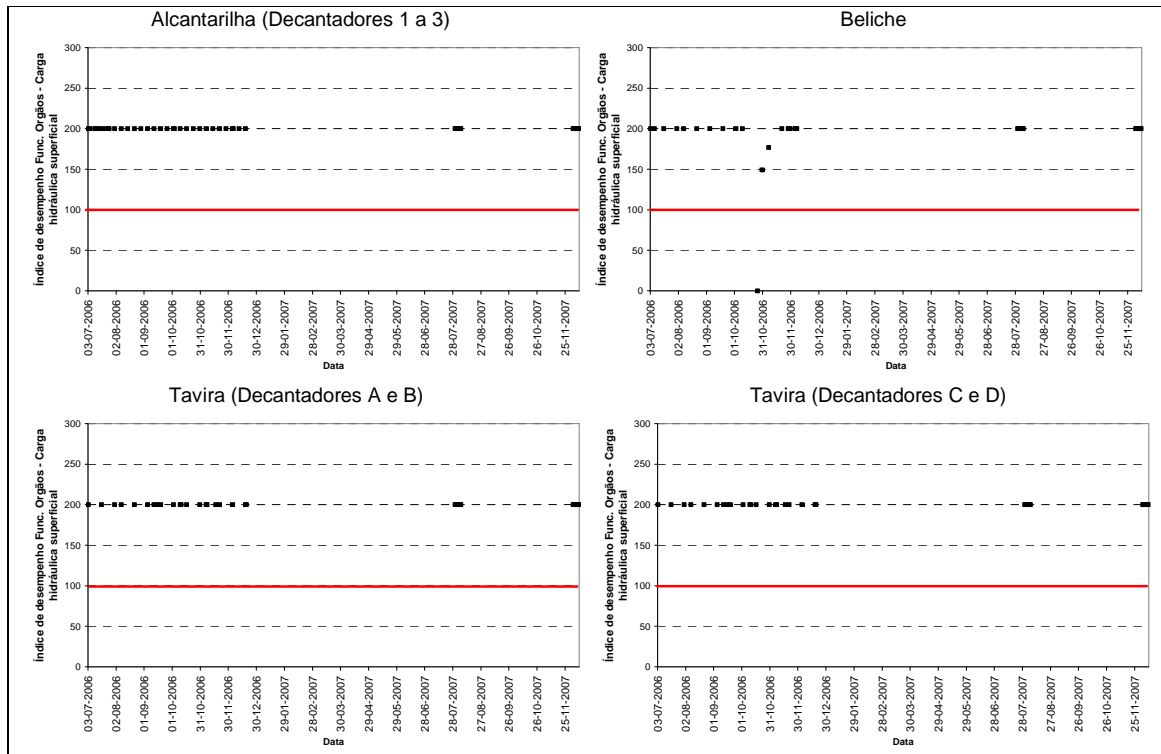


Figura 202 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - carga hidráulica superficial nos decantadores

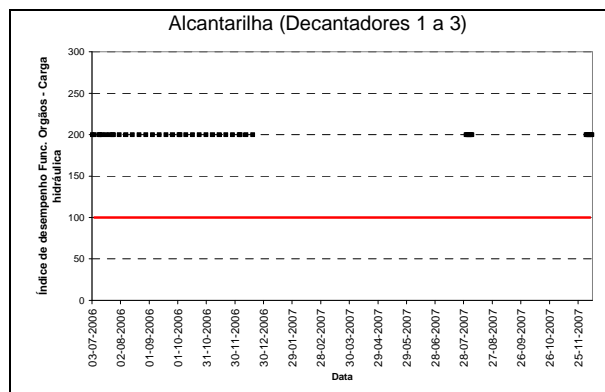


Figura 203 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - carga hidráulica nos decantadores

9.3.2.6. Turvação da água filtrada

A ETA de Tavira foi a estação que apresentou melhor desempenho em termos de turvação da água filtrada, uma vez que o desempenho se situou sempre (apenas com um valor de 195) na gama 200-300 (desempenho bom) (Figura 204). A ETA de Alcantarilha registou índices abaixo dessa gama em Julho e Novembro de 2006. Este último caso coincidiu com um baixo desempenho em termos de turvação da água decantada (Figura 201) e com um menor desempenho em termos de velocidade de filtração (Figura 206) (embora por defeito o que, em princípio, não deveria causar problemas de turvação da água filtrada, como se discute na secção 9.3.2.7), sendo o desempenho em termos de todos os outros parâmetros de processo da filtração (duração do ciclo de filtração – Figura 207, condições de lavagem dos filtros – Quadro 83 e características do meio filtrante – Quadro 84) máximo (índice = 200). Em Julho 2006, todos estes parâmetros tiveram um índice de 200, o que mostra que as gamas que serviram de definição das funções de desempenho são demasiado largas para a avaliação de desempenho desta OPU de modo aprofundado e que devem ser estabelecidas gamas de operação óptimas para cada ETA.

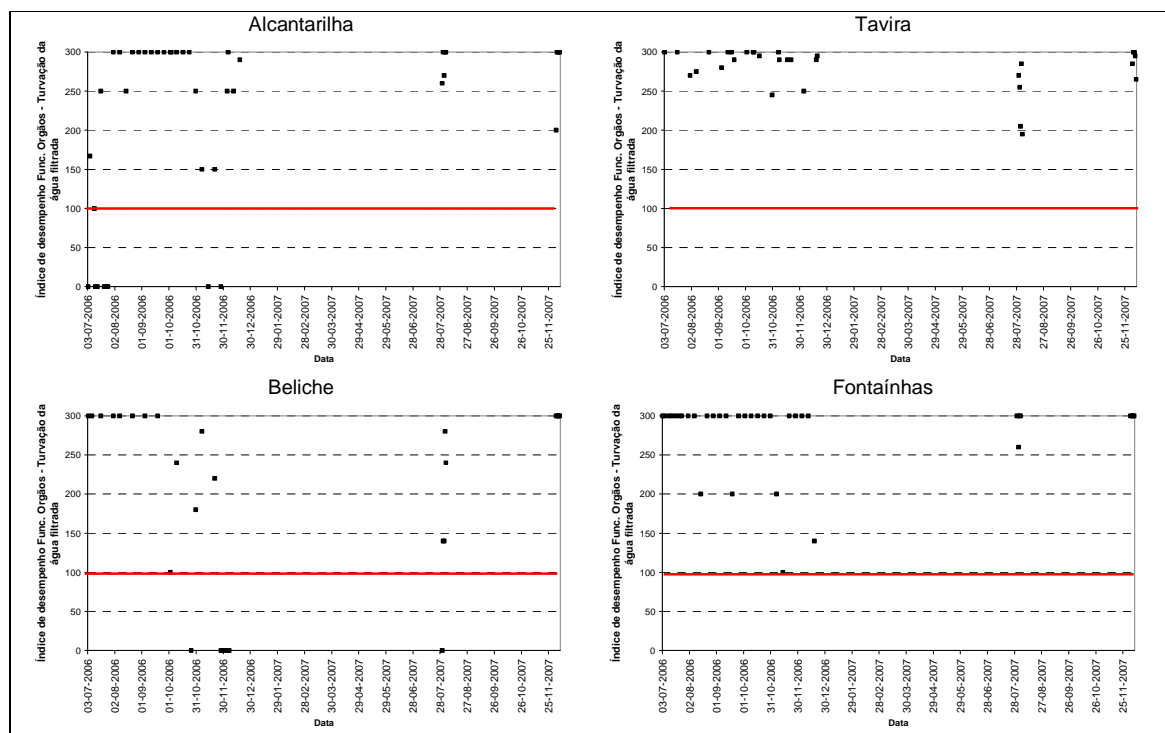


Figura 204 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água filtrada

Os dados de monitorização em linha da turvação da água à saída de cada filtro da ETA de Tavira permitiram obter os resultados apresentados na Figura 205, onde se compara o desempenho entre os vários filtros, em duas semanas de Agosto 2007 e Dezembro 2007, de modo a mostrar que a metodologia proposta permite analisar individualmente o funcionamento de cada órgão de determinada OPU e permite uma análise da evolução temporal do desempenho a uma escala tão detalhada quanto os dados de base o permitirem. Observa-se que o desempenho dos filtros A e B foi pior do que os restantes, uma vez que a ocorrência de índices inferiores a 200 foi maior. Apesar de, em geral, o desempenho dos filtros D e G ter sido bom, observam-se algumas situações pontuais de índices nulos. Estes valores de menor desempenho corresponderam a picos de turvação na água filtrada, provavelmente devido a ocorrência de *breakthrough* no fim dos ciclos de filtração, sugerindo que a entrada em lavagem deveria ser antecipada para os filtros A, B, D e G. Atendendo a que o índice em termos de duração do ciclo de filtração foi sempre 200 (Figura 207), estes resultados indicam, novamente, a necessidade de melhoramento das funções de desempenho com valores otimizados especificamente para cada ETA.

O desempenho de todos os filtros foi menor em Agosto do que em Dezembro, onde o índice foi, em geral, igual a 300, registando-se apenas algumas situações de desempenho aceitável (índice entre 100 e 200) (Figura 205). Exceptuam-se o filtro C e o filtro H que apresentou sempre índices nulos no Inverno.

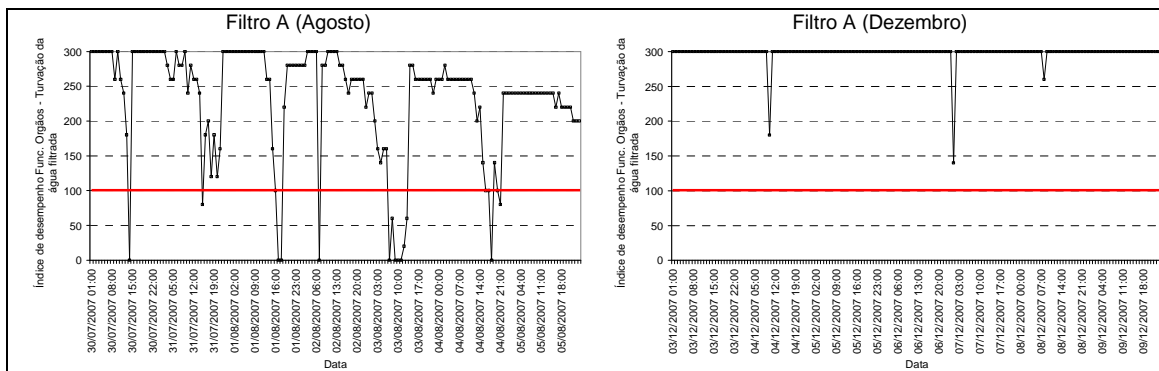


Figura 205 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água filtrada - da ETA de Tavira

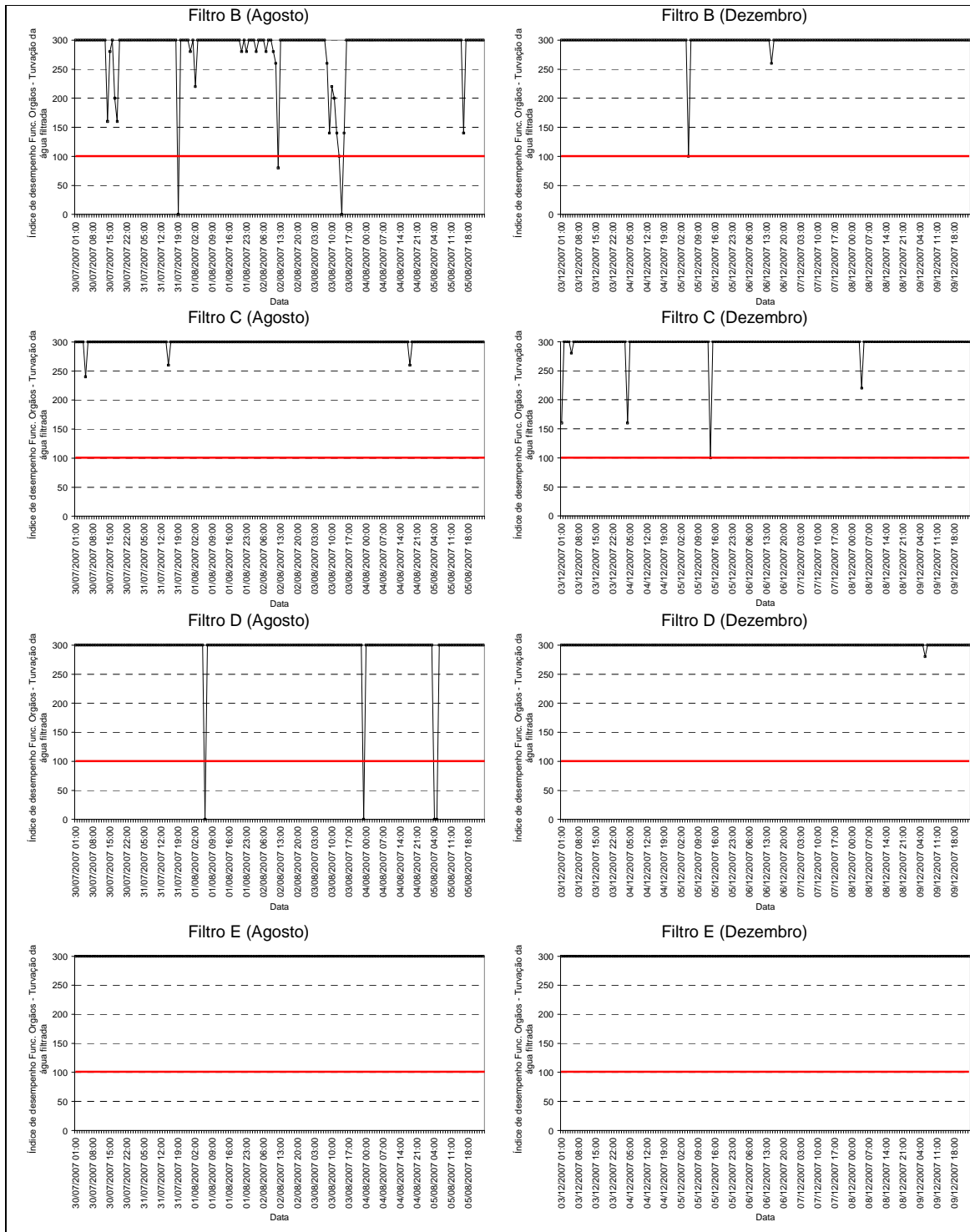


Figura 205 (cont.) – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água filtrada - da ETA de Tavira

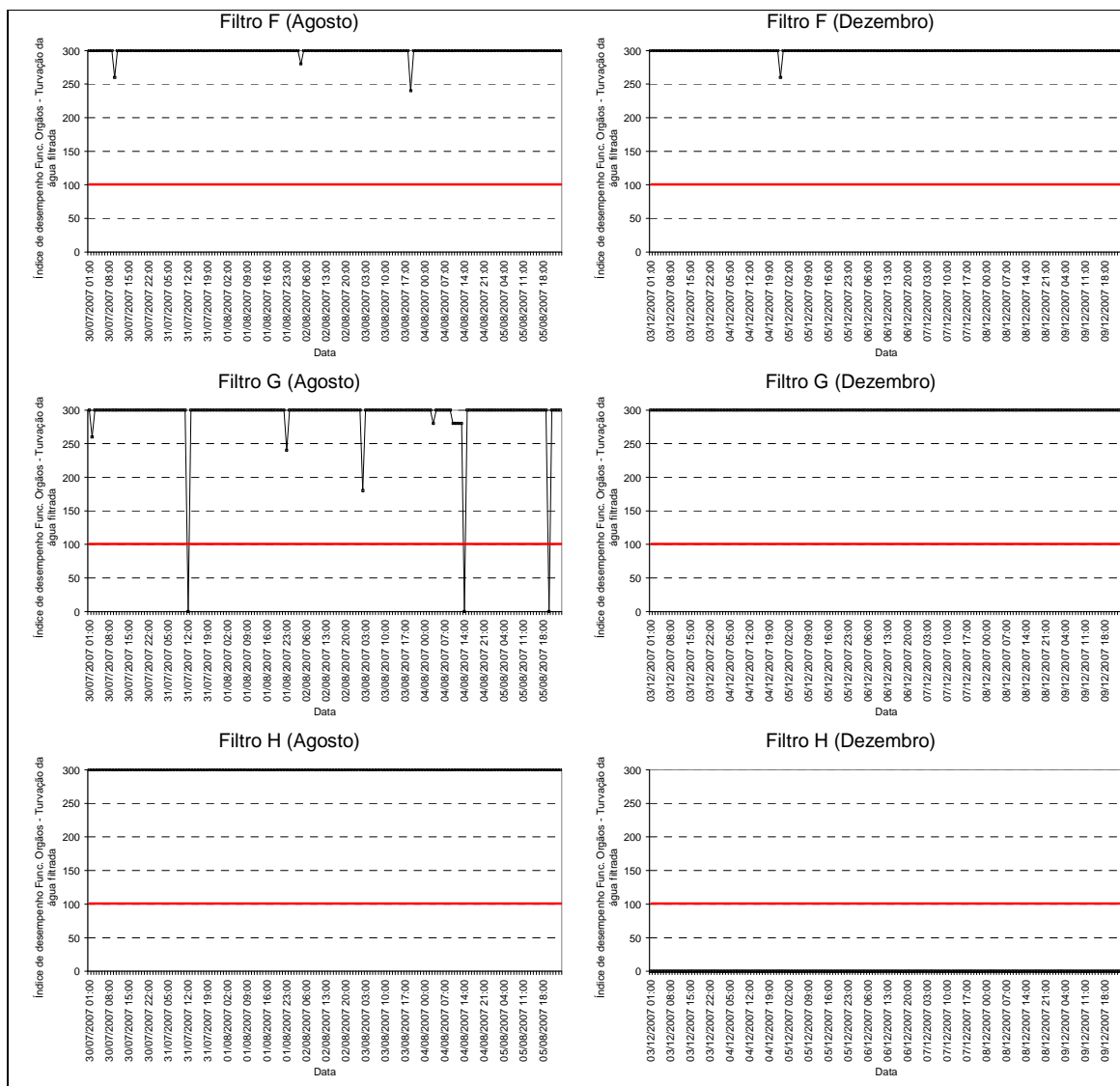


Figura 205 (cont.) – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - turvação da água filtrada - da ETA de Távira

9.3.2.7. Velocidade de filtração

A Figura 206 mostra que nos períodos de maior produção das quatro ETA da AdA (Verão) o desempenho em termos da velocidade de filtração foi sempre bom. No entanto, nos períodos de menor produção (Inverno) observa-se que a velocidade de filtração diminuiu para valores abaixo da gama típica da bibliografia (4-7,5 m/h), pelo que o desempenho piorou até níveis aceitáveis e insatisfatórios (Figura 206). Nos filtros E, F, G e H da ETA de Távira a diminuição do desempenho não foi tão acentuada, mantendo-se o índice sempre acima de 100. Estas situações de menor desempenho em termos de velocidade de filtração nem sempre corresponderam a

situações de menor desempenho em termos de turvação da água filtrada (comparação da Figura 206 com a Figura 204). Por exemplo, na ETA de Alcantarilha, em Outubro 2006, o desempenho em termos de velocidade de filtração já tinha começado a diminuir, mas o desempenho em termos de turvação da água filtrada era máximo (Figura 204), o que significa que as menores velocidades podem ser adequadas a esta ETA apesar de não se situarem exactamente na gama típica da bibliografia (no entanto, com menores velocidades é necessário maior volume de filtros, ou seja, existe potencial de economia de recursos). Na ETA de Tavira, este facto é também notório.

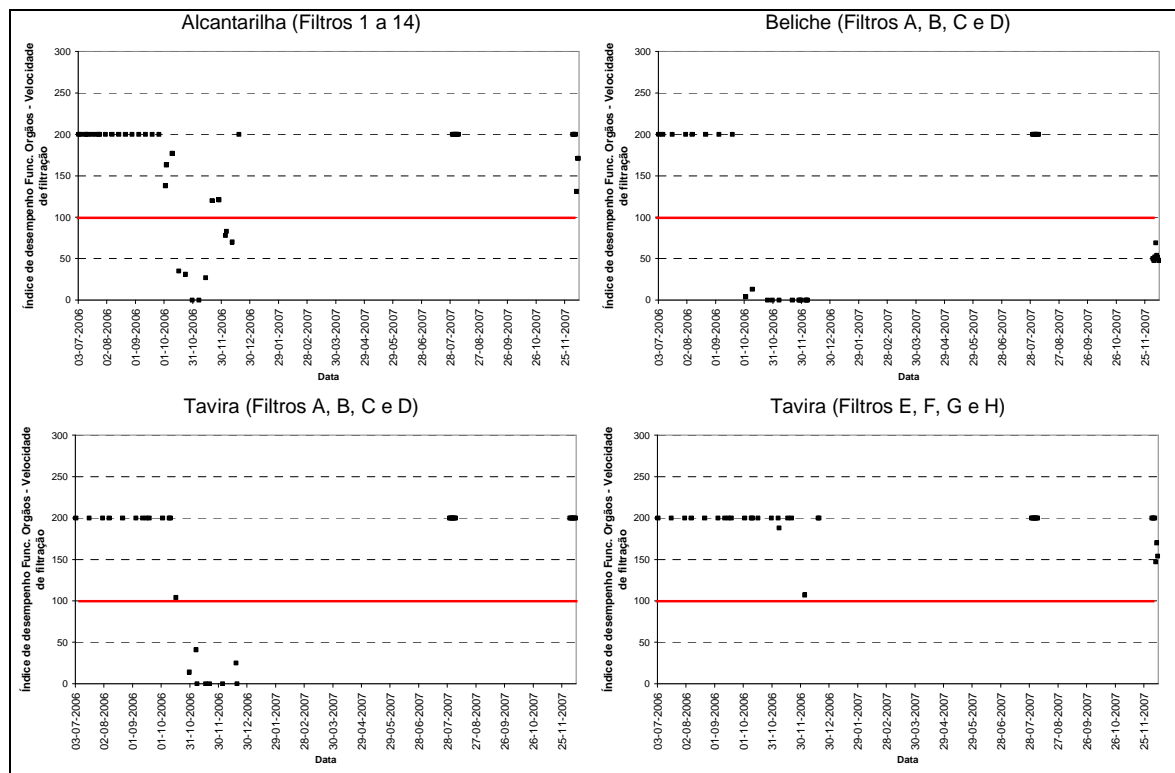


Figura 206 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - velocidade de filtração

Nas ETA de Alcantarilha e Tavira (filtros A a D) observou-se uma melhoria do desempenho em Dezembro de 2007 relativamente a Dezembro de 2006, uma vez que os índices foram sempre superiores a 100. Em Beliche, a melhoria não foi tão significativa pois os índices, apesar de terem sofrido um aumento, continuaram a situar-se maioritariamente na zona do desempenho insatisfatório.

9.3.2.8. Duração do ciclo de filtração

A Figura 207 mostra que o índice de desempenho das quatro ETA da AdA em termos da duração do ciclo de filtração foi sempre igual a 200, com as seguintes exceções na ETA de Beliche. No dia 25/10/2006 a ETA parou e, em consequência, o ciclo de filtração foi apenas de 3 h. No período entre 28/11/2006 e 6/12/2006, os ciclos de filtração na ETA de Beliche foram demasiado curtos (10 h), *i.e.*, menores do que o limite inferior da gama recomendada (12 h; secção 5.4.3.5), o que correspondeu a um maior consumo de recursos (água, energia) devido ao aumento da frequência de lavagens. Estas situações de menor desempenho da filtração em Novembro 2006 coincidiram com um aumento da turvação da água decantada (Figura 201).

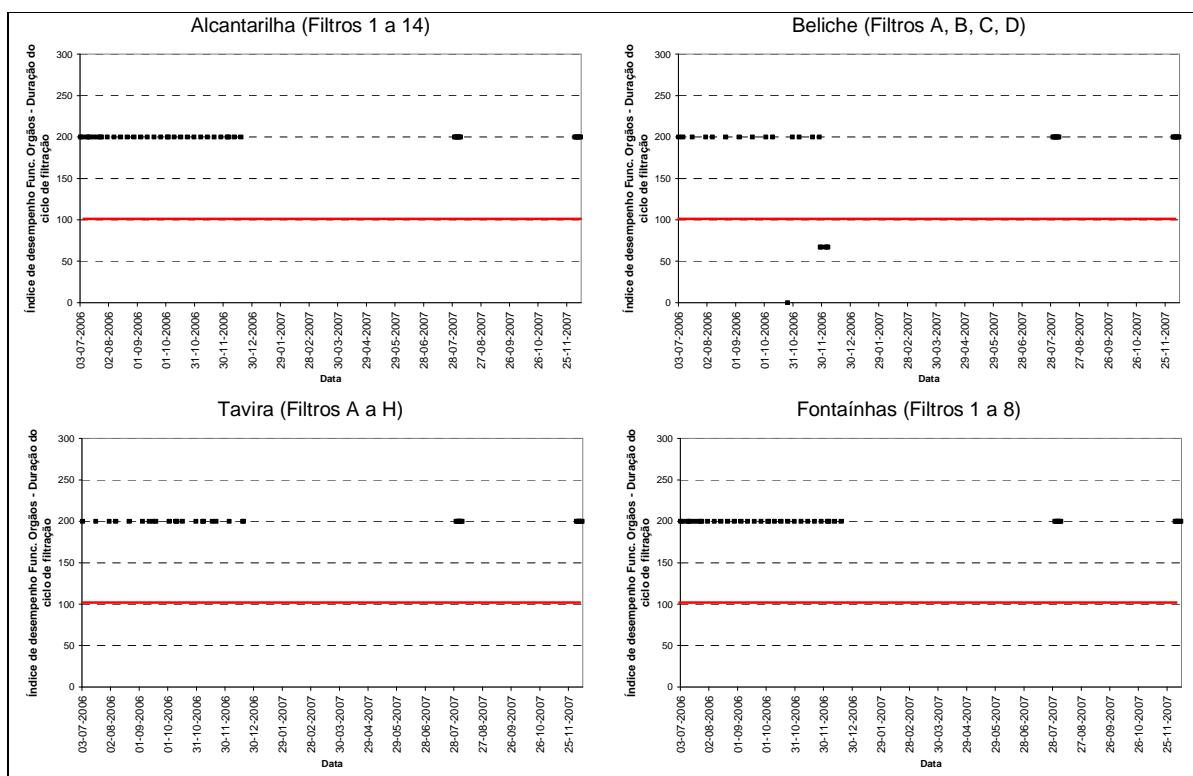


Figura 207 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - duração do ciclo de filtração

9.3.2.9. Ciclos de lavagem de filtros

Na Figura 208 representa-se o índice de desempenho de funcionamento dos órgãos relativo ao parâmetro quantidade de água gasta num ciclo de lavagem.

O desempenho em termos da quantidade de água gasta num ciclo de lavagem dos filtros foi

melhor na ETA de Fontaínhas, uma vez que os índices foram sempre superiores a 200, correspondendo a consumos entre 2,5-3,4% da água filtrada. A ETA de Beliche apresentou o pior desempenho com um índice sempre nulo, uma vez que o volume de água gasto foi demasiado elevado (200 m³ num ciclo de lavagem, *i.e.*, 11-41% da água filtrada). No período de maior produção, a ETA de Alcantarilha consumiu 3,1-4,7% da água filtrada na lavagem dos filtros, apresentando assim um desempenho aceitável neste aspecto face ao recomendado na literatura. No entanto, no período de menor produção, este consumo aumentou para 4,8-12,7% da água filtrada e o desempenho diminuiu, atingindo valores nulos em Novembro e Dezembro de 2006. No Inverno de 2007 ocorreu uma melhoria, registando-se índices na gama aceitável. O comportamento da ETA de Tavira foi semelhante, mas a diminuição do índice não foi tão acentuada nos períodos de menor produção, não se observando valores nulos. Os filtros A, B, C e D apresentaram, em 2006, um índice mínimo de 53, enquanto que os filtros E, F, G e H tiveram um melhor desempenho com um índice mínimo de 149. As velocidades de lavagem com água, assim como a duração das fases de lavagem com água, foram maiores na ETA de Alcantarilha do que na ETA de Tavira (Alcantarilha: 12,5-25 m/h, 8,2-9,2 min; Tavira: 8,8-13,1 m/h, 5 min) o que explica o maior desempenho desta última em termos do consumo de água.

A análise dos resultados relativos à quantidade de água gasta num ciclo de lavagem não permite concluir se alguma das sequências de lavagem dos filtros consome claramente mais água, uma vez que as ETA de Alcantarilha e Fontaínhas operaram com a mesma sequência (ar e água, seguido de água) e, no entanto, apresentaram desempenhos distintos.

A comparação dos resultados apresentados nesta secção com os resultados do indicador tRU01 mostra que se a avaliação de desempenho global for feita adoptando como período de referência o ano pode mascarar situações de menor desempenho em alguns períodos, uma vez que apenas gera informação em termos médios anuais. Apesar de o indicador tRU01 sugerir uma boa utilização de água na ETA, uma análise mais pormenorizada da quantidade de água gasta na

lavagem dos filtros sugere que há potencial para melhoria do desempenho nos períodos de menor produção da estação.

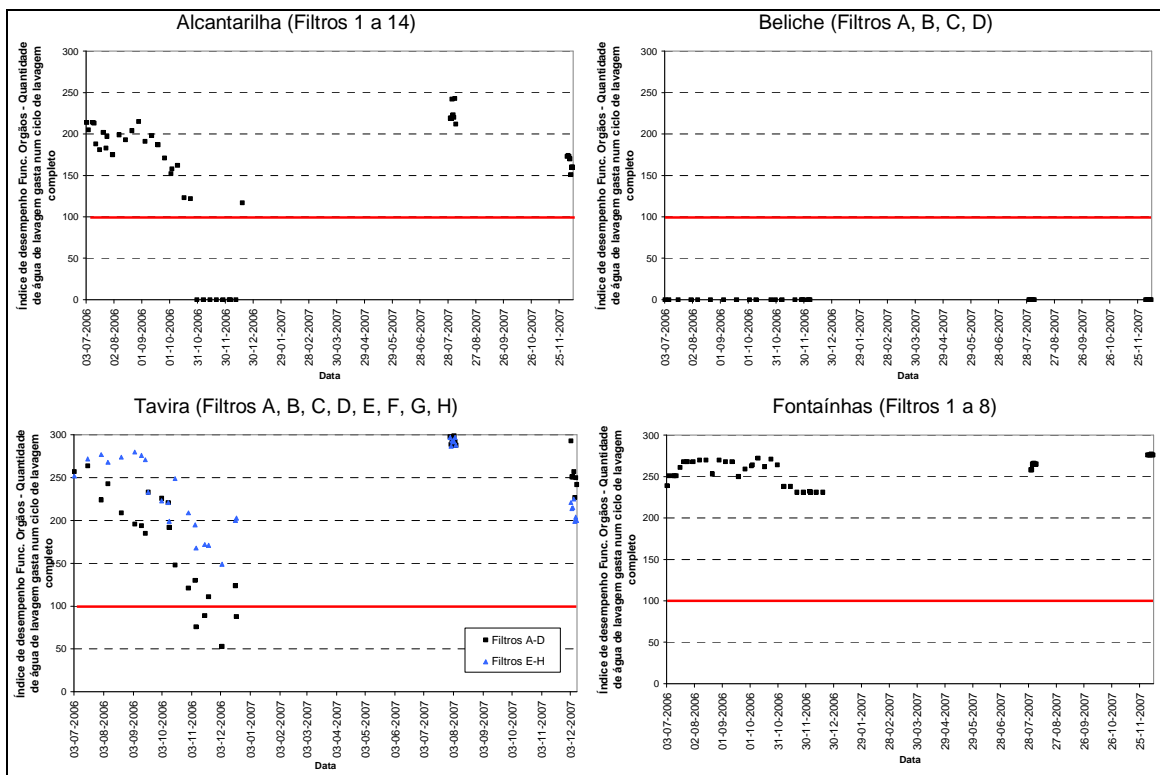


Figura 208 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - quantidade de água gasta num ciclo de lavagem

Nos casos em que havia disponibilidade de dados, o desempenho em termos da velocidade de lavagem com ar, velocidade de lavagem com água, duração da lavagem com ar e duração da lavagem com água foi sempre bom, com excepção da ETA de Beliche em termos das velocidades (Quadro 83). Nesta ETA, o índice de desempenho relativamente à velocidade de lavagem com ar foi zero e à velocidade com água foi 150, correspondendo a velocidades demasiado baixas quando comparadas com as gamas típicas da bibliografia. Também aqui é de referir a necessidade de determinar as velocidades de lavagem e tempos de duração de lavagem óptimos para cada caso.

Quadro 83 – Índice de desempenho de parâmetros de operação associados à lavagem dos filtros

Fases da lavagem do filtro	Índice de desempenho em termos de			
	velocidade de lavagem com ar	velocidade de lavagem com água	duração da lavagem com ar	duração da lavagem com água
Alcantarilha				
ar+água	200	200	200	200
água	n.a.	200	n.a.	200
Fontainhas				
ar+água	s.d.	s.d.	200	200
água	n.a.	s.d.	n.a.	200
Tavira				
ar	200	n.a.	200	n.a.
ar+água	200	200	200	200
água	n.a.	200	n.a.	200
Beliche				
ar	0	n.a.	200	n.a.
água	n.a.	150	n.a.	200

s.d.: sem dados; n.a.: não aplicável

9.3.2.10. Características do meio filtrante

Nos casos em que existiam dados, o desempenho em termos do coeficiente de uniformidade do meio filtrante, do diâmetro efectivo do meio filtrante e da altura do leito foi sempre bom (Quadro 84). Novamente, há que ter em consideração a amplitude das gamas da bibliografia que estão na base das funções de desempenho aplicadas a estes parâmetros e a consequente necessidade de encontrar valores óptimos para cada ETA.

Quadro 84 – Índice de desempenho dos parâmetros de operação associados às características do meio filtrante

ETA	Índice de desempenho em termos de		
	coeficiente de uniformidade do meio filtrante	diâmetro efectivo do meio filtrante	altura do leito dos filtros
Alcantarilha (Filtros 1 a 14)	200	200	200
Fontainhas	s.d.	s.d.	s.d.
Tavira (Filtros A a H)	s.d.	s.d.	200
Beliche (Filtros A, B, C, D)	s.d.	s.d.	200

s.d.: sem dados

9.3.3. Avaliação de desempenho com funções de desempenho atendendo a gamas óptimas dos parâmetros de operação – exemplo

Tal como referido na secção 5.4.3.1, a definição das funções de desempenho, além de considerar as gamas recomendadas na bibliografia, deve contemplar uma gama óptima do parâmetro de operação, fazendo-lhe corresponder um índice de desempenho 300. Também a discussão de resultados apresentada na secção 9.3.2 aponta nesse sentido. Assim, seguidamente exemplifica-se essa abordagem para o caso da OPU filtração na ETA de Alcantarilha e o parâmetro

velocidade de filtração.

Em primeiro lugar, estudou-se a variação da eficiência da filtração (em termos da remoção de turvação e alumínio) em função da velocidade de filtração. Uma vez que a eficiência de remoção depende da concentração afluente à filtração (como já demonstrado no capítulo 5), usou-se o índice de desempenho em termos de eficiência do tratamento $I_{TreatEf}$ para procurar a gama óptima da velocidade de filtração. A Figura 209 mostra que, para velocidades de filtração na gama 3,7-5 m/h, $I_{TreatEf}$ em termos de remoção de turvação apresentou sempre valores próximos do óptimo. No caso da eficiência em termos da remoção de alumínio, observaram-se sempre índices próximos de 300 para velocidades de filtração inferiores a 5 m/h. Assim, a gama óptima a considerar para a função de desempenho do parâmetro velocidade de filtração é a que otimiza a remoção de turvação e de alumínio, ou seja, 3,7 – 5 m/h. Estes resultados mostram também que $I_{TreatEf}$ foi ainda bom mesmo para valores um pouco inferiores a 3,7 m/h, pelo que a ETA de Alcantarilha não deve ser penalizada (tecnicamente, porque economicamente não é uma solução otimizada) por ter essas velocidades abaixo da gama da bibliografia, o que aconteceu quando se fez a avaliação de desempenho baseada somente em valores recomendados na bibliografia (secção 9.3.2.7).

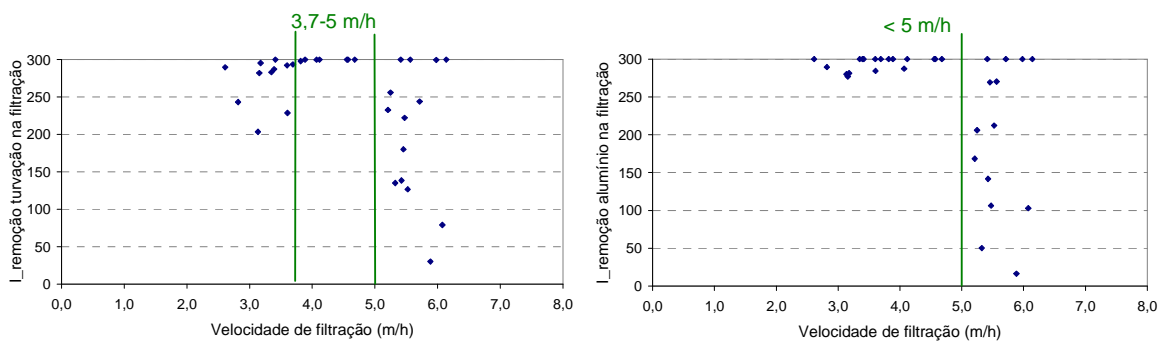


Figura 209 – Relação entre o índice de desempenho em termos de eficiência da filtração e a velocidade de filtração (ETA de Alcantarilha)

A função de desempenho definida considerando a gama óptima 3,7-5 m/h é apresentada na Figura 210 e a sua aplicação aos valores da velocidade de filtração origina os resultados da Figura 211. Comparando a Figura 211 com a Figura 206, observa-se um aumento generalizado

do desempenho, sendo agora atingidos índices na gama 200-300 e apenas dois valores insatisfatórios relativos a velocidades demasiado baixas.

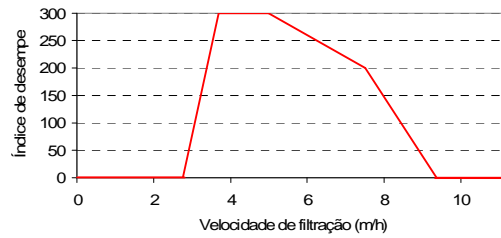


Figura 210 – Função de desempenho do funcionamento dos órgãos a aplicar ao parâmetro velocidade de filtração, considerando uma gama óptima de operação (ETA de Alcantarilha)

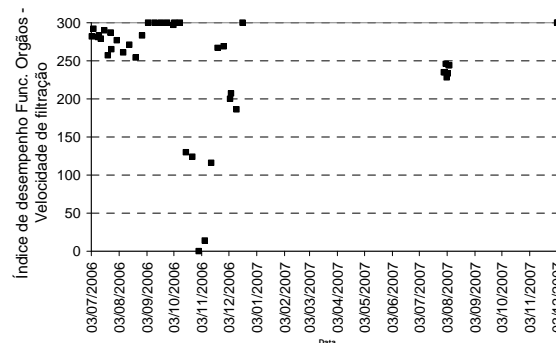


Figura 211 – Índice de desempenho de funcionamento dos órgãos - velocidade de filtração - na ETA de Alcantarilha, considerando uma gama óptima de operação na definição da função de desempenho

9.4. Considerações finais

Neste capítulo apresentam-se os resultados da aplicação da metodologia de avaliação de desempenho operacional de ETA (apresentada no capítulo 5) a cinco casos de estudo constituídos por ETA à escala real.

Os resultados obtidos para a componente de **qualidade da água tratada** mostram que o desempenho das quatro estações da AdA foi, em geral, bom, registando-se índices maioritariamente na gama 200-300. No entanto, observaram-se algumas situações de menor desempenho, por vezes insatisfatório (índices < 100) para alguns parâmetros de qualidade da água. O desempenho foi mais variável e, aparentemente, mais difícil de controlar no caso dos parâmetros alumínio, bactérias coliformes, bromato, cloro, dureza, *Escherichia coli*, Índice de Saturação de Langelier, manganês, número de colónias a 22°C, número de colónias a 37°C, THM

e turvação. A avaliação de desempenho mostrou ainda que há parâmetros para os quais é desejável melhorar a sua determinação passando a fazê-la por cálculo com base em especificações de reagentes (acrilamida, cloreto de vinilo e epiclorigrinalina) ou baixando o LQ do método analítico utilizado (*e.g.*, alguns pesticidas). Em todas as ETA da AdA, observou-se, uma evolução positiva do desempenho no período estudado, com uma quebra nos anos de 2004 e 2005 (anos de seca). Apesar de, na avaliação de desempenho operacional, a análise ser mais pormenorizada, todos estes resultados são coerentes com os obtidos na avaliação de desempenho global (capítulo 8, indicadores tWQ), que tinha já evidenciado os mesmos problemas (parâmetros e anos com menor desempenho). O desempenho da ETA A foi, em geral, inferior ao das ETA da AdA.

Na componente da **eficiência do tratamento**, o desempenho operacional nas quatro ETA da AdA foi em geral bom, mas com maior frequência de índices aceitáveis e insatisfatórios do que na componente de qualidade da água tratada. Estas situações de menor desempenho ocorreram, sobretudo, nos anos de seca.

Em termos de remoção de turvação na C/F/D, a ETA de Fontainhas apresentou o melhor desempenho das quatro ETA e a ETA de Beliche teve o pior desempenho, estando estes resultados muito provavelmente relacionados com os diferentes tipos de decantadores existentes nas várias ETA. Em termos de remoção de turvação na filtração, as ETA de Alcantarilha e Tavira foram as que apresentaram melhor desempenho, mantendo-se a ETA de Beliche com os piores resultados.

Comparando as eficiências de remoção de turvação global, na C/F/D e na filtração, verifica-se que nas ETA de Alcantarilha e Beliche, o desempenho da C/F/D para remoção da turvação foi, em geral, inferior ao da filtração, verificando-se que o mesmo já não aconteceu, em geral, na ETA de Beliche. Na ETA de Fontainhas, o desempenho da C/F/D foi, em geral, superior ao da filtração mas, entre 2001 e 2004, revelou-se insuficiente para compensar o menor desempenho

desta última OPU e o desempenho em termos da remoção global de turvação foi intermédio entre o desempenho da C/F/D e da filtração. Em 2005-2007, o desempenho da C/F/D já compensou a filtração e o desempenho de remoção global é agora análogo ao da C/F/D. Na ETA de Tavira, o desempenho da C/F/D foi também superior ao da filtração e análogo ao desempenho da remoção global. Nas quatro ETA, a filtração removeu mais eficientemente o alumínio do que as espécies que conferem turvação à água.

Na componente de **funcionamento dos órgãos**, a avaliação do desempenho com base em dados da bibliografia originou, em geral, resultados de bom desempenho operacional (índices = 200-300) no caso dos parâmetros turvação da água decantada, carga hidráulica nos decantadores, duração dos ciclos de filtração, velocidade de lavagem dos filtros com ar e água, duração da lavagem dos filtros com ar e água, diâmetro efectivo e coeficiente de uniformidade dos meios filtrantes e altura do leito dos filtros. Os desempenhos foram inferiores no caso dos parâmetros tempo de mistura (rápida e lenta), velocidade de filtração e quantidade de água gasta na lavagem dos filtros. Os tempos de mistura rápida e de mistura lenta observados foram, em geral, superiores aos recomendados na bibliografia e as velocidades de filtração inferiores (somente nos períodos de menor produção). Apesar de, em geral, não ter tido consequências negativas na qualidade da água, esta situação correspondeu a uma não optimização da utilização de recursos, uma vez que o tratamento foi mais demorado do que o necessário, existindo, portanto, potencial para melhoria do desempenho operacional. A quantidade de água gasta num ciclo de lavagem de um filtro foi, por vezes, superior aos valores da bibliografia, o que sugere um potencial de melhoria de desempenho operacional com reflexos na utilização racional deste recurso.

Em face do exposto, e tanto quanto os dados disponíveis o permitiram, foi demonstrado que a metodologia proposta para avaliação de desempenho operacional de ETA traduz, de forma objectiva e quantitativa, a **variação do desempenho operacional de uma ETA convencional**

ao longo do tempo associada a eventuais alterações na água bruta, alterações tecnológicas ou alterações de condições de operação. Verificou-se que a escala temporal desta avaliação é condicionada pela discretização temporal dos dados de base, podendo ser suficientemente detalhada para que a metodologia integre os processos de tomada de decisão ao nível operacional.

A análise conjunta das cinco ETA estudadas mostrou que a metodologia possibilita também a **comparação**, numa mesma escala, **entre o desempenho de ETA distintas** (com diferentes dimensões, origens de água bruta e tipos de órgãos), realçando as unidades com melhor e pior desempenho relativamente a cada uma das variáveis dos três pontos de vista estudados (qualidade da água tratada, eficiência do tratamento e funcionamento dos órgãos).

Os resultados evidenciaram ainda a potencialidade da metodologia para **comparação de OPU**, quer em termos de eficiências de remoção (através da componente OpPA_TreatEf), quer em termos de funcionamento dos órgãos (através da componente OpPA_UOP). Além disso, a metodologia permite (através da componente OpPA_TreatEf) **comparar o desempenho de uma OPU em termos de remoção de diferentes parâmetros** (*e.g.*, remoção de turvação e de alumínio na filtração) e possibilita (através da componente OpPA_UOP) a **comparação entre diferentes órgãos de uma OPU** (*e.g.*, comparar os diferentes filtros de uma ETA). Todas estas comparações são feitas na mesma escala (adimensional, 0-300), o que facilita a interpretação de resultados e permite o seu posterior processamento, tal como referido no capítulo 10.

Os resultados obtidos relativamente à velocidade de filtração na ETA de Alcantarilha evidenciam ainda que a avaliação do desempenho dos órgãos não deve ser suportada exclusivamente pelas gamas da literatura (demasiado abrangentes), devendo ser determinados **valores óptimos para cada caso** e contemplá-los nas funções de desempenho do modo descrito na secção 5.4.3.1 e exemplificado na secção 9.3.3. Nos casos em que, por ausência de valores óptimos específicos da ETA, a avaliação de desempenho se baseie apenas nas gamas da

bibliografia (*i.e.*, que se limita à gama 0-200), interessa avaliar caso a caso a adequação das funções de desempenho propostas neste capítulo. Em particular, devem ser estudadas alternativas à tolerância de 25% (adoptada para alguns parâmetros): tolerâncias distintas para os extremos inferior e superior da gama da bibliografia (*e.g.*, 25% e 10%, respectivamente), tolerância em valor absoluto e não em percentagem, etc.

A comparação dos resultados relativos à componente de avaliação de desempenho operacional da qualidade da água tratada e ao parâmetro quantidade de água gasta na lavagem dos filtros com os resultados dos indicadores tWQ01 e tRU01, respectivamente, mostra que, como expectável, a avaliação de desempenho global, pode mascarar situações de menor desempenho em alguns momentos, uma vez que apenas gera informação em termos médios anuais.

A metodologia de avaliação de desempenho operacional proposta neste trabalho permite incorporar os **critérios de avaliação do decisor** de acordo com os seus objectivos, através das funções de penalidade. Dois parâmetros a seleccionar pelo decisor são o LQ e o VL. A aplicação aos casos de estudo evidenciou a influência destes dois parâmetros nos resultados do desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada e da eficiência do tratamento e, conseqüentemente, a importância da sua cuidadosa selecção, sobretudo, no âmbito de *benchmarking* de modo a permitir uma comparação justa entre as ETA avaliadas.

A extensão da aplicação das três componentes da avaliação de desempenho operacional, permitiu identificar as áreas onde existe menor **disponibilidade de dados**, o que pode condicionar a aplicação da metodologia. Tal como na avaliação de desempenho global, os dados de qualidade da água tratada são os mais abundantes, pelo que a componente da qualidade da água tratada foi aplicada na totalidade, seguindo-se a componente de eficiência do tratamento, que exige, adicionalmente, dados de qualidade da água ao longo da sequência de tratamento, recolhidos com uma frequência adequada para tratamento estatístico. Os dados relativos aos parâmetros de processo foram os mais difíceis de obter por, no caso de alguns deles, não serem efectuados

registros na rotina de operação da ETA, de forma sistemática e/ou em suportes que permitam o seu fácil processamento para utilização na avaliação de desempenho operacional.

10. Integração das componentes do sistema de avaliação de desempenho

10.1. Considerações gerais

Para que possam ser efectivamente utilizadas em alguns processos de tomada de decisão, algumas medidas de desempenho de ETA beneficiariam aparentemente de algum grau de agregação que permita dispor de medidas de desempenho para um conjunto de OPU ou mesmo para toda a estação. Estão disponíveis, actualmente, vários métodos para efectuar essa agregação, mas a todos eles está associada uma perda de informação eventualmente relevante para a tomada de decisão, além de se verificar que situações de menor desempenho podem ser mascaradas devido à compensação de piores desempenhos por melhores desempenhos. Consequentemente, considera-se que a opção por outro tipo de abordagem, mais transparente e igualmente expedita, beneficiará a tomada de decisão, tornando-a mais sustentada e conferindo-lhe maior robustez. Assim, propõe-se, neste capítulo, uma metodologia que permite realizar uma avaliação integrada do desempenho de uma ETA utilizando os resultados das várias componentes do PAS apresentadas ao longo da tese. Esta integração já foi sendo, dentro do possível, referida na discussão dos resultados da aplicação do PAS a casos de estudo (capítulos 8 e 9). Neste capítulo, apresenta-se uma proposta teórica (uma vez que não há dados dos casos de estudo que a permitam sustentar na sua totalidade), e portanto não exaustiva, de integração das várias componentes do PAS.

10.2. Integração da componente de avaliação de desempenho global e da componente de avaliação de desempenho operacional

Como já referido, as duas componentes principais do PAS (avaliação de desempenho global e avaliação de desempenho operacional) permitem avaliar o desempenho a níveis diferentes, pelo que podem ser usadas de forma integrada de acordo com a metodologia a seguir descrita.

A avaliação do desempenho de uma ETA deve começar por uma análise global, recorrendo à componente OvPA, para percepção de quais são as áreas mais problemáticas, ou seja, onde o desempenho é menor. Uma vez identificados os problemas, estas áreas serão analisadas em pormenor, sendo prioritárias em termos de actuação, e efectuar-se-á a recolha de informação e o cálculo de medidas de desempenho (indicadores e/ou índices) a elas associadas.

Na primeira fase de identificação das áreas problemáticas, a EG utilizadora do PAS deve começar por estabelecer os seus objectivos específicos para a ETA e identificar as suas maiores preocupações (qualidade da água tratada, consumo de energia, consumo de reagentes, etc.). É expectável que as preocupações da generalidade das EG se relacionem mais com os seguintes domínios da OvPA: *Qualidade da água tratada* (devido à necessidade de cumprimento de requisitos legais), *Utilização de água, energia e materiais* e *Gestão de subprodutos* (por se relacionarem com aspectos que oneram significativamente as EG), e *Recursos económico-financeiros* (pela necessidade de garantir a sustentabilidade da EG).

Em seguida, para cada domínio considerado prioritário, a EG deve, de entre o conjunto de ID disponíveis no sistema de indicadores de desempenho (capítulo 4), seleccionar e calcular aqueles que melhor traduzem o cumprimento dos objectivos previamente estabelecidos. Com base nos resultados da comparação entre os valores calculados e as metas, poderá ser atribuído um nível de desempenho a cada indicador e adoptada uma codificação do tipo bola verde/bola vermelha (Figura 212). A análise conjunta de todos os ID de cada domínio permitirá definir

qualitativamente um nível de desempenho de cada domínio, traduzido também através de uma codificação de cores, do modo ilustrado na Figura 212. No exemplo aqui apresentado, o domínio *Qualidade da água tratada* apresenta um bom desempenho, sendo o domínio *Utilização de água, energia e materiais* o mais problemático.

Domínio de avaliação	ID ₁	ID ₂	ID ₃	ID ₄	...	Nível de desempenho do domínio
Qualidade da água tratada <i>tWQ</i>	●	●	●	●	...	●
Utilização de água, energia e materiais <i>tRU</i>	●	●	●	●	...	●
Gestão de subprodutos <i>tBP</i>	●	●	●	●	...	●
Recursos económico-financeiros <i>tFi</i>	●	●	●	●	...	●

● desempenho bom; ● desempenho mediano; ● desempenho insatisfatório

Figura 212 – Identificação de áreas problemáticas através da OvPA

Após a identificação dos domínios mais problemáticos, importa analisar mais em pormenor os aspectos responsáveis pelo menor desempenho e procurar oportunidades para melhoria desse desempenho, recorrendo-se, para tal, à componente OpPA do PAS. Tal como já referido para a OvPA, o conjunto de medidas de desempenho incluídas na OpPA constitui um *portfolio*, não sendo necessário, em geral, calcular todas. Assim, uma vez identificadas as áreas problemáticas, serão apenas determinados os índices de desempenho apropriados para a discretização (temporal e espacial – por OPU/conjunto de OPU) do desempenho nessas áreas. Na Figura 213 apresenta-se, para o exemplo atrás referido, um diagrama de decisão que estabelece a correspondência entre os indicadores de desempenho dos domínios *tWQ*, *tRU*, *tBP* e *tFi* da componente OvPA (que respondem aos objectivos da EG atrás pressupostos) e os índices de desempenho da componente OpPA, para apoio à selecção dos índices de desempenho a determinar e analisar face aos problemas identificados através da OvPA.

Se os indicadores *tWQ01* (assim como o seu cálculo individualizado para cada parâmetro de qualidade da água, através de *tWQ01.1*, *tWQ01.2*, etc.) e *tWQ02* do domínio *Qualidade da água tratada* evidenciarem problemas de desempenho em termos de não conformidade com os requisitos à saída da ETA, devem ser analisados os índices de desempenho da componente de qualidade da água tratada ($I_{W_{atQ}}$) relativos aos parâmetros que apresentam não conformidades.

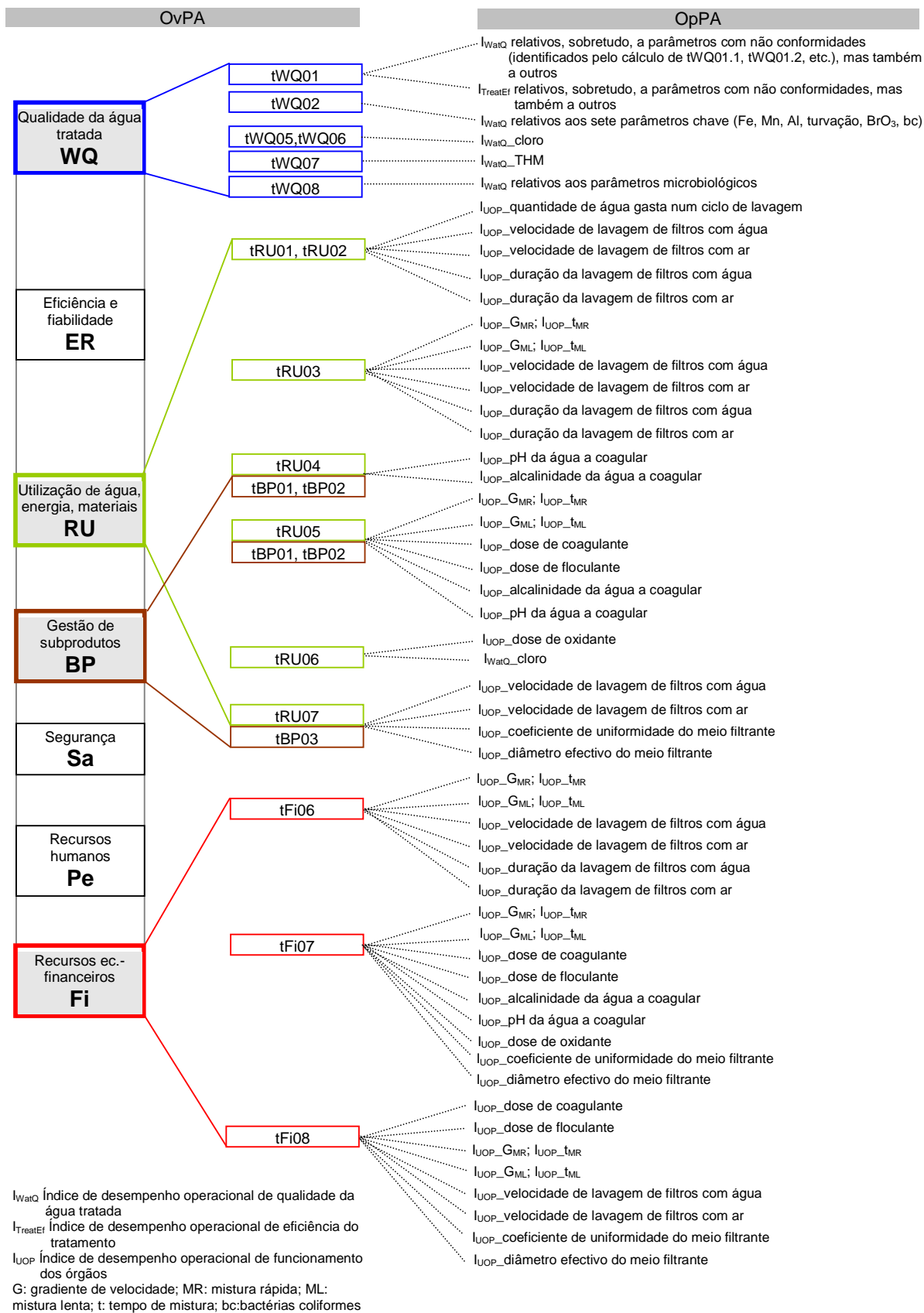


Figura 213 – Relação entre medidas de desempenho da OvPA e da OpPA nos domínios tWQ, tBP, tRU e tFi

Para os restantes pode haver interesse na sua determinação, uma vez que pode haver potencial de melhoria do desempenho em termos do cumprimento do VL. Para se avaliar se as causas do menor desempenho se devem a questões de eficiência de remoção, devem também ser analisados os índices de desempenho relativos à eficiência do tratamento (I_{TreatEf}). Caso a turvação seja um dos parâmetros problemáticos, os índices relativos ao funcionamento dos órgãos $I_{\text{UOP_turvação da água decantada}}$ e $I_{\text{UOP_turvação da água filtrada}}$ podem também ser analisados, no sentido de se identificar a precedência do problema na linha de tratamento.

Apesar de os indicadores tWQ05, tWQ06, tWQ07 e tWQ08 se referirem especificamente à qualidade da água nos pontos de consumo, caso evidenciem problemas, devem ser analisados, além das questões associadas ao sistema de distribuição a jusante da ETA, os índices I_{WatQ} relativos aos parâmetros cloro, THM e microbiológicos, respectivamente, de modo a avaliar se as causas de menor desempenho se localizam logo à saída da ETA.

Quando os indicadores tRU01 e tRU02 do domínio *Utilização de água, energia e materiais* evidenciarem problemas de consumo excessivo de água na ETA, e tendo em consideração que a filtração é, em geral, a principal causa desse consumo, devem ser analisados os índices de desempenho de funcionamento dos órgãos (I_{UOP}) relativos aos parâmetros de operação desta OPU associados a aspectos que traduzem e/ou que podem contribuir para o consumo de água, nomeadamente a *quantidade de água gasta num ciclo de lavagem* e as *velocidades e durações das fases de lavagem com ar e com água*.

Gradientes de velocidade e tempos (*i.e.*, números de Camp) de mistura rápida e de mistura lenta superiores aos óptimos conduzem a um consumo excessivo de energia. Também quando as velocidades de lavagem dos filtros e a duração das várias fases dessa lavagem são superiores ao necessário, existe potencial para poupança de energia. Assim, um desempenho insatisfatório nesta área, evidenciado pelo indicador tRU03, deve ser analisado tendo em consideração os índices de desempenho da componente funcionamento dos órgãos (I_{UOP}) relativos aos parâmetros

acima referidos.

O consumo excessivo de reagentes de ajuste de pH (indicador tRU04) deve ser analisado tendo em consideração o pH e a alcalinidade da água a coagular (*I_{UOP_pH da água a coagular}*; *I_{UOP_alcalinidade da água a coagular}*). O consumo excessivo de coagulantes e floculantes pode dever-se a uma não optimização das doses adicionadas, a más condições de mistura ou a um acerto incorrecto do pH/alcalinidade da água a coagular. Assim, o indicador tRU05 relaciona-se com os seguintes índices de desempenho de funcionamento dos órgãos: *I_{UOP_GMR}*, *I_{UOP_tMR}*, *I_{UOP_GML}*, *I_{UOP_tML}*, *I_{UOP_dose coagulante}*, *I_{UOP_dose floculante}*, *I_{UOP_pH da água a coagular}* e *I_{UOP_alcalinidade da água a coagular}*. Analogamente, o consumo excessivo de oxidantes (evidenciado pelo indicador tRU06) pode dever-se a um ajuste e/ou doseamento incorrecto das doses de oxidantes às características da água a oxidar, pelo que deve ser analisado o índice *I_{UOP_dose oxidante}*. A análise do índice *I_{WatQ}_cloro* ajuda também a optimizar a adição do oxidante final (desinfectante), podendo eventualmente conseguir-se uma diminuição do seu consumo.

A utilização de velocidades excessivas na lavagem dos filtros pode provocar um arrastamento significativo de meio de enchimento, originando uma necessidade elevada de reposição desse meio. A adequação das características do meio de enchimento é também importante para que não ocorra esse arrastamento durante a lavagem. Como tal, na sequência de valores elevados do indicador tRU07, devem ser analisados os índices de desempenho da componente funcionamento dos órgãos *I_{UOP_velocidade lavagem filtros com água}*, *I_{UOP_velocidade lavagem filtros com ar}*, *I_{UOP_coeficiente de uniformidade do meio filtrante}* e *I_{UOP_diâmetro efectivo do meio filtrante}*.

Um excesso de lamas (evidenciada pelo indicador tBP01) e lamas com elevado teor de humidade (evidenciado pelo indicador tBP02) têm associadas as causas referidas para os indicadores tRU04 e tRU05, pelo que devem ser analisados os mesmos índices de funcionamento dos órgãos. De forma análoga, os índices associados ao indicador tRU07 devem também ser analisados caso

sejam gerados meios de enchimento em excesso (evidenciado pelo indicador tBP03). Relativamente às lamas, devem também ser considerados índices relativos à linha de tratamento da fase sólida, que não foram tratados no âmbito da presente dissertação.

Um menor desempenho em termos de custos energéticos, evidenciado pelo indicador tFi06, tem associadas as mesmas causas que o indicador tRU03, pelo que devem ser analisados os mesmos índices de desempenho já referidos para este indicador.

Um menor desempenho em termos de custos de aquisição de reagentes, evidenciado pelo indicador tFi07, tem origem nos aspectos referidos para os indicadores tRU04, tRU05 e tRU06, pelo que devem ser analisados todos os índices referidos para estes ID.

Custos excessivos com transporte e eliminação de subprodutos (indicador tFi08) podem estar relacionados com todos os aspectos que possam originar uma produção excessiva de lamas (não optimização de doses adicionadas de reagentes para coagulação/floculação e condições de mistura rápida e lenta não adequadas) e de meios de enchimento (arrastamento de meio de enchimento na lavagem de filtros), pelo que devem, neste caso, ser analisados os índices *I_{UOP}_t_{MR}*, *I_{UOP}_G_{ML}*, *I_{UOP}_t_{ML}*, *I_{UOP}_dose coagulante*, *I_{UOP}_dose floculante*, *I_{UOP}_velocidade lavagem filtros com água*, *I_{UOP}_velocidade lavagem filtros com ar*, *I_{UOP}_coeficiente de uniformidade do meio filtrante* e *I_{UOP}_diâmetro efectivo do meio filtrante*. Este tipo de custos pode estar também relacionado com as características dos subprodutos, devendo também ser analisados, na OpPA, índices relativos à linha de tratamento da fase sólida, que não foram tratados no âmbito da presente dissertação.

O procedimento até aqui descrito permite procurar, de entre os factores operacionais que estão sob o controlo da EG, aqueles que conduzem a situações de menor desempenho. Podem, no entanto, existir outros factores não controláveis pela EG e que são explicativos de resultados insatisfatórios. Por exemplo, valores elevados do indicador relativo aos custos energéticos (tFi06) podem dever-se apenas ao facto de os preços de venda de energia na região de

implantação da ETA serem superiores aos de outras regiões. Também custos elevados de transporte de subprodutos (indicador tFi08) podem, em alguns casos, ser explicados somente por uma localização da ETA numa região com poucas acessibilidades. Assim, quando se encontram indicadores que traduzem desempenhos insatisfatórios, previamente à análise da relação indicadores – índices, devem identificar-se eventuais especificidades não cobertas pelos índices e que fazem a distinção entre ETA.

De notar, finalmente, que existe um conjunto de ID que não têm correspondência directa com a OpPA (*e.g.*, tSa, tPe). Nestes casos, as causas de menor desempenho não serão encontradas através de uma análise detalhada a nível operacional (pois não se tratam de aspectos inerentes ao processo de tratamento em si), mas pela análise de outros factores.

Uma vez que, como demonstrado nesta tese, a OvPA pode não evidenciar todos os potenciais de melhoria (*i.e.*, o ID pode traduzir um bom desempenho global, mas pode estar a mascarar situações pontuais de mau desempenho e, conseqüentemente, oportunidades de melhoria), é aconselhável que a EG, após cálculo dos índices associados a ID com resultados insatisfatórios (cálculo prioritário), determine todos os índices correspondentes aos ID das áreas problemáticas.

O seguimento integral da abordagem aqui descrita, por uma EG, deixa de ser necessário quando existe já um conhecimento profundo do funcionamento da ETA, incluindo as suas áreas mais problemáticas. Neste caso, para gestão operacional a componente OpPA é determinante. De qualquer forma, existirão sempre ID-chave de suporte à gestão estratégica. Em estudos ocasionais de avaliação de desempenho com objectivos muito específicos (*e.g.*, avaliação da filtração), podem ser utilizadas apenas algumas das subcomponentes da OpPA ou, mesmo, apenas alguns dos índices de desempenho. Também quando a EG pretende fazer uma análise a uma escala temporal menor do que o período de referência adoptado para a OvPA (que, em geral, é um ano), a OpPA é a ferramenta mais adequada para efectuar a avaliação de desempenho.

A utilização da abordagem aqui proposta pode ser feita no âmbito de *benchmarking* de ETA, por exemplo para comparação das áreas problemáticas das várias ETA, sendo, para tal, necessário desenvolver uma grelha do tipo da Figura 212 para cada ETA. Uma vez mais, como a OvPA apenas avalia o desempenho ao nível da ETA e em termos médios sem discretização temporal, podem existir situações em que, apesar de o desempenho global ser bom, é ainda possível melhorar o desempenho ao nível operacional. Assim, caso se pretenda ir mais longe na distinção do desempenho de várias ETA que apresentem desempenho global semelhante, é necessário recorrer ao OpPA e aos índices de desempenho de acordo com a abordagem apresentada nesta secção.

10.3. Integração das componentes da avaliação de desempenho operacional

Uma abordagem que permita integrar as três componentes da avaliação de desempenho operacional (*Qualidade da água tratada, Eficiência do tratamento e Funcionamento dos órgãos*), de modo a apoiar a tomada de decisão, deve evitar a agregação total dos índices, mas analisar conjuntamente as três vertentes do desempenho. Assim, propõe-se que se recorra à representação gráfica das três subcomponentes da OpPA em três eixos, como apresentado na Figura 214, onde os valores a representar nos três eixos desta representação gráfica resultam de uma agregação dos índices de desempenho relativos aos vários parâmetros estudados em cada componente (*e.g.*, os vários parâmetros de qualidade da água tratada, no caso de I_WatQ). Esta agregação pode consistir numa média simples (*i.e.*, não ponderada), tal como exemplificado e discutido para o caso do I_WatQ na secção 9.1.2.13.

A análise deste tipo de representação, em particular, das pontas mais desfavoráveis da zona triangular, permite tirar conclusões quanto às áreas onde existe potencial para melhoria do desempenho.

Situações como a da Figura 214a, na qual se observam baixos I_WatQ, I_TreatEf e I_UOP, sugerem que é necessário melhorar o desempenho em termos de qualidade da água, devendo, para tal, ser melhorado o desempenho em termos de eficiência do tratamento (aumento de I_TreatEf) e de funcionamento dos órgãos (aumento de I_UOP). Esta situação pode também corresponder à necessidade de aumento de capacidade da ETA (neste caso, o indicador *tER04 – Utilização da ETA* apresenta valores insatisfatórios).

Uma ETA que corresponda à Figura 214b não apresenta bom desempenho em termos de qualidade da água tratada. No entanto, uma vez que nas componentes de eficiência do tratamento e funcionamento dos órgãos já não existe margem para aumento do desempenho, os resultados apontam para a necessidade de actualização tecnológica da ETA. Os meios existentes já estão optimizados, o que, porém, não é suficiente para cumprir os requisitos relativos à qualidade da água tratada.

Na situação representada pela Figura 214c, apesar de o desempenho em termos de qualidade da água tratada ser já bom, é possível melhorar o desempenho da ETA optimizando o processo de tratamento existente, de modo a serem consumidos menos recursos.

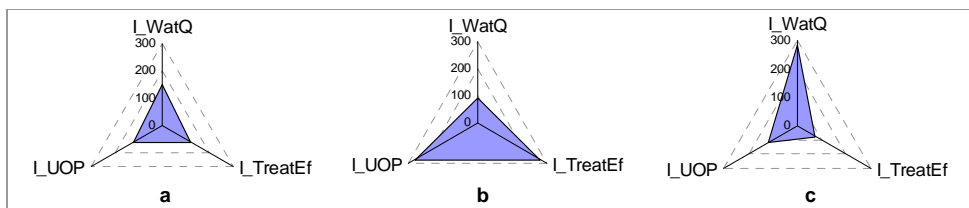


Figura 214 – Representação conceptual das três subcomponentes da OpPA

Neste tipo de análise importa ter presente que as vertentes eficiência de tratamento e funcionamento dos órgãos não são os objectivos em si, mas sim a qualidade da água tratada. A qualidade da água tratada é condicionada pela eficiência do tratamento que, por sua vez, é determinada pelo funcionamento dos órgãos (além das características da água a tratar).

11. Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

11.1. Conclusões

A revisão do estado da arte no domínio da avaliação de desempenho de serviços de abastecimento de água para consumo humano (SAA) evidenciou a necessidade de uma metodologia objectiva e sistemática que permitisse efectuar a avaliação do desempenho da componente do tratamento dos SAA, que tinha sido, até agora, considerada de forma incipiente ou não satisfatória em algumas das abordagens sistematizadas existentes. Assim, na presente dissertação foi desenvolvido um sistema de avaliação de desempenho (PAS) aplicável especificamente a ETA, orientado por objectivos, normalizado e quantitativo, direccionado para aspectos operacionais, e destinado a apoiar os processos de tomada de decisão no âmbito da operação e da reabilitação das instalações. Assumiu-se como objectivo geral de uma ETA a produção fiável e segura de uma água de elevada qualidade, utilizando eficientemente os recursos naturais (água e energia), técnicos (equipamentos, reagentes), humanos e económico-financeiros. Do PAS faz parte uma componente de *avaliação de desempenho global*, que integra um conjunto de indicadores de desempenho agrupados em sete domínios de avaliação: qualidade da água tratada; eficiência e fiabilidade da estação; utilização de água, energia e materiais; gestão de subprodutos; segurança; recursos humanos e recursos económico financeiros. No entanto, uma vez que, devido ao seu grau de agregação, os indicadores se destinam, sobretudo, a serem utilizados como ferramenta de apoio à decisão a um nível de gestão global da ETA, o PAS integra a avaliação de desempenho global com um conjunto de outro tipo de medidas de desempenho (índices de desempenho) para avaliar o desempenho operacional, e que cobrem

aspectos relativos a qualidade da água tratada, a eficiências de remoção das várias operações/processos unitários (OPU) que constituem a ETA e à sua relação com as condições de operação. Para cálculo dos índices de desempenho, foram identificadas as variáveis-chave das três sub-componentes e, para cada variável, foi desenvolvida uma função de desempenho. O PAS foi concebido e estruturado de forma a ser o mais universal possível, para que seja aplicável a qualquer ETA e tenha utilidade para qualquer entidade gestora independentemente dos seus objectivos. Pretende-se que este conjunto de medidas de desempenho (indicadores e índices) constitua um *portfolio* de medidas de desempenho, onde as entidades gestoras (ou outros utilizadores do PAS) poderão ir seleccionar e implementar apenas aquelas que melhor servem os seus objectivos específicos, previamente definidos. Foi proposta uma metodologia de integração das várias componentes do PAS e que auxilia o utilizador na selecção das medidas de desempenho e na implementação do PAS numa ETA. Esta integração e análise conjunta dos resultados das várias componentes do PAS permite identificar oportunidades para melhoria do desempenho, ou seja, necessidades de optimização da ETA existente e/ou da sua reabilitação (*e.g.*, actualização tecnológica).

A validação da metodologia proposta, através da sua aplicação a cinco estações convencionais de tratamento de água superficial (quatro das quais da empresa Águas do Algarve, S.A.), demonstrou os seguintes principais aspectos:

- o PAS reflecte de forma clara, objectiva e quantitativa o desempenho real de uma ETA convencional, contemplando todos os aspectos relevantes para a sua avaliação;
- a componente de avaliação de desempenho global (OvPA) é sensível e reflecte alterações à escala temporal no desempenho global da ETA e permite também identificar as causas dessas alterações;
- a OvPA permite comparar o desempenho de ETA distintas (com diferentes dimensões, origens de água bruta e tecnologias de tratamento) na sua globalidade e em cada um dos

domínios de avaliação estudados;

- a aplicação aos casos de estudo com características de sazonalidade evidentes evidenciou a importância do cálculo dos indicadores de desempenho relacionados com a capacidade da infra-estrutura não só em termos médios anuais, mas também para os períodos de maior e de menor produção da ETA;
- a análise conjunta do desempenho global de quatro ETA permitiu identificar gamas dos indicadores de desempenho que poderão ser usadas, no futuro, com vista à definição de gamas de referência;
- a componente de avaliação de desempenho operacional (OpPA) traduz a variação do desempenho operacional de uma ETA convencional ao longo do tempo associada a eventuais alterações (quantitativas ou qualitativas) na água bruta, alterações tecnológicas e alterações de condições de operação;
- a análise conjunta das cinco ETA estudadas mostrou que a OpPA possibilita também a comparação, numa mesma escala, do desempenho de ETA distintas (com diferentes dimensões, origens de água bruta e tipos de órgãos), realçando as unidades com melhor e pior desempenho relativamente a cada uma das variáveis dos três pontos de vista estudados (qualidade da água tratada, eficiência do tratamento e funcionamento dos órgãos);
- os resultados relativos à OpPA evidenciaram ainda a potencialidade desta componente do PAS para comparar OPU distintas (quer em termos de eficiências de remoção, quer em termos de funcionamento dos órgãos), para comparar o desempenho de uma OPU em termos de remoção de diferentes parâmetros e para comparar diferentes órgãos de uma OPU;
- finalmente, constatou-se ser essencial dispor de uma ferramenta de cálculo automático de todas as medidas de desempenho como a que foi concebida e desenvolvida no âmbito desta dissertação para agilizar a aplicação do PAS.

A metodologia de avaliação de desempenho global exige dados agregados ao nível da ETA,

enquanto que a avaliação de desempenho operacional necessita de dados mais pormenorizados de monitorização de cada OPU da ETA (quer parâmetros de qualidade da água, quer outros parâmetros de operação). O tipo de dados disponíveis, condiciona, portanto, a escala da avaliação de desempenho. Observou-se que uma parte considerável da informação necessária para a implementação do PAS está disponível no âmbito dos sistemas de aquisição e gestão de dados instalados nas ETA, uma vez que é já recolhida para servir outros objectivos (*e.g.*, Planos de Segurança da Água, certificações de qualidade dos serviços e certificações ambientais). Muitas vezes, essa informação está, inclusivamente, já no formato adequado à sua utilização na avaliação de desempenho. Assim, a obtenção de dados não pode ser apontada como uma dificuldade da aplicação do PAS mas deve ser reconhecido que a avaliação de desempenho é uma ferramenta que permite sistematizar a informação existente.

Nos casos de estudo analisados, verificou-se que as áreas onde a menor disponibilidade de dados condiciona a avaliação de desempenho global são o armazenamento, o doseamento e o consumo de reagentes, a utilização de energia e a gestão de subprodutos que não as lamas. No caso da avaliação de desempenho operacional, os dados de qualidade da água tratada são os mais abundantes, seguindo-se os dados de qualidade da água ao longo da sequência de tratamento. Os dados relativos aos parâmetros de processo são os mais difíceis de obter. Foi também sentida neste trabalho a importância de, para uma correcta avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento, dispor de valores de concentrações à entrada e saída das OPU tendo em consideração tempos de retenção (este aspecto é mais relevante quando as variações de quantidade/qualidade da água e condições de operação são significativas ao longo do dia). O mesmo se aplica ao registo de dados de operação em articulação com a colheita de amostras, de modo a ser possível relacionar as eficiências do tratamento com as condições de operação.

A metodologia desenvolvida é flexível e aplicável a ETA com diferentes dimensões e diferentes graus de complexidade tecnológica devido à sua estrutura modular. A componente de avaliação

de desempenho global (OvPA) é sempre aplicável, uma vez que, por um lado, não analisa cada OPU individualmente e, por outro, é possível optar pelo cálculo de alguns indicadores de desempenho apenas, os que são adequados aos objectivos pré-estabelecidos para a avaliação e aplicáveis à ETA em análise. Na componente de avaliação de desempenho operacional (OpPA), podem ser aplicadas apenas as subcomponentes relativas às OPU existentes na ETA avaliada. Assim, a aplicação da OpPA a qualquer ETA poderá estar condicionada apenas pela disponibilidade de dados.

O PAS permite a avaliação da ETA não só em termos do cumprimento da legislação actual relativa à qualidade da água para consumo humano, mas também em termos da sua capacidade para fazer face a contaminantes emergentes, sendo estes aspectos considerados quer na OvPA, quer nas componentes OpPA_WatQ (avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada) e OpPA_TreatEf (avaliação de desempenho operacional em termos da eficiência do tratamento), que permitem a avaliação quer de parâmetros legislados, quer de parâmetros não legislados, desde que seja estabelecido um valor-limite.

Além de servir o propósito em si da avaliação de desempenho em termos da eficiência do tratamento, a OpPA_TreatEf constitui um modelo tipo caixa preta que permite, com base nas concentrações afluentes às OPU, prever a sua eficiência de remoção e, conseqüentemente, as concentrações à saída. Foram, portanto, desenvolvidos modelos para a remoção global de turvação, remoção de turvação na filtração, remoção de turvação na C/F/D e remoção de alumínio na filtração.

A metodologia de avaliação de desempenho operacional proposta permite incorporar os critérios de avaliação do decisor de acordo com os seus objectivos, através das funções de desempenho. Na OpPA_WatQ, dois parâmetros a seleccionar pelo decisor são o LQ (limite de quantificação do método analítico) e o VL (valor-limite do parâmetro em estudo na água à saída da ETA). A aplicação aos casos de estudo evidenciou a influência destes dois parâmetros nos resultados

obtidos relativos ao desempenho em termos da qualidade da água tratada e da eficiência do tratamento e, conseqüentemente, a importância da sua cuidadosa selecção, sobretudo, no âmbito de iniciativas de *benchmarking*, de modo a permitir uma comparação justa entre as ETA avaliadas.

Assim, considera-se que a metodologia de avaliação desenvolvida responde aos objectivos estabelecidos no presente trabalho, constituindo uma ferramenta de engenharia que permite obter informação agregada do desempenho das estações de tratamento de água e, como tal, fundamentar processos de decisão em diversos domínios relevantes da actividade das entidades gestoras, desde a operação de rotina da ETA, até outros como:

- os Planos de Segurança da Água – o PAS permite analisar a sensibilidade dos sistemas, identificar pontos críticos e avaliar a implementação de medidas de controlo de riscos;
- a Gestão Patrimonial de Infra-estruturas – o PAS permite identificar deficiências em termos de tecnologia e avaliar necessidades de reabilitação tecnológica;
- a gestão eficiente de água e energia num contexto de alterações climáticas – o PAS permite avaliar consumos e identificar os mais elevados, com fim à sua minimização;
- os Planos de Contingência – o PAS permite avaliar a resiliência dos sistemas para fazer face a alterações que ocorram em situações de contingência como, por exemplo, alterações na qualidade da água bruta.

11.2. Sugestões para futuros desenvolvimentos

Apesar do contributo do presente trabalho em termos do estudo da avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano, existem inúmeros aspectos relacionados com esta temática cujo conhecimento interessa aprofundar. Seguidamente, referem-se alguns destes aspectos que permitirão desenvolver os trabalhos de investigação que fizeram parte desta dissertação. Estes aspectos relacionam-se com estudos a dois níveis: um nível intra-PAS, que

engloba aspectos decorrentes directamente do presente trabalho e que correspondem a estudos de desenvolvimento da própria metodologia (aspectos 1 a 10), e um nível que envolve a integração do PAS com outras áreas do conhecimento e que engloba linhas de investigação com outras características (aspectos 11 a 13).

Estudos de desenvolvimento do PAS:

1. Avaliação da relevância dos indicadores de desempenho

Avaliação da relevância dos indicadores de desempenho da avaliação de desempenho global por objectivo e por tipologia de ETA, da qual resultará a selecção de subconjuntos de indicadores do sistema proposto nesta dissertação. Interessará identificar subconjuntos de indicadores adequados, por exemplo, a fins de regulação ou de *benchmarking* externo. Esta avaliação foi, de certo modo, já iniciada neste trabalho, mas necessita de ser prosseguida noutros contextos abrangendo ETA com características diferentes das estudadas.

2. Definição de valores de referência para cada indicador de desempenho

Para alguns indicadores de desempenho existem já metas estabelecidas na legislação ou no seio da comunidade técnica e científica que, sempre que possível, foram identificadas neste trabalho. No entanto, para muitos indicadores é ainda necessária a definição de metas, ou seja, gamas a atingir pelas entidades gestoras. Apesar de o estabelecimento de metas caber, em última análise, ao decisor que utiliza o PAS, considera-se que a identificação de valores de referência (*i.e.*, gamas de valores típicos observados num conjunto de ETA) constitui uma base essencial para essa tarefa.

3. Identificação de factores de agrupamento para os diferentes indicadores de desempenho

Uma vez que, para se efectuar um correcto *benchmarking*, as ETA devem ser comparadas dentro de *peer groups*, é necessário identificar factores de agrupamento para os diferentes tipos de indicadores de desempenho. Uma abordagem análoga foi já, por vezes, adoptada para

os indicadores relativos aos sistemas de abastecimento de água (*e.g.*, Theuretzbacher-Fritz *et al.*, 2008).

4. *Identificação de gamas ótimas para definição de índices de desempenho “excelente” na componente de avaliação de desempenho operacional em termos do funcionamento dos órgãos (OpPA_UOP)*

Foi demonstrado neste trabalho que as funções de desempenho operacional de funcionamento dos órgãos (componente OpPA_UOP do PAS) devem ser definidas não recorrendo somente a critérios da bibliografia mas identificando gamas ótimas de operação específicas de cada ETA, tendo sido proposta e aplicada a um dos casos de estudo uma metodologia com esse fim. É, no entanto, necessário alargar e testar esta abordagem com outros parâmetros de operação, em outras OPU e em outras ETA.

5. *Identificação de limites de quantificação (LQ) e valores-limite (VL) adequados para benchmarking (componente de avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada – OpPA_WatQ)*

Da forma como estão definidas as funções de desempenho que integram a componente de avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada (OpPA_WatQ), cada utilizador do PAS pode indicar o LQ e o VL. Uma vez que os valores destes parâmetros influenciam as funções de desempenho e, em consequência, os índices de desempenho, importa estudar a sensibilidade dos resultados a estes parâmetros e definir critérios para a sua escolha no âmbito de iniciativas de *benchmarking*.

6. *Validação das formas de integração das componentes do PAS*

Para que possa ser testada e validada, é necessário aplicar a casos de estudo a metodologia de integração das várias componentes do PAS proposta nesta dissertação (capítulo 10).

7. *Validação da metodologia de avaliação de desempenho noutras tipos de ETA*

A validação do PAS em cinco casos de estudo constituídos por ETA à escala real foi a mais extensa possível mas limitada à disponibilidade de dados existentes. Como tal, é necessário aplicar e validar algumas das medidas de desempenho em casos de estudo. Além disso, é também necessário, no sentido de avaliar a aplicabilidade, robustez e limitações do PAS, efectuar a validação de todas as medidas de desempenho em ETA com características distintas das estudadas (tipo de água bruta, dimensões, sequências de tratamento, complexidade tecnológica, infra-estruturas, modos de operação, etc.).

8. *Análise de sensibilidade da metodologia*

O conhecimento da qualidade dos resultados do desempenho é essencial para os processos de tomada de decisão. Os dados de base utilizados no PAS têm, inerentemente, associado algum grau de incerteza, pelo que importa avaliar essas incertezas e efectuar análises de sensibilidade da metodologia.

9. *Desenvolvimento da metodologia de avaliação de desempenho para outras etapas de tratamento*

Tal como já discutido no capítulo 3, decorrente das necessidades mais prováveis de actualização tecnológica que se perspectivam, quer a nível nacional quer a nível internacional, em termos de novos tipos de tratamento para fazer face às questões emergentes de qualidade da água (subprodutos da oxidação, cianobactérias e respectivas toxinas, desreguladores endócrinos, pesticidas e correspondentes produtos de degradação, produtos farmacêuticos, produtos de cuidado pessoal, etc.), as sequências-tipo de tratamento identificadas nesta dissertação irão ser integradas com as seguintes tecnologias: adsorção em carvão activado (PAC e GAC), oxidação com ozono (pré-oxidação ou oxidação secundária), flutuação, osmose inversa, membranas (microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração) e processos

avançados de oxidação (AOP). Para acompanhar esta evolução, é necessário alargar o âmbito de aplicação da metodologia de avaliação de desempenho a estas tecnologias. A avaliação de desempenho final envolverá um desafio adicional de articulação de dados de operação e qualidade da água da ETA e da rede de distribuição a jusante.

A componente de avaliação de desempenho global será directamente aplicável às ETA integrando novas tecnologias, mas será necessário desenvolver medidas de avaliação específicas na componente de avaliação de desempenho operacional e estudar as adaptações nas subcomponentes de funcionamento dos órgãos (OpPA_UOP) e de eficiência do tratamento (OpPA_Treat Ef).

É também necessário desenvolver a componente de avaliação de desempenho operacional para a linha de tratamento da fase sólida, em particular, para a sequência-tipo de tratamento identificada no capítulo 3.

10. Melhoria da ferramenta de cálculo automático

Na sequência da aplicação da metodologia a outros casos de estudo, a ferramenta de cálculo automático deverá ser refinada de modo a incorporar novas funcionalidades, nomeadamente a inclusão de outros processos e operações unitárias de tratamento. Estas alterações são facilmente implementadas devido à estrutura modular da ferramenta.

Estudos de integração com outras áreas do conhecimento:

11. Estudo da influência dos parâmetros de processo na eficiência do tratamento

A eficiência de determinada OPU é função, além das concentrações afluentes a essa OPU, dos parâmetros de processo a ela associados. Considera-se de interesse a investigação das relações entre os parâmetros de processo e as eficiências de remoção das várias OPU. Este estudo permitiria identificar quais os parâmetros de processo que mais influenciam a eficiência do tratamento, ou seja, os parâmetros de controlo mais relevantes numa ETA e que seriam prioritários num contexto de avaliação de desempenho. Para atingir estes objectivos,

poder-se-ia recorrer, por exemplo, a técnicas estatísticas de análise multivariada como a análise em componentes principais e a análise factorial de correspondências múltiplas, aplicadas a dados de operação obtidos em ETA à escala real. Estes estudos permitiriam confirmar os parâmetros-chave da literatura ou identificar outros menos frequentes e, em especial, identificar as gamas óptimas e as gamas críticas.

12. Integração da metodologia de avaliação de desempenho com ferramentas de modelação do tratamento

A metodologia de avaliação de desempenho operacional pode ser ligada a modelos de simulação do tratamento, actuando como pós-processador dos seus resultados. Além disso, e como já referido na secção 11.1, a componente de eficiência do tratamento do PAS incorpora ela própria um modelo de previsão de eficiências de tratamento e da qualidade da água tratada. A integração da avaliação de desempenho com a modelação possibilitaria um apoio mais efectivo à tomada de decisão, através da previsão de situações futuras, da análise do desempenho associado a diferentes cenários e da avaliação de benefícios associados a diferentes soluções.

13. Integração da avaliação de desempenho com conceitos de avaliação e gestão do(s) risco(s)

Uma vantagem da metodologia proposta nesta dissertação consiste no facto de poder incorporar conceitos de avaliação e gestão do(s) risco(s).

Conforme se discutiu no capítulo 4, a abordagem adoptada na avaliação de desempenho global de ETA contempla estes conceitos, indirectamente, na definição dos aspectos a serem avaliados por indicadores de desempenho, uma vez que alguns destes aspectos correspondem a perigos identificados em ETA. Em WHO (2006) e Beuken *et al.* (2007) apresentam-se exemplos de perigos como a inexistência de uma reserva de água bruta, a insuficiência de recursos humanos, a falha de equipamentos e o doseamento incorrecto de reagentes, que são

afinal alguns dos aspectos considerados na definição de ID. Além disso, alguns ID avaliam a implementação de medidas de controlo do risco (*e.g.*, uma medida de controlo do risco a implementar no caso do perigo “falha de equipamento de doseamento de reagentes” é a inspecção desses equipamentos (WHO, 2006), sendo o indicador tER22 um modo de avaliar a sua implementação) e alguns ID são eles próprios medidas do risco (*e.g.*, indicadores de ocorrência de falhas), ou seja, os ID medem aspectos que ou são eles próprios riscos ou que os condicionam.

A avaliação de desempenho operacional pode integrar os resultados dos processos de avaliação do risco, em particular, os valores dos limites críticos (LC) por eles estabelecidos. De acordo com WHO (2006), os LC separam a aceitabilidade da não aceitabilidade em termos de controlo do risco e segurança da água, não devendo ser confundidos com limites a atingir na normal operação dos sistemas. Assim, se o tratamento estiver sempre otimizado nunca se atingem os LC. Na avaliação de desempenho operacional, as tolerâncias das funções de desempenho quando o índice diminui até zero podem ser definidas atendendo aos LC, sendo que se o risco admissível for menor também a tolerância da função de desempenho será menor. É necessário, no entanto, aprofundar o estudo e concretizar esta ideia de integração do risco com a avaliação de desempenho.

A aplicação alargada do PAS a outros casos de estudo é necessária para a concretização do desenvolvimento de alguns dos aspectos enunciados. Caso esta aplicação fosse desenhada de modo a permitir a realização de *benchmarking* entre EG, possibilitaria também o teste da metodologia para este fim.

Iniciou-se em Maio de 2009 o projecto de I&DT “PAS21 - Iniciativa Nacional de Avaliação de Desempenho de ETA e ETAR Urbanas” (duração: 2 anos), coordenado pelo LNEC, cujo objectivo geral é promover a utilização da avaliação de desempenho e o *benchmarking* de ETA e

ETAR de uma forma sistemática no seio das entidades gestoras nacionais. Neste âmbito, a metodologia de avaliação de desempenho desenvolvida nesta tese será aplicada a um conjunto alargado de estações de tratamento (10 ETA). Esta aplicação à indústria, com alargamento de âmbito, conduzirá à desejável melhoria da metodologia e permitirá concretizar algumas das linhas de investigação sugeridas neste capítulo.

Bibliografia

- ADERASA (2007). *Ejercicio anual de benchmarking – 2006*. Asociacion de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamento de Las Americas.
- Alegre H. (1992). *Instrumentos de apoio à gestão técnica de sistemas de distribuição de água*. Tese de doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Alegre H., Hirner W., Melo Baptista J., Parena R. (2000). *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing. London.
- Alegre H., Melo Baptista J., Duarte P. (2001). Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água - Teste de campo da IWA e projecto PI-Waters. *Actas do Encontro Nacional de Entidades Gestoras ENEG 2001*. Lisboa.
- Alegre H. (2002). Performance indicators as a management support tool. In *Urban water supply handbook*. Ed. L. W. Mays. McGraw-Hill. pp 9.1-9.74.
- Alegre H., Hirner W., Melo Baptista J., Parena R. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. Série Guias Técnicos. IRAR, LNEC. Lisboa.
- Alegre H., Figueiredo R., Duarte P. (2005). *Iniciativa PI-COMP: Comparação de desempenho entre entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água – relatório final para as entidades participantes na iniciativa*. Relatório 252/05 – NES. LNEC. Lisboa.
- Alegre H., Melo Baptista J., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena R. (2006). *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing. London.
- Alegre H. (2007). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais*. Programa de investigação e programa de pós-graduação apresentados a provas de habilitação para o exercício de funções de coordenação científica. LNEC. Lisboa.
- Allen A. J., Edberg S. C., Reasoner D. J. (2004). Heterotrophic plate count bacteria - what is their significance in drinking water? *International Journal of Food Microbiology*. 92, 265-274.
- Ambrósio de Sousa A., Lopes N., Ambrósio A. (2000). A reabilitação da estação de tratamento de água de Valada/Vale da Pedra (EPAL). *Actas do Congresso da Água*. Lisboa.
- APEQ (2002). *Actuação Responsável. Indicadores de desempenho*. Associação Portuguesa das Empresas Químicas.
- Araújo L. (2005). *Controlo de perdas na gestão sustentável dos sistemas de abastecimento de água*. Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

- ASCE (1990). *Water treatment plant design*. McGraw-Hill. New York.
- AWWA (1985). *Water treatment*. McGraw-Hill. Denver.
- AWWA (1999). *Water quality and treatment. Handbook of community water supply*. American Water Works Association. McGraw-Hill. Denver.
- AWWA (2000). *Operational control of coagulation and filtration processes*. American Water Works Association. Denver.
- AWWA (2001). *Self-assessment for treatment plant optimization*. American Water Works Association. Denver.
- AWWA (2003). *Water treatment. principles and practices of water supply operations*. American Water Works Association. Denver.
- AWWA, EPA, AWWARF, AMWA, ASDWA, NAWC (2004a). *Partnership for Safe Water. Phase III Sample Report. Self-assessment report for City of Midville*. American Water Works Association. U.S. Environmental Protection Agency. American Water Works Association Research Foundation. Association of Metropolitan Water Agencies. Association of State Drinking Water Administrators. National Association of Water Companies. USA.
- AWWA, EPA, AWWARF, AMWA, ASDWA, NAWC (2004b). *Partnership for Safe Water. Phase III Sample Report. Self-assessment report for City Water*. American Water Works Association. U.S. Environmental Protection Agency. American Water Works Association Research Foundation. Association of Metropolitan Water Agencies. Association of State Drinking Water Administrators. National Association of Water Companies. USA.
- Beuken R., Sturm S., Kiefer J., Bondelind M., Åström J., Lindhe A., Machenbach I., Melin E., Thorsen T., Eikebrokk B., Niewersch C., Kirchner D., Kozisek F., Gari D., Swartz C. (2007). *Identification and description of hazards for water supply systems. A catalogue of today's hazards and possible future hazards*. Techneau Report.
- Black&Veatch (2002). *Lopez water treatment plant audit. Final Report*. USA.
- Bolto B., Gregory J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research*. 41 (11), 2301-2324.
- Campinas M., Rosa M. J. (2000). *Caracterização da qualidade da água da Barragem do Funcho*. Relatório no âmbito do Acordo Específico entre a Águas do Barlavento Algarvio e a Universidade do Algarve. Universidade do Algarve. Faro.
- Campinas M., Lucas H., Rosa M. J. (2003). Análise das eficiências de tratamento na ETA de Alcantarilha. *Recursos Hídricos*. 24 (2), 21-31.
- Cardoso A., Coelho S. T., Matos J. S., Matos R., Brito R. (2001). Application of a new approach for performance evaluation of sewerage systems. *Actas do 4th International Conference on Innovative Technologies in Urban Drainage*. Lyon, França.

- Cardoso A., Coelho S. T., Matos R., Alegre H. (2004). Performance assessment of water supply and wastewater systems. *Urban Water Journal*. 1 (1), 55-67.
- Cardoso A. (2007). *Avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana*. Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- CEFIC (2006a). *Responsible Care. Health, Safety and Environmental reporting guidelines*. European Chemical Industry Council [disponível em www.cefic.be; consultado em Março 2006].
- CEFIC (2006b). *Responsible Care. Annual Report 2004-2005. Europe*. European Chemical Industry Council.
- Coelho S. T. (1997). *Performance in water distribution. A systems approach*. Water engineering and management series. Research Studies Press. John Wiley & Sons. Taunton.
- Coelho S. T., Alegre H. (1999). *Indicadores de desempenho de sistemas de saneamento básico*. ITH 40. LNEC. Lisboa.
- Costa A. M., Martins A., Simas L., Gonçalves P., Mendes R. (2006). O Relatório da Qualidade da Água de 2005. Reflexões sobre a evolução da qualidade da água para consumo humano. *Actas do 12.º Encontro Nacional de Saneamento Básico*. Cascais.
- Crotty P. (2003). *Selection and definition of performance indicators for water and wastewater utilities*. American Water Works Association Research Foundation. USA.
- Degrémont (1989). *Memento Technique de l' eau*. Degrémont. Paris.
- Degrémont (2007). www.degremont-technologies.com [consultado em Dezembro 2007].
- DGA (2000). *Proposta para um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável*. Direcção Geral do Ambiente. Lisboa.
- Di Bernardo L., Dantas D. A. (2005). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rima. São Carlos.
- Dias N. (2004). *Diagnóstico de sistemas de abastecimento de água para diferentes condições de operacionalidade e segurança*. Trabalho final de Licenciatura. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Droste R. L. (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons. New York.
- Duarte P., Alegre H. (2006). Application of a technical performance assesment tool to support water distribution systems rehabilitation. *Actas do Water Distribution Systems Analysis Symposium*. Cincinnati.
- EarthTech, NRC/IRAP (2007). *National Water and Wastewater Benchmarking Initiative. 2007 Public Report*. [disponível em www.nationalbenchmarking.ca; consultado em Dezembro 2007].

- Eckenfelder W. W. (2000). *Industrial water pollution control. 3rd ed.* McGraw-Hill. Boston.
- Edzwald J. K., Van Benschoten J. B. (1990). Aluminum coagulation of natural organic matter. In *Chemical water and wastewater treatment*. Ed. R. Klute. Springer-Verlag. Berlin. pp 341-359.
- EEA (2003). *Europe's water: an indicator based assessment. Topic Report 1/2003*. European Environmental Agency. Copenhaga.
- EN12904 (2004). *Products used for treatment of water intended for human consumption - Sand and gravel*. Comité Europeu de Normalização
- EN12909 (2005). *Products used for treatment of water intended for human consumption - Anthracite*. Comité Europeu de Normalização
- ENGREF (2004). *Retour d'expérience sur la mise en oeuvre de la mesure de performance des services d'eau et d'assainissement par les DDAF*. [disponível em www.agroparistech.fr/Indicateurs-de-performance.html; acedido em Dezembro 2008].
- EPA (1990). *Technologies for upgrading existing or designing new drinking water treatment facilities*. Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- EPA (1999a). *Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface water treatment rule: turbidity provisions. EPA-815-R-99-010*. Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- EPA (1999b). *Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. Report 815-R-99-014*. Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- EPA (2001). *Controlling disinfection by-products and microbial contaminants in drinking water. EPA 600-R01-110*. Environmental Protection Agency. Cincinnati.
- ERP5001/1 (2007). *Especificação de Requisitos de Produto. Água para Consumo Humano. Variante: sistemas de abastecimento público em alta*. Associação Portuguesa de Certificação.
- ERP5001/2 (2008). *Especificação de Requisitos de Produto. Água para Consumo Humano. Variante: sistemas de abastecimento público em alta*. Associação Portuguesa de Certificação.
- Franco A. B. (2004). *Editorial do Boletim da APRH de Março 2004*. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. Lisboa.
- Gebbie P. (2005). A dummy's guide to coagulants. *Actas do 68th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference*. Bendigo.
- Hovorka R., Andreassen S., Ben J. J., Olessen K. G., Carson E. R. (1992). Causal probabilistic network modeling - An illustration of its role in the management of chronic diseases. *IBM Systems Journal*. 31 (4), 635-648.

- ICCA (2005). *Responsible Care Report 1985-2005*. International Council of Chemical Associations.
- IFEN (1997). *Indicateurs de performance Environnemental de la France*. Tech & Doc. França.
- Ingildsen P., Lant P., Olsson G. (2001). Benchmarking plant operation and instrumentation, control and automation in the wastewater industry. *Actas do IWA World Water Congress*. Berlin.
- IRAR (2005). *Guia de avaliação de desempenho das entidades gestoras de serviços de águas e resíduos*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Lisboa.
- IRAR (2007). *Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos de Portugal. Volume 3 - Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Lisboa.
- IRAR (2008). *Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Lisboa.
- ISO/DIS24510 (2006). *Service activities relating to drinking water and wastewater – Guidelines for the improvement and for the assessment of the service to users*. International Standards Organization.
- ISO/DIS24511 (2006). *Service activities relating to drinking water and wastewater - Guidelines for the management of wastewater utilities and for the assessment of wastewater services*. International Standards Organization.
- ISO/DIS24512 (2006). *Service activities relating to drinking water and wastewater - Guidelines for the management of drinking water utilities and for the assessment of drinking water services*. International Standards Organization.
- Jacob A. C. (2006). *Avaliação de perdas em sistemas de distribuição de água: o caso de estudo da ZMC 320 da EPAL*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Kawamura S. (2000). *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. John Wiley & Sons. New York.
- Laky D., Neunteufel R., Perfler R., Darabos P. (2008). The Hungarian Inception Project on Benchmarking. In *Performance Assessment of Urban Infrastructure Services*. Ed. E. Cabrera and M. Pardo. IWA Publishing. London, pp 265-272.
- Linde (2002). *Actuação Responsável. Indicadores de desempenho*. Linde Sogás. Lisboa.
- Lipp P., Baldauf G. (2000). Enhanced particle removal in drinking water treatment plants. Case studies. *Water Science & Technology*. 41 (7), 135-142.
- MAOT (2000). *Plano estratégico de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais 2000-2006*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.

- MAOTDR (2007). *Plano estratégico de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais 2007-2013*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.
- Matos R., Cardoso A., Ashley R., Duarte P., Molinari A. J., Schulz A. (2003). *Performance indicators for wastewater services*. IWA Publishing. London.
- Matos R., Cardoso A., Ashley R., Duarte P., Molinari A. J., Schulz A. (2004). *Indicadores de desempenho para serviços de águas residuais*. Série Guias Técnicos. IRAR, LNEC. Lisboa.
- MDE (2000). *Sistemas de potabilización*. Ministerio de Desarrollo Económico - Republica de Colombia. Bogota.
- Melo Baptista J., Alegre H., Matos R., Beja Neves E., Pássaro D., Santos R. F., Cardoso A., Duarte P., Escudeiro H., Ribeiro A., Nunes M. (2004). Regulação da qualidade de serviço de operadores de águas e resíduos. *Actas do 11.º Encontro Nacional de Saneamento Básico*. Faro.
- Merkel W. (2002). Performance assessment in the water industry. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2 (4), 151-162.
- Metcalf, Eddy (2003). *Wastewater engineering. Treatment and reuse*. McGraw Hill. Boston.
- Molinari A. J. (2005). *Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado*. Asociacion de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamento de Las Americas.
- Morales M., Martinez S., Rodriguez M. G. (2006). Delivering eco-efficiency to Mexico's petrochemical industry. *Water 21*. February 2006.
- MWA (2005). *Malaysia Water Industry Guide 2005*. Malaysian Water Association.
- NBC (2005). National Benchmarking Canada. [disponível em www.nationalbenchmarking.ca; acedido em Março 2006].
- Needham J. (2007). *Prescriptive reservoir modeling and the ROPE*. [disponível em www.usace.army.mil/cw/cecw-cp; acedido em Dezembro 2007].
- Newcombe G., Nicholson B. (2004). Water treatment options for dissolved cyanotoxins. *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*. 53, 227-259.
- Nix D. K., Taylor J. S. (2003). *Filter evaluation procedures for granular media*. American Water Association. Denver.
- Nunes A. S., Bicho A. L., Fernandes A. C., Lucas H., Ramos T., Rosa M. J. (2003). Sistema de indicadores de desempenho tecnológico de ETA abastecidas por água superficial. *Actas do Encontro Nacional de Entidades Gestoras ENEG2003*. Lisboa.
- Ofwat (1998). *1997-98 Report on levels of service for the water industry in England and Wales*. Office of Water Services. UK.

- Ofwat (2003). *Levels of service for the water industry in England & Wales. 2002-2003 report*. Office of Water Services. UK.
- Ofwat (2004). *Updating the overall performance assessment (OPA) - Conclusions and methodology for 2004-05 onwards*. Office of Water Services. UK.
- Ofwat (2005). *Levels of service for the water industry in England & Wales. 2004-2005 report*. Office of Water Services. UK.
- Oppenheimer D., Albrecht J., Patterson D., Vahdat A. (2005). Design and implementation tradeoffs for Wide-Area Resource Discovery. *Actas do 14th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing*.
- Park N.-S., Him J.-H., Bae C.-H., Moon Y.-T., Ahn H.-W. (2006). Identification and Prioritization of Performance Limiting Factors for Water Treatment Plant Optimization in Korea. *Water Science & Technology: Water Supply*. 6 (2), 71-76.
- Peixoto F. (2004). O Sistema da Qualidade da Águas do Cávado, S.A.. *Actas do Congresso da Água*.
- Petrovic M., Gonzalez S., Barcelo D. (2003). Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 22 (10), 685-696.
- Richardson S. D. (2003). Desinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water. *Trends in Analytical Chemistry*. 22 (10), 666-684.
- Richardson S. D. (2005). Water analysis: Emerging contaminants and current issues. *Analytical Chemistry*. 77 (12), 3807-3838.
- Richter C. A., Netto J. M. A. (1991). *Tratamento de água. Tecnologia actualizada*. Edgard Blucher. São Paulo.
- Rosa M. J., Cecílio T., Teixeira M. R., Viriato M., Coelho R., Lucas H. (2004). Monitoring of hazardous substances at Alcantarilha's water treatment plant, Portugal. *Water Science & Technology: Water Supply*. 4 (5-6), 343-353.
- Rosa M. J., Campinas M., Soares S., Cecílio T. (2007). Alterações tecnológicas a implementar na linha de tratamento para cumprimento da nova legislação relativa à qualidade de água para consumo humano. *Tecnologia da Água*. 49, 18-31.
- Rosa M. J., Cecílio T., Lopes A., Menaia J. (2007). *Controlo de agentes biológicos resistentes e de subprodutos da oxidação química no tratamento de água para consumo humano. Revisão do estado actual de conhecimentos e previsão das capacidades das ETA da Águas do Algarve, S.A. Relatório 322/07-NES*. LNEC. Lisboa.
- Rosa M. J., Vieira P., Menaia J. (2009). O tratamento de água para consumo humano face à qualidade da água de origem. In *Protecção das origens superficiais e subterrâneas nos sistemas de abastecimento de água*. Série Guias Técnicos IRAR. Ed. IRAR. Lisboa. pp 141-189.

- Sanks R. L. (1978). *Water treatment plant design for the practicing engineer*. Ann Arbor Science Publishers. Ann Arbor, Michigan.
- Santana F., Almeida G., Martins S. (1996). *Metodologia de avaliação do funcionamento de estações de tratamento de águas para abastecimento público*. Instituto da Água. Lisboa.
- SEDU, IPEA (2006). *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Instituto de Pesquisa Económica Aplicada. Brasília.
- Silva M. C. (2002). *Instrumentos de apoio à gestão de estuários. Indicadores ambientais*. Tese de doutoramento. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Sjøvold F., Conroy P., Algaard E. (Eds.) (2008). *COST C18. Performance assessment of urban infrastructure services: the case of water supply, wastewater and solid waste*. COST Office. Bruxelas.
- Sousa C. (2007). *Optimização multicritério da operação de sistemas de abastecimento de água utilizando algoritmos genéticos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Spellman F. R. (2003). *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. Lewis Publishers. Boca Raton.
- Stahre P., Adamsson J. (2002). Performance benchmarking. A powerful management tool for water and wastewater utilities. *Watermarque*. 3 (5).
- Stahre P., Adamsson J., Mellstrom G. (2008). A new approach for assessment of the performance of water distribution and sewerage networks. In *Performance Assessment of Urban Infrastructure Services*. Ed. E. Cabrera and M. Pardo. IWA Publishing. London. pp 5-24.
- Swartz C. D. (2000). *Guidelines for the upgrading of existing small water treatment plants*. Water Research Commission.
- Theuretzbacher-Fritz H., Kolb H., Kainz H., Neunteufel R., Perfler R., Haberl R. (2007). New PI's and explanatory index factors in the Austrian water supply benchmarking system. *Actas do Efficient 2007*. Jeju, Korea.
- Theuretzbacher-Fritz H., Neunteufel R., Kolbl J., Perfler R., Mayr E. (2008). The right choice of denominators and grouping factors in water supply metric benchmarking. *Actas do Pi08-International Conference on Performance Assessment of Urban Infrastructure Services*. Valencia.
- Traversay C., Bourny C., Boucherie M., Djafer M., Cavard J. (2006). Challenging drinking water disinfection: how to face up to emerging waterborne pathogens? *Actas do IWA World Congress*. China.
- Twort A. C., Ratnayaka D. D., Brandt M. J. (2000). *Water Supply*. Arnold & IWA Publishing. London.

- Vaes G., Swartenbroek P., Provost F., Van den Broeck S., Bourgoing L. (2005). Performance indicators for wastewater treatment and urban drainage system. *Actas do 10th International Conference on Urban Drainage*. Copenhagen.
- Vargas L. (2004). *Tratamiento de água para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima.
- Vieira P., Silva M. C., Rosa M. J. (2004). *Auditoria técnica ao funcionamento do sistema barragem/estação de tratamento de água do Rio da Mula – Relatório Final*. Relatório 356/04-NES. LNEC. Lisboa.
- Vieira P., Alegre H., Rosa M. J. (2007). *Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. Revisão do estado da arte e proposta de Sistema de Avaliação de Desempenho*. Relatório 215/07-NES. LNEC. Lisboa.
- Walker S. G., Marr S. (2002). *Study on the application of the competition rules to the water sector in the European Community*. Final Report prepared by WRc for the EC-Competition Directorate General. UK.
- Westerhoff P., Yoon Y., Snyder S., Wert E. (2005). Fate of endocrine-disruptor, pharmaceutical, and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment processes. *Environmental Science and Technology*. 39, 6649-6663.
- WHO (2001). *Upgrading water treatment plants*. World Health Organization. London.
- WHO (2004). *Water treatment and pathogen control*. World Health Organization. Geneva.
- WHO, UNICEF (2004). *Meeting the MDG drinking water and sanitation target. A mid-term assessment of progress*. World Health Organization and United Nations Children's Fund.
- WHO (2006). *Guidelines for drinking water quality. Volume 1-Recommendations. 3rd ed*. World Health Organization. Geneva.
- WorldBank (1999). *Benchmarking water and sanitation utilities: a start-up kit*. WorldBank. Washington.
- WorldBank (2006). *IBNET indicator definitions*. WorldBank. Washington.
- WRc (1997). *Water treatment processes and practices*. Water Research Centre. Swindon.
- WSAA, NWC, NWI (2008). *National performance framework*. Water Services Association of Australia, National Water Commission, National Water Initiative.
- Yepes G., Dianderas A. (1996). *Water and wastewater utilities indicators*. World Bank. Washington.

Anexo 1

Fichas dos indicadores de desempenho

tWQ01 – Conformidade dos resultados das análises

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação da conformidade dos resultados da monitorização da qualidade da água tratada em relação aos critérios definidos pela EG para a água à saída da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Análises conformes com os critérios (n.º)}}{\text{Análises realizadas à água tratada (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- O indicador refere-se apenas à qualidade da água tratada e não à qualidade da água entre as várias operações/processos unitários de tratamento.
- No denominador contabilizam-se todas as análises efectuadas, quer sejam realizadas pelo laboratório da ETA, quer por laboratórios externos. No numerador contabilizam-se todas as conformidades em todas essas análises efectuadas.
- Caso a EG não tenha critérios definidos, os critérios a considerar para o cálculo deste indicador correspondem aos requisitos da legislação para a água no ponto de consumo.
- O indicador pode ser calculado individualmente (tWQ01.1, tWQ01.2, etc.) para cada parâmetro de qualidade da água, no sentido de se identificarem quais os parâmetros responsáveis por piores desempenhos traduzidos por baixos valores de tWQ01. Se existir um historial da ETA e se já forem conhecidos os parâmetros mais problemáticos, o indicador pode ser calculado individualmente só para estes.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde ao total cumprimento dos critérios de qualidade definidos pela EG.
- O indicador deve ser analisado em conjunto com os indicadores tWQ02 e tWQ03.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração a adequação do n.º total de análises realizadas à dimensão e tipo de tratamento da ETA.

tWQ02 – Conformidade dos resultados das análises de sete parâmetros-chave

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação da conformidade dos resultados da monitorização dos parâmetros ferro, manganês, alumínio, turvação, THM, bromato e bactérias coliformes na água tratada em relação aos critérios definidos pela EG para a água à saída da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Análises dos parâmetros ferro, manganês, alumínio, turvação, THM, bromato e bactérias coliformes conformes com os critérios (n.º)}}{\text{Análises dos parâmetros ferro, manganês, alumínio, turvação, THM, bromato e bactérias coliformes realizadas (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- O indicador refere-se apenas à qualidade da água tratada e não à qualidade da água entre as várias operações/processos unitários de tratamento.
- No denominador contabilizam-se todas as análises efectuadas, quer sejam realizadas pelo laboratório da ETA, quer por laboratórios externos. No numerador contabilizam-se todas as conformidades em todas essas análises efectuadas.
- Caso a EG não tenha critérios definidos, os critérios a considerar para o cálculo deste indicador correspondem aos requisitos da legislação para a água no ponto de consumo.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde ao total cumprimento dos critérios de qualidade definidos pela EG para os parâmetros ferro, manganês, alumínio, turvação, THM, bromato e coliformes fecais.
- O indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tWQ01.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração a adequação do n.º total de análises realizadas à dimensão e tipo de tratamento da ETA.

tWQ03 – Parâmetros analisados

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação do tipo de parâmetros analisados na água tratada em relação aos parâmetros cuja monitorização é prevista na legislação relativa à qualidade da água para consumo humano em vigor.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Parâmetros analisados (n.º)}}{\text{Parâmetros previstos na legislação (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- O indicador refere-se apenas à água tratada (à saída da ETA) e não à água entre as várias operações/processos unitários de tratamento.
- No numerador contabilizam-se todos os parâmetros para os quais existem análises efectuadas, quer sejam realizadas pelo laboratório da ETA, quer por laboratórios externos.
- No denominador, os parâmetros “pesticidas individual”, “pesticidas total”, PAH, THM contam como um parâmetro cada. O número total de parâmetros no Decreto-Lei n.º 236/98 é 63, no Decreto-Lei n.º 243/2001 é 51 e no Decreto-Lei n.º 306/2007 é 56.

Análise dos resultados:

- Valores superiores a 100 indicam que a EG tem a preocupação de analisar maior número de parâmetros do que os previstos na legislação.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração a relevância dos parâmetros analisados para a ETA em questão.

tWQ04 – Limpeza de reservatórios da ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação da existência de condições que minimizam o risco de contaminação e degradação da qualidade da água tratada.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume das células de reservatórios de água tratada da ETA que foram limpas (m}^3\text{)} \times 365^1 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Volume dos reservatórios de água tratada da ETA (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %/ano

Observações:

- No numerador, se uma célula for limpa mais do que uma vez, é contabilizada tantas vezes quantas as limpezas efectuadas.
- Este indicador não deve ser utilizado para períodos inferiores a dois anos. Devem ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde à limpeza da totalidade do volume de armazenamento de água tratada.
- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de células que foram limpas, uma vez que o valor de 100 pode não corresponder à limpeza da totalidade do volume de armazenamento de água tratada.

¹ O factor 365, que surge na expressão de cálculo de alguns indicadores, é um factor de conversão (dia/ano).

tWQ05 – Qualidade da água nos pontos de consumo com menor teor de cloro

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação da capacidade da ETA para produzir uma água que terá as características adequadas no ponto de consumo em termos do teor mínimo de cloro residual.

Expressão de cálculo:

Média dos 10% (em relação ao n.º total de análises de cloro residual livre realizadas em toda a rede abastecida pela ETA) de valores mais baixos de cloro residual livre registados na rede abastecida pela ETA.

Unidades: mg/L

Observações:

- O indicador aplica-se a sistemas onde não ocorra mistura de água tratada da ETA com água de outras origens (por exemplo de outra ETA). Quando esta mistura acontece, a EG deverá decidir sobre o interesse do seu cálculo. Caso ele seja calculado, o seu resultado deve ser interpretado ao nível das várias ETA envolvidas ponderando as influências de cada uma das estações.
- Caso existam rechloragens, estas devem ser consideradas como fazendo parte de uma desinfecção faseada (que tem lugar na ETA e depois na distribuição).

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tWQ08.
- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração que eventuais baixos valores de cloro em pontos da rede podem dever-se a deficiências no sistema a jusante da ETA, não podendo ser atribuídos à falta de desempenho da ETA.

tWQ06 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de cloro

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação da capacidade da ETA para produzir uma água que terá as características adequadas no ponto de consumo em termos do teor máximo de cloro residual.

Expressão de cálculo:

Média dos 10% (em relação ao n.º total de análises de cloro residual livre realizadas em toda a rede abastecida pela ETA) de valores mais elevados de cloro residual livre registados na rede abastecida pela ETA.

Unidades: mg/L

Observações:

- O indicador aplica-se a sistemas onde não ocorra mistura de água tratada da ETA com água de outras origens (por exemplo de outra ETA). Quando esta mistura acontece, a EG deverá decidir sobre o interesse do seu cálculo. Caso ele seja calculado, o seu resultado deve ser interpretado ao nível das várias ETA envolvidas ponderando as influências de cada uma das estações.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tWQ07.

tWQ07 – Qualidade da água nos pontos de consumo com maior teor de THM

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação da capacidade da ETA para produzir uma água que terá as características adequadas no ponto de consumo em termos do teor de THM.

Expressão de cálculo:

Média dos 10% (em relação ao n.º total de análises de THM realizadas em toda a rede abastecida pela ETA) de valores mais elevados de THM registados na rede abastecida pela ETA.

Unidades: µg/L

Observações:

- O indicador aplica-se a sistemas onde não ocorra mistura de água tratada da ETA com água de outras origens (por exemplo de outra ETA). Quando esta mistura acontece, a EG deverá decidir sobre o interesse do seu cálculo. Caso ele seja calculado, o seu resultado deve ser interpretado ao nível das várias ETA envolvidas ponderando as influências de cada uma das estações.

Análise dos resultados:

- Valores superiores a 150 µg/l (até 25 de Dezembro 2008) ou a 100 µg/l (após Dezembro 2008) correspondem a uma situação em que a legislação não é cumprida no ponto de consumo, devendo o tratamento ser afinado.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tWQ06.

tWQ08 – Qualidade da água nos pontos de consumo com valores mais elevados dos parâmetros microbiológicos

Domínio de avaliação de desempenho: Qualidade da água tratada

Objectivo:

Avaliação da capacidade da ETA para produzir uma água que terá as características adequadas no ponto de consumo relativamente aos parâmetros microbiológicos.

Expressão de cálculo:

Média dos 10% (em relação ao n.º total de análises de parâmetros microbiológicos realizadas em toda a rede abastecida pela ETA) de valores mais elevados de parâmetros microbiológicos registados na rede abastecida pela ETA.

Unidades: unidades de concentração do parâmetro microbiológico que se está a analisar

Observações:

- O indicador deve ser calculado individualmente (tWQ08.a, tWQ08.b, etc.) para cada parâmetro microbiológico requerido na legislação relativa à água para consumo humano. No caso de EG que analisem parâmetros microbiológicos para além do previsto na legislação, o indicador pode adicionalmente ser calculado para todos os parâmetros monitorizados.
- Para uma avaliação expedita, o ID pode ser calculado considerando só o parâmetro bactérias coliformes.
- O indicador aplica-se a sistemas onde não ocorra mistura de água tratada da ETA com água de outras origens (por exemplo de outra ETA). Quando esta mistura acontece, a EG deverá decidir sobre o interesse do seu cálculo. Caso ele seja calculado, o seu resultado deve ser interpretado ao nível das várias ETA envolvidas ponderando as influências de cada uma das estações.

Análise dos resultados:

- Valores superiores a 0 correspondem a uma situação em que a legislação não é cumprida no ponto de consumo, devendo ser avaliada a necessidade de ou o tratamento ser afinado ou serem detectadas eventuais contaminações no sistema de distribuição a jusante da ETA.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tWQ05.

tER01 – Utilização da origem de água

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de utilização do recurso hídrico que abastece a ETA. Indirectamente, é também avaliada a existência de reserva de capacidade de água bruta no recurso hídrico que abastece a ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de água entrada na ETA (m}^3\text{)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Disponibilidade anual do recurso hídrico para captação (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %/ano

Observações:

- A disponibilidade do recurso hídrico para captação corresponde ao volume máximo anual de água que pode ser potencialmente captada, determinada com base na disponibilidade de recursos hídricos e em eventuais restrições legais ou contratuais de utilização (*e.g.*, licenciamento). Caso haja mistura de água de diferentes origens antes do tratamento, esta variável corresponde à soma das capacidades disponíveis em todas as origens. No entanto, este indicador pode ser calculado individualmente (tER01.1, tER01.2, etc.) para cada origem (se forem conhecidos os volumes de água entrada na ETA a partir de cada origem) com o objectivo de avaliar a existência de reserva de água em cada uma delas.
- Por vezes o denominador é difícil de calcular mas é importante manter este indicador sobretudo em regiões com potenciais problemas de escassez.
- Este indicador não deve ser utilizado para períodos inferiores a um ano. Devem ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos.

Análise dos resultados:

- Um valor de 100 corresponde à total utilização dos recursos hídricos disponíveis pela ETA.
- Para avaliar a existência de capacidade de reserva de água bruta para tratamento, este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER02.

tER02 – Capacidade de reserva de água bruta na ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de reserva de capacidade de água bruta na ETA. O indicador corresponde ao número de dias que a ETA pode operar sem captar água na origem.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume dos reservatórios de água bruta da ETA (m}^3\text{)} \times \text{Período de referência (dia)}}{\text{Volume de água entrada na ETA (m}^3\text{)}}$$

Unidades: dia

Observações:

- A existência de uma reserva de água bruta dentro da ETA garante uma maior fiabilidade da estação uma vez que a produção de água não necessita de ser interrompida em caso de paragem da captação devido, por exemplo, a contaminação da origem de água ou a falha nos sistemas de bombeamento.
- A existência de reserva de água bruta na ETA permite ainda, em tempo útil, uma adaptação do tratamento a alterações rápidas da qualidade na origem (*e.g.*, aumento de turvação).
- A variável “volume dos reservatórios de água bruta da ETA” do numerador reporta-se a uma data de referência.
- Este indicador pode ser calculado individualmente (tER02.1, tER02.2) para o período de produção máxima da ETA e para o período de produção mínima com o objectivo de avaliar a existência de reserva de capacidade de água bruta em cada um desses períodos.

Análise dos resultados:

- Para ETA integradas em sistemas em baixa, a gama de referência situa-se entre 1 e 2 dias, valor correspondente à necessidade, estipulada pelo Art. 70.º do Dec. Reg. 23/95, de 23 de Agosto, de ser assegurada uma reserva de água tratada para 1-2 dias em função do risco e da população abastecida pelo sistema. Para ETA integradas em sistemas em alta, a gama de referência depende do contratualizado com as entidades em baixa.
- Para avaliar a existência da capacidade total de reserva de água bruta para tratamento, este indicador deve ser analisado atendendo à existência de outras reservas de água entre a captação e a ETA (*e.g.*, em reservatórios com o mesmo nível de protecção que as instalações da ETA)
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER01, mas tendo em atenção que o nível de protecção de uma reserva de água bruta na origem não tem o mesmo nível de protecção do que dentro da ETA
- A necessidade de existência de reserva de água bruta na ETA deve ser analisada tendo em consideração a vulnerabilidade do recurso hídrico à contaminação/poluição e ao modo como a adução à ETA é feita, graviticamente ou com bombeamento (reserva mais importante neste caso).

tER03 – Satisfação da capacidade máxima de tratamento

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de utilização do recurso hídrico que abastece a ETA durante o período de produção máxima.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Disponibilidade do recurso hídrico para captação no período de produção máxima (m}^3\text{)}}{\text{Capacidade volúmica máxima de tratamento no período de produção máxima (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- A disponibilidade do recurso hídrico para captação no período de produção máxima corresponde ao volume máximo de água que pode ser potencialmente captada no período de produção máxima. Caso haja mistura de água de diferentes origens antes do tratamento, esta variável corresponde à soma das capacidades volúmicas disponíveis em todas as origens. No entanto, este indicador pode ser calculado individualmente (tER03.1, tER03.2, etc.) para cada origem (se forem conhecidos os volumes de água entrada na ETA a partir de cada origem) com o objectivo de avaliar o grau de utilização de cada uma delas.

Análise dos resultados:

- Um valor superior a 100 corresponde à satisfação da capacidade máxima de tratamento da ETA durante o período de produção máxima.
- Um valor inferior a 100 significa que o recurso é insuficiente para satisfazer a capacidade máxima de tratamento, verificando-se a sobre-exploração do recurso no período de produção máxima.

tER04 – Utilização da ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de capacidade adequada de tratamento. O indicador corresponde ao grau de utilização da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}{\text{Capacidade volúmica máxima de tratamento (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No caso de ETA que não funcionam durante todo o ano, o numerador e o denominador são calculados só para o período de funcionamento.
- Este indicador pode ser calculado individualmente (tER04.1, tER04.2) para o dia de produção máxima da ETA e para o dia de produção mínima com o objectivo de avaliar o grau de utilização da ETA em situações de solicitação máxima e mínima. Na identificação dos períodos de produção mínima não devem ser consideradas as paragens da ETA (programadas ou não).

Análise dos resultados:

- No caso de ETA sem grande sazonalidade em termos da quantidade de água a produzir, a gama de referência situa-se entre 70 e 90. Um valor inferior a 70 corresponde a um sobredimensionamento da ETA. Um valor superior a 90 corresponde a um subdimensionamento da ETA, não existindo folga para pequenos aumentos de capacidade.
- Em geral, este indicador deve ser analisado atendendo à sazonalidade da quantidade de água a produzir pela ETA.
- Em ETA com sazonalidade, este indicador deve ser analisado tendo em consideração o n.º de linhas de tratamento em paralelo da ETA e n.º de linhas em funcionamento no período de produção mínima.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER05.

tER05 – Capacidade de reserva de água tratada na ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de capacidade de reserva de água tratada na ETA. O indicador corresponde ao número de dias que a ETA pode manter o fornecimento de água para o sistema a jusante em caso de interrupção do funcionamento da estação.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume dos reservatórios de água tratada da ETA (m}^3\text{)} \times \text{Período de referência (dia)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: dia

Observações:

- No numerador só se contabilizam os reservatórios localizados dentro da ETA, não são contabilizados os reservatórios do sistema de distribuição a jusante.
- A existência de uma reserva de água tratada dentro da ETA não é relevante nos casos em que a adução a partir da ETA não é gravítica, uma vez que, em caso de falha no sistema de bombagem da água tratada, o sistema de abastecimento tem autonomia para proceder à distribuição de água apenas se a reserva de água tratada se localizar nos reservatórios de adução e distribuição e não na ETA.
- A variável “volume dos reservatórios de água tratada da ETA” do numerador reporta-se a uma data de referência.
- Este indicador pode ser calculado individualmente (tER05.1, tER05.2 para o período de produção máxima da ETA e para o período de produção mínima com o objectivo de avaliar a reserva de água tratada em situações de solicitação máxima e mínima. Na identificação dos períodos de produção mínima não devem ser consideradas as paragens da ETA (programadas ou não).

Análise dos resultados:

- O Art. 70.º do Dec. Reg. 23/95, de 23 de Agosto, estipula que deve ser assegurada uma reserva de água tratada para 1-2 dias em função da população abastecida e do risco. No caso dos sistemas em alta, a reserva de água tratada depende do contratualizado com as EG em baixa. Esta reserva de água tratada está localizada quer nos reservatórios da ETA, quer nos reservatórios do sistema de adução e distribuição a jusante da estação. Como tal, para avaliar a capacidade total de reserva de água tratada do sistema, este indicador deve ser analisado tendo em consideração a existência de capacidade de reserva em reservatórios do sistema de adução e distribuição a jusante da ETA (recorrendo por exemplo ao indicador Ph3 da IWA (2006) ou AA13 do IRAR (2008)).
- A necessidade de existência de reserva de água tratada na ETA deve ser analisada tendo em consideração o modo como a adução a partir da ETA é feita (graviticamente ou com bombeamento).

tER06 – Utilização da capacidade de bombeamento a montante da ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de capacidade adequada de bombeamento da água bruta que abastece a ETA quando a estação funciona sob solicitação máxima.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de água bruta bombeado no dia de maior bombeamento (m}^3\text{)}}{\text{Capacidade máxima de bombeamento de água bruta num dia (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No cálculo da capacidade máxima de bombeamento não são incluídos os sistemas de bombeamento de reserva que não possam funcionar em simultâneo com os restantes.
- Este indicador não se aplica a ETA que efectuem a adução de água bruta graviticamente.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Um valor próximo de 100 indica que se está quase no limite da capacidade de bombeamento instalada para satisfazer as necessidades de bombeamento de água bruta no dia de solicitação máxima das bombas.

tER07 – Utilização da capacidade de bombeamento a jusante da ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de capacidade adequada de bombeamento da água tratada quando a estação funciona sob solicitação máxima.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de água tratada bombeado no dia de maior bombeamento (m}^3\text{)}}{\text{Capacidade máxima de bombeamento de água tratada num dia (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No cálculo da capacidade máxima de bombeamento não são incluídos os sistemas de bombeamento de reserva que não possam funcionar em simultâneo com os restantes.
- Este indicador não se aplica a ETA que efectuem a adução de água tratada graviticamente.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Um valor próximo de 100 indica que se está quase no limite da capacidade de bombeamento instalada para satisfazer as necessidades de bombeamento de água tratada no dia de produção máxima.

tER08 – Utilização da capacidade de doseamento de reagentes (dosagens máximas)

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de capacidade adequada de doseamento de reagentes quando a estação opera em condições que exigem uma dosagem máxima.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Caudal máximo usado do reagente (L/h ou kg/h)}}{\text{Caudal máximo de doseamento do reagente (L/h ou kg/h)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Este indicador deve ser calculado individualmente (tER08.a, tER08.b, etc.) para cada reagente utilizado na ETA.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.
- As unidades do numerador e denominador são: L/h se o reagente é líquido e kg/h se o reagente é sólido ou gasoso.

Análise dos resultados:

- Um valor próximo de 100 indica que, para a concentração de reagente usada, se está quase no limite da capacidade de doseamento instalada para satisfazer as necessidades de dosagem máxima e alerta para a necessidade de aumentar a concentração de reagente doseado (para dosear maior quantidade com menor caudal de reagente) ou de aumentar a capacidade máxima instalada (instalação de novo equipamento de doseamento).
- Um valor de 100 pode indicar que se está nesse limite ou mesmo que as necessidades de dosagem máxima podem já não estar a ser satisfeitas (subdoseamento de reagente).

tER09 – Utilização da capacidade de doseamento de reagentes (dosagens mínimas)

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de capacidade adequada de doseamento de reagentes quando a estação opera em condições que exigem uma dosagem mínima.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Caudal mínimo usado do reagente (L/h ou kg/h)} - \text{caudal mínimo de doseamento do reagente (L/h ou kg/h)}}{\text{Caudal mínimo de doseamento do reagente (L/h ou kg/h)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Este indicador deve ser calculado individualmente (tER09.a, tER09.b, etc.) para cada reagente utilizado na ETA.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.
- As unidades do numerador e denominador são: L/h se o reagente é líquido e kg/h se o reagente é sólido ou gasoso.

Análise dos resultados:

- Um valor superior a 0 significa que, para a concentração de reagente usada, a capacidade de doseamento instalada satisfaz as necessidades em situações de dosagem mínima. Valores próximos de 0 indicam que se está a trabalhar no limite de operação da bomba, o que não é aconselhável pois pode-se estar a sobredosar o reagente, e alertam para a necessidade de diminuir a concentração de reagente doseado ou de instalar um novo equipamento de doseamento com um caudal mínimo de doseamento inferior.

tER10 – Reserva de reagentes

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma reserva adequada de reagentes para autonomia de operação da estação. O indicador corresponde ao número de dias que a ETA pode manter o fornecimento sem entrega de reagentes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade armazenada de reagente (kg)}}{\text{Consumo de reagente (kg/dia)}}$$

Unidades: dia

Observações:

- O numerador corresponde à média das quantidades armazenadas durante o período de referência. O denominador corresponde à média dos consumos diários no período de referência.
- O indicador deve ser calculado individualmente (tER10.a, tER10.b, etc.) para cada reagente usado na ETA.
- Este indicador pode ser calculado individualmente (tER10.1a, tER10.1b, etc.; tER10.2a, tER10.2b, etc.) para o período de produção máxima da ETA e para o período de produção mínima com o objectivo de avaliar a existência de reserva de reagentes em cada um desses períodos. Este cálculo é particularmente importante no caso de ETA com grande sazonalidade em termos da quantidade de água a produzir.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a disponibilidade comercial dos reagentes no local onde a ETA está instalada. Nos casos de dificuldade de aquisição/entrega de reagentes a reserva existente na ETA deve ser maior de modo a garantir que, em caso de falha de fornecimento, a estação mantém a operação.

tER11 – Período diário de funcionamento da ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da continuidade de operação da estação.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Tempo de funcionamento da ETA no período de referência (hora)}}{\text{Período de referência (dia)}}$$

Unidades: hora/dia

Observações:

- O indicador alerta para situações em que há interrupções no funcionamento da estação. Estas interrupções são prejudiciais ao bom funcionamento da ETA e diminuem a eficiência das diversas unidades de tratamento, sendo preferível um cenário em que se reduz o caudal médio tratado mas o funcionamento é mantido durante 24 h por dia.
- Se a ETA tem períodos distintos de funcionamento no ano nos quais os períodos diários de funcionamento diferem (*e.g.*, uma ETA que funciona 3 meses por ano e, nesse período, funciona 24 h por dia e que nos restantes 9 meses funciona 12 h por dia), o indicador deve ser calculado individualmente (tER11.a, tER11.b, etc.) para cada um desses períodos.

Análise dos resultados:

- O valor de referência é de 24 horas por dia, o que corresponde a um funcionamento contínuo da estação.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração os períodos de funcionamento da ETA no ano.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração o tipo de tratamento.

tER12 – Ajuste do tratamento à qualidade da água bruta

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática periódica de optimização das dosagens de reagentes em função da qualidade da água bruta.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Jar tests realizados no período de referência (n.º)} \times 365}{\text{Período de referência (dia)}}$$

Unidades: n.º/ano

Observações:

- Este indicador traduz a prática de realização na ETA de testes laboratoriais expeditos (*jar test*) que complementam (permitindo validar ou ajustar) os estudos mais completos de optimização das condições de operação (em especial, o tipo e dosagem de reagentes) para vários cenários de qualidade da água bruta. Embora possa existir já um grande controlo da exploração sobre ajustes do tratamento à qualidade da água a tratar, é recomendável esta prática, pelo menos, nos períodos em que as origens de água a tratar são mais variáveis (em especial se forem variações não usuais) e se reflectem em diminuições (embora pequenas) da qualidade da água tratada (tWQ01, tWQ02).
- Este indicador não deve ser utilizado para períodos inferiores a um ano, se a ETA funcionar todo o ano.

Análise dos resultados:

- O indicador deve ser analisado tendo em consideração a variabilidade da qualidade da água bruta ao longo de todo o ano.

tER13 – Monitorização em contínuo da qualidade da água

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de automação da ETA em termos de monitorização em contínuo de parâmetros de qualidade da água (também na perspectiva do controlo do processo) entre as várias operações/processos unitários do processo de tratamento.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Pontos de monitorização da qualidade da água em contínuo (n.º)}}{\text{Operações e processos unitários da ETA (n.º) + 1}}$$

Unidades: n.º/OPU*

Observações:

- Uma monitorização em contínuo dos parâmetros relevantes entre as várias operações/processos unitários da linha de tratamento é fundamental para um adequado controlo de processo.
- Este indicador deve ser calculado individualmente (tER13.a, tER13.b) para a linha de tratamento da fase líquida e a linha de tratamento da fase sólida.
- No numerador são apenas contabilizados pontos de monitorização instalados em permanência.
- Em ETA com várias linhas de tratamento em paralelo (ou seja, em que uma OPU tem associado mais do que um órgão), contabilizam-se os pontos de amostragem em todas as linhas de tratamento.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

*OPU: operação/processo unitário de tratamento

Análise dos resultados:

- O valor de 1 corresponde à existência dos seguintes pontos de monitorização em contínuo:
 - um ponto à entrada da ETA (antes da primeira OPU),
 - um ponto entre cada duas OPU consecutivas e
 - um ponto à saída da ETA (após a última OPU).
- Valores superiores a 1 indicam a existência de pontos em vários órgãos de uma OPU e/ou a existência de pontos de monitorização em recirculações.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração os parâmetros monitorizados em contínuo (sua relevância) em cada ponto, as OPU que são monitorizadas e também o tipo de monitorização pontual (não em contínuo) que é feita. Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER18.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração se existem 2 OPU no mesmo órgão (e.g., floculação/decantação).
- Em ETA com várias linhas de tratamento, o indicador deve ser analisado tendo em consideração o tipo de monitorização que é feito em cada uma delas.

tER14 – Controlo do doseamento de reagentes

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de automação da ETA em termos do doseamento de reagentes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Sistemas automáticos de doseamento de reagentes (n.º)}}{\text{Sistemas de doseamento de reagentes (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Um sistema de doseamento constitui um conjunto autónomo de doseadores utilizados para um dado reagente, podendo servir mais do que um processo unitário. Cada reagente pode ter mais do que um sistema de doseamento.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde à situação em que todos os sistemas de doseamento são automáticos.

tER15 – Controlo dos filtros

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de automação da ETA em termos do funcionamento dos filtros.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Filtros que possuem controlo automático (n.º)}}{\text{Filtros (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador contabilizam-se os filtros cuja saída de funcionamento (fim do período de filtração) é iniciada automaticamente (sem intervenção do operador) quando se atinge um valor de perda de carga, de turvação ou de tempo de filtração pré-estabelecido (em ensaios de optimização do funcionamento de filtros).
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde à situação em que todos os filtros possuem controlo automático.

tER16 – Purga de lamas

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de automação da ETA em termos da purga de lamas.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Decantadores que possuem purga de lamas automática (n.º)}}{\text{Decantadores (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador contabilizam-se os decantadores cuja purga de lamas é iniciada automaticamente (sem intervenção do operador). Neste tipo de decantador, apenas é programado o intervalo de tempo entre purgas e a duração da purga, sendo a purga iniciada automaticamente no fim desse intervalo.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde à situação em que todos os decantadores possuem purga de lamas automática.

tER17 – Supervisão do processo

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de monitorização e controlo remotos das várias operações/processos unitários do processo de tratamento em termos de existência de sistemas de supervisão.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Operações e processos unitários de tratamento com supervisão (n.º)}}{\text{Operações e processos unitários da ETA (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Devem ser contabilizados como tendo supervisão os casos que contemplem, pelo menos, monitorização da qualidade da água e controlo dos sistemas de doseamento de reagentes.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde à existência de sistemas de supervisão em todas as operações/processos unitários de tratamento.

tER18 – Monitorização da qualidade da água

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de monitorização das várias operações/processos unitários do processo de tratamento em termos de monitorização de parâmetros de qualidade da água (também na perspectiva de controlo do processo) na linha da fase líquida e de monitorização da linha de tratamento de lamas e de águas residuais de processo.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Pontos de monitorização da qualidade da água (n.º)}}{\text{Operações e processos unitários da ETA (n.º) + 1}}$$

Unidades: n.º/OPU*

Observações:

- Uma monitorização dos parâmetros relevantes entre as várias operações/processos unitários da linha de tratamento é fundamental para um adequado controlo de processo.
- Este indicador deve ser calculado individualmente (tER18.a, tER18.b) para a linha de tratamento da fase líquida e a linha de tratamento da fase sólida.
- No numerador contabilizam-se os pontos de amostragem com monitorização em contínuo e os pontos de amostragem para recolha de amostras pontuais. Quando no mesmo ponto existe monitorização em contínuo e pontual, este ponto só é contabilizado uma vez.
- No numerador são apenas contabilizados pontos de monitorização instalados em permanência.
- Em ETA com várias linhas de tratamento em paralelo (ou seja, em que uma OPU tem associado mais do que um órgão), contabilizam-se os pontos de amostragem em todas as linhas de tratamento.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

*OPU: operação/processo unitário de tratamento

Análise dos resultados:

- O valor de 1 corresponde à existência dos seguintes pontos de amostragem:
 - um ponto à entrada da ETA (antes da primeira OPU),
 - um ponto entre cada duas OPU consecutivas e
 - um ponto à saída da ETA (após a última OPU).
- Valores superiores a 1 indicam a existência de pontos em vários órgãos de uma OPU e/ou a existência de pontos de monitorização em recirculações.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração os parâmetros monitorizados (sua relevância) em cada ponto e as OPU que são monitorizadas.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER13.
- O indicador deve ser analisado tendo em consideração se existem 2 OPU no mesmo órgão (e.g., floculação/decantação).
- Em ETA com várias linhas de tratamento, o indicador deve ser analisado tendo em consideração o tipo de monitorização que é feito em cada uma delas.

tER19 – Possibilidade de doseamento de reagentes alternativos

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de infra-estruturas que permitam efectuar o doseamento de reagentes adicionais, em situações pontuais, em determinadas alturas do ano.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Reagentes utilizados pontualmente (n.º)}}{\text{Reagentes utilizados (n.º)}}$$

Unidades: -

Observações:

- No numerador contabilizam-se os reagentes usados menos de 50% do tempo de funcionamento da ETA.
- No denominador contabilizam-se todos os reagentes utilizados (pontualmente e em permanência).
- Neste indicador não se incluem os doseadores de reagentes da linha da fase sólida. Caso a EG considere relevante a utilização de reagentes alternativos neste caso, pode calcular o indicador individualmente (tER19.a, tER19.b) para a linha da fase líquida e para a linha da fase sólida.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- A análise dos resultados deve ter em consideração o tipo de água bruta a tratar e a variação da sua qualidade ao longo do ano, podendo haver situações em que não se justifica a previsão de doseamento de outros reagentes que não os usados na normal operação da ETA.

tER20 – Doseadores reguláveis

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de doseadores reguláveis, ou seja, com possibilidade de regular as doses de reagentes adicionadas.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Doseadores de reagentes reguláveis (n.º)}}{\text{Doseadores de reagentes (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- O numerador e o denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde à situação em que todos os doseadores são reguláveis.

tER21 – Calibração de doseadores de reagentes

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de calibração periódica dos doseadores de reagentes, ou seja, de verificação da dose de reagente efectivamente adicionada.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Calibrações de doseadores de reagentes (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Doseadores de reagentes (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(doseador.ano)

Observações:

- No numerador, se um doseador foi calibrado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado tantas vezes quantas as calibrações realizadas.
- No numerador contabilizam-se também as verificações feitas aos equipamentos que mostram não ser necessário proceder a uma calibração propriamente dita, uma vez que os desvios das leituras obtidas com o equipamento relativamente aos padrões satisfazem critérios de aceitação previamente estabelecidos.
- No denominador contabilizam-se todos os doseadores instalados e de reserva (neste caso, prontos a instalar em caso de necessidade; não são, portanto, contabilizados equipamentos a aguardar reparação).
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de doseadores calibrados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os doseadores tenham sido calibrados.

tER22 – Inspeção de bombas

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de inspeção periódica das bombas da ETA. Estes procedimentos diminuem a probabilidade de ocorrência de falhas no funcionamento destes sistemas.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Inspeções de bombas (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Bombas (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(bomba.ano)

Observações:

- A inspeção implica um procedimento formal, em geral escrito, cujos resultados são registados de forma a permitir a avaliação da operacionalidade das infra-estruturas.
- No numerador, se uma bomba foi inspeccionada mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizada tantas vezes quantas as inspeções realizadas.
- No denominador contabilizam-se todas as bombas da ETA, incluindo bombas de água bruta, de água tratada, de lavagem de filtros, de doseamento de reagentes, de movimentação de águas residuais de processo, de purga de lamas e outras bombas de movimentação de lamas. São contabilizados os equipamentos de reserva.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de bombas inspeccionadas, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todas as bombas tenham sido inspeccionadas.
- Os resultados devem ser analisados tendo em consideração quais dos equipamentos existentes são críticos para o processo e se a inspeção foi efectuada nesses equipamentos.

tER23 – Inspeção de equipamento de emergência

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de inspeção periódica dos equipamentos de emergência da ETA. Estes procedimentos diminuem a probabilidade de ocorrência de falhas no funcionamento destes equipamentos.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Potência dos equipamentos de emergência inspeccionados (kW)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Potência dos equipamentos de emergência (kW)}} \times 100$$

Unidades: %/ano

Observações:

- A inspeção implica um procedimento formal, em geral escrito, cujos resultados são registados de forma a permitir a avaliação da operacionalidade das infra-estruturas. Todos os equipamentos de emergência são importantes, pelo que todos devem ser inspeccionados.
- No numerador, se um equipamento foi inspeccionado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado só uma vez.
- No denominador contabilizam-se todos os equipamentos de emergência da ETA, ou seja, equipamentos que entram em funcionamento quando falha o equipamento que está normalmente em funcionamento. Não são considerados equipamentos de emergência os equipamentos de reserva como, por exemplo, bombas de reserva.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Valores inferiores a 100 correspondem à situação não recomendável em que existem equipamentos de emergência que não foram inspeccionados.
- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração quais os equipamentos inspeccionados.

tER24 – Inspeção de equipamento de transmissão de sinal

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de inspeção periódica dos equipamentos de transmissão de sinal da ETA. Estes procedimentos diminuem a probabilidade de ocorrência de falhas no funcionamento destes equipamentos.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Inspeções de equipamentos de transmissão de sinal (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Equipamentos de transmissão de sinal (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(equipamento de transmissão de sinal.ano)

Observações:

- A inspeção implica um procedimento formal, em geral escrito, cujos resultados são registados de forma a permitir a avaliação da operacionalidade das infra-estruturas.
- No numerador, se um equipamento de transmissão de sinal foi inspeccionado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado tantas vezes quantas as inspeções realizadas.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de equipamentos de transmissão de sinal inspeccionados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os equipamentos tenham sido inspeccionados.

tER25 – Inspeção de quadros eléctricos

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de inspeção periódica dos quadros eléctricos da ETA a qual diminui a probabilidade de ocorrência de falhas no seu funcionamento.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Inspeções de quadros eléctricos (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Quadros eléctricos (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(quadro eléctrico.ano)

Observações:

- A inspeção implica um procedimento formal, em geral escrito, cujos resultados são registados de forma a permitir a avaliação da operacionalidade das infra-estruturas.
- No numerador, se um quadro eléctrico foi inspeccionado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado tantas vezes quantas as inspeções realizadas.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de quadros eléctricos inspeccionados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os quadros eléctricos tenham sido inspeccionados.

tER26 – Inspeção de leitos de enchimento

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de prática periódica de inspeção e amostragem dos leitos de enchimento dos filtros.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Inspeções de filtros (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Filtros (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(filtro.ano)

Observações:

- No numerador, se um filtro foi inspeccionado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado tantas vezes quantas as inspeções realizadas.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Um valor de 1 corresponde à situação recomendada em que cada filtro deve ser inspeccionado, pelo menos, uma vez por ano.
- No entanto, este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de filtros inspeccionados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os filtros tenham sido inspeccionados.

tER27 – Calibração de medidores de caudal

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de calibração periódica dos medidores de caudal da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Calibrações de medidores de caudal (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Medidores de caudal (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(medidor.ano)

Observações:

- No numerador, se um medidor foi calibrado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado tantas vezes quantas as calibrações realizadas.
- No numerador contabilizam-se também as verificações feitas aos equipamentos que mostram não ser necessário proceder a uma calibração propriamente dita, uma vez que os desvios das leituras obtidas com o equipamento relativamente aos padrões satisfazem critérios de aceitação previamente estabelecidos.
- No denominador contabilizam-se todos os medidores instalados e de reserva (neste caso, prontos a instalar em caso de necessidade; não são, portanto, contabilizados equipamentos a aguardar reparação).
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de medidores calibrados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os medidores tenham sido calibrados.

tER28 – Calibração de medidores de nível da água

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de calibração periódica dos medidores de nível da água da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Calibrações de medidores de nível da água (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Medidores de nível da água (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(medidor.ano)

Observações:

- No numerador, se um medidor foi calibrado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado tantas vezes quantas as calibrações realizadas.
- No numerador contabilizam-se também as verificações feitas aos equipamentos que mostram não ser necessário proceder a uma calibração propriamente dita, uma vez que os desvios das leituras obtidas com o equipamento relativamente aos padrões satisfazem critérios de aceitação previamente estabelecidos.
- No denominador contabilizam-se todos os medidores instalados e de reserva (neste caso, prontos a instalar em caso de necessidade; não são, portanto, contabilizados equipamentos a aguardar reparação).
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de medidores calibrados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os medidores tenham sido calibrados.

tER29 – Calibração de medidores de pressão

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de calibração periódica dos medidores de pressão da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Calibrações de medidores de pressão}(n.^{\circ}) \times 365/\text{período de referência (dia)}}{\text{Medidores de pressão}(n.^{\circ})}$$

Unidades: n.º/(medidor.ano)

Observações:

- No numerador, se um medidor foi calibrado mais do que uma vez durante o período de referência deve ser contabilizado tantas vezes quantas as calibrações realizadas.
- No numerador contabilizam-se também as verificações feitas aos equipamentos que mostram não ser necessário proceder a uma calibração propriamente dita, uma vez que os desvios das leituras obtidas com o equipamento relativamente aos padrões satisfazem critérios de aceitação previamente estabelecidos.
- No denominador contabilizam-se todos os medidores instalados e de reserva (neste caso, prontos a instalar em caso de necessidade; não são, portanto, contabilizados equipamentos a aguardar reparação).
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de medidores calibrados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os medidores tenham sido calibrados.

tER30 – Calibração de medidores em linha da qualidade da água

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de uma prática de calibração periódica dos medidores em linha de qualidade da água.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Calibrações de medidores em linha de qualidade da água (n.º)} \times 365/\text{período de referência (dia)}}{\text{Medidores em linha de qualidade da água (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(medidor.ano)

Observações:

- No numerador, as calibrações de medidores multiparamétricos são contabilizadas individualmente por parâmetro (*e.g.*, a calibração de um aparelho que mede simultaneamente pH e condutividade é contabilizada como 2 calibrações se for feita a calibração dos 2 parâmetros, e como 1 calibração se for feita a calibração apenas de 1 parâmetro).
- No denominador, um medidor multiparamétrico de n parâmetros de qualidade é contabilizado não como 1 medidor mas como n medidores em linha de qualidade da água.
- No numerador contabilizam-se também as verificações feitas aos equipamentos que mostram não ser necessário proceder a uma calibração propriamente dita, uma vez que os desvios das leituras obtidas com o equipamento relativamente aos padrões satisfazem critérios de aceitação previamente estabelecidos.
- No denominador contabilizam-se todos os medidores instalados e de reserva (neste caso, prontos a instalar em caso de necessidade; não são, portanto, contabilizados equipamentos a aguardar reparação).
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a percentagem de medidores calibrados, uma vez que valores do indicador superiores a 1 não significam que todos os medidores tenham sido calibrados.

tER31 – Tempo médio de resolução de avarias

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da existência de meios (meios humanos, meios materiais, acessibilidades) para resolução de avarias, independentemente de originarem ou não a interrupção de funcionamento da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Tempo total de resolução de avarias correspondentes a tempos de paragem > 30 min. (hora)}}{\text{Avarias correspondentes a tempos de paragem > 30 min. (n.º)}}$$

Unidades: hora/avaria

Observações:

- O numerador refere-se ao tempo total decorrido entre a detecção da avaria e a sua resolução. O indicador pode ser calculado individualmente (tER31.1, tER31.2) para as seguintes situações:
 - i) o tempo da posterior reparação dos equipamentos de reserva não é contabilizado,
 - ii) o tempo da posterior reparação dos equipamentos de reserva é contabilizado.
- No cálculo deste indicador, só são consideradas as avarias correspondentes a tempos de paragem de equipamento(s) superiores a 30 minutos.

Análise dos resultados:

- Valores elevados deste indicador correspondem a uma situação de insuficiência de meios para uma rápida resolução de avarias.

tER32 – Avarias

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do estado de funcionamento dos equipamentos da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Avarias (n.º)} \times 365/\text{período de referência (dia)}}{\text{Equipamentos (n.º)}}$$

Unidades: n.º/(equipamento.ano)

Observações:

- O indicador deve ser calculado individualmente para os equipamentos mais críticos da ETA (e.g., bombas, agitadores, ozonizadores).
- No caso das bombas, no denominador contabilizam-se todas as bombas da ETA, incluindo bombas de água bruta, bombas de água tratada, bombas de lavagem de filtros, bombas de movimentação de águas residuais de processo, bombas de doseamento de reagentes e bombas de purga de lamas. Não são contabilizados os equipamentos de reserva.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor 0 corresponde à situação em que não houve nenhuma avaria no período de referência

tER33 – Interrupção do funcionamento da ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da ocorrência de avarias graves ou outros eventos que originam a interrupção do funcionamento da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Tempo que a ETA não funcionou no período de referência (hora)} \times 365}{\text{Período de referência (dia)}}$$

Unidades: hora/ano

Observações:

- No numerador não se contabilizam as paragens programadas.

Análise dos resultados:

- O resultado deve ser analisado conjuntamente com os indicadores tER31, tER32, tER34 e tER35.

tER34 – Paragem da ETA devido a falhas de energia

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação da fiabilidade do sistema de abastecimento de electricidade à ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Tempo que a ETA esteve fora de serviço ou funcionou alimentada por gerador, devido a falhas no abastecimento eléctrico no período de referência (hora)} \times 365}{\text{Período de referência (dia)}}$$

Unidades: hora/ano

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER35.

tER35 – Autonomia energética

Domínio de avaliação de desempenho: Eficiência e fiabilidade da ETA

Objectivo:

Avaliação do grau de autonomia energética da ETA em caso de falha da rede de abastecimento eléctrico.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Potência do gerador da ETA (kW)}}{\text{Potência instalada na ETA (kW)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No denominador não é contabilizada a potência dos equipamentos de reserva.
- O numerador e o denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- O valor de 100 corresponde à situação em que a ETA é totalmente autónoma em caso de falha da rede de abastecimento eléctrico.
- O resultado deve ser analisado conjuntamente com a distribuição do consumo energético na ETA nas grandes áreas: bombagem de água bruta, bombagem de água tratada, tratamento, outros (*e.g.*, laboratório, edifício de exploração).

tRU01 – Eficiência de utilização de água na ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Utilização de água, energia e materiais

Objectivo:

Avaliação da eficiência de utilização de água na ETA, ou seja, do nível de produção de águas residuais de processo, de consumo próprio e de perdas.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}{\text{Volume de água entrada na ETA (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Análise dos resultados:

- Valores mais próximos de 100 correspondem a uma maior eficiência de utilização da água na ETA.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tRU02.

tRU02 – Água recirculada na ETA

Domínio de avaliação de desempenho: Utilização de água, energia e materiais

Objectivo:

Avaliação do nível de recirculação de água na ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de água recirculada na ETA (m}^3\text{)}}{\text{Volume de água entrada na ETA (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador é contabilizada a água proveniente de operações/processos unitários em que existe recirculação ao início do processo de tratamento, como por exemplo a lavagem dos filtros e a desidratação de lamas.

Análise dos resultados:

- Valores mais elevados correspondem a uma maior recirculação da água na ETA, situação que não corresponde necessariamente a um melhor desempenho, uma vez que há que ter em consideração o tipo de tratamento efectuado. Valores elevados de recirculação podem corresponder a ineficiências de algumas operações/processos unitários de tratamento, como a filtração ou o espessamento de lamas.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com os indicadores tRU01, tBP01 e tBP07.

tRU03 – Consumo de energia

Domínio de avaliação de desempenho: Utilização de água, energia e materiais

Objectivo:

Avaliação da eficiência de utilização de energia na ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Consumo de energia na ETA (kWh)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: kWh/m³

Observações:

- No numerador não é contabilizado o consumo de energia dos sistemas de elevação de água bruta e de água tratada.

Análise dos resultados:

- Valores mais elevados correspondem a um maior consumo de energia por m³ de água tratada, *i.e.*, a um processo de tratamento menos eficiente energeticamente.
- O resultado deve ser analisado conjuntamente com a distribuição do consumo energético na ETA.

tRU04 – Consumo de reagentes para ajuste de pH

Domínio de avaliação de desempenho: Utilização de água, energia e materiais

Objectivo:

Avaliação da eficiência de utilização de reagentes na ETA, em particular de reagentes que se destinam a efectuar ajustes de pH.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Consumo de reagentes para ajuste de pH (eq)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: eq/m³

Observações:

- Este indicador deve ser calculado individualmente (tRU04.a, tRU04.b) para a linha da fase líquida e para a linha da fase sólida.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a qualidade da água bruta.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER12, devendo um maior esforço de optimização de dosagens resultar num menor consumo de reagentes.

tRU05 – Consumo de coagulantes e floculantes

Domínio de avaliação de desempenho: Utilização de água, energia e materiais

Objectivo:

Avaliação da eficiência de utilização de reagentes na ETA, em particular de coagulantes e floculantes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Consumo de coagulantes e floculantes (g)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: g/m³

Observações:

- O numerador deve ser expresso em termos de substância activa (*e.g.*, Fe, Al).
- Este indicador deve ser calculado individualmente (tRU05.a, tRU05.b) para a linha da fase líquida e para a linha da fase sólida.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a qualidade da água bruta.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER12, devendo um maior esforço de optimização de dosagens resultar num menor consumo de reagentes.

tRU06 – Consumo de oxidantes

Domínio de avaliação de desempenho: Utilização de água, energia e materiais

Objectivo:

Avaliação da eficiência de utilização de reagentes na ETA, em particular de oxidantes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Consumo de oxidantes (g)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: g/m³

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração a qualidade da água bruta.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tER12, devendo um maior esforço de optimização de dosagens resultar num menor consumo de reagentes.

tRU07 – Reposição de meios de enchimento

Domínio de avaliação de desempenho: Utilização de água, energia e materiais

Objectivo:

Avaliação do consumo de meios de enchimento por necessidade de reposição devida a perdas físicas dos leitos de enchimento por razões diversas (e.g., arraste na lavagem dos filtros, perda pelo fundo dos filtros) ou devida a perdas de eficiência/capacidade de adsorção (por exemplo, no caso de meios adsorventes).

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade de material de enchimento novo para reposição (m}^3\text{)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Quantidade de material de enchimento de todos os órgãos (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %/ano

Observações:

- No numerador não se deve contabilizar a quantidade de material de enchimento usado em situações de aumento da capacidade ou reabilitação dos órgãos, uma vez que não correspondem a menor desempenho.
- Em ETA que possuem diferentes tipos de meios de enchimento, o cálculo do indicador deve ser feito individualmente (tRU07.a, tER07.b, etc.) para cada meio.
- Este indicador não deve ser utilizado para períodos inferiores a cinco anos. Devem ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos.

Análise dos resultados:

- Valores elevados correspondem a uma perda excessiva de material de enchimento cujas causas devem ser investigadas.

tBP01 – Quantidade de lamas produzidas

Domínio de avaliação de desempenho: Gestão de subprodutos

Objectivo:

Avaliação do nível de produção de lamas, potenciais causadoras de impactes ambientais e com reflexos nos custos do tratamento. O indicador corresponde à quantidade de lamas produzidas por m³ de água bruta com uma turvação de 1 UNT.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade de lamas produzidas (g)}}{\text{Volume de água entrada na ETA (m}^3\text{)} \times \text{Turvação da água bruta (UNT)}}$$

Unidades: g/(m³.UNT)

Observações:

- Este indicador admite que as lamas produzidas dependem, essencialmente, da turvação da água bruta – a uma maior turvação corresponde uma maior produção de lamas.
- No numerador considera-se o peso total das lamas.
- A turvação da água bruta é a média aritmética dos valores individuais de turvação determinados no período de referência.
- As lamas podem ser provenientes da decantação na fase líquida, do espessamento ou da desidratação na linha de tratamento de lamas.
- Este indicador não se aplica a ETA que recebem lamas de outras ETA para efectuar um tratamento conjunto de lamas.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características da água bruta, uma vez que valores elevados podem corresponder a uma não optimização de adição de reagentes face às características da água bruta (sobredosagem de reagentes de coagulação/floculação – analisar indicadores tER09, tER12 e tER14) ou ao facto de a água ter uma turvação muito baixa (difícil de remover e que exige, usualmente, maiores dosagens de coagulante/floculante).
- Na análise de resultados deve ter-se em consideração o tipo de lamas produzidas pela ETA (decantadas, espessadas ou desidratadas).
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tBP02.

tBP02 – Qualidade das lamas produzidas

Domínio de avaliação de desempenho: Gestão de subprodutos

Objectivo:

Avaliação da qualidade das lamas produzidas em termos de potenciais impactes ambientais. A eficiência do tratamento de lamas é também avaliada. O indicador corresponde à concentração das lamas produzidas (% matéria seca).

Expressão de cálculo:

% matéria seca

Unidades: % (p/p)

Observações:

- A concentração das lamas produzidas é determinada em laboratório.
- As lamas podem ser provenientes da decantação na linha líquida, do espessamento ou da desidratação na linha de tratamento de lamas.
- O indicador é dado pela média aritmética dos valores individuais de concentração das lamas determinados durante o período de referência.

Análise dos resultados:

- Valores elevados do indicador correspondem a:
 - lamas com menor potencial de impacte ambiental,
 - uma maior eficiência do tratamento de lamas.
- Na análise de resultados deve ter-se em consideração o tipo de lamas produzidas pela ETA (decantadas, espessadas ou desidratadas).
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tBP01, quando não há tratamento conjunto com lamas de outras ETA.

tBP03 – Quantidade de meios de enchimento rejeitados

Domínio de avaliação de desempenho: Gestão de subprodutos

Objectivo:

Avaliação do nível de produção de outros subprodutos para além das lamas, em particular, de meios de enchimento (*e.g.*, GAC, areia, antracite, resinas de permuta iónica) potenciais causadores de impactes ambientais.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade de meios de enchimento rejeitados (m}^3\text{)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}} \times 10^6$$

Unidades: m³/10⁶ m³

Observações:

- No numerador contabilizam-se os meios de enchimento não regeneráveis (*e.g.*, areia, GAC e resinas de permuta iónica em fim de vida) e os meios de enchimento regeneráveis (*e.g.*, GAC) que ainda possam ser regenerados e novamente utilizados no processo de tratamento.
- Meios de enchimento rejeitados são os meios de enchimento retirados da linha de tratamento.
- Em especial em ETA que produzem meios de enchimento com níveis de perigosidade muito distintos, pode haver interesse em calcular este indicador individualmente (tBP03.a, tBP03.b, etc.) para os diferentes meios.
- Este indicador não deve ser utilizado para períodos inferiores a cinco anos. Devem ser analisados valores anuais em conjuntos de vários anos.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características da água bruta a tratar e o provável teor em substâncias tóxicas do meio de enchimento rejeitado.

tBP04 – Destino final das lamas

Domínio de avaliação de desempenho: Gestão de subprodutos

Objectivo:

Avaliação da adequada gestão das lamas produzidas promovendo a sua valorização.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade de lamas valorizadas (kg)}}{\text{Quantidade de lamas escoadas (kg)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador contabilizam-se as lamas que são valorizadas, por exemplo, pela indústria cimenteira ou através da incorporação em outros materiais de construção e de pavimentação.
- No denominador contabilizam-se as lamas que efectivamente saíram da ETA e não as lamas produzidas (que, eventualmente, poderão ter sido armazenadas).

Análise dos resultados:

- Um valor de 100 corresponde à valorização do total das lamas escoadas pela ETA.
- No caso de valores inferiores a 100 interessa analisar quais são os outros destinos dados às lamas.
- Em intervalos de 2-3 anos, a ETA deve evidenciar capacidade de escoamento de todas as lamas produzidas.

tBP05 – Destino dos meios de enchimento regeneráveis

Domínio de avaliação de desempenho: Gestão de subprodutos

Objectivo:

Avaliação da adequada gestão dos meios de enchimento regeneráveis produzidos promovendo a sua regeneração.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade de meios de enchimento saturados regenerados (m}^3\text{)}}{\text{Quantidade de meios de enchimento saturados regeneráveis escoados (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- O GAC é um exemplo de meio de enchimento regenerável.
- No numerador contabilizam-se os meios de enchimento saturados que são regenerados. No denominador contabiliza-se a quantidade total de meios de enchimento saturados regeneráveis escoados e não os produzidos (que, eventualmente, poderão ter sido armazenados).

Análise dos resultados:

- Um valor de 100 corresponde à regeneração do total dos meios de enchimento saturados escoados.
- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características da água bruta a tratar e o provável teor em substâncias tóxicas do meio de enchimento rejeitado, uma vez que podem justificar baixos desempenhos neste aspecto.
- Em intervalos de 5 anos, a ETA deve evidenciar capacidade de escoamento de todos os meios de enchimento rejeitados.

tBP06 – Destino dos meios de enchimento não regeneráveis

Domínio de avaliação de desempenho: Gestão de subprodutos

Objectivo:

Avaliação da adequada gestão dos meios de enchimento não regeneráveis rejeitados promovendo a sua valorização.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade de meios de enchimento não regeneráveis valorizados (m}^3\text{)}}{\text{Quantidade de meios de enchimento não regeneráveis escoados (m}^3\text{)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- São exemplo de meios de enchimento não regeneráveis a areia, o GAC e as resinas de permuta iónica em fim de vida.
- O denominador corresponde aos meios de enchimento que são retirados da linha de tratamento (inclui os que são posteriormente valorizados e os que não o são) e escoados no período de referência.

Análise dos resultados:

- Um valor de 100 corresponde à valorização do total dos meios de enchimento não regeneráveis escoados.
- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características da água bruta a tratar e o provável teor em substâncias tóxicas do meio de enchimento rejeitado, uma vez que podem justificar baixos desempenhos neste aspecto.
- Em intervalos de 5 anos, a ETA deve evidenciar capacidade de escoamento de todos os meios de enchimento rejeitados.

tBP07 – Descarga de águas residuais no meio

Domínio de avaliação de desempenho: Gestão de subprodutos

Objectivo:

Avaliação da ocorrência e volume de descargas de águas residuais do tratamento, potenciais causadoras de impactes ambientais.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Volume de água residual de processo descarregada no meio (m}^3\text{)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: m³ de água residual descarregada/m³ de água tratada

Observações:

- No numerador contabiliza-se a água residual proveniente das várias operações/processos unitários de tratamento como, por exemplo, a água de lavagem de filtros e a água de desidratação de lamas e que são descarregadas no meio sem cumprirem a respectiva licença de descarga.
- No numerador não é contabilizada a água residual lançada em sistemas de drenagem.

Análise dos resultados:

- Valores superiores a 0 correspondem à situação indesejável na qual a água residual de processo não é recirculada após tratamento adequado.
- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características contaminantes da água residual descarregada.
- Este indicador deve ser analisado em conjunto com o indicador tRU02.

tSa01 – Derrames e fugas de produtos químicos ou subprodutos

Domínio de avaliação de desempenho: Segurança

Objectivo:

Avaliação da ocorrência e dimensão de eventuais derrames e/ou fugas de produtos químicos ou de subprodutos do tratamento, uma vez que podem causar impactes ambientais negativos e constituir perigo para os trabalhadores da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Quantidade de produtos químicos ou subprodutos derramados ou libertados acidentalmente (kg)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}} \times 10^6$$

Unidades: kg/10⁶m³

Observações:

- No numerador contabilizam-se os derrames e/ou fugas acidentais de produtos químicos e de subprodutos do tratamento (e.g., águas residuais e lamas da linha de tratamento de lamas).
- Este indicador deve ser calculado individualmente (tSa01.a, tSa01.b, tSa01.c) para: i) reagentes gasosos libertados, ii) reagentes líquidos e sólidos derramados e iii) para lamas e águas residuais derramadas.

Análise dos resultados:

- Valores superiores a 0 correspondem à situação indesejável na qual ocorreram derrames e/ou fugas acidentais de produtos químicos ou subprodutos do tratamento e alertam para uma eventual falta de medidas de segurança na ETA (e.g., existência de dispositivos de contenção de derrames nos locais de armazenamento de produtos químicos).
- Este indicador deve ser analisado tendo em consideração as características de perigosidade do produto derramado ou libertado.

tSa02 – Acidentes de trabalho

Domínio de avaliação de desempenho: Segurança

Objectivo:

Avaliação da ocorrência de acidentes de trabalho de empregados da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Acidentes de trabalho (n.º)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA (n.º)}} \times 10^3$$

Unidades: n.º/(10³empregado.ano)

Observações:

- No numerador contabilizam-se os acidentes de trabalho de empregados da ETA que tenham requerido acompanhamento médico.
- No numerador considera-se que, se uma ocorrência afecta *x* empregados, o n.º de acidentes de trabalho é *x* (cada empregado teve 1 acidente de trabalho).
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Valores superiores a 0 correspondem à situação indesejável na qual ocorreram acidentes de trabalho.
- As consequências dos acidentes aqui considerados podem ser avaliadas pelos dias de ausência dos trabalhadores devido a acidentes de trabalho (informação, parcialmente, fornecida pelo indicador tPe07)

tSa03 – Resposta à emergência

Domínio de avaliação de desempenho: Segurança

Objectivo:

Avaliação da capacidade de resposta a situações de emergência. O indicador corresponde ao tempo médio de resposta à emergência por situação ocorrida.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Tempo total de resposta à emergência (min)}}{\text{Situações de emergência (n.º)}}$$

Unidades: min/situação de emergência

Observações:

- O numerador corresponde ao somatório dos tempos de resposta de todas as situações de emergência que ocorreram durante o período de referência.
- O tempo de resposta à emergência é o tempo decorrido entre a detecção da emergência e a chegada ao local dos primeiros meios de socorro (bombeiros, meios de emergência médica, polícia).
- Consideram-se situações de emergência associadas ao funcionamento da ETA apenas aquelas que afectam a segurança dos empregados ou a segurança ambiental.

Análise dos resultados:

- Valores elevados deste indicador correspondem a uma situação de deficiente capacidade de resposta a situações de emergência por insuficiência de meios (internos ou externos à ETA). Podem corresponder também a uma prevenção deficiente de situações de emergência (e.g., inexistência de planos de emergência, insuficiente formação dos empregados da ETA na área da segurança).

tPe01 – Pessoal afecto ao tratamento

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação da disponibilidade de recursos humanos da ETA, ou seja, da existência de um número adequado de empregados.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA (n.º)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}} \times 10^6$$

Unidades: n.º/10⁶ m³

Observações:

- No numerador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado. O pessoal de *in-house outsourcing* é contabilizado tendo em atenção o ponto seguinte.
- No caso de EG multi-serviços (água e águas residuais) e EG com várias ETA, cada empregado deve ser contabilizado na proporção do tempo afecto a cada ETA.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- O numerador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador deve ser analisado tendo em conta o nível de *outsourcing* (*in-house* e externo à EG) e o grau de automação da ETA (indicadores tER13, tER14, tER15, tER16 e tER17).
- O tipo de tratamento deve também ser tido em consideração.
- Este indicador deve ser relacionado com a qualificação dos recursos humanos existentes (tPe02 e tPe03) e com o trabalho suplementar (tPe08).

tPe02 – Pessoal com formação superior

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação da adequação da qualificação dos recursos humanos da ETA, em particular, da existência de um número adequado de empregados com formação superior (bacharelato, licenciatura, mestrado ou doutoramento).

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro com formação superior afectos à ETA (n.º)}}{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Neste indicador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

Este indicador, em conjunto com o indicador tPe03, permite determinar a percentagem de empregados com outras qualificações (100 – tPe02 – tPe03).

tPe03 – Pessoal com escolaridade mínima obrigatória

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação da adequação da qualificação dos recursos humanos da ETA, em particular, da existência de um número adequado de empregados com, pelo menos, escolaridade mínima obrigatória, mas sem formação superior.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro com, pelo menos, escolaridade mínima obrigatória afectos à ETA (n.º)}}{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA (n.º)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Neste indicador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- A definição de escolaridade mínima obrigatória deve referir-se aos requisitos vigentes no país onde o indicador é aplicado.
- O numerador e denominador reportam-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador, em conjunto com o indicador tPe02, permite determinar a percentagem de empregados com outras qualificações, ou seja, empregados sem escolaridade mínima obrigatória (100 – tPe02 – tPe03).

tPe04 – Tempo total de formação

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação da adequação da formação dos recursos humanos da ETA, em termos de total de horas de formação (interna e externa).

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Horas de formação dos empregados afectos à ETA (hora)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA (n.º)}}$$

Unidades: hora/(empregado.ano)

Observações:

- Neste indicador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador, em conjunto com o indicador tPe05, permite determinar o tempo de formação externa por empregado e por ano (tPe04 – tPe05).
- Os resultados deste indicador devem ser analisados tendo em consideração o número e a qualificação dos empregados que participaram nas acções de formação.

tPe05 – Tempo de formação interna

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação da adequação da formação dos recursos humanos da ETA, em termos de horas de formação interna.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Horas de formação interna dos empregados afectos à ETA (hora)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{N.º equivalente de empregados a tempo inteiro afectos à ETA (n.º)}}$$

Unidades: hora/(empregado.ano)

Observações:

- Neste indicador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- O denominador reporta-se a uma data de referência.

Análise dos resultados:

- Este indicador, em conjunto com o indicador tPe04, permite determinar o tempo de formação externa por empregado e por ano (tPe04 – tPe05).
- Os resultados deste indicador devem ser analisados tendo em consideração o número e a qualificação dos empregados que participaram nas acções de formação.

tPe06 – Absentismo

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação do nível de absentismo dos recursos humanos da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Ausências ao trabalho dos empregados afectos à ETA (hora)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados (hora/ano)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Neste indicador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- No numerador contabilizam-se todas as ausências ao trabalho (mesmo que justificadas), excepto as ausências por motivo de férias, greve ou licença sem vencimento.
- O total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados pode ser calculada através da equação seguinte:

$$\text{Total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados (h/ano)} = \sum_{i=1}^n H_i \cdot T_i$$

em que:

n = total de empregados (n.º);

H_i = horas de trabalho contratado do empregado i (hora/semana);

T_i = semanas de trabalho do empregado i, não considerando as férias (semana/ano).

Análise dos resultados:

- Este indicador, em conjunto com o indicador tPe07, permite quantificar o absentismo por outras razões que não acidente de trabalho ou doença (tPe06 – tPe07).

tPe07 – Absentismo por acidente de trabalho ou doença

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação do nível de absentismo dos recursos humanos da ETA por motivo de acidente de trabalho ou doença.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Ausências ao trabalho por motivo de acidente de trabalho ou doença dos empregados afectos à ETA (hora)} \times 365 / \text{período de referência (dia)}}{\text{Total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados (hora/ano)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Neste indicador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- O total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados pode ser calculada através da equação seguinte:

$$\text{Total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados (h/ano)} = \sum_{i=1}^n H_i \cdot T_i$$

em que:

n = total de empregados (n.º);

H_i = horas de trabalho contratado do empregado i (hora/semana);

T_i = semanas de trabalho do empregado i, não considerando as férias (semana/ano).

Análise dos resultados:

- Este indicador, em conjunto com o indicador tPe06, permite quantificar o absentismo por outras razões que não acidente de trabalho ou doença (tPe06 – tPe07).

tPe08 – Trabalho suplementar

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos humanos

Objectivo:

Avaliação da eficiência de utilização dos recursos humanos da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Trabalho suplementar dos empregados afectos à ETA (hora)} \times 365 / \text{período de referência}}{\text{Total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados (hora/ano)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- Neste indicador é contabilizado o pessoal afecto à operação e manutenção da ETA, bem como o pessoal afecto ao controlo da qualidade da água (laboratório). O pessoal de *outsourcing* externo à EG não é aqui contabilizado.
- Os empregados incluem o pessoal permanente e temporário.
- O total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados pode ser calculada através da equação seguinte:

$$\text{Total anual de horas de trabalho previstas para todos os empregados (h/ano)} = \sum_{i=1}^n H_i \cdot T_i$$

em que:

n = total de empregados (n.º);

H_i = horas de trabalho contratado do empregado i (hora/semana);

T_i = semanas de trabalho do empregado i, não considerando as férias (semana/ano).

Análise dos resultados:

- Um valor elevado do indicador pode corresponder a um uso ineficiente da mão-de-obra ou a uma insuficiência (em número - tPe01 - e/ou em qualificação - tPe02 e tPe03) de recursos humanos.

tFi01 – Proveito unitário

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar os proveitos unitários totais da ETA em função do volume de água entrada na estação.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Proveitos operacionais (Euro)} - \text{Custos de autoinvestimento em infraestruturas (Euro)}}{\text{Volume de água entrada na ETA (m}^3\text{)}}$$

Unidades: Euro/m³

Observações:

- Os proveitos operacionais são a soma dos proveitos do serviço (venda de água tratada), de trabalhos em curso e de outros proveitos operacionais.
- Os custos de auto-investimento em infra-estruturas são também correntemente designados por trabalho para a própria empresa.
- No caso de EG multiserviços (água e águas residuais) e/ou que gerem mais do que uma ETA, é necessário alocar os proveitos a cada ETA.
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- É expectável que este ID tenha valores inferiores em sistemas de menor dimensão e superiores em sistemas de maior dimensão.
- Para avaliar se os proveitos cobrem os custos, este ID deve ser analisado em conjunto com o indicador tFi09.

tFi02 – Custo unitário total

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar o custo unitário total da ETA em função do volume de água tratada.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Custos anuais (Euro)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: Euro/m³

Observações:

- Os custos anuais são a soma dos custos correntes com os custos de capital.
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- É expectável que este ID tenha valores inferiores em sistemas de maior dimensão e superiores em sistemas de menor dimensão, devido ao efeito de escala.
- Este indicador, em conjunto com o indicador tFi03, permite determinar os custos unitários de capital (tFi02 –tFi03).

tFi03 – Custos unitários correntes

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar os custos correntes da ETA em função do volume de água tratada.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Custos operacionais (Euro) – Custos de autoinvestimento em infraestruturas (Euro)}}{\text{Volume de água tratada (m}^3\text{)}}$$

Unidades: Euro/m³

Observações:

- O numerador corresponde aos custos correntes.
- Os custos operacionais incluem os custos totais de pessoal e de operação e manutenção (energia eléctrica, aquisição de reagentes e outros consumíveis, aluguer de equipamentos, aquisições de serviços), taxas, contribuições e impostos, etc.).
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- É expectável que este ID tenha valores inferiores em sistemas de maior dimensão e superiores em sistemas de menor dimensão, devido ao efeito de escala.
- Este indicador, em conjunto com o indicador tFi02, permite determinar os custos unitários de capital (tFi02 –tFi03).

tFi04 – Custos de pessoal

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar a contribuição dos custos com pessoal para os custos correntes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Custos de pessoal (Euro)}}{\text{Custos correntes (Euro)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador incluem-se custos de mão-de-obra correspondentes ao pessoal afecto à ETA contratado pela EG, permanente e temporariamente, incluindo salários, pagamento de horas extraordinárias e outros custos que deles derivem directamente (e.g., pagamentos complementares, encargos com segurança social).
- No numerador não se considera o *outsourcing* externo (estes custos são incluídos no indicador tFi05)
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- Multiplicando este ID por tFi03 obtém-se o montante gasto em pessoal por unidade de volume de água tratada.

tFi05 – Custos de aquisição de serviços

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar a contribuição dos custos de aquisição de serviços para os custos correntes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Custos de outsourcing (Euro)}}{\text{Custos correntes (Euro)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador incluem-se custos de mão-de-obra externa.
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- Valores elevados deste ID representam maior dependência de serviços externos.
- Multiplicando este ID por tFi03 obtém-se o montante gasto em aquisição de serviços por unidade de volume de água tratada.

tFi06 – Custos de energia

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar a contribuição dos custos de energia eléctrica para os custos correntes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Custos de energia eléctrica (Euro)}}{\text{Custos correntes (Euro)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador não se consideram os custos com outros tipos de energia que não a eléctrica.
- Incluem-se no numerador as componentes fixas (e.g., taxas) e as componentes variáveis (consumo) do custo de energia.
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- Este ID deve ser analisado em conjunto com o indicador tRU03, pois valores baixos de tFi06 não correspondem necessariamente a uma utilização eficiente da energia, mas valores elevados podem representar ineficiência da utilização deste recurso.
- Multiplicando este ID por tFi03 obtém-se o montante gasto em energia por unidade de volume de água tratada.

tFi07 – Custos de aquisição de reagentes e meios de enchimento

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar a contribuição dos custos de aquisição de reagentes e meios de enchimento para os custos correntes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Custos de aquisição de reagentes e meios de enchimento (Euro)}}{\text{Custos correntes (Euro)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- No numerador consideram-se os reagentes para o processo de tratamento da fase líquida e da fase sólida.
- Este indicador pode ser calculado individualmente (tFi07.a, tFi07.b, etc.) para cada reagente e meio de enchimento.
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- Este ID deve ser analisado em conjunto com:
 - tER20 e tER21, pois valores elevados destes indicadores são condição necessária para a maior economia deste recurso; a optimização de dosagens (tER12) pode permitir também minimizar o consumo de alguns reagentes.
 - tRU04 a tRU07, pois valores baixos de tFi07 não correspondem necessariamente a uma utilização eficiente dos reagentes, mas valores elevados podem representar ineficiência da utilização deste recurso.
- Multiplicando este ID por tFi03 obtém-se o montante gasto em aquisição de reagentes e meios de enchimento por unidade de volume de água tratada.

tFi08 – Custos de tratamento e eliminação de subprodutos

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar a contribuição dos custos relacionados com a gestão de subprodutos para os custos correntes.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Custos de tratamento e eliminação de subprodutos (Euro)}}{\text{Custos correntes (Euro)}} \times 100$$

Unidades: %

Observações:

- O numerador inclui: i) custos com transporte e eliminação final de lamas não valorizadas, de meios de enchimento não regeneráveis (e.g., areia) que não foram valorizados e de meios de enchimento saturados regeneráveis (e.g., GAC, resinas iónicas) mas que foram rejeitados, ii) custos com a valorização de subprodutos (lamas e meios de enchimento não regeneráveis) e iii) custos com a regeneração de meios de enchimento saturados efectuada fora da ETA.
- Este indicador pode ser calculado individualmente (tFi08.1, tFi08.2, tFi08.3) para cada uma destas três componentes – eliminação final, valorização e regeneração.
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

Análise dos resultados:

- Este ID deve ser analisado em conjunto com os indicadores tBP04, tBP05 e tBP06.
- Multiplicando este ID por tFi03 obtém-se o montante gasto na gestão de subprodutos por unidade de volume de água tratada.

tFi09 – Rácio de cobertura dos custos correntes

Domínio de avaliação de desempenho: Recursos económico-financeiros

Objectivo:

Avaliar se os proveitos cobrem os custos correntes da ETA.

Expressão de cálculo:

$$\frac{\text{Proveitos totais (Euro)}}{\text{Custos correntes (Euro)}} \times 100$$

Unidades: -

Observações:

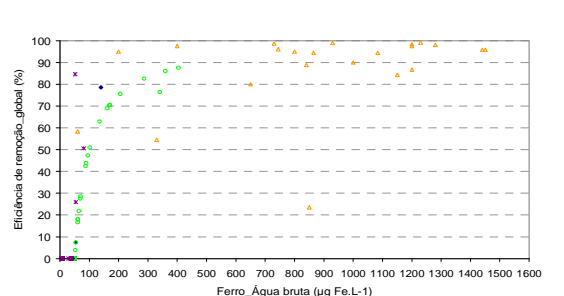
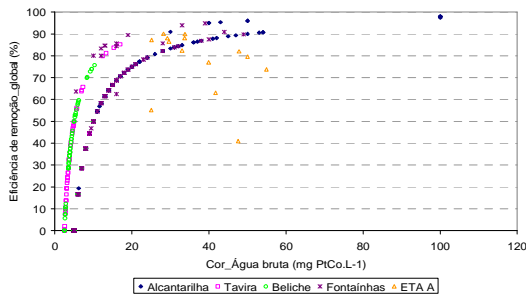
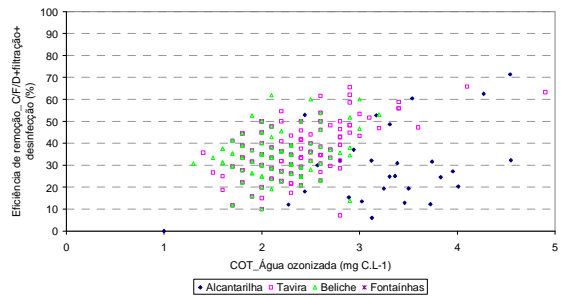
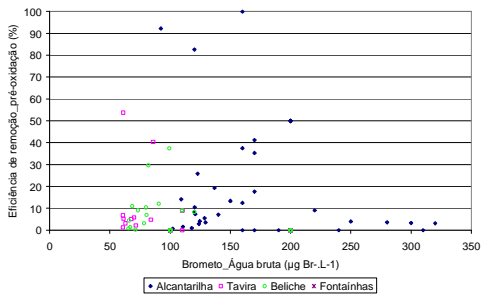
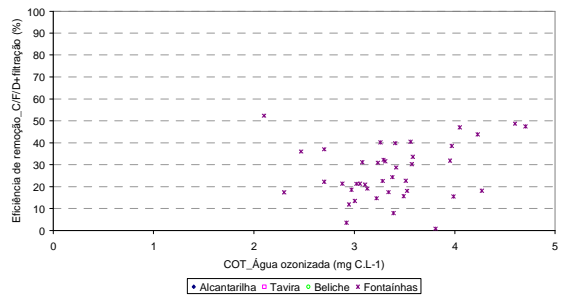
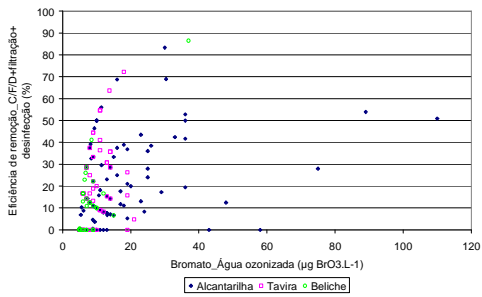
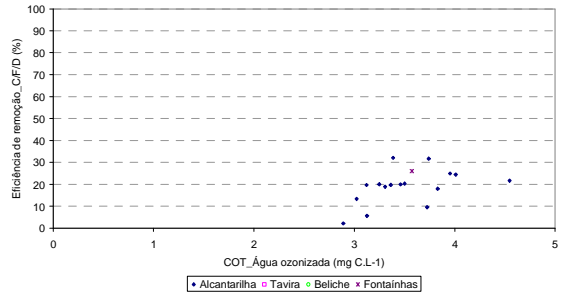
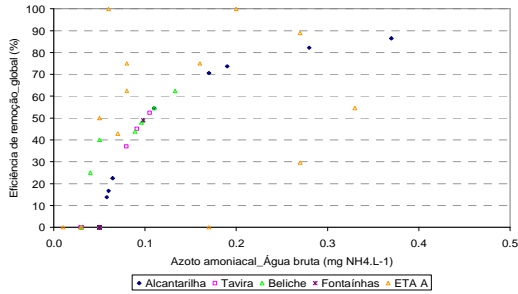
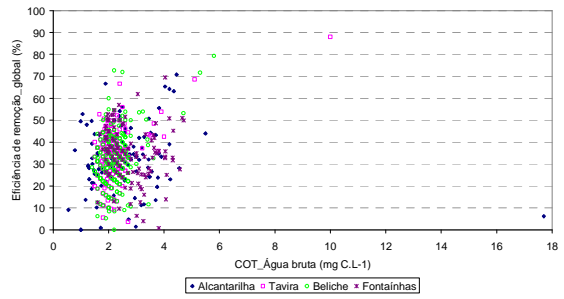
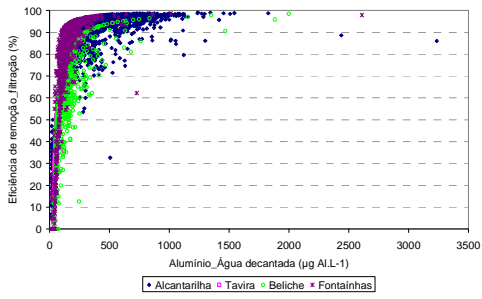
- O numerador deste ID é igual ao numerador do indicador tFi01; o denominador deste ID é igual ao numerador do indicador tFi03.
- Recomenda-se que este ID não seja calculado para períodos inferiores a 1 ano.

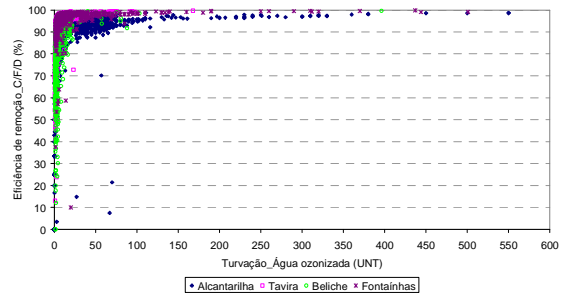
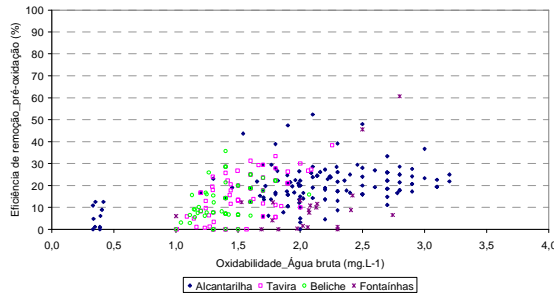
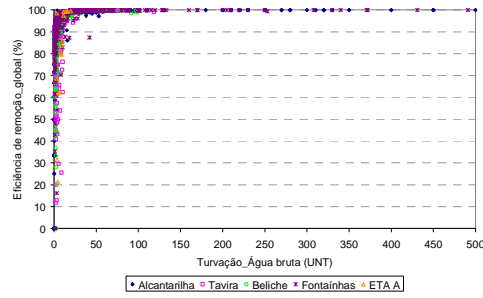
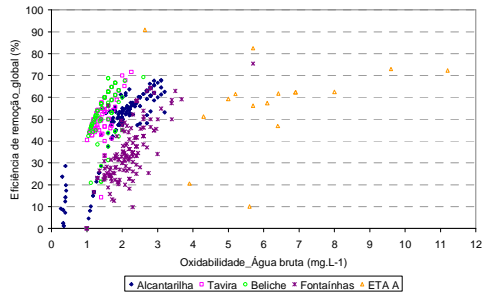
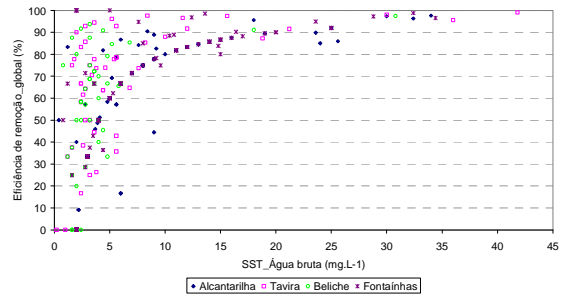
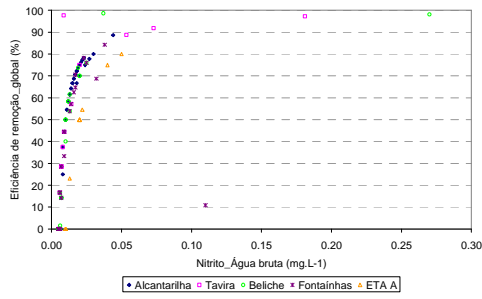
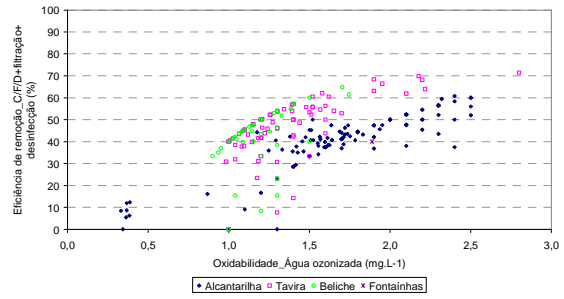
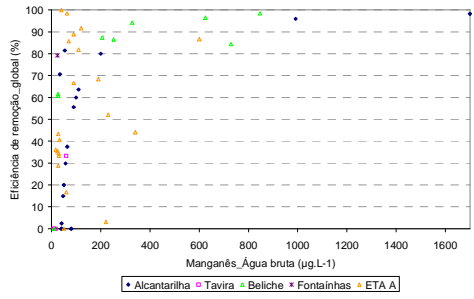
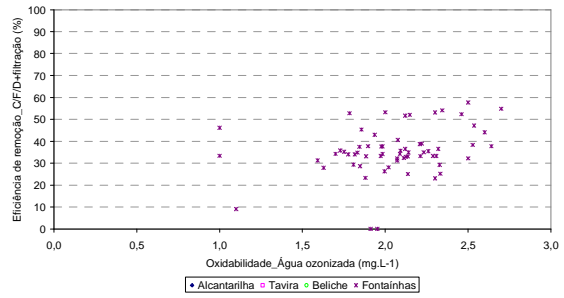
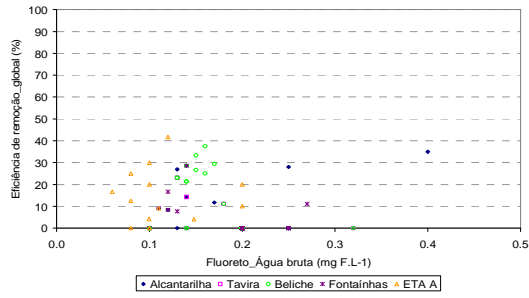
Análise dos resultados:

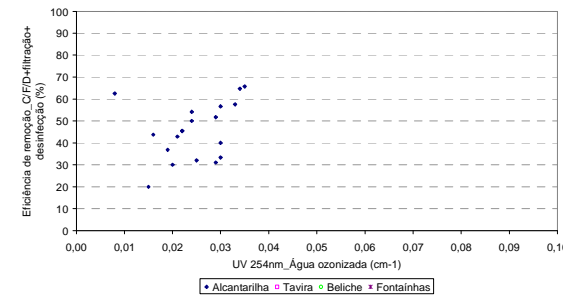
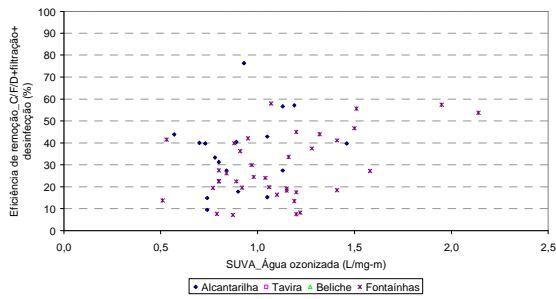
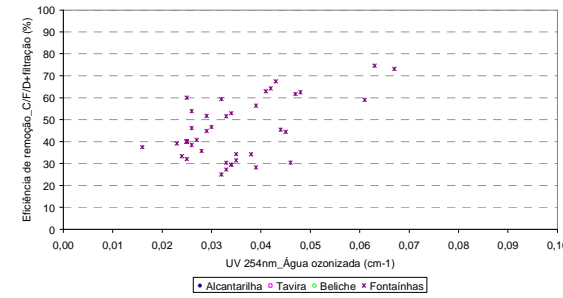
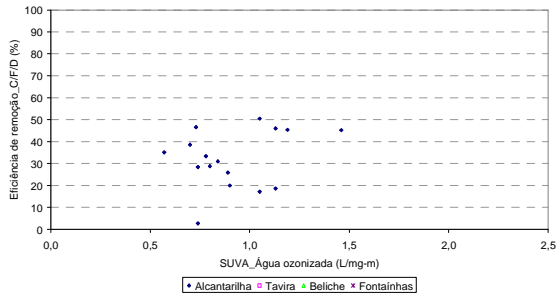
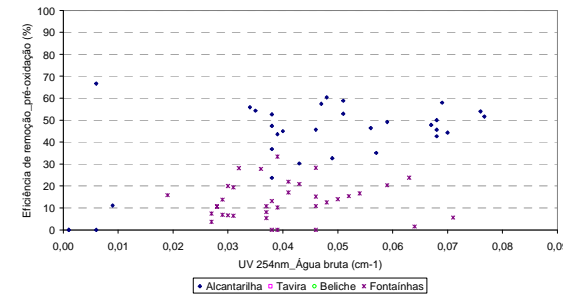
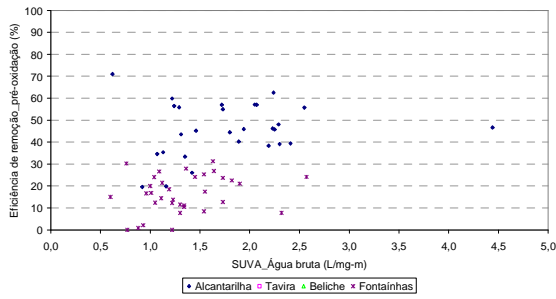
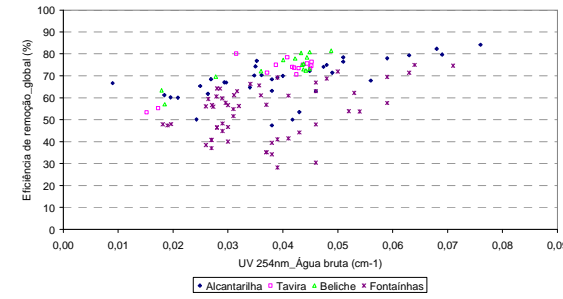
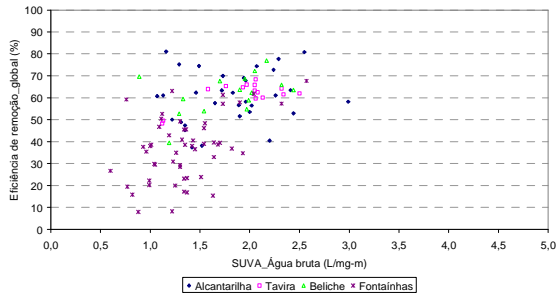
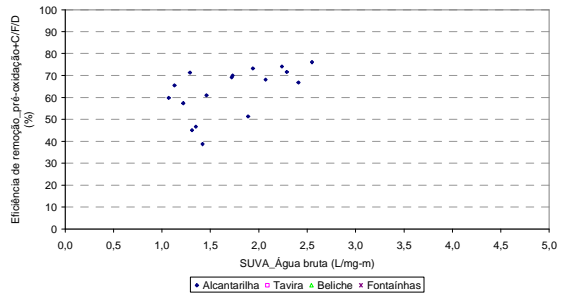
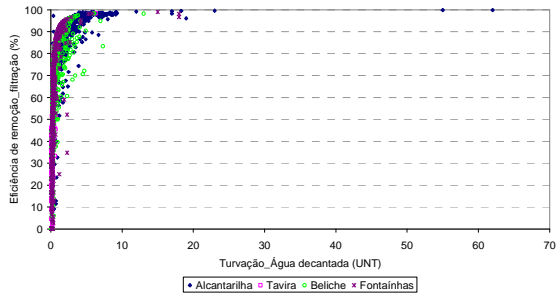
- Este ID deve ser analisado em conjunto com os indicadores relativos às várias parcelas de custos (tFi03, tFi04, tFi05, tFi06, tFi07 e tFi08) e com o indicador relativo aos proveitos (tFi01).
- A sustentabilidade financeira da entidade gestora no que se refere à ETA será tanto melhor quanto maior for o valor deste indicador.

Anexo 2

Relação entre eficiências de remoção e concentrações afluentes







Anexo 3

Fórmulas de cálculo de alguns parâmetros de operação

Parâmetro (unidade)	Fórmula de cálculo	
Gradiente de velocidade (s ⁻¹)	$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$	G: gradiente de velocidade médio (s ⁻¹) P: potência dissipada para agitar o volume de água V (W, i.e., N.m/s) V: volume de água agitada (m ³) μ: viscosidade absoluta da água (N.s/m ²)
Carga hidráulica superficial (m ³ /(m ² .h))	$\frac{Q}{As_{dec}}$	Q: caudal (m ³ /h) As _{dec} : área superficial do decantador (m ²) <i>NOTA: nos decantadores convencionais, a carga hidráulica superficial é igual à carga hidráulica; nos decantadores lamelares é diferente</i>
Carga hidráulica em decantadores lamelares [fluxo contracorrente] (m ³ /(m ² .h))	$\frac{e.v.S_c}{\left(1 - \frac{\lambda \cdot \cos \theta}{L}\right) \cdot \lambda \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} + \frac{v}{20}$ $v = \frac{Q}{As_L}$	e: espaçamento entre lamelas (m) S _c : factor função da forma das lamelas Q: caudal (m ³ /h) As _L : área superficial do decantador ocupada por lamelas (m ²) L: comprimento do decantador ocupada por lamelas (m) λ: altura das lamelas (m) θ: ângulo de inclinação das lamelas (°)
Taxa de descarga por metro de caleira (m ² /h)	$\frac{Q}{P}$	Q: caudal (m ³ /h) P: comprimento do descarregador do decantador (m)
Carga de sólidos ao decantador (g/(m ² .h))	$\frac{SST \cdot Q}{A}$	Q: caudal (m ³ /h) SST: sólidos suspensos totais da água a decantar (mg/L) A: área superficial do decantador (m ²)
Carga de sólidos ao filtro (g/(m ² .h))	$\frac{SST \cdot Q}{A}$	Q: caudal (m ³ /h) SST: sólidos suspensos totais da água a filtrar (mg/L) A: área superficial do filtro (m ²)
Número de Froude [misturadores hidráulicos] (-)	$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$	v ₁ : velocidade na secção 1 (antes do ressalto) do misturador hidráulico (m/s) g: aceleração da gravidade (9,8 m/s ²) h ₁ : altura da água na secção 1 (m)

Anexo 4

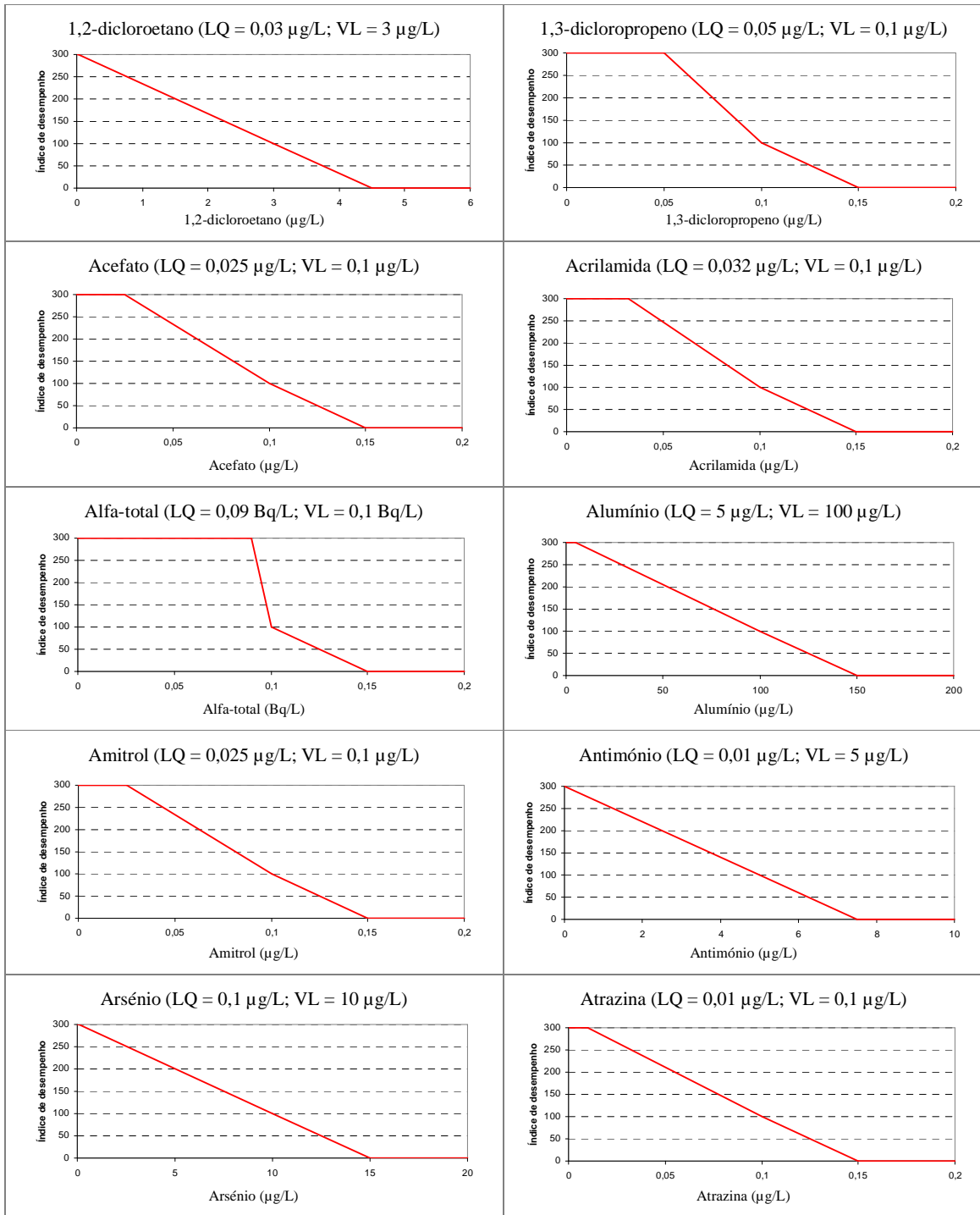
Avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada – funções de desempenho, limites de quantificação e valores-limite usados

Parâmetro	Unidade	LQ	Referência	VL	Referência
1,2-dicloroetano	µg/L	0,03	OMS, 2006	3	DL n.º 306/2007
1,3-dicloropropeno	µg/L	0,05	Consulta lab.	0,1	DL n.º 306/2007
Acefato	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Acrilamida	µg/L	0,032	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Alfa-total	Bq/L	0,09	Consulta lab.	0,1	ERP5001/2 de 2008
Alumínio	µg/L	5	Consulta lab.	100	ERP5001/2 de 2008
Amitrol	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Antimônio	µg/L	0,01	OMS, 2006	5	DL n.º 306/2007
Arsénio	µg/L	0,1	OMS, 2006	10	DL n.º 306/2007
Atrazina	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Azoto amoniacal	mg/L	0,03	Consulta lab.	0,5	DL n.º 306/2007
Benzeno	µg/L	0,2	OMS, 2006	1	DL n.º 306/2007
Beta-total	Bq/L	0,1	Consulta lab.	1	DL n.º 306/2007
Boro	mg/L	0,0002	OMS, 2006	1	DL n.º 306/2007
Bromato	µg/L	0,2	OMS, 2006	10	DL n.º 306/2007
Cádmio	µg/L	0,01	OMS, 2006	5	DL n.º 306/2007
Cálcio	mg/L	0,5	Consulta lab.	100	DL n.º 306/2007
Captana	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Chumbo	µg/L	1	OMS, 2006	10	DL n.º 306/2007
Cianeto	µg/L	2	OMS, 2006	50	DL n.º 306/2007
Cimoxanil	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Cloreto	mg/L	15	Consulta lab.	200	ERP5001/2 de 2008
Cloreto de vinilo	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,5	DL n.º 306/2007
Clorito	mg/L	0,005	Consulta lab.	0,7	ERP5001/2 de 2008
Cloro	mg/L	n.a.	-	0,2-1	ERP5001/2 de 2008
Clorofeninfos	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Clorpirifos	µg/L	0,05	Consulta lab.	0,1	DL n.º 306/2007
Cobre	mg/L	0,3	OMS, 2006	2	DL n.º 306/2007
Condutividade	µS.cm ⁻¹	0,01	Consulta lab.	2500	DL n.º 306/2007
Cor	mg/L PtCo	2	Consulta lab.	15	ERP5001/2 de 2008
Crómio	µg/L	0,05	OMS, 2006	50	DL n.º 306/2007
Dazomete	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Desetilatrazina	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Desetilsimazina	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Desetilterbutilazina	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Dimetato	µg/L	0,05	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Dinocape	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Diurão	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Dose indicativa total	mSv/ano	0,013	Consulta lab.	0,1	DL n.º 306/2007
Dureza	mg CaCO ₃ /L	32,5	DL n.º 306/2007	250	ERP5001/2 de 2008
Endossulfão	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Endossulfão I	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Endossulfão II	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Epicloridrina	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Etilparatão	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Ferro	µg/L	5	Consulta lab.	200	DL n.º 306/2007
Fluoreto	mg/L	0,01	OMS, 2006	1,5	DL n.º 306/2007
Folpete	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Fosetil-alumínio	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Índice de Langelier	-	n.a.	-	-0,5 a +0,5	DL n.º 306/2007
Lindano	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Linurão	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Magnésio	mg/L	0,5	Consulta lab.	50	DL n.º 306/2007
Mancozebe	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Manganês	µg/L	0,01	OMS, 2006	50	DL n.º 306/2007
Mercurio	µg/L	0,05	OMS, 2006	1	DL n.º 306/2007
Metame-sódio	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Metidatião	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Metolacoloro	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Microcistina-LR	µg/L	0,1	OMS, 2006	1	DL n.º 306/2007
Molinato	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Níquel	µg/L	0,1	OMS, 2006	20	DL n.º 306/2007
Nitrato	mg/L	0,01	OMS, 2006	50	DL n.º 306/2007
Nitrito	mg/L	0,005	OMS, 2006	0,1	DL n.º 236/1998
Oxidabilidade	mg/L	0,1	Consulta lab.	5	DL n.º 306/2007
PAH	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Paraquato	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
pH	-	n.a.	-	6,5-9,0	DL n.º 306/2007
Propanil	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Propinebe	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Selénio	µg/L	0,5	OMS, 2006	10	DL n.º 306/2007
Simazina	µg/L	0,01	OMS, 2006	0,1	DL n.º 306/2007
Sódio	mg/L	1	Consulta lab.	200	DL n.º 306/2007
Sulfato	mg/L	1	Consulta lab.	250	DL n.º 306/2007
Terbutilazina	µg/L	0,02	Consulta lab.	0,1	DL n.º 306/2007
Tetracloroeteno e Tricloroeteno	µg/L	0,2	OMS, 2006	10	DL n.º 306/2007
THM	µg/L	0,1	OMS, 2006	80	ERP5001/2 de 2008
Tirame	µg/L	0,025	DL n.º 306/2007	0,1	DL n.º 306/2007
Tritio	Bq/L	10	Consulta lab.	50	ERP5001/2 de 2008
Turvância	UNT	0,1	Consulta lab.	1	ERP5001/2 de 2008 ¹

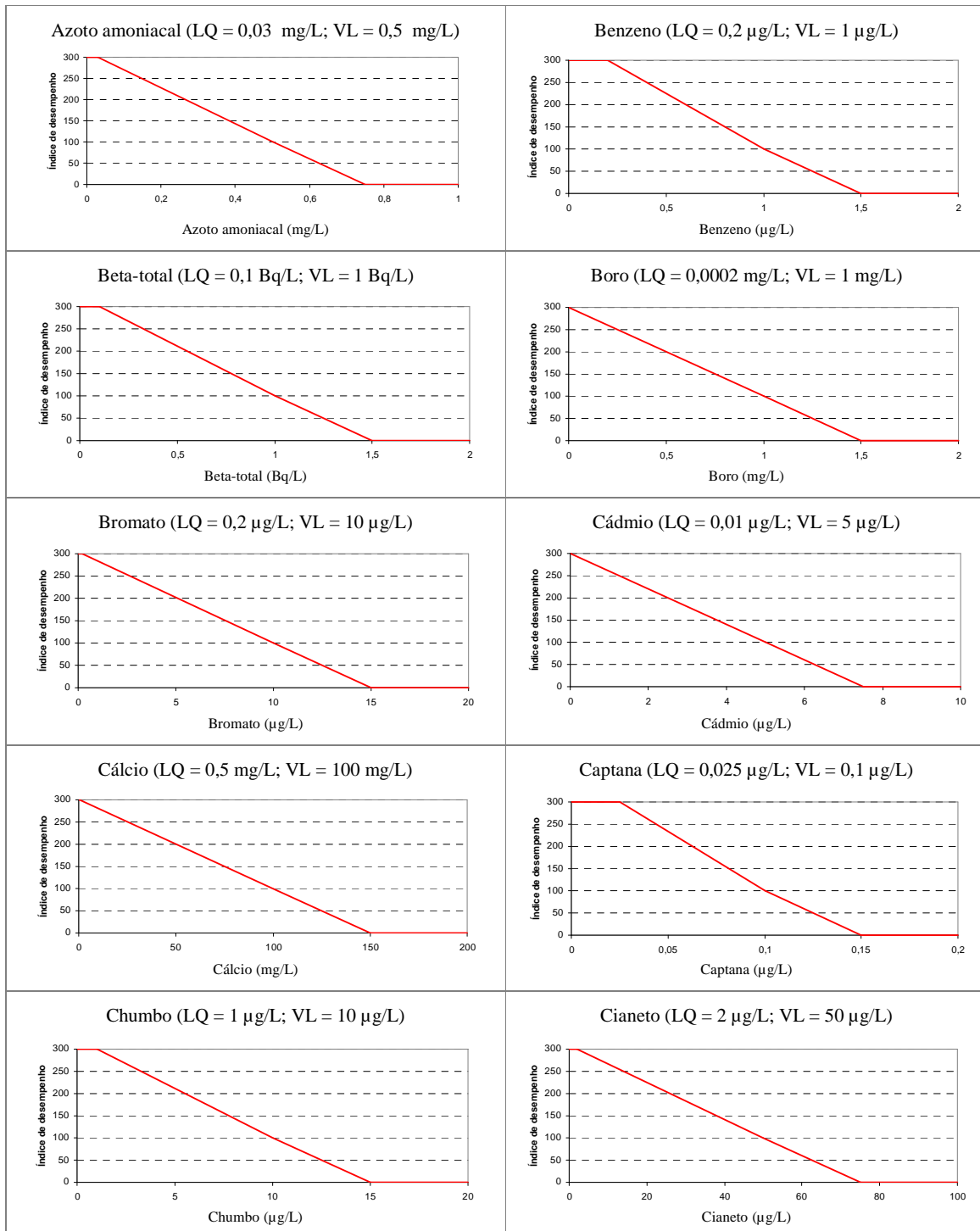
LQ: limite de quantificação; VL: valor limite; n.a.: não aplicável

¹ DL 306/2007 à saída da ETA, no caso de águas superficiais

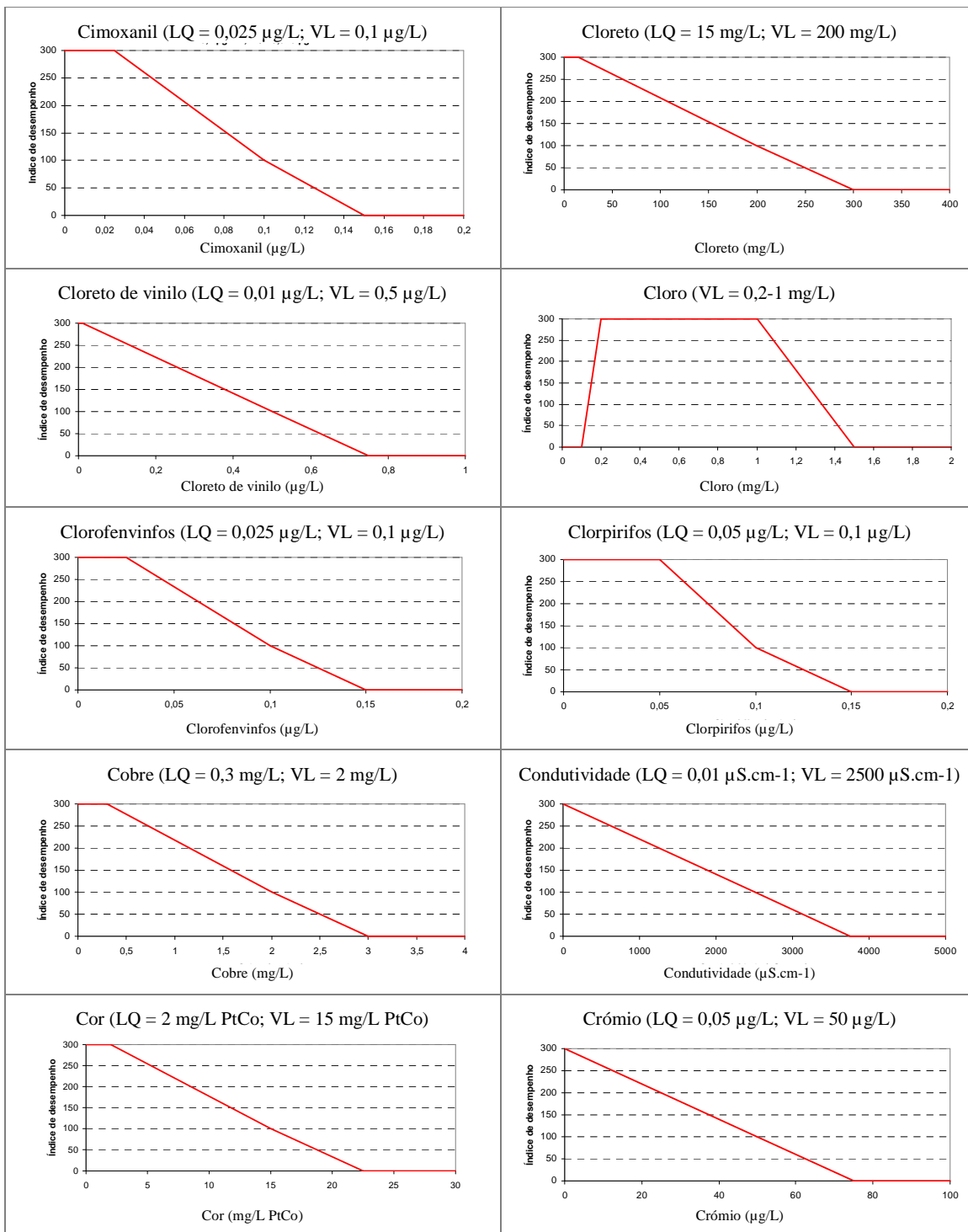
Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos



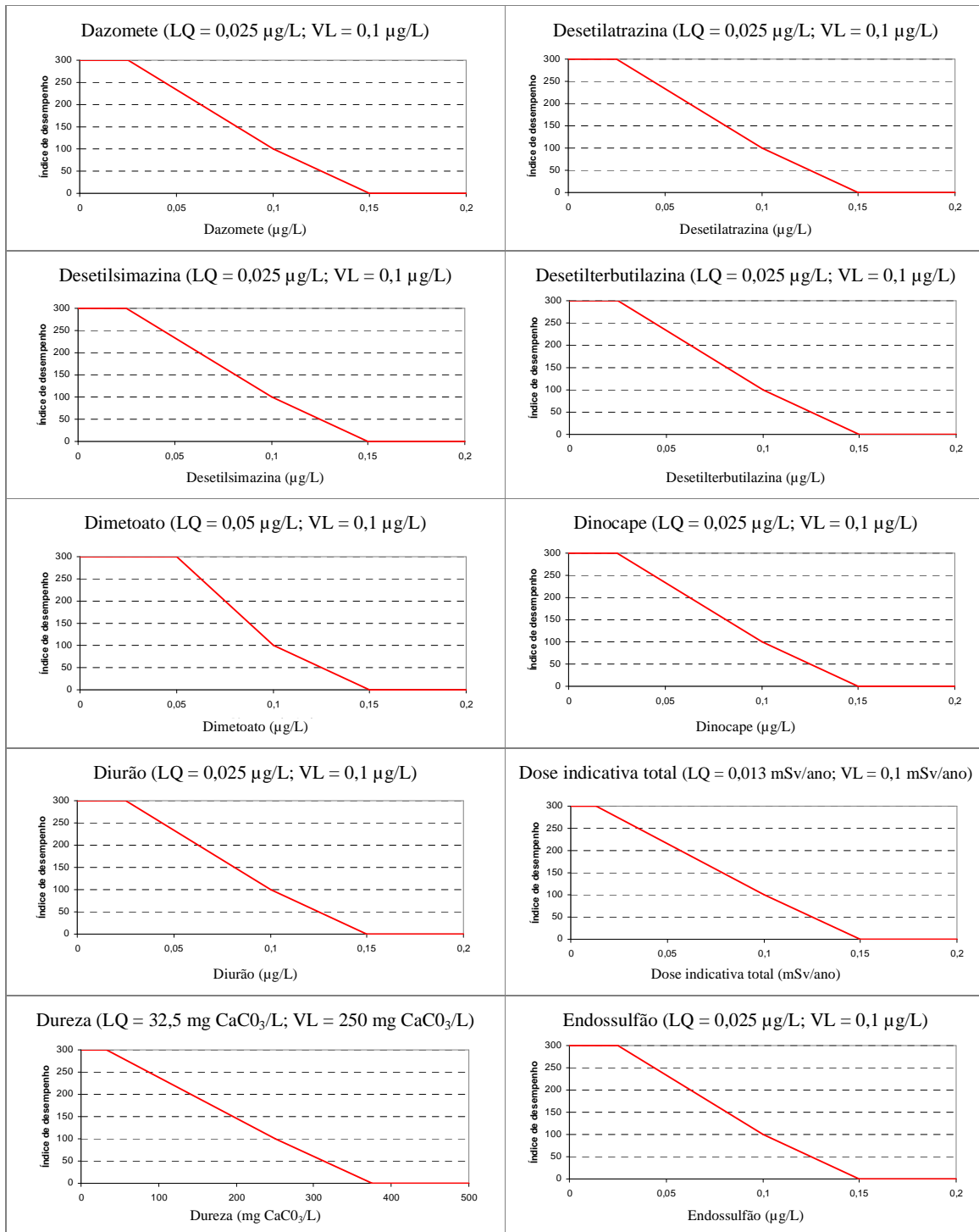
Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos (cont.)



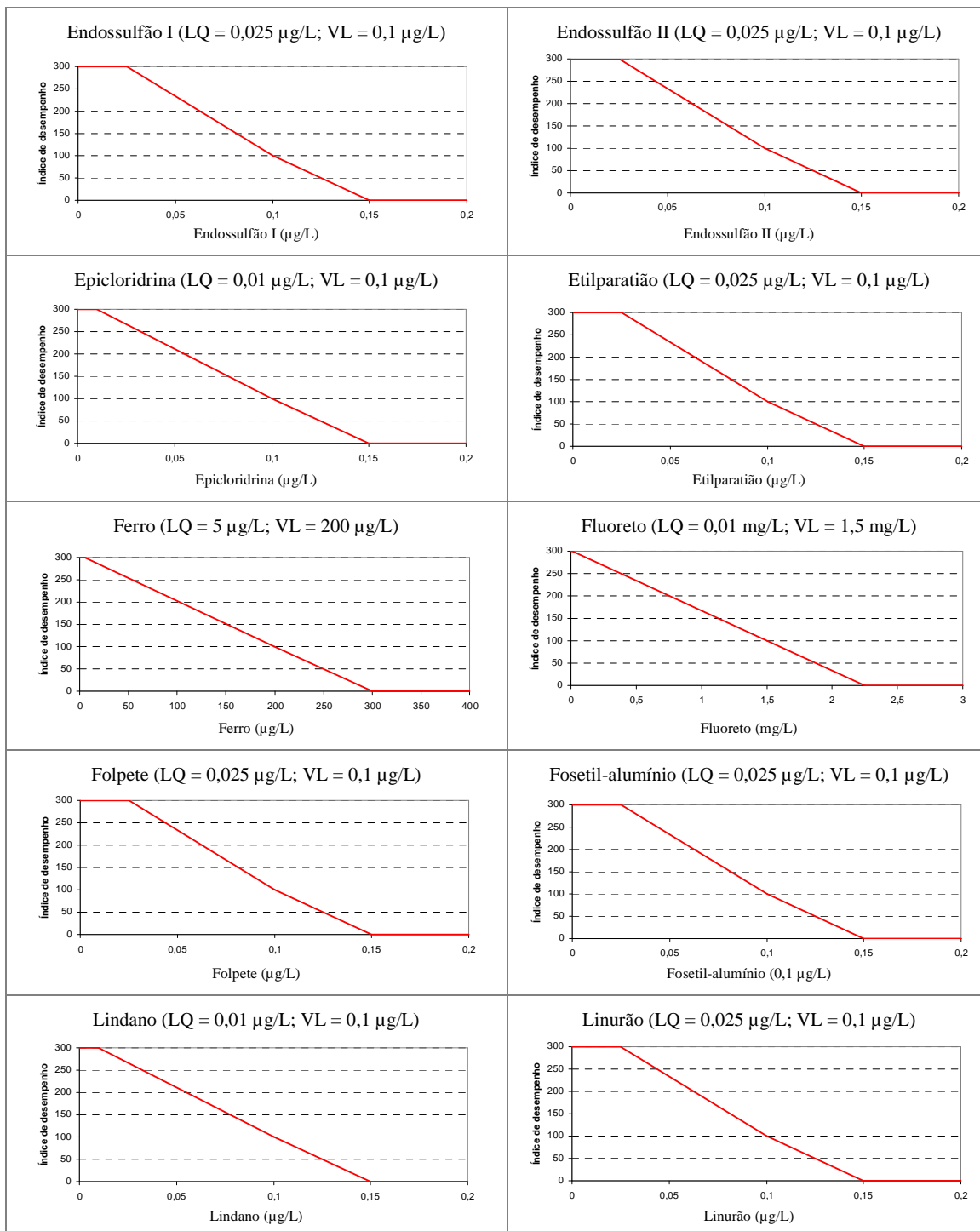
Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos (cont.)



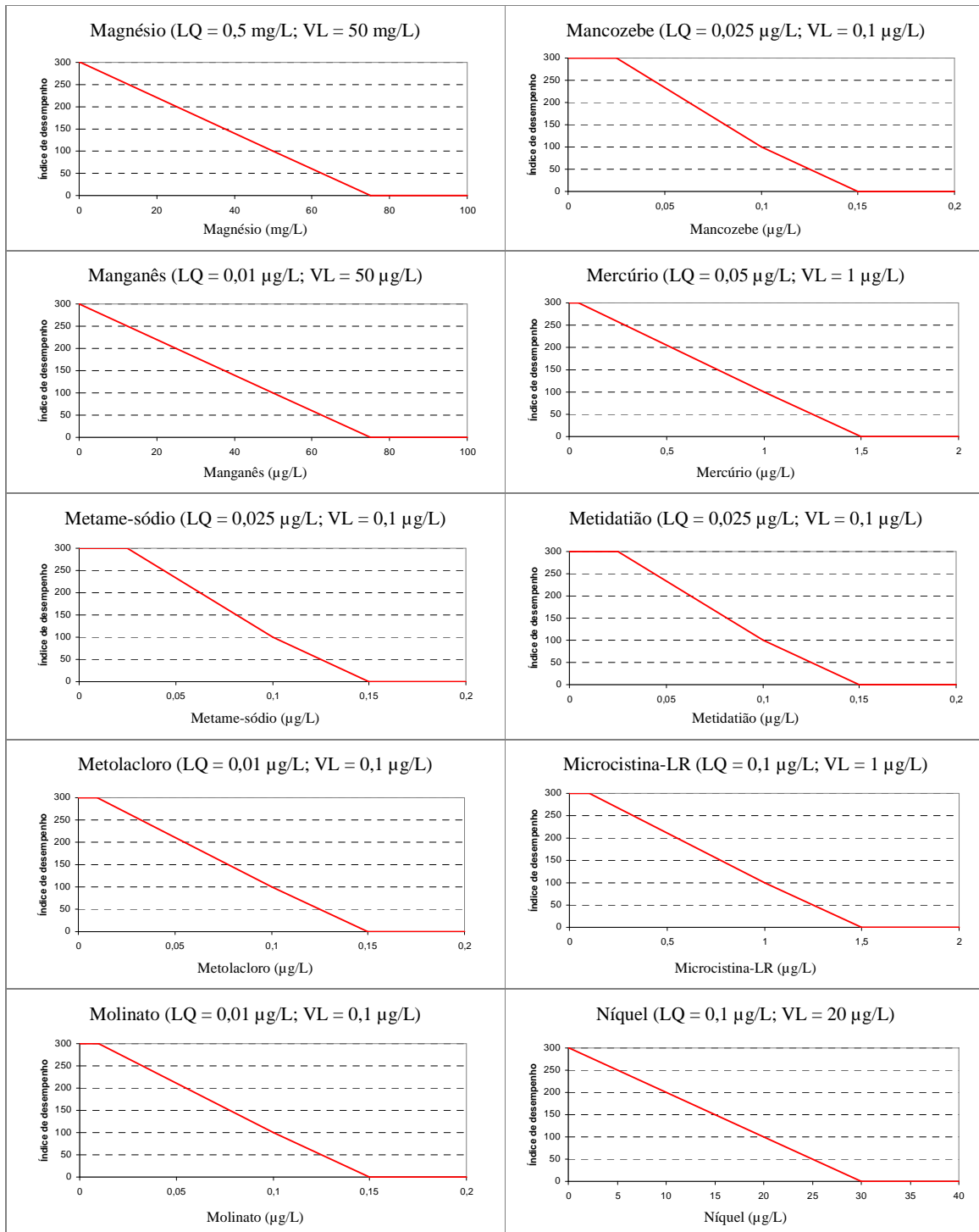
Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos (cont.)



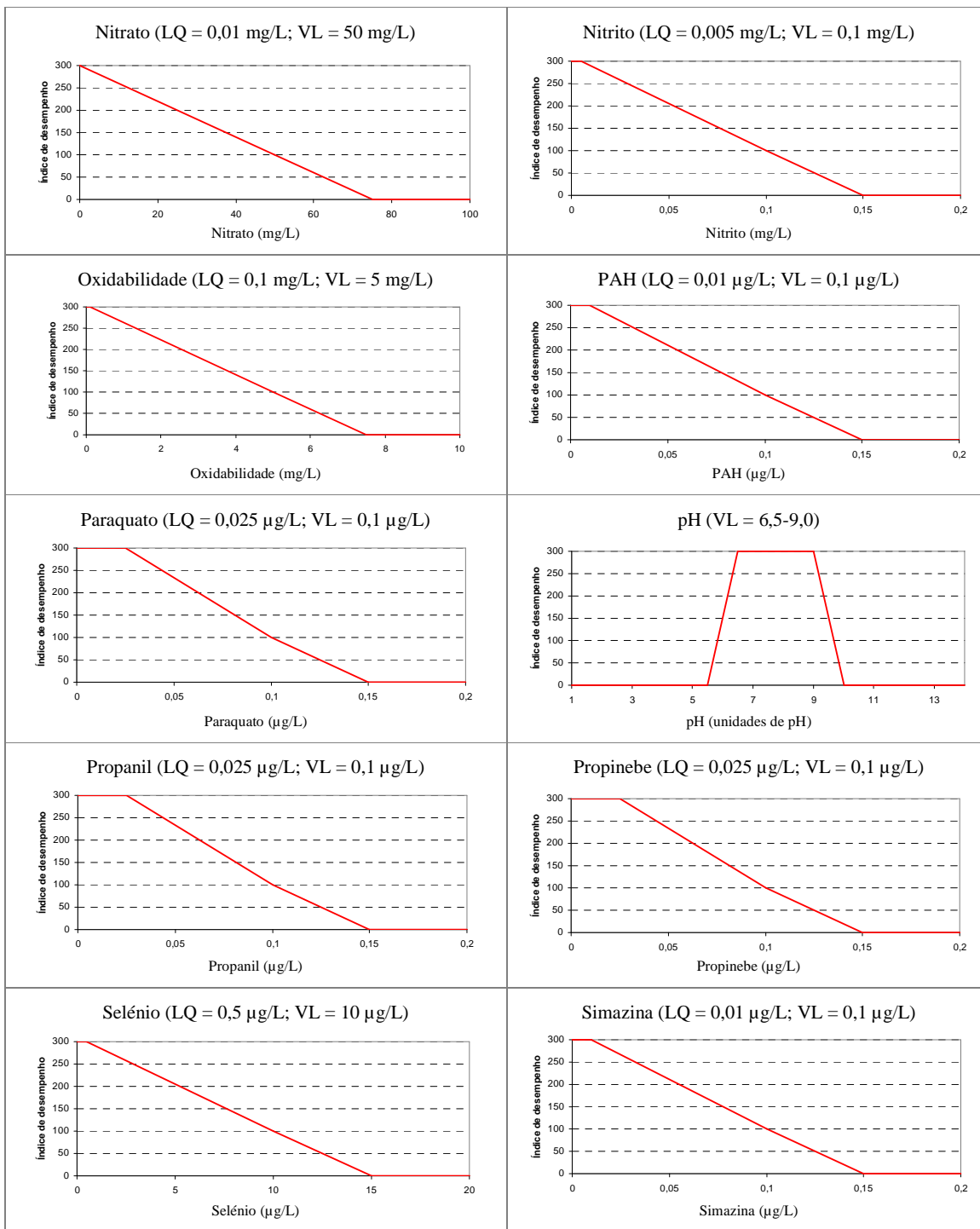
Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos (cont.)



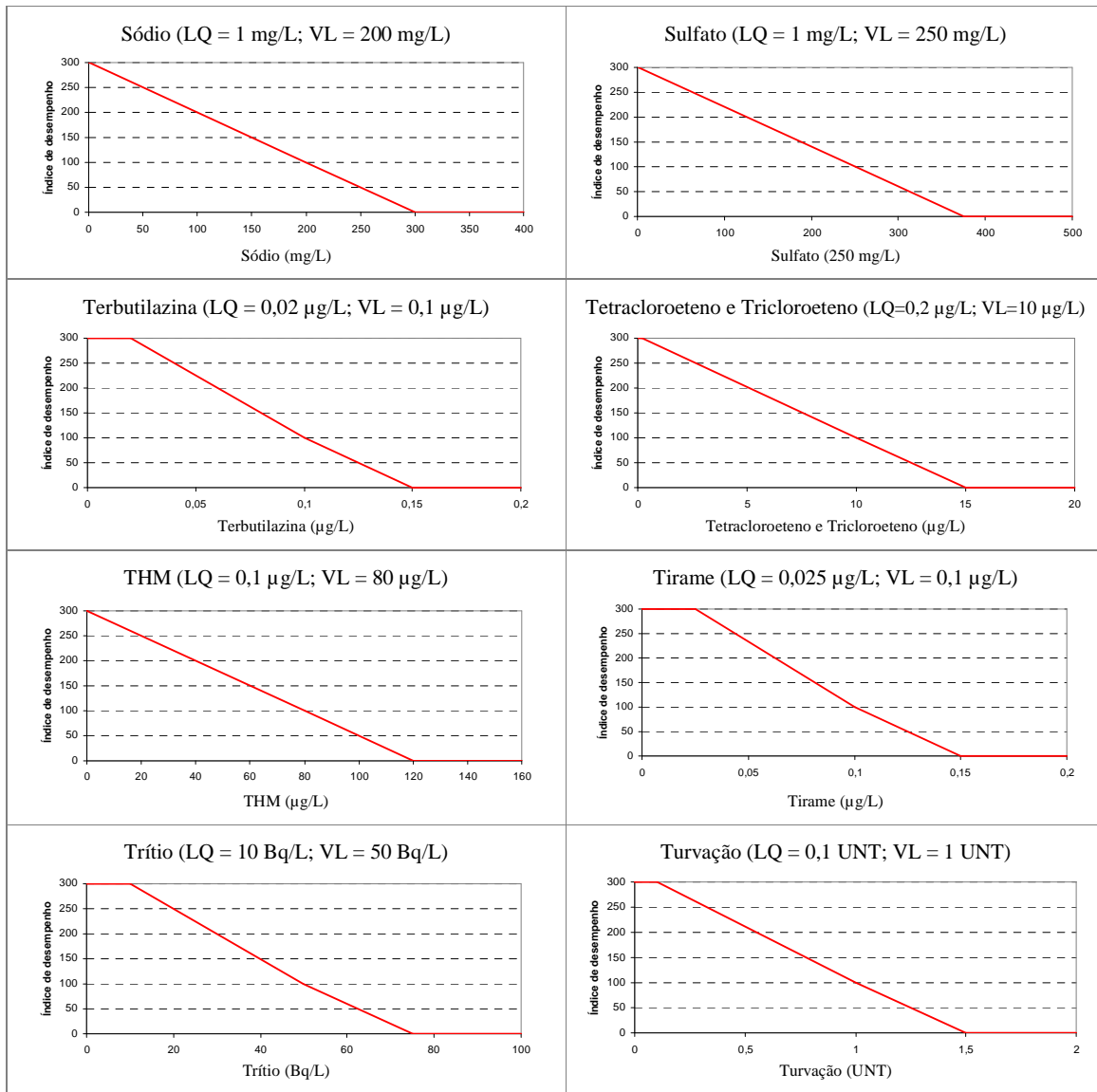
Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos (cont.)



Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos (cont.)



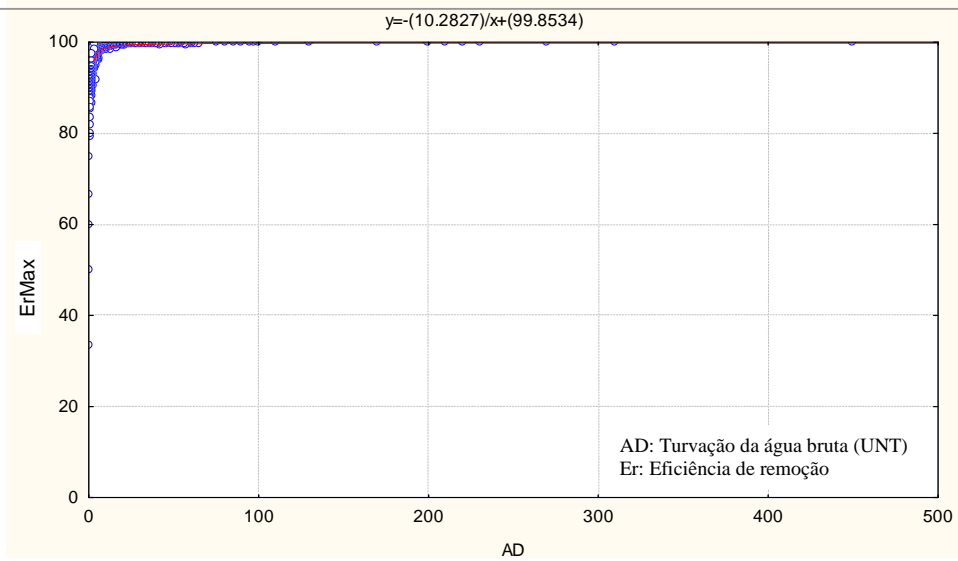
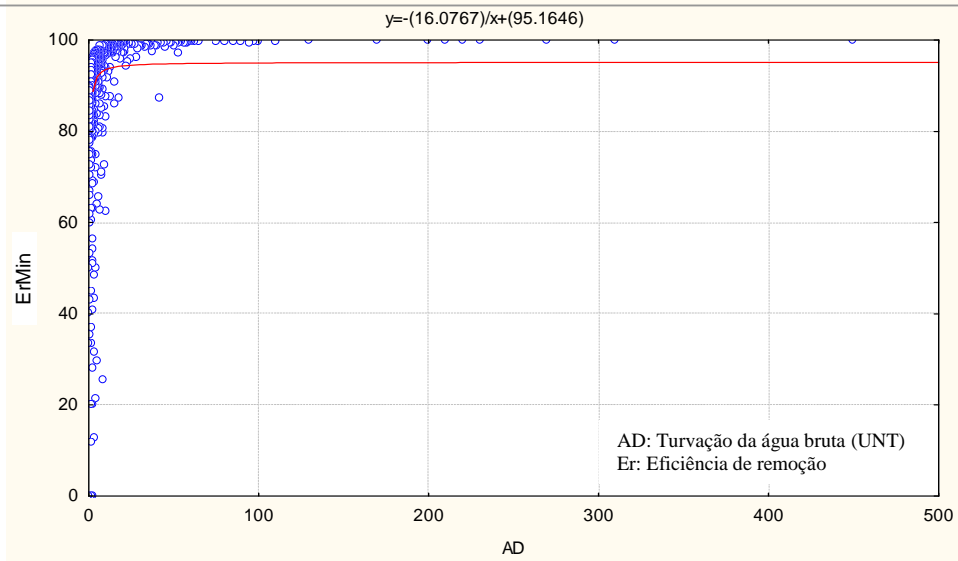
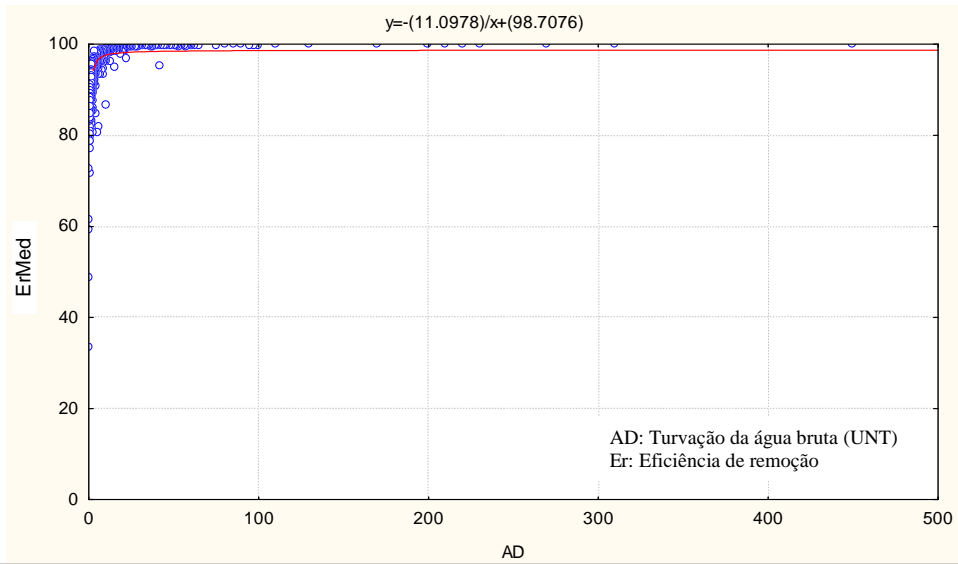
Funções de desempenho da componente OpPA_WatQ relativas aos parâmetros físico-químicos (cont.)



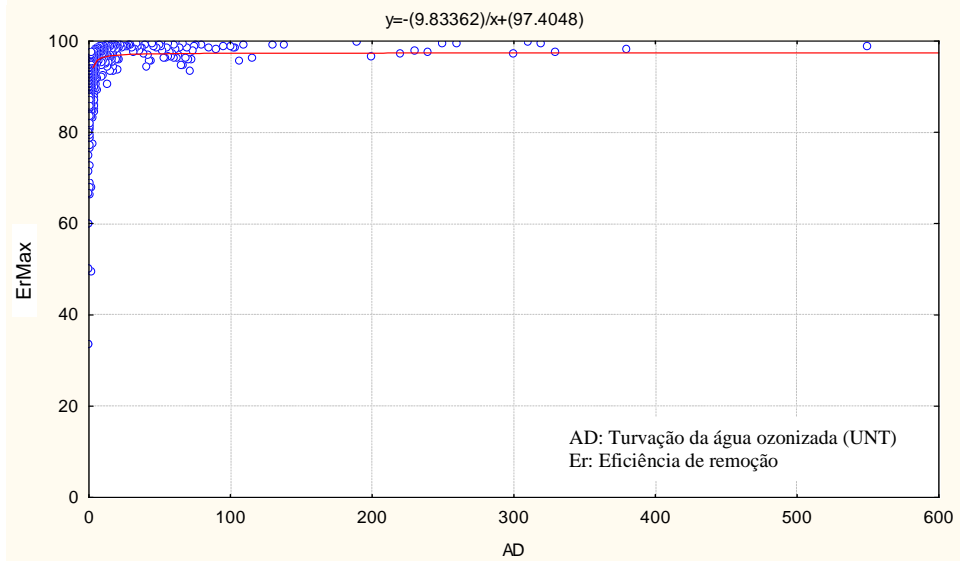
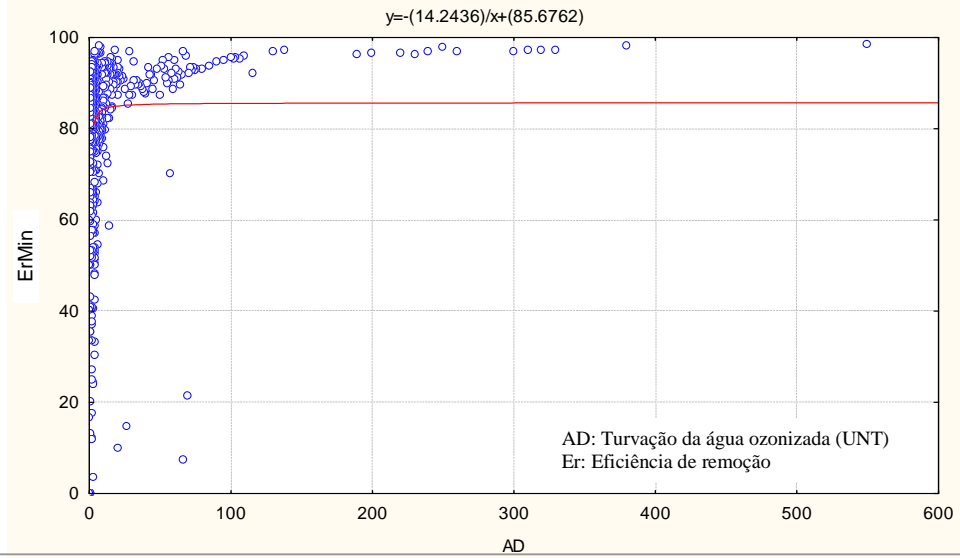
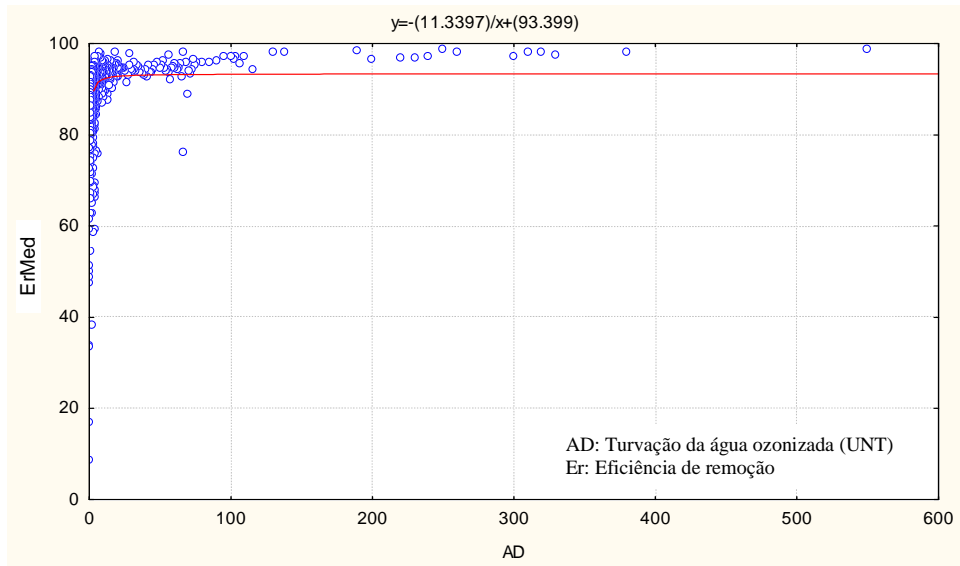
Anexo 5

Modelos de ajuste de eficiências do tratamento

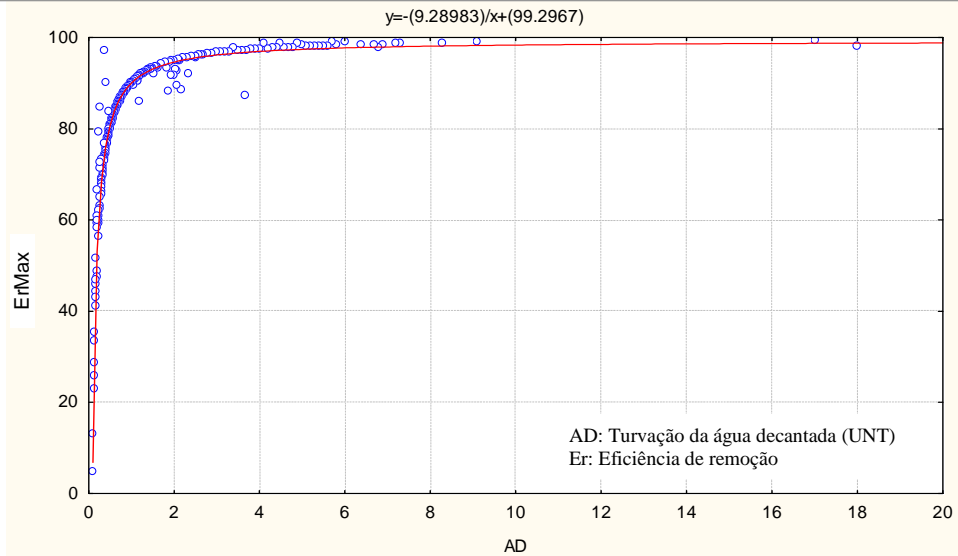
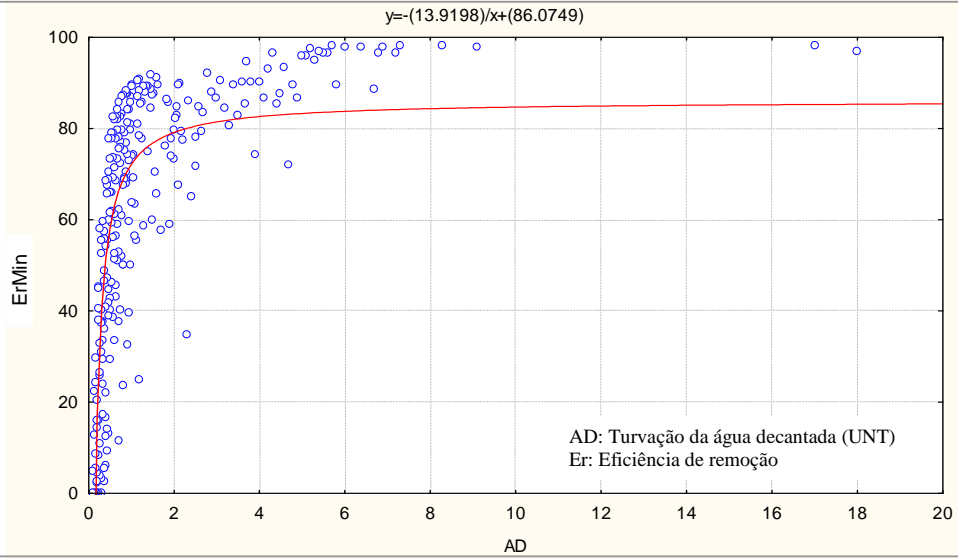
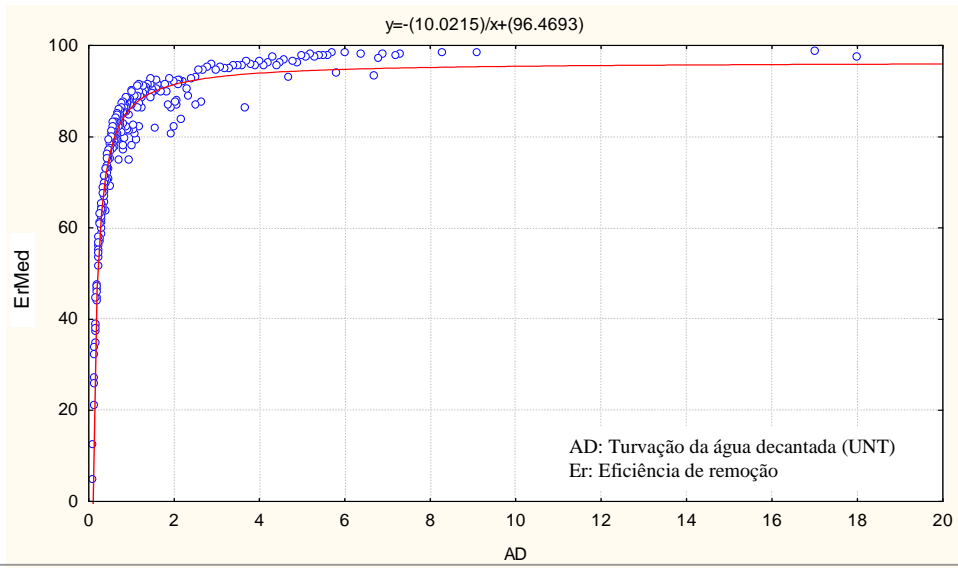
Remoção global de turvação



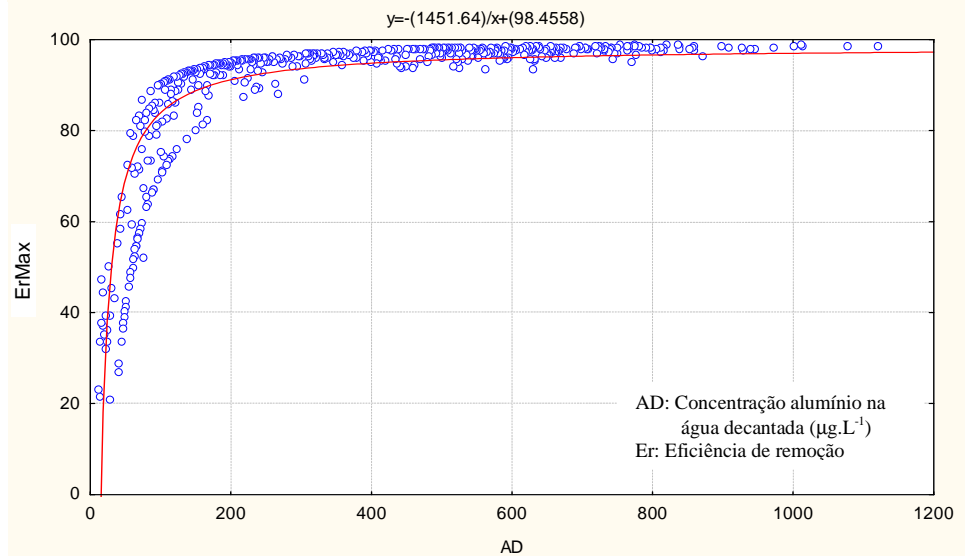
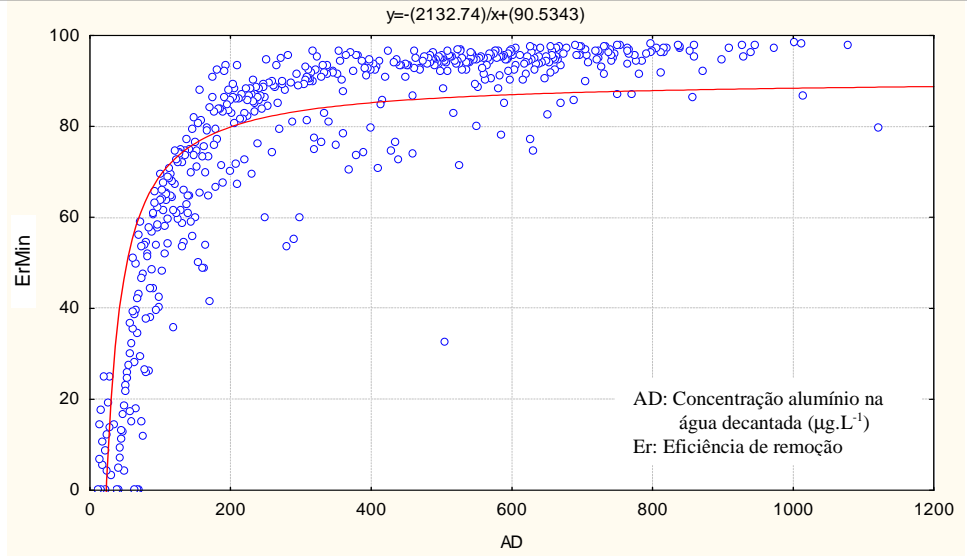
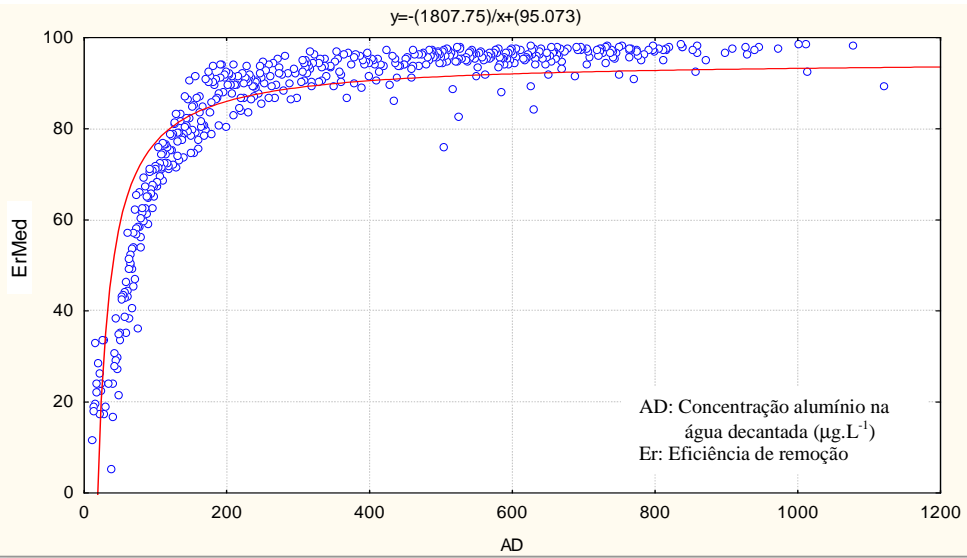
Remoção de turvação na C/F/D



Remoção de turvação na filtração



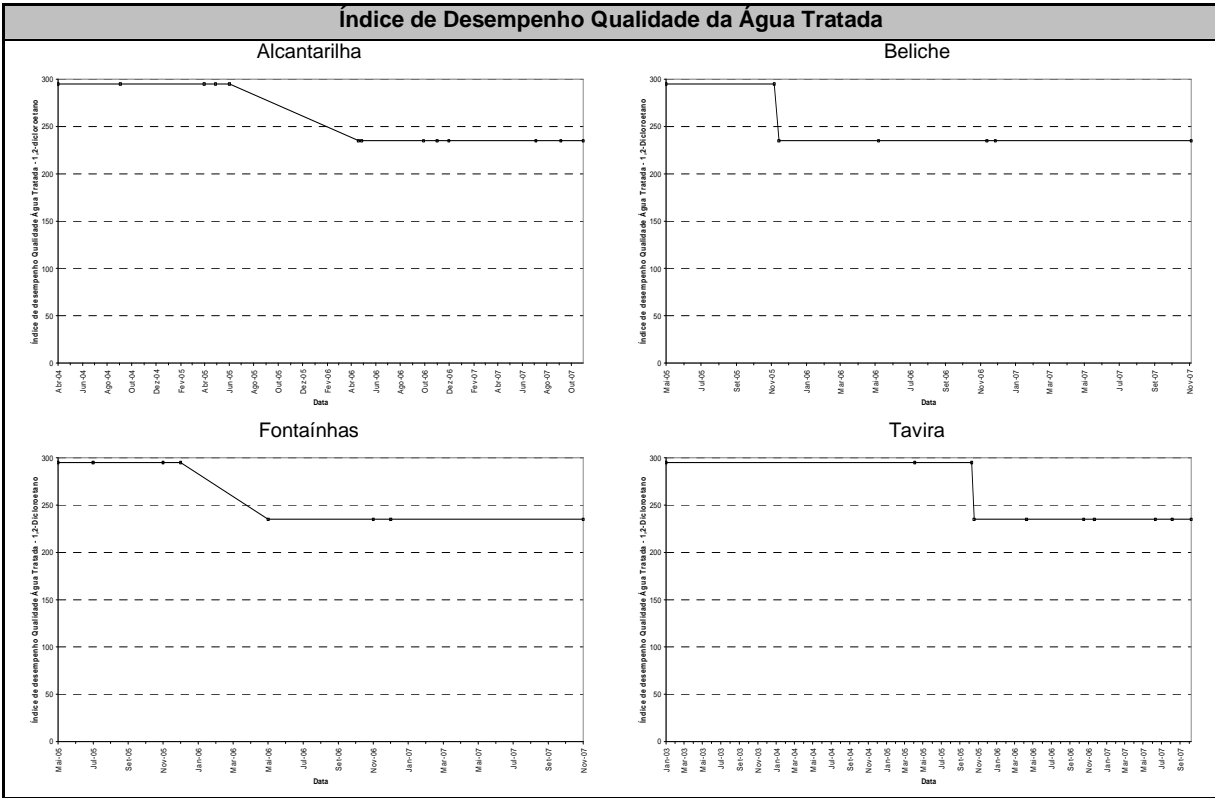
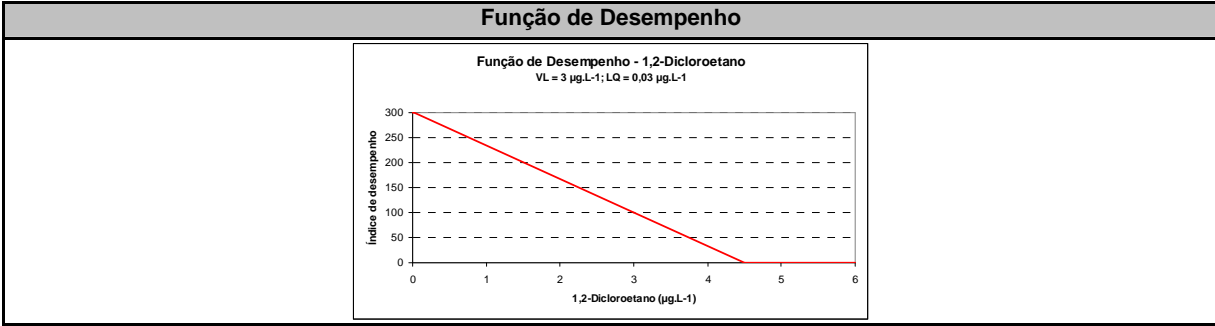
Remoção de alumínio na filtração



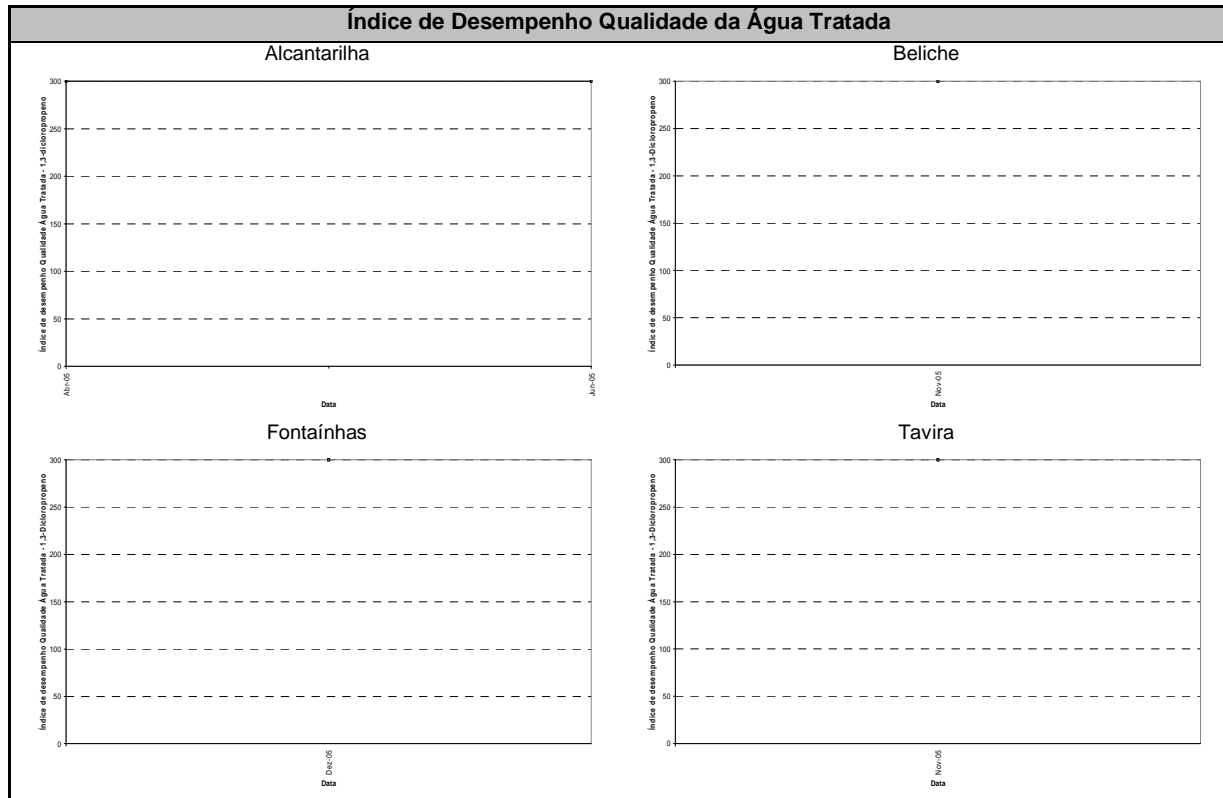
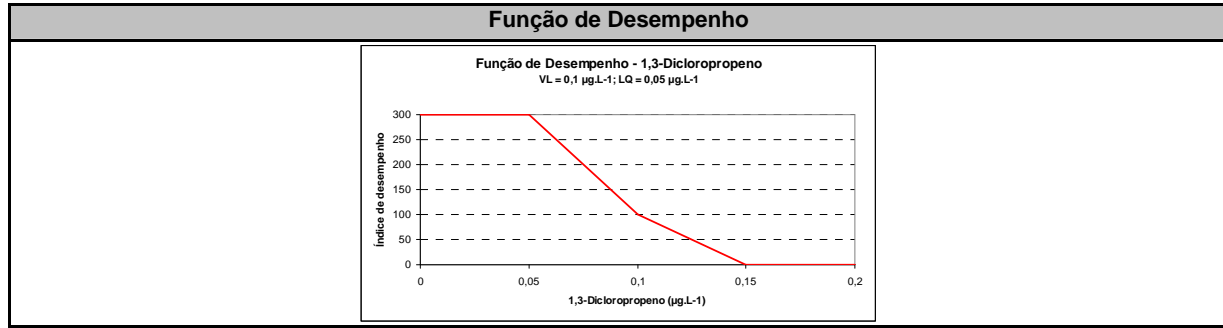
Anexo 6 (digital)

Avaliação de desempenho operacional em termos da qualidade da água tratada – variação temporal dos índices de desempenho

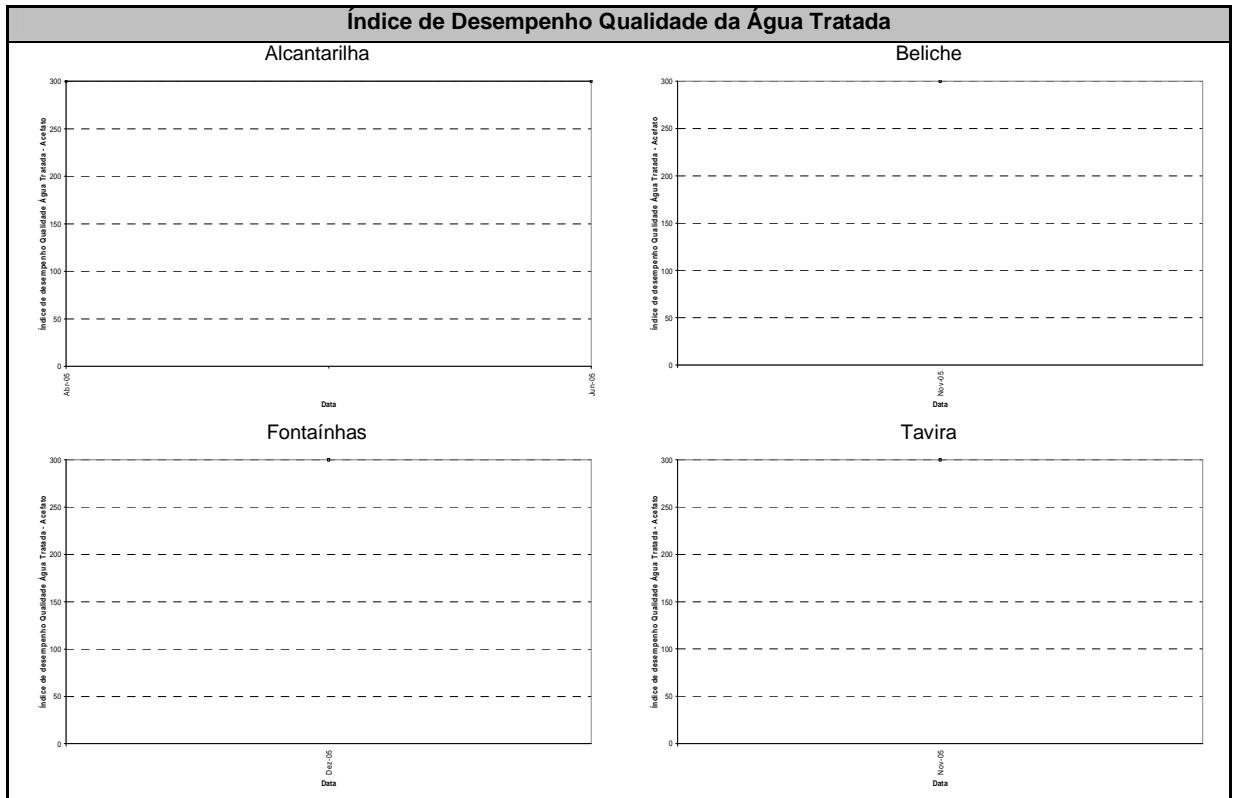
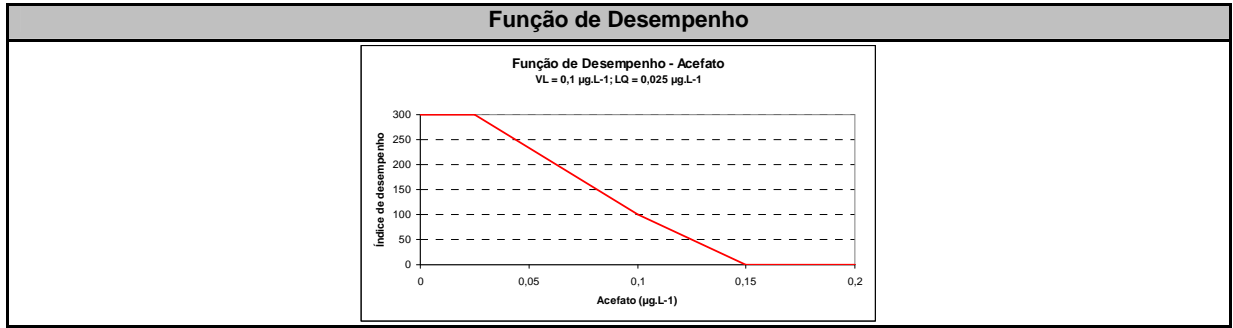
Parâmetro: 1,2-dicloroetano



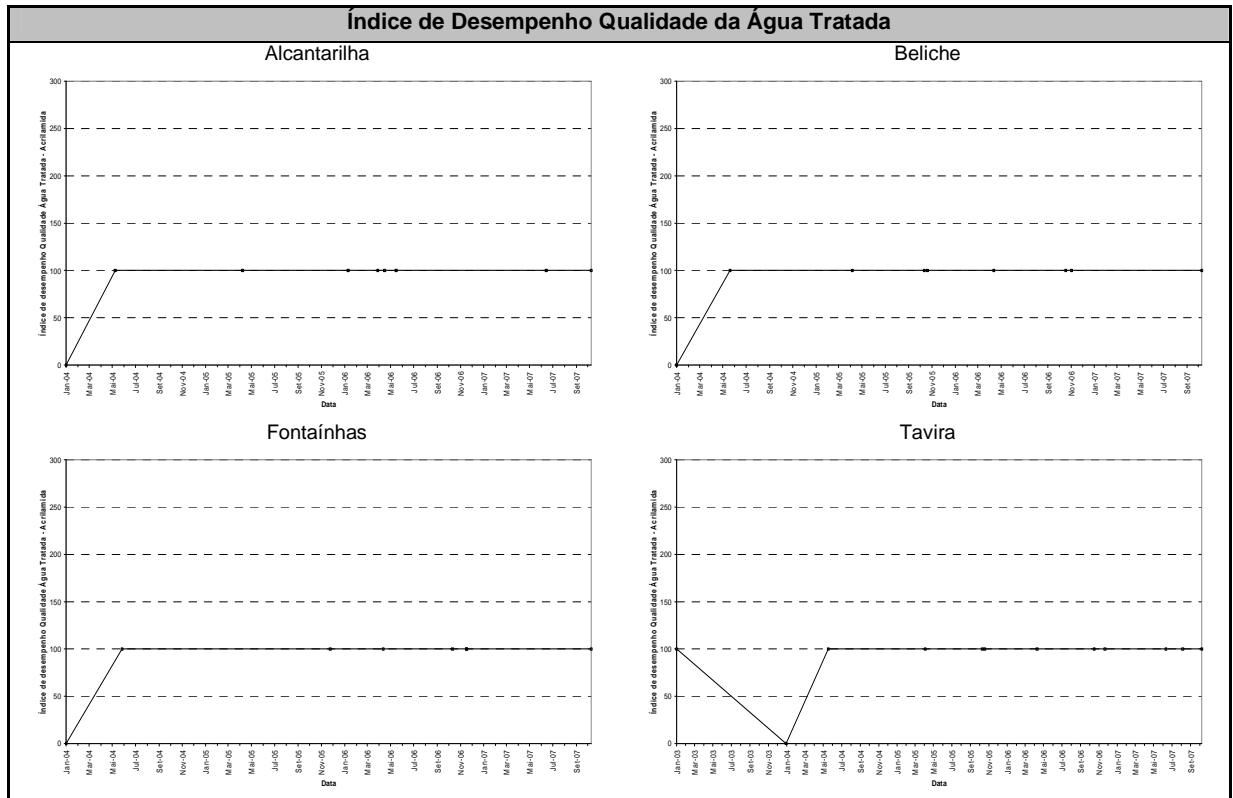
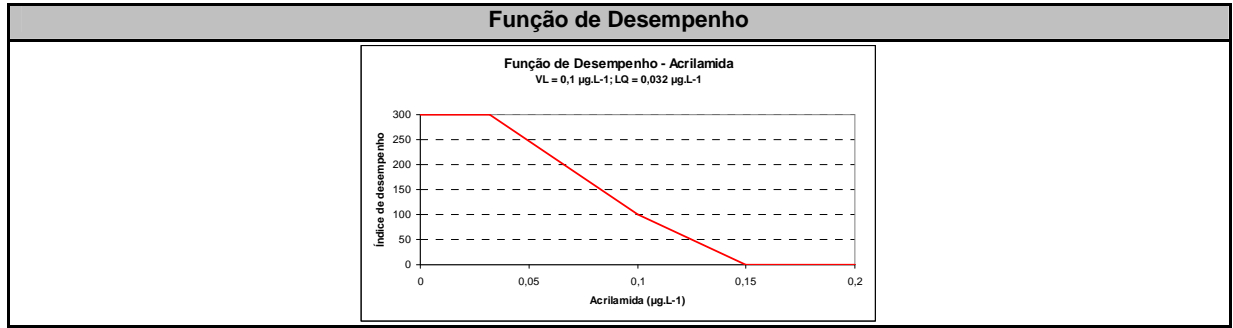
Parâmetro: 1,3-dicloropropeno



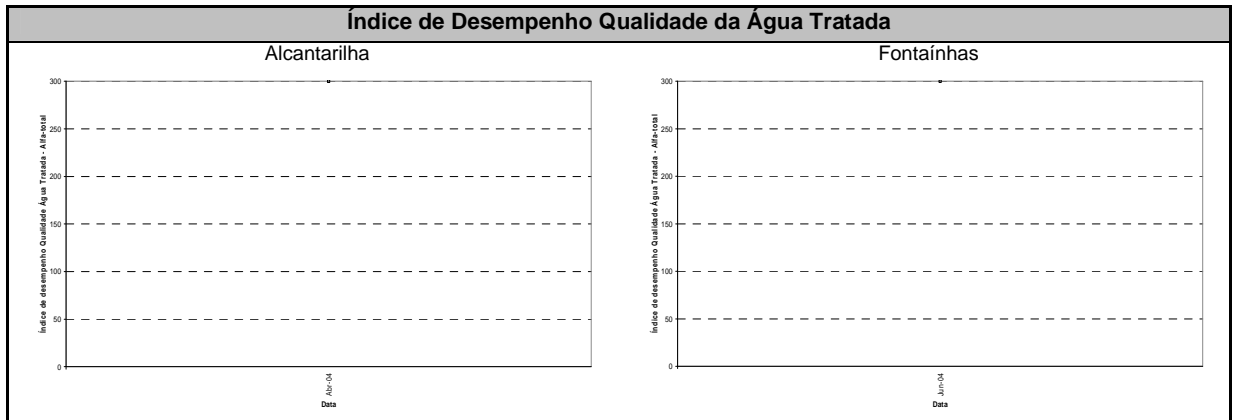
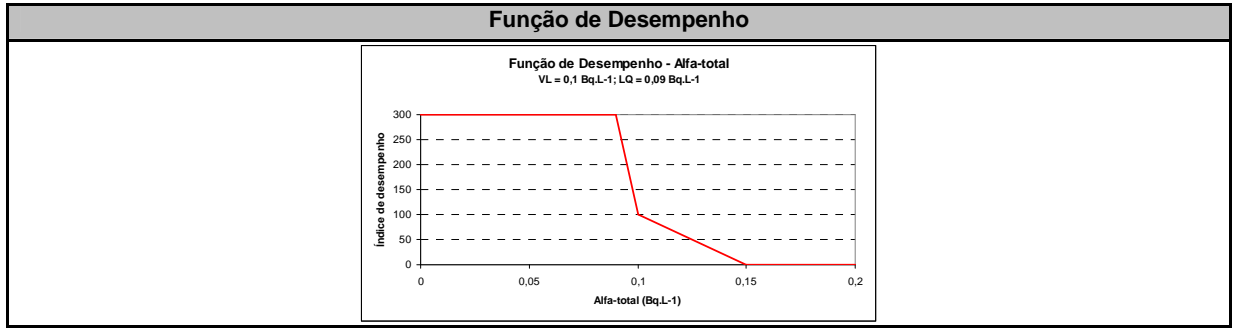
Parâmetro: acefato



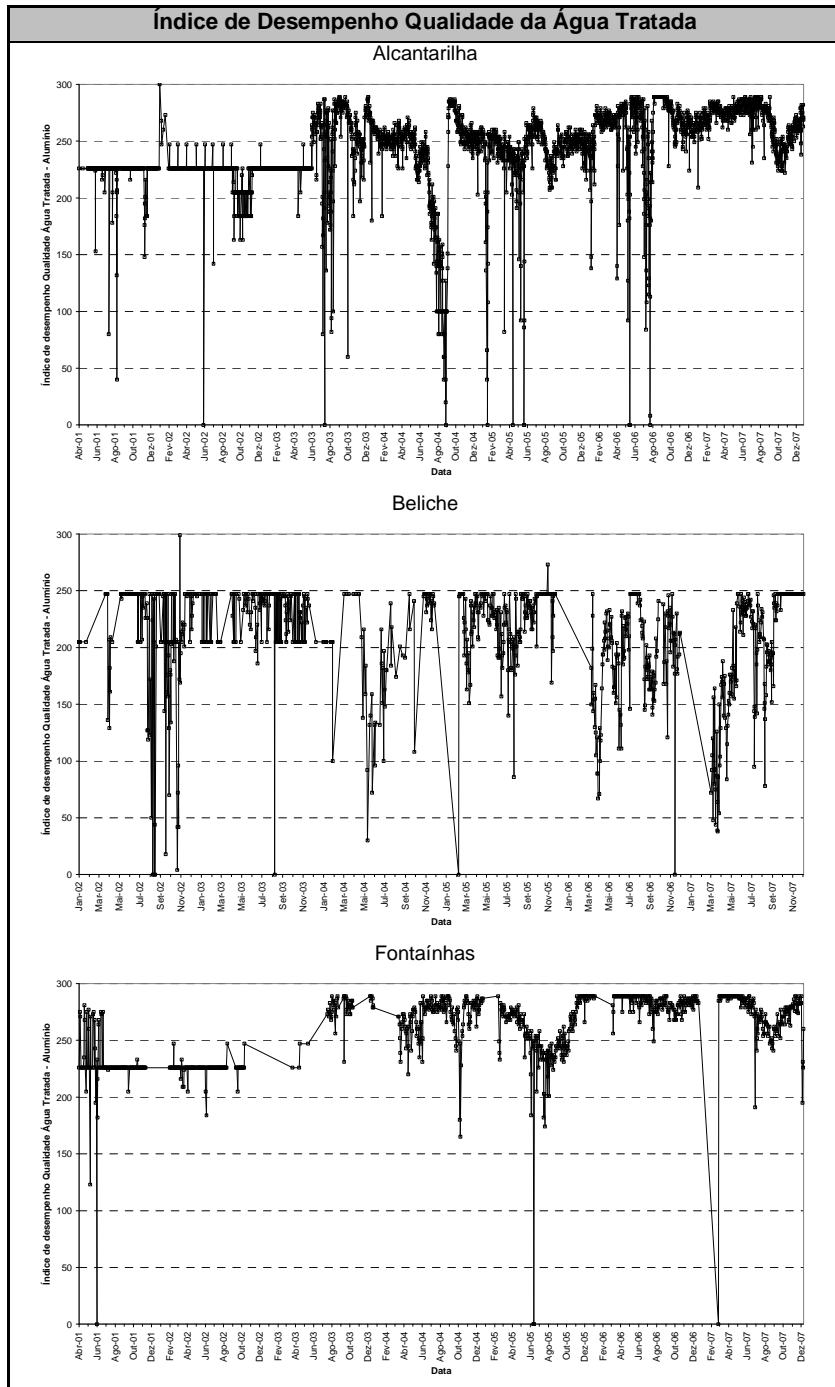
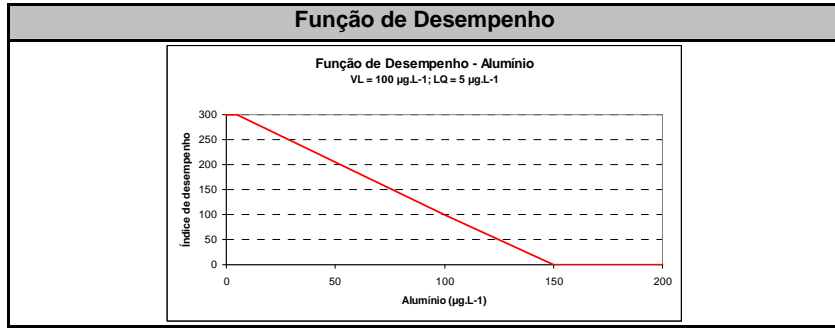
Parâmetro: acrilamida

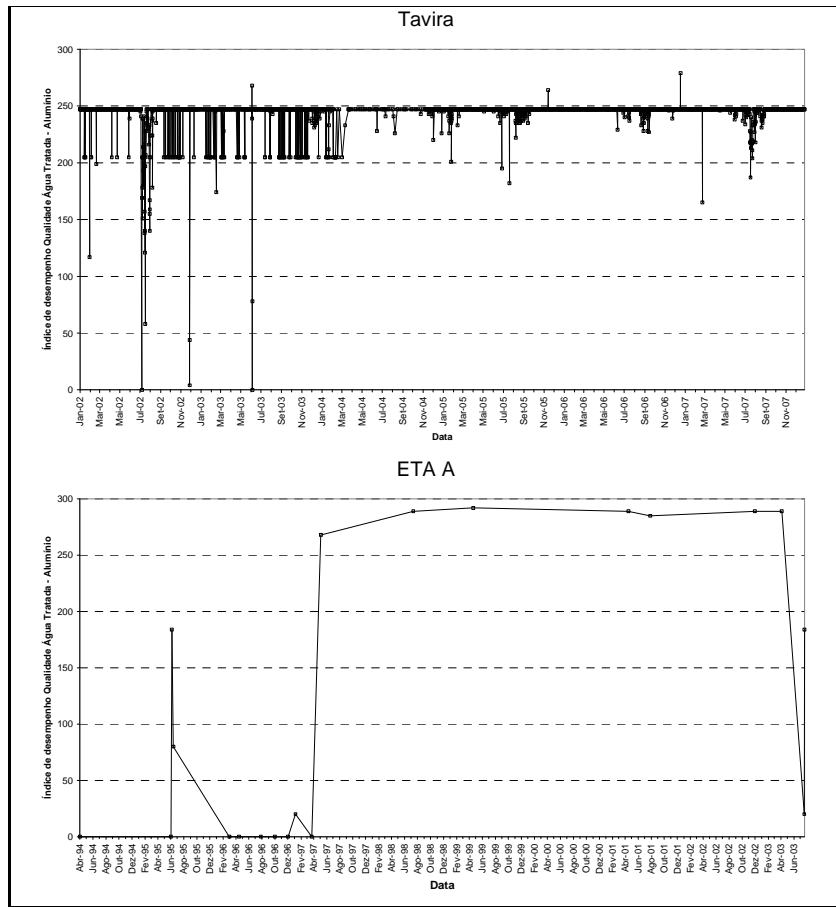


Parâmetro: alfa-total

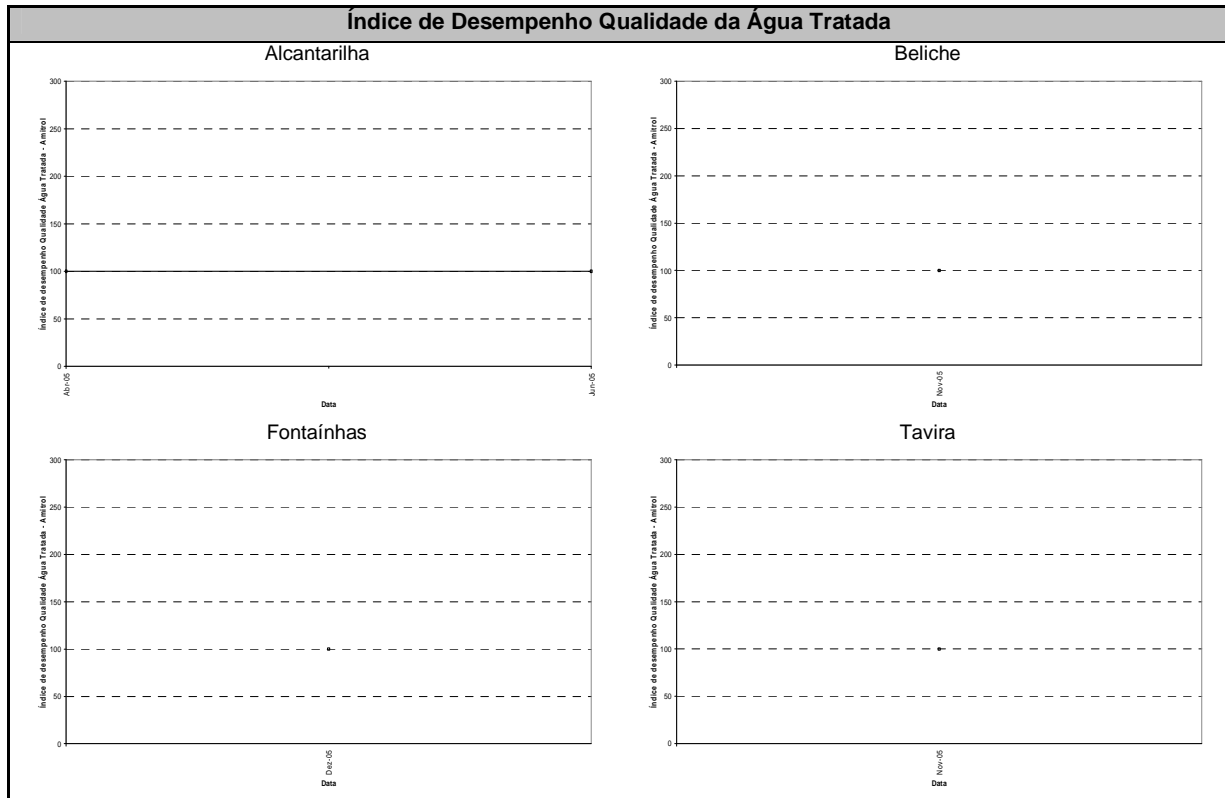
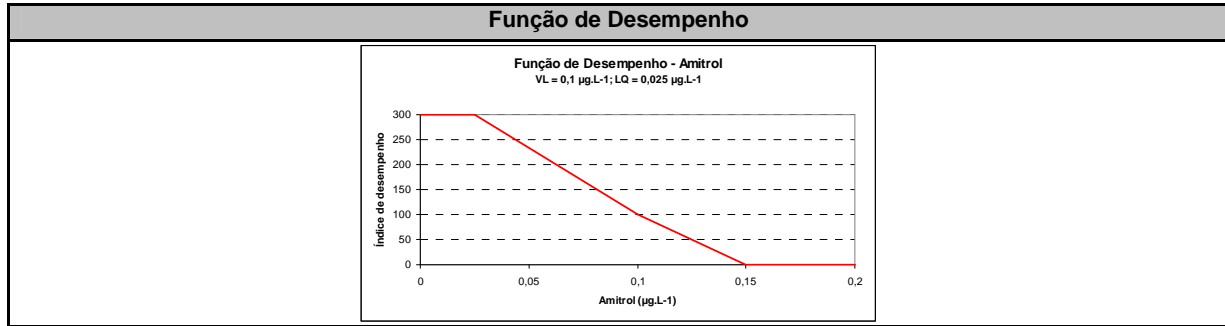


Parâmetro: alumínio

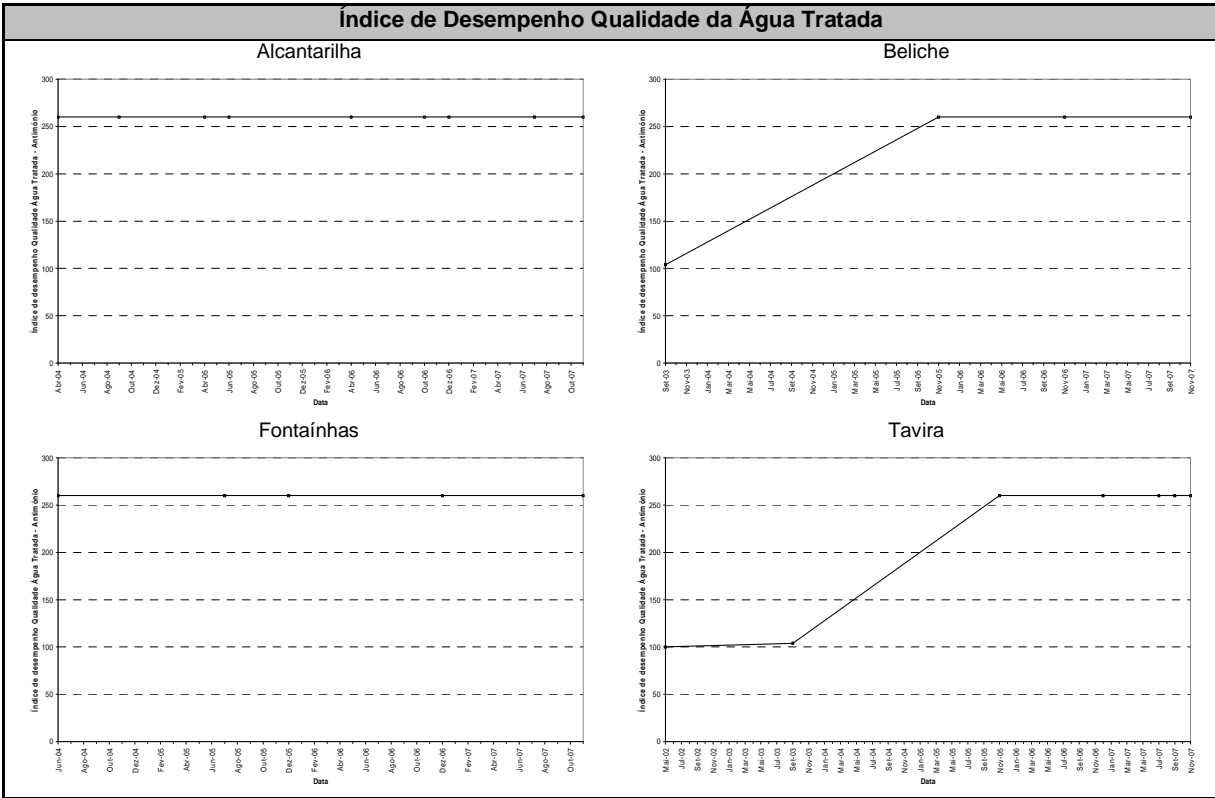
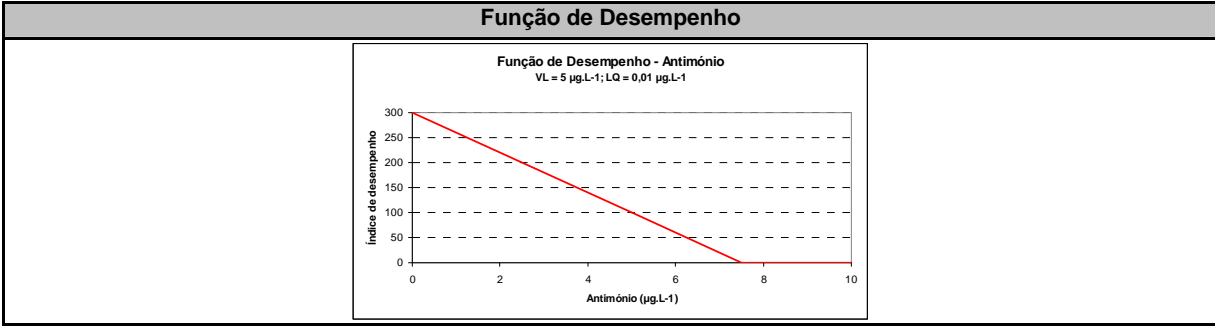




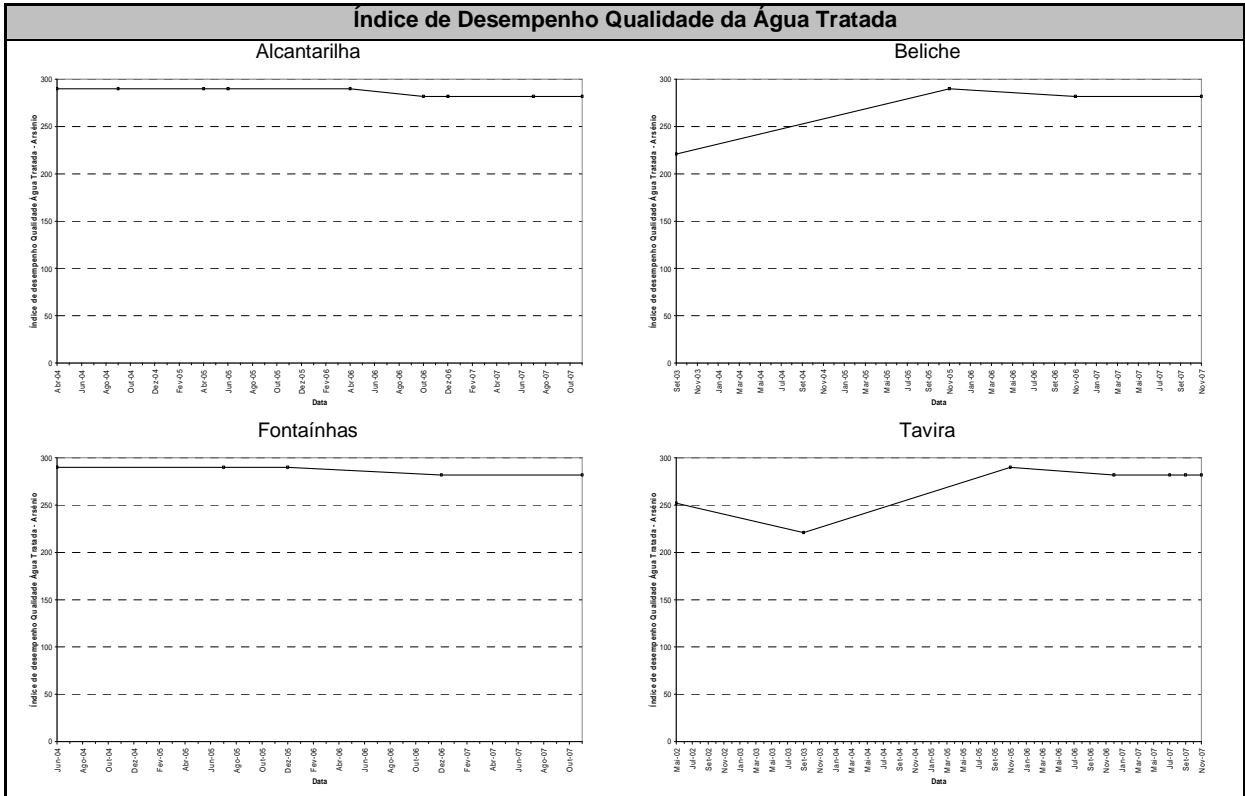
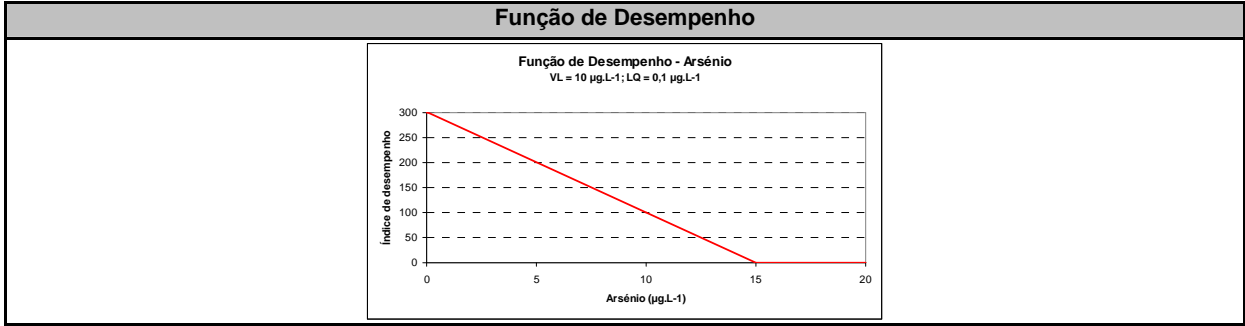
Parâmetro: amitrol



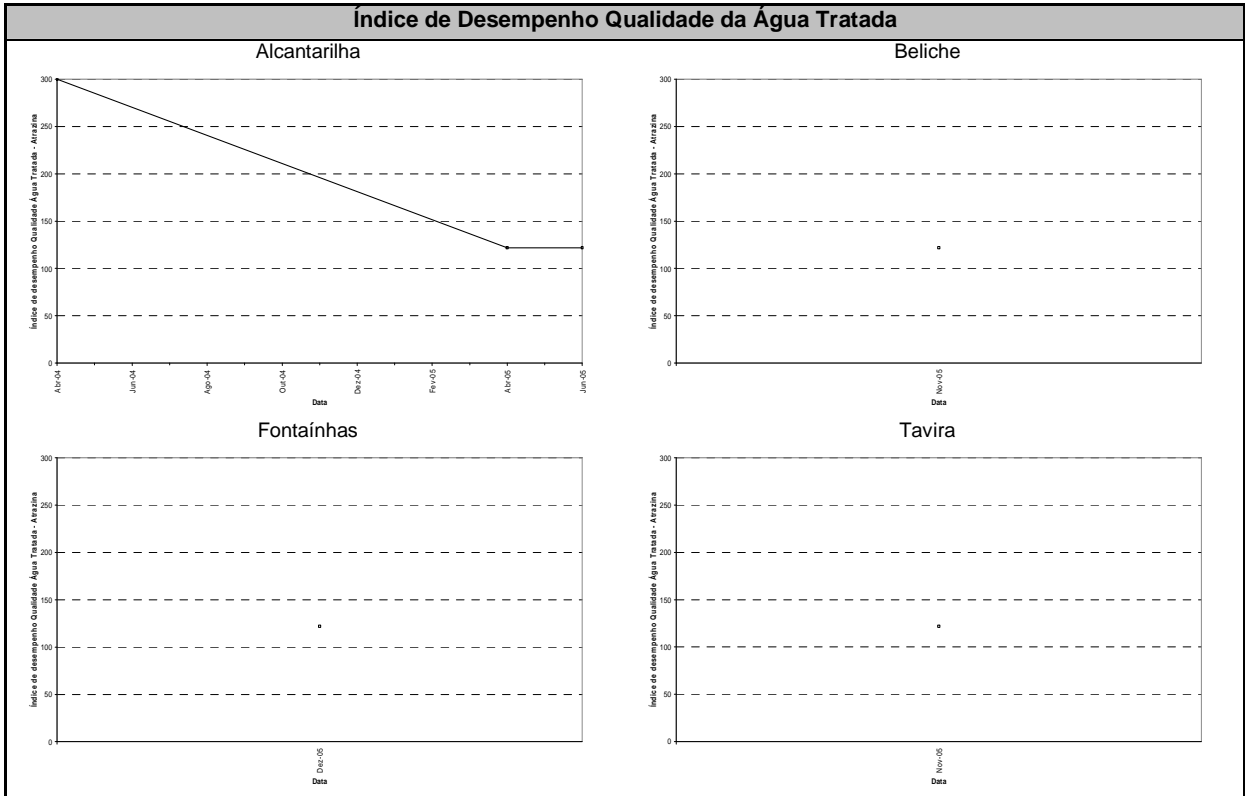
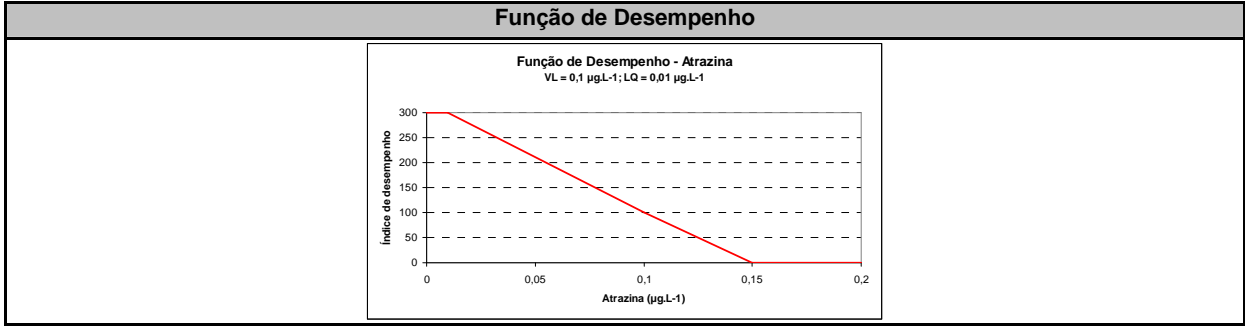
Parâmetro: antimónio



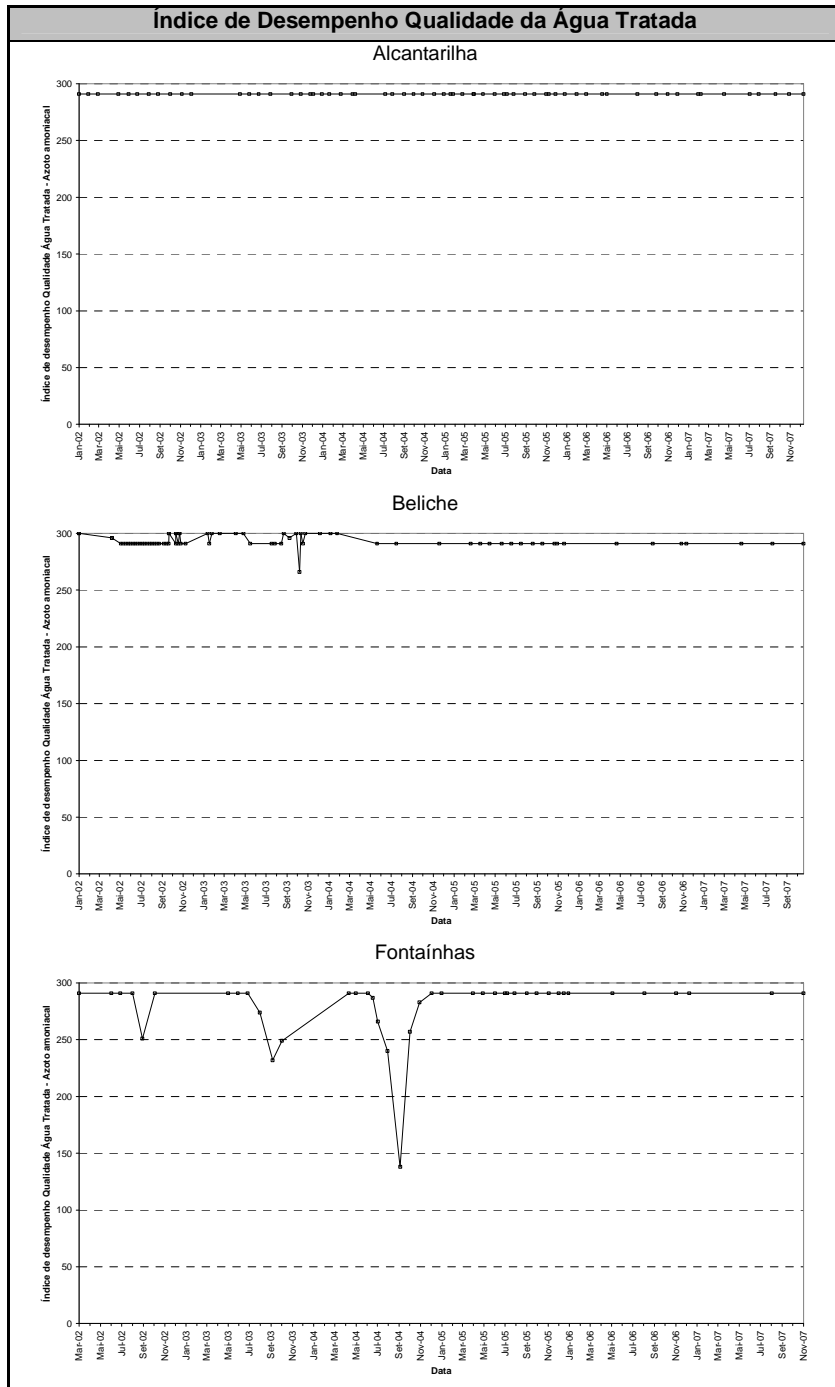
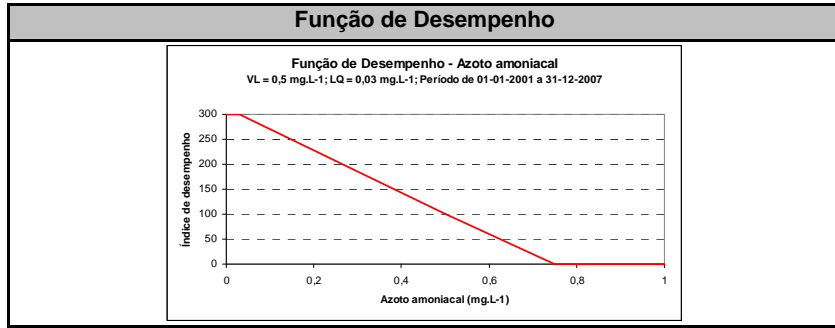
Parâmetro: arsénio

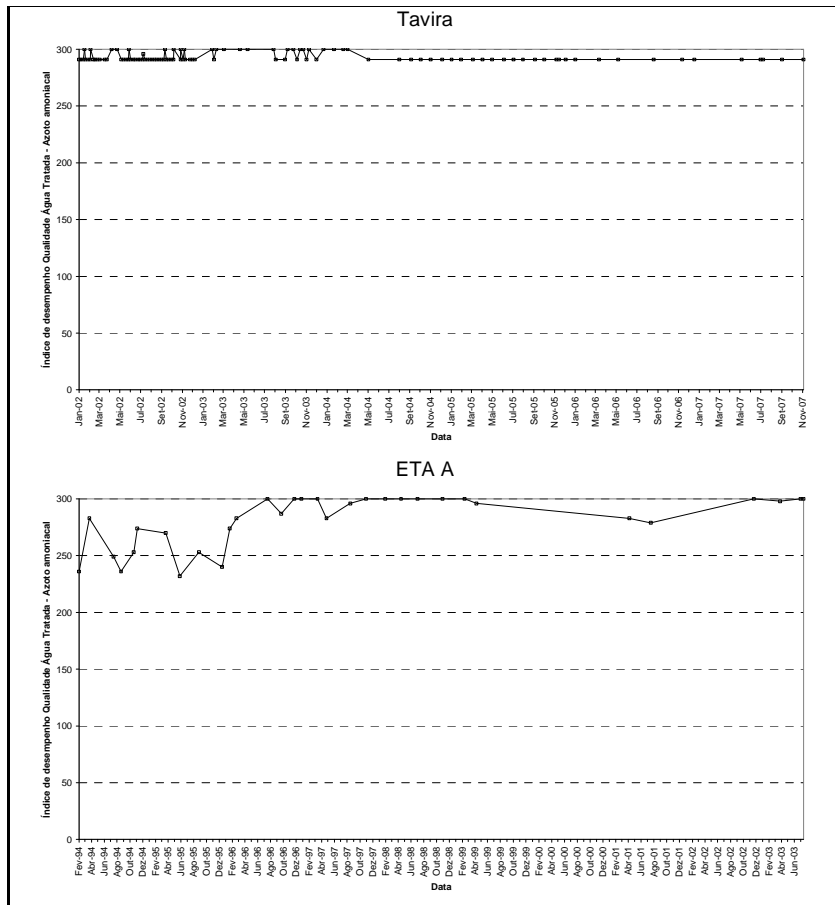


Parâmetro: atrazina

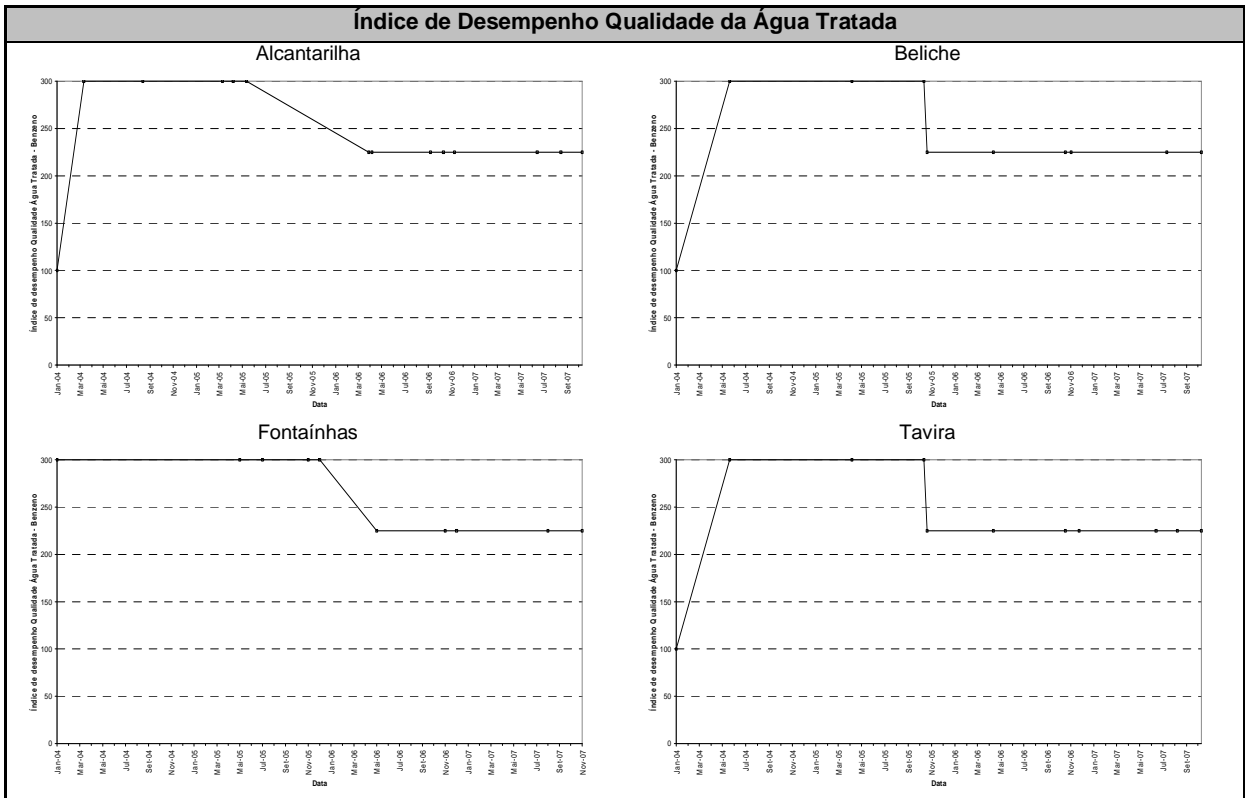
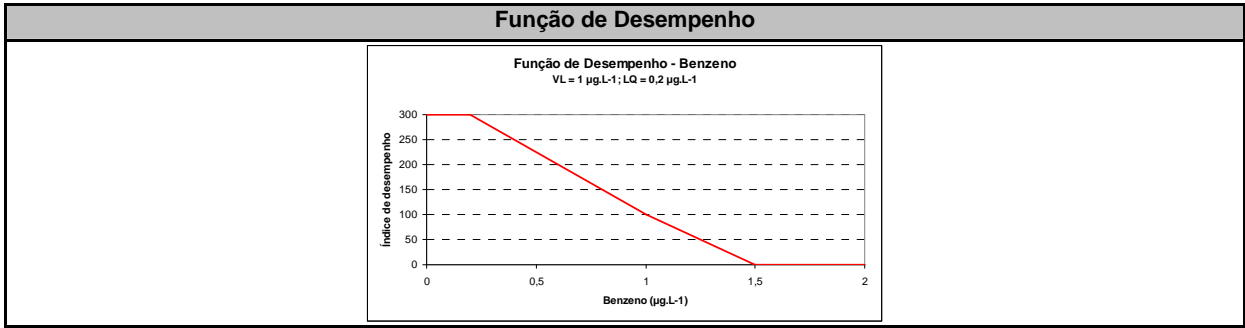


Parâmetro: azoto amoniacal

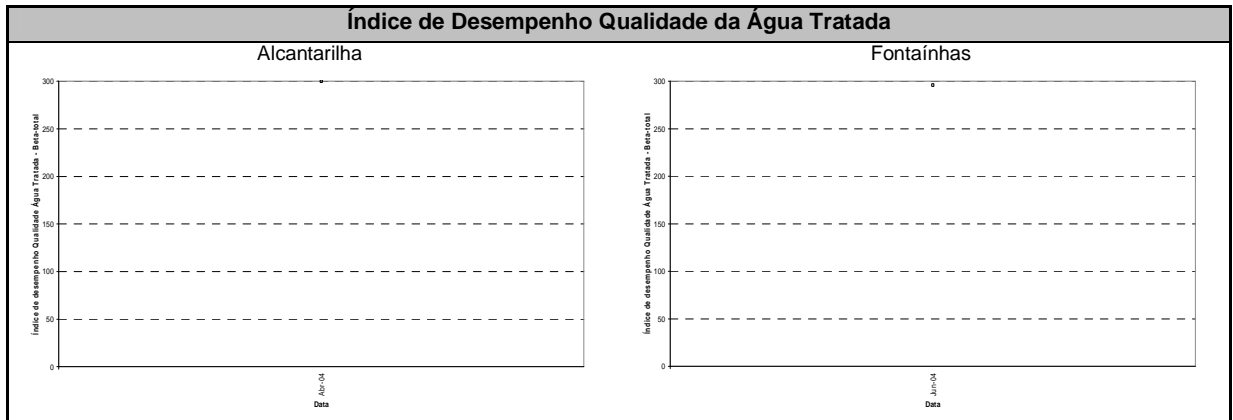
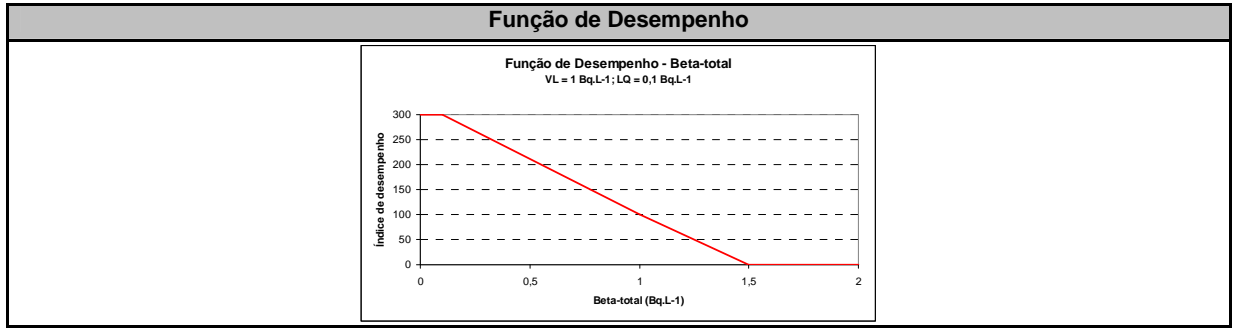




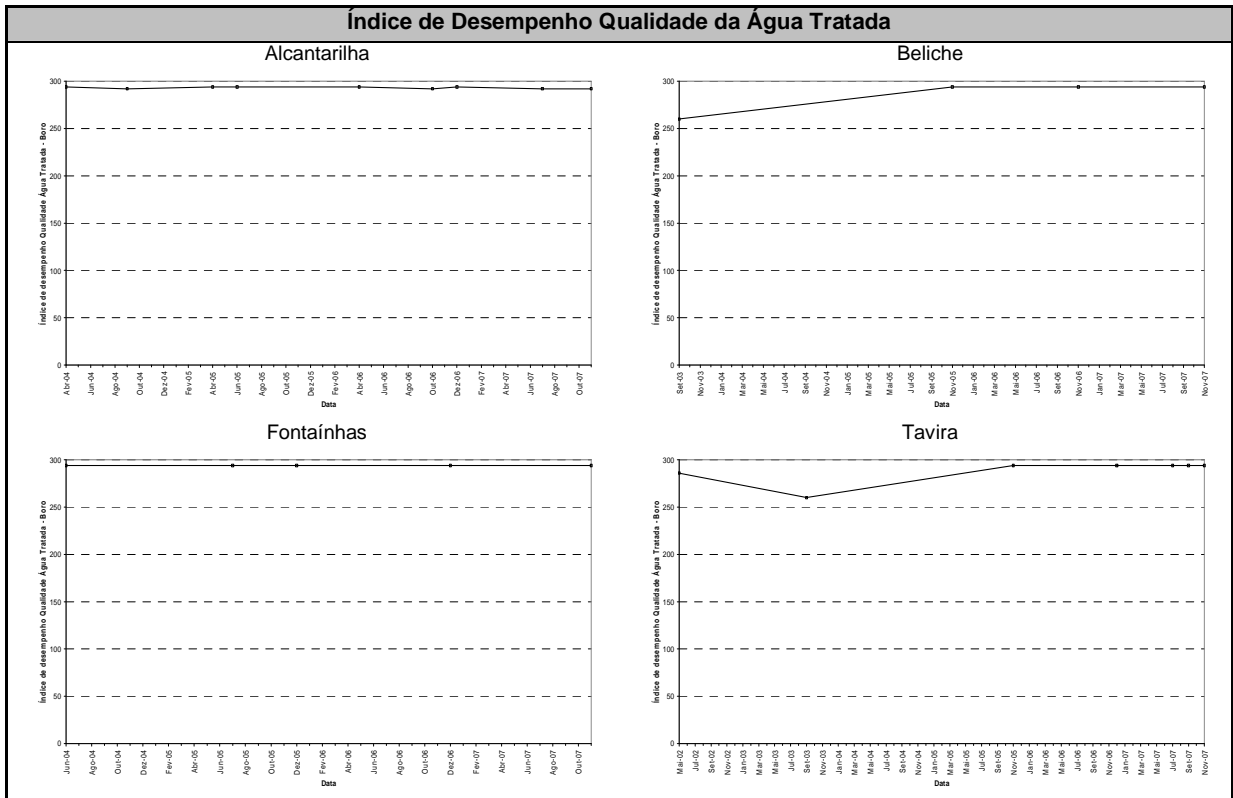
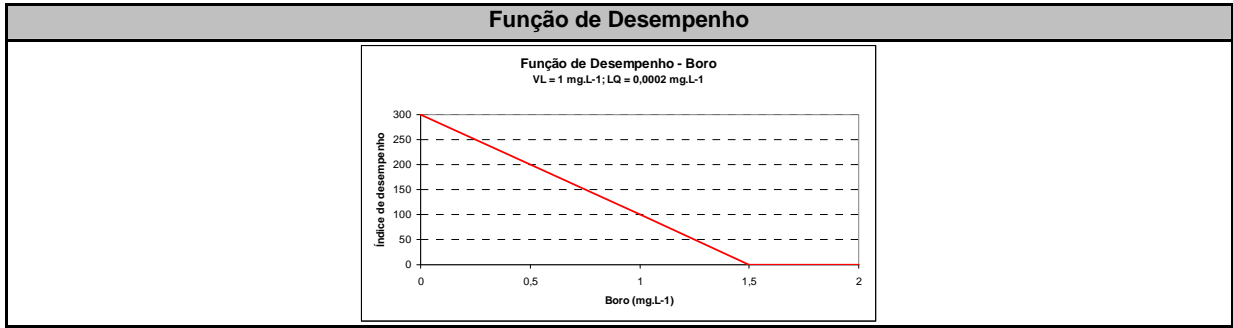
Parâmetro: benzeno



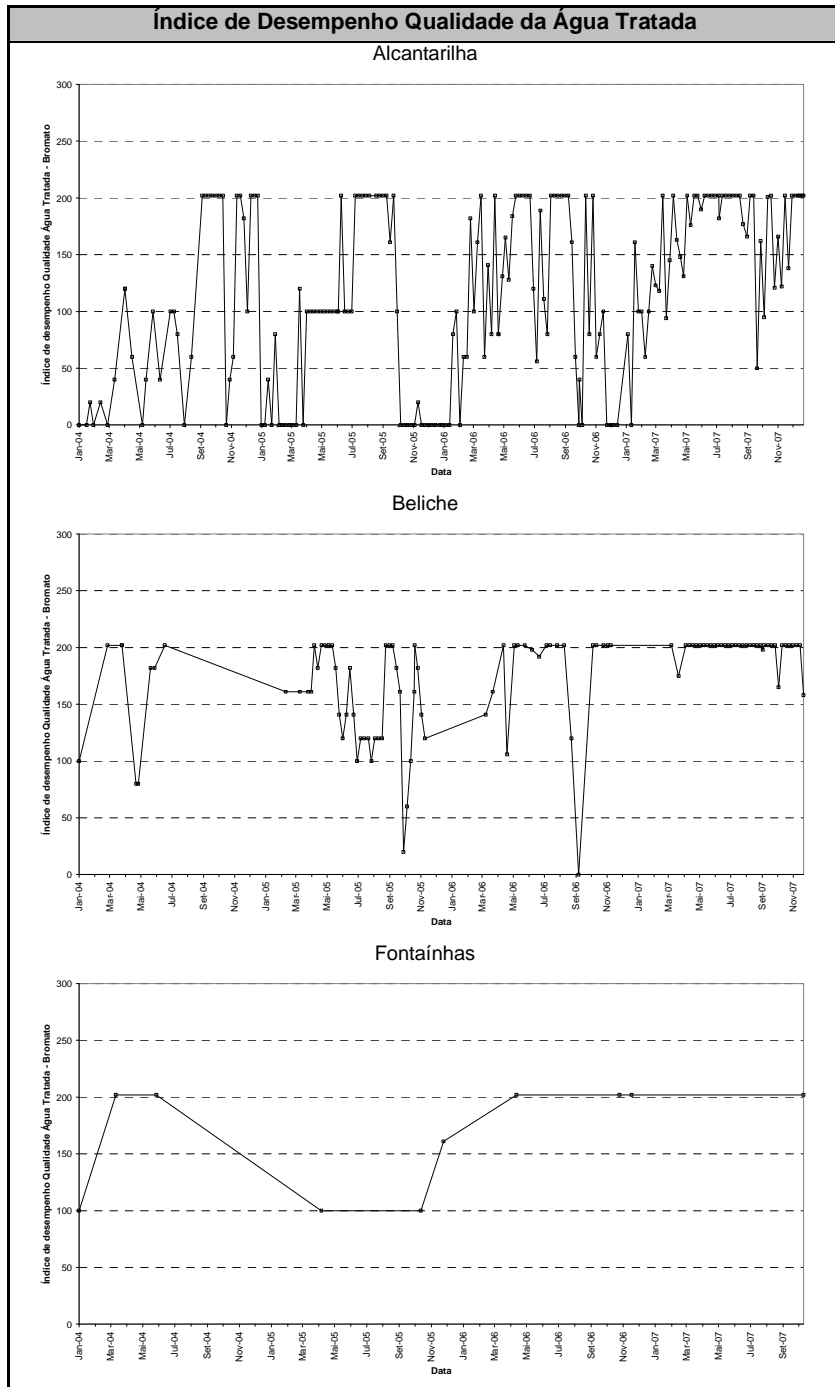
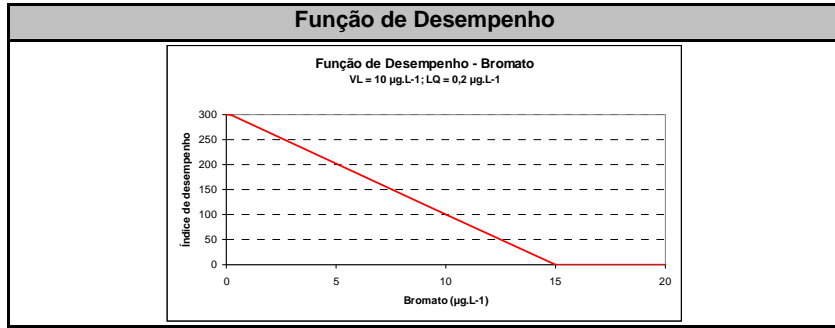
Parâmetro: beta-total

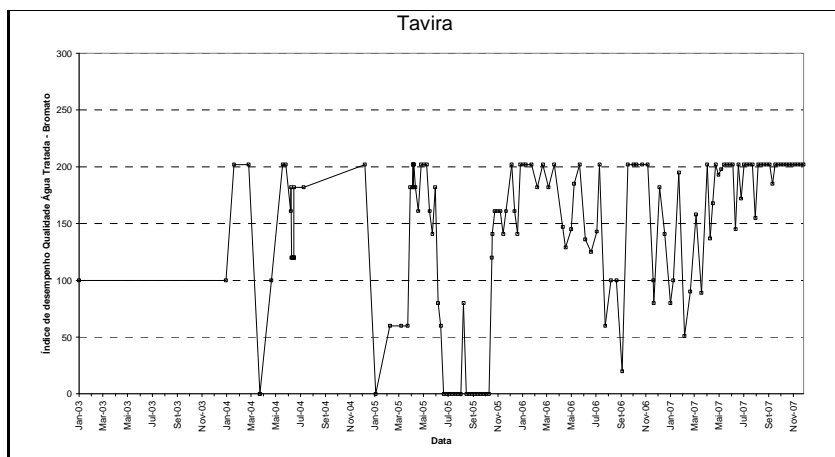


Parâmetro: boro

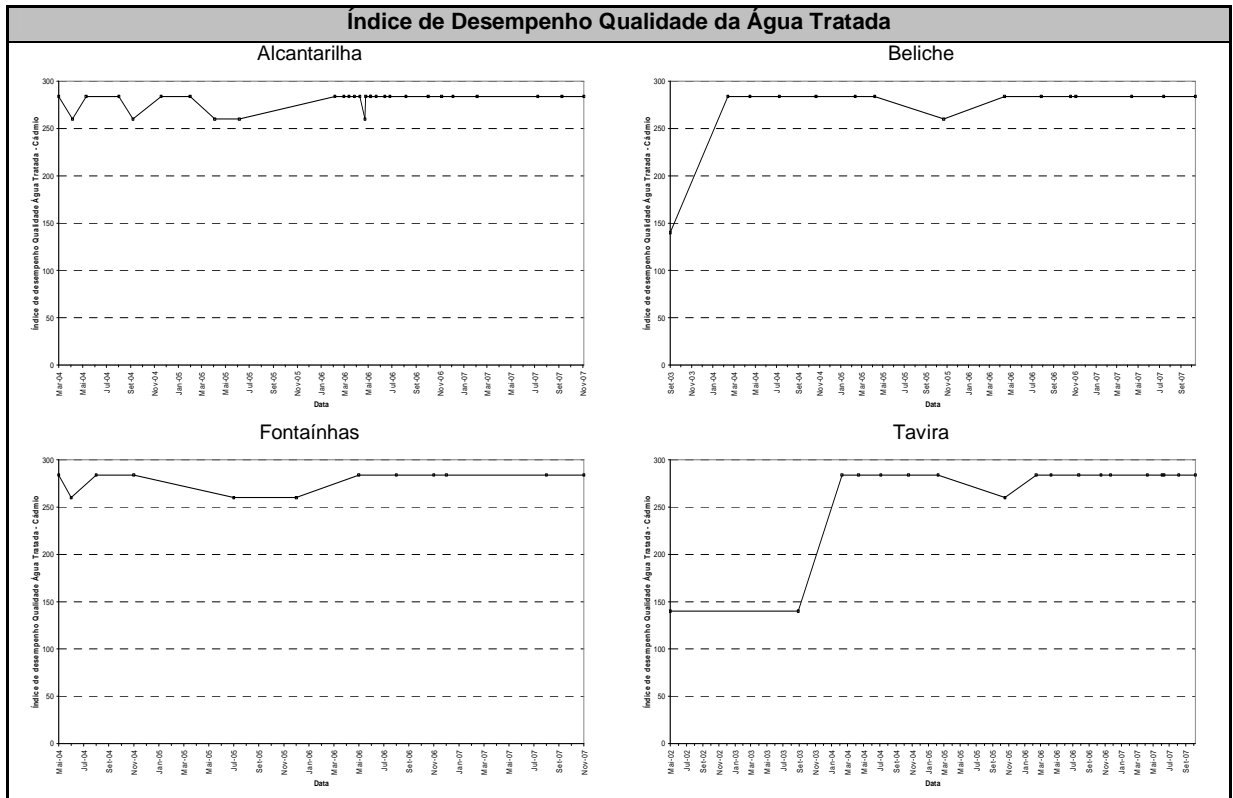
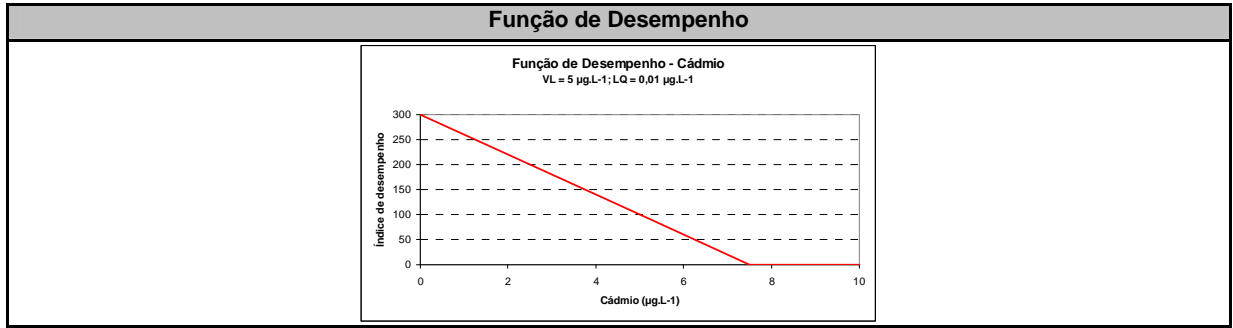


Parâmetro: bromato

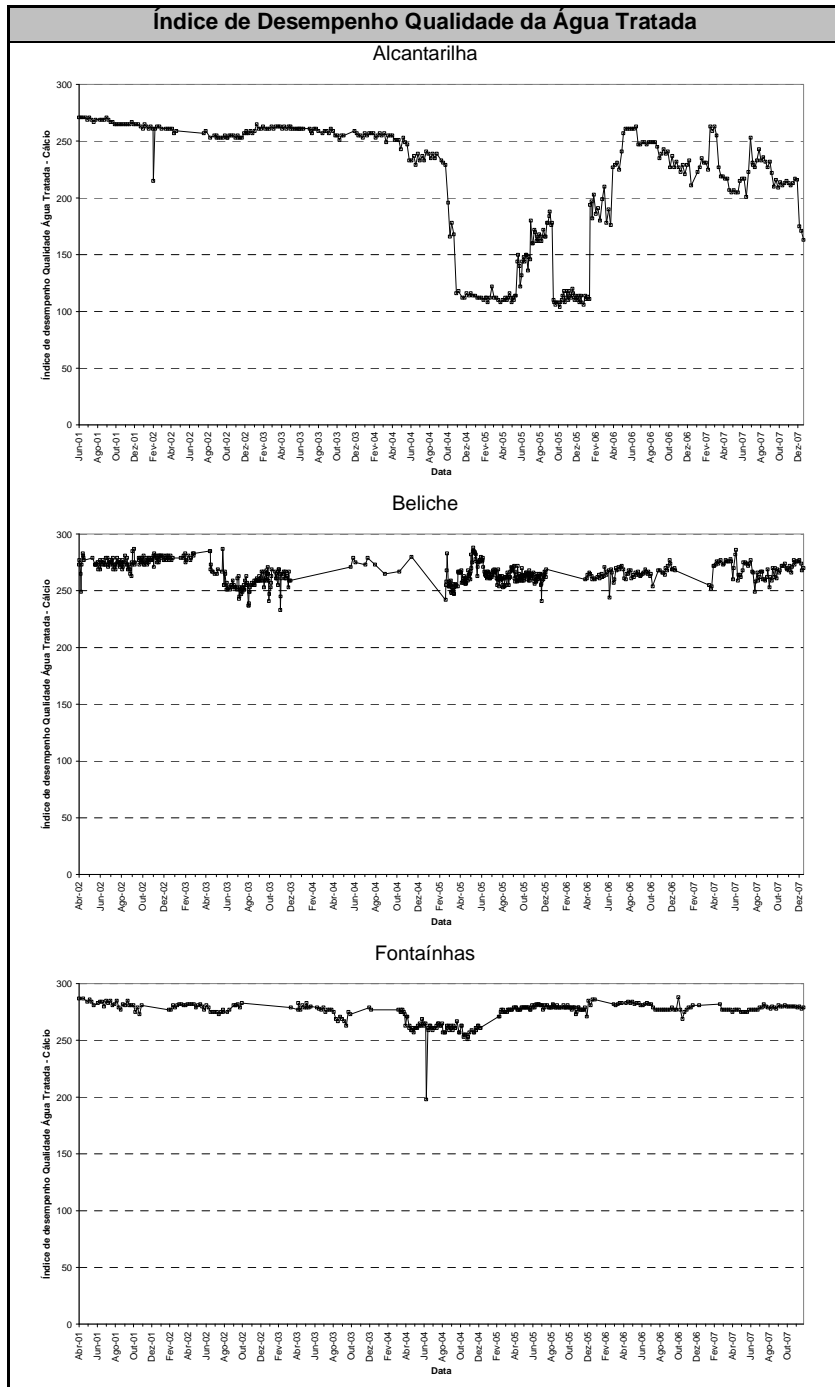
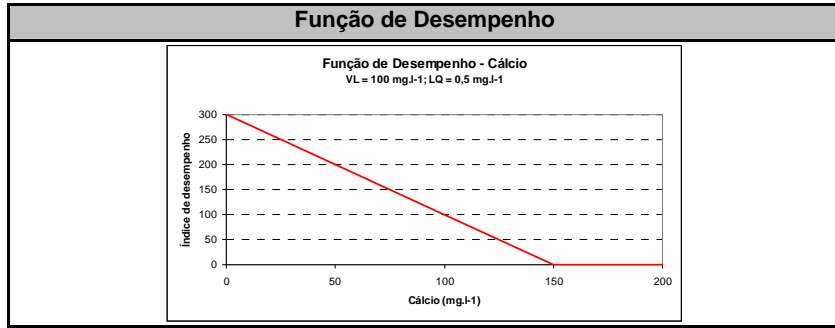


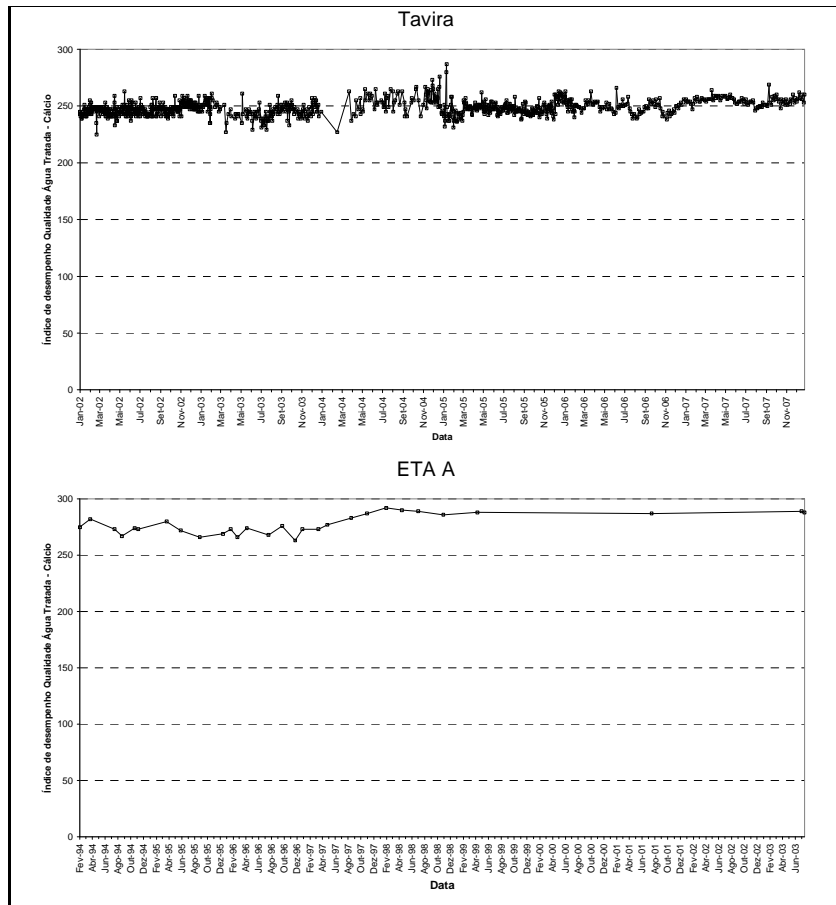


Parâmetro: cádmio

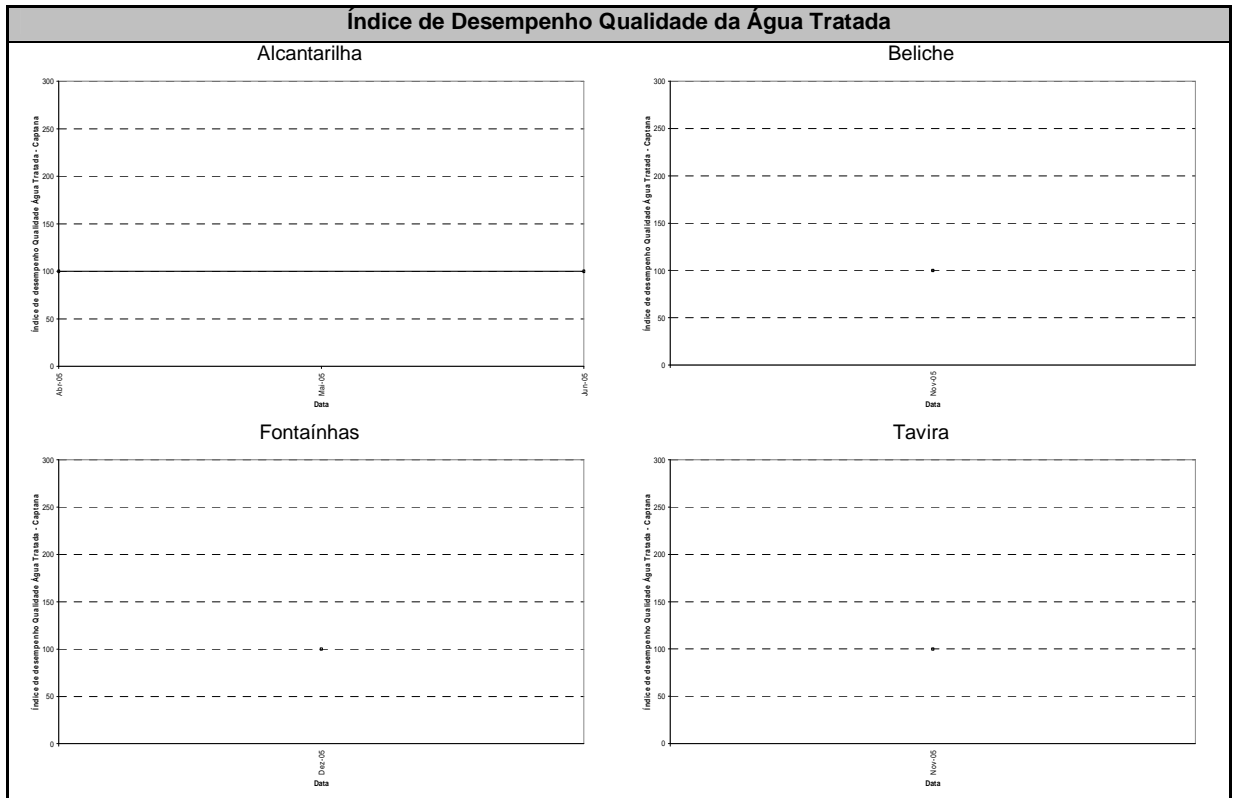
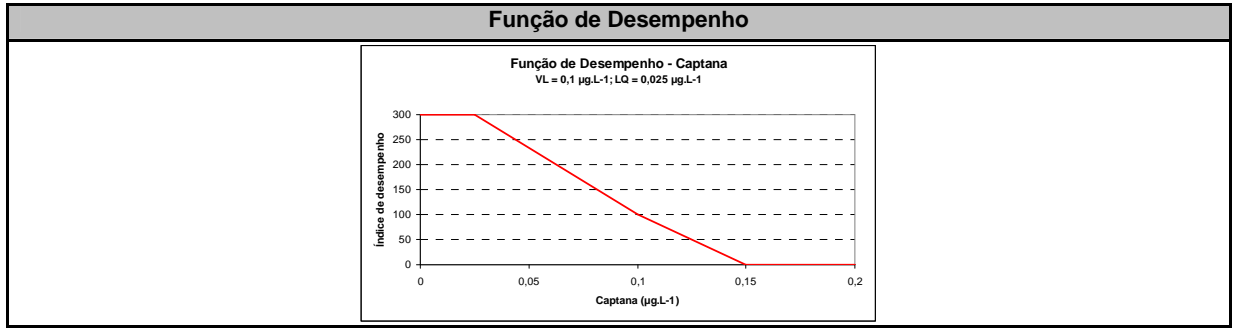


Parâmetro: cálcio

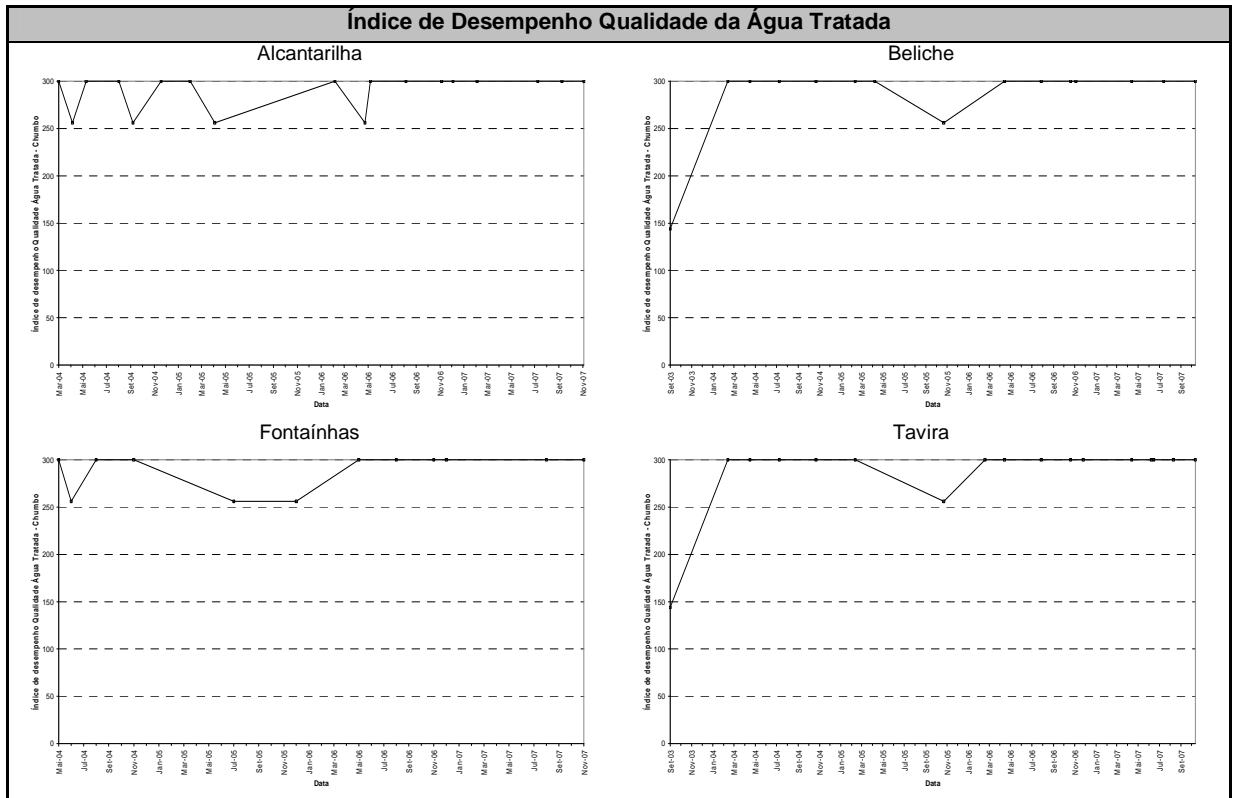
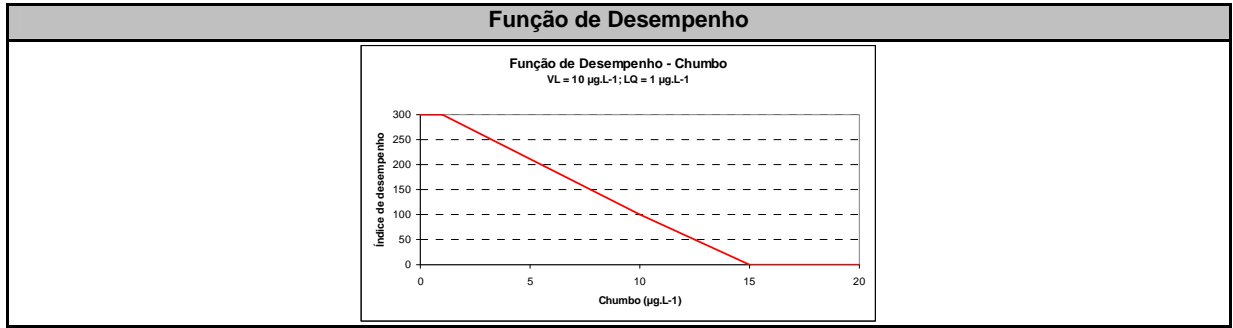




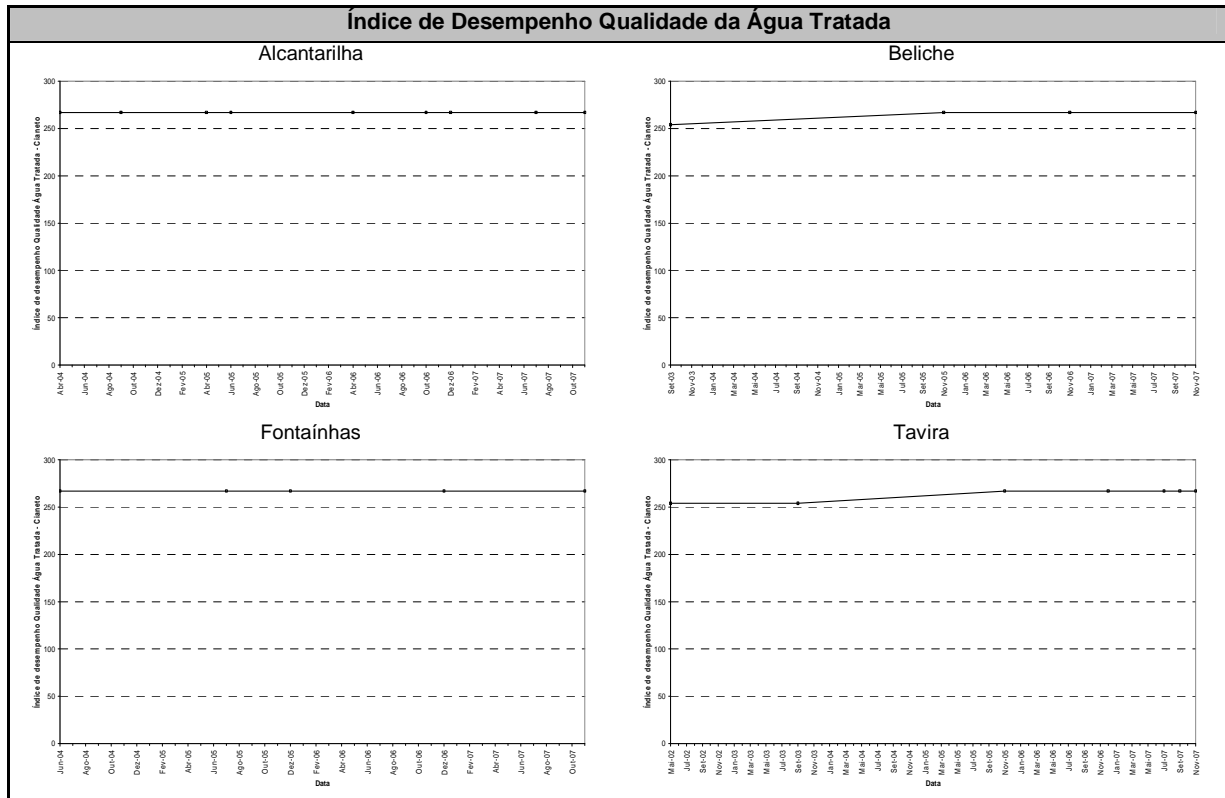
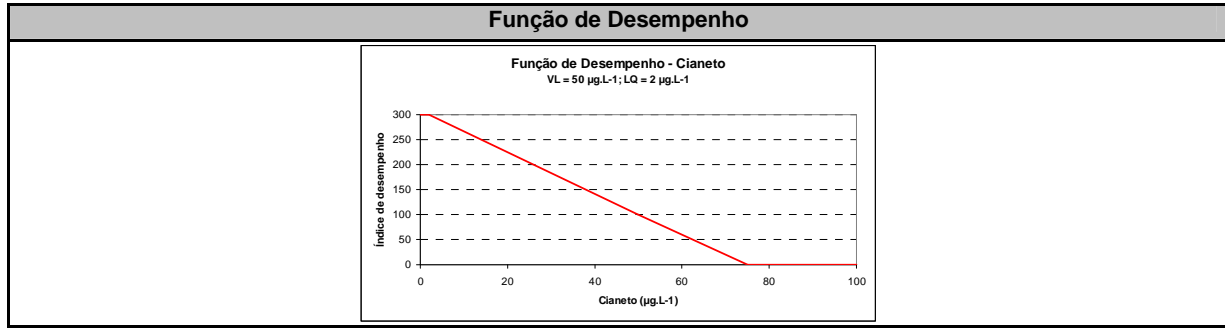
Parâmetro: captana



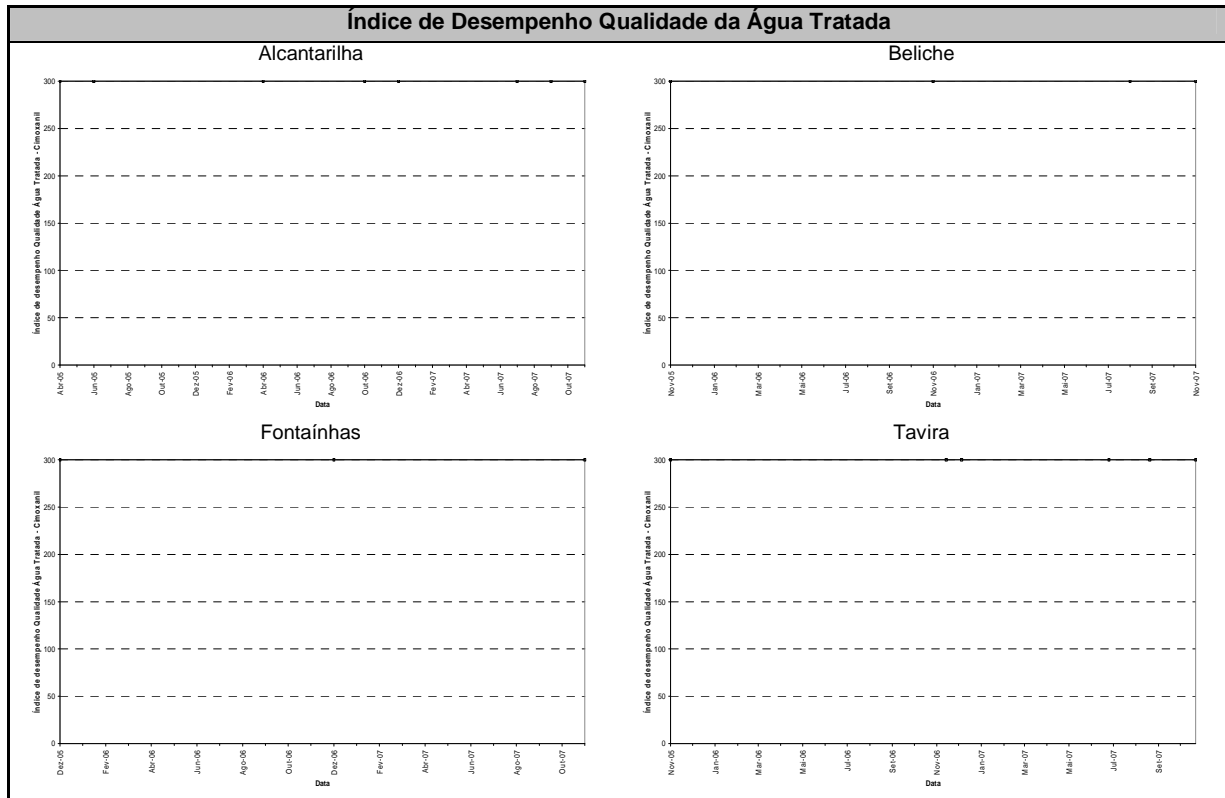
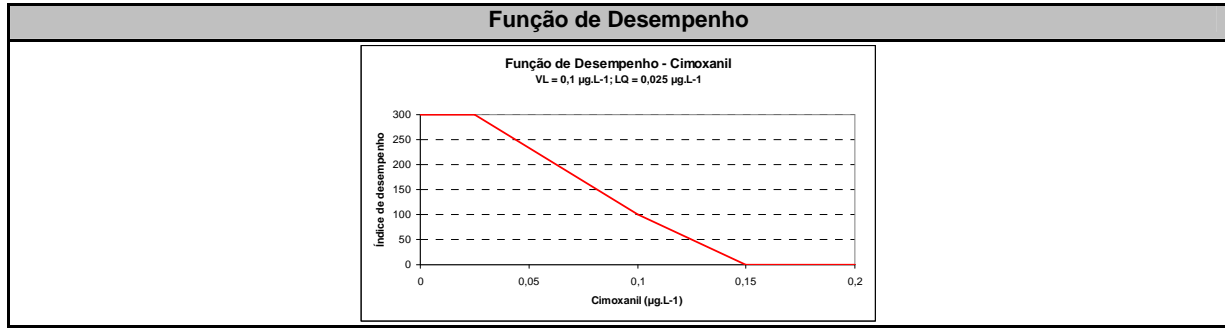
Parâmetro: chumbo



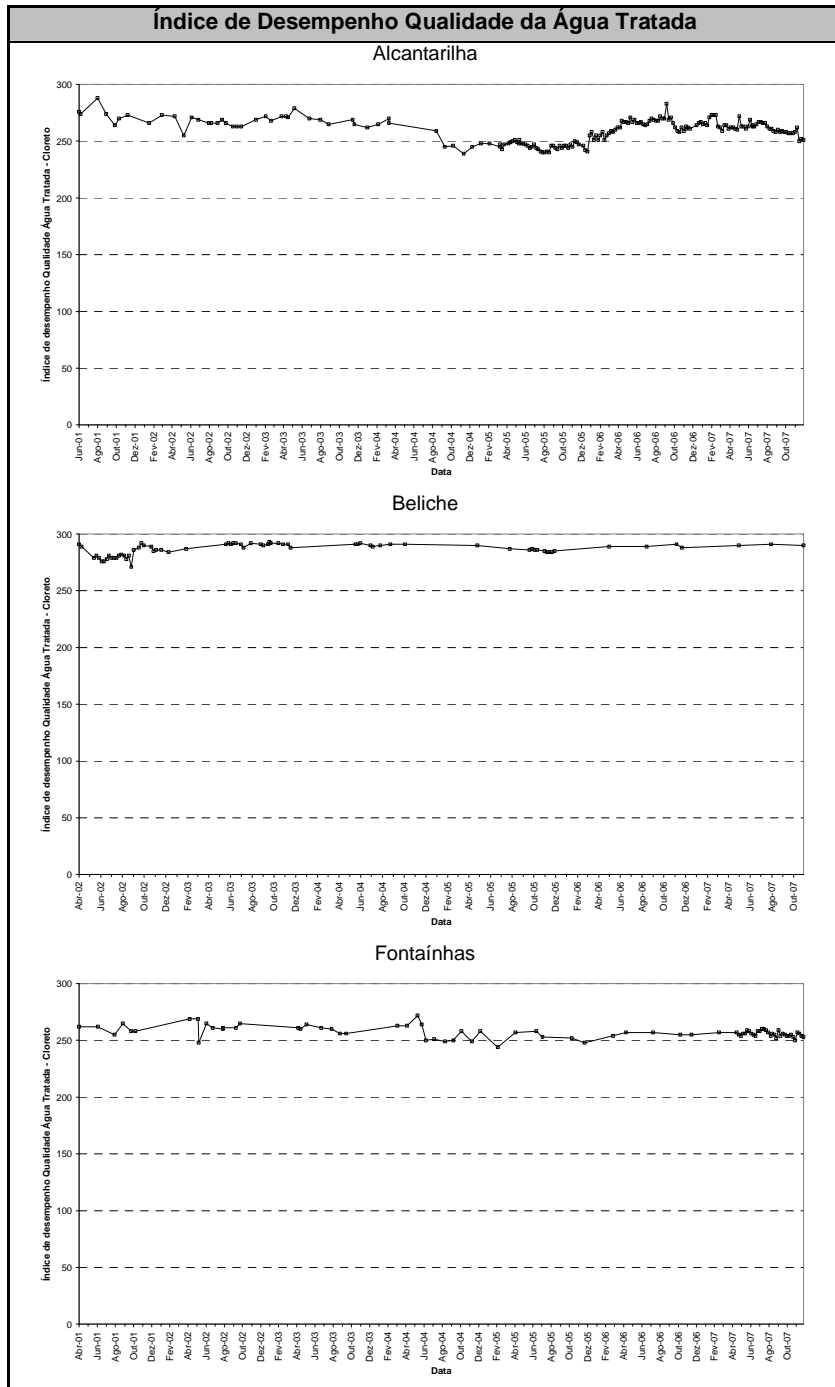
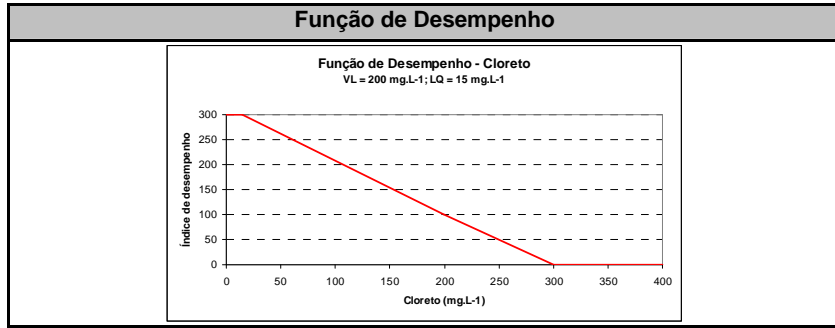
Parâmetro: cianeto

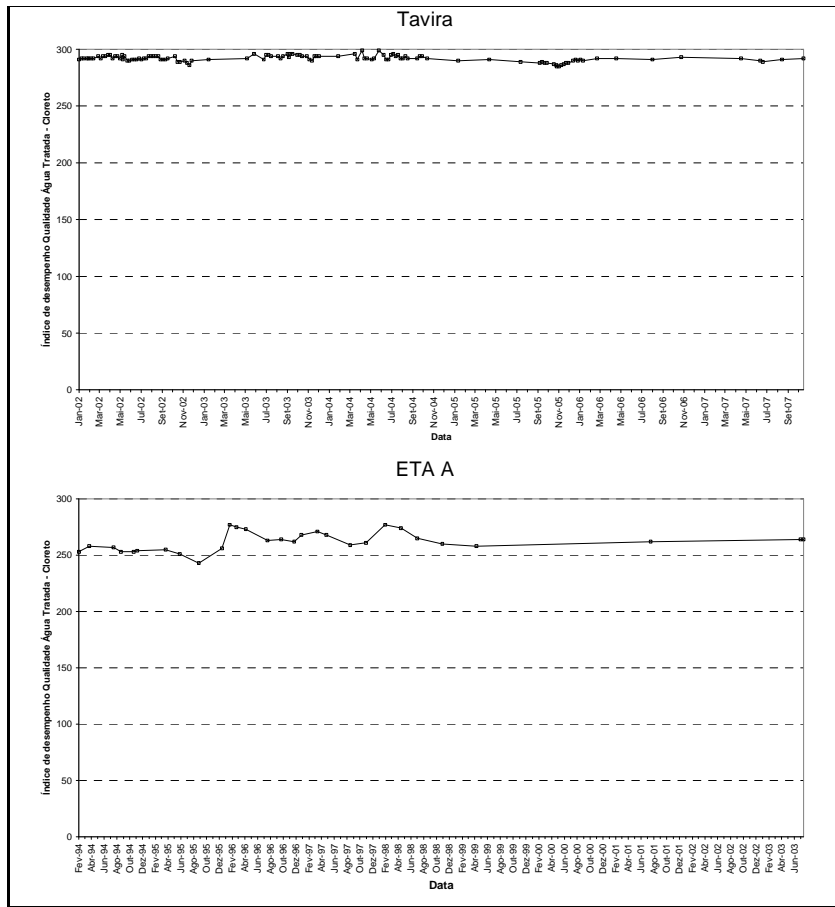


Parâmetro: cimoxanil

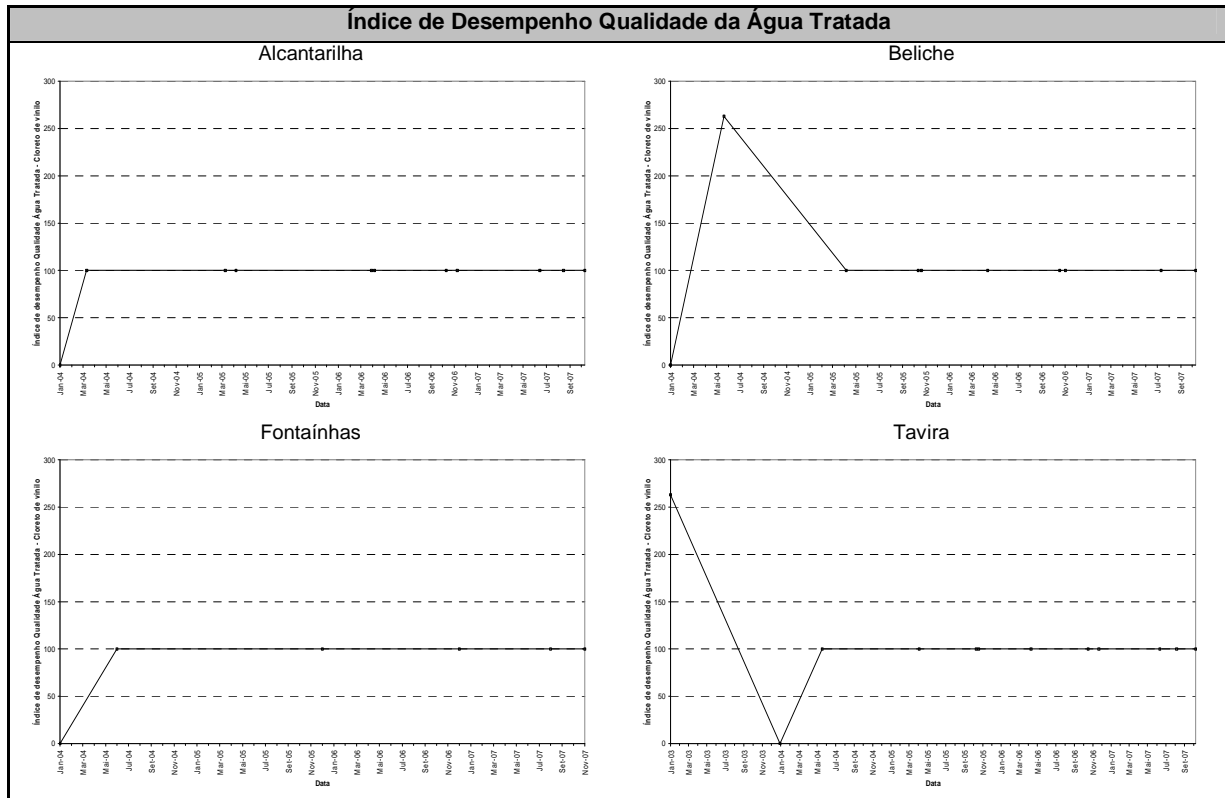
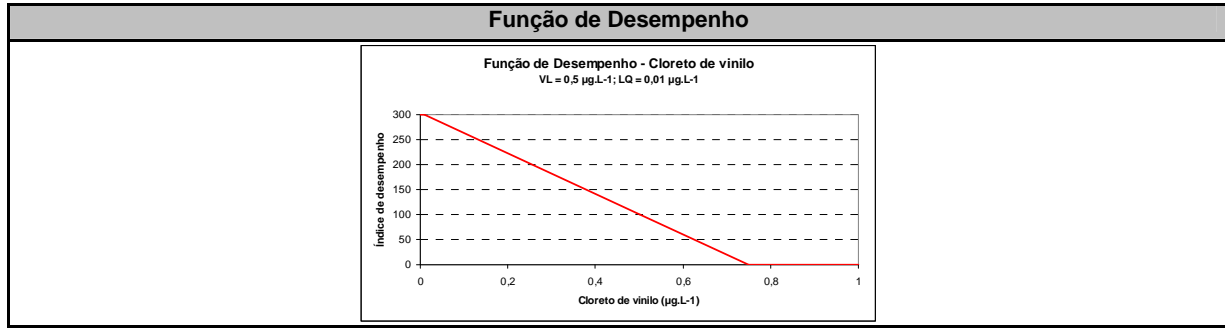


Parâmetro: cloreto

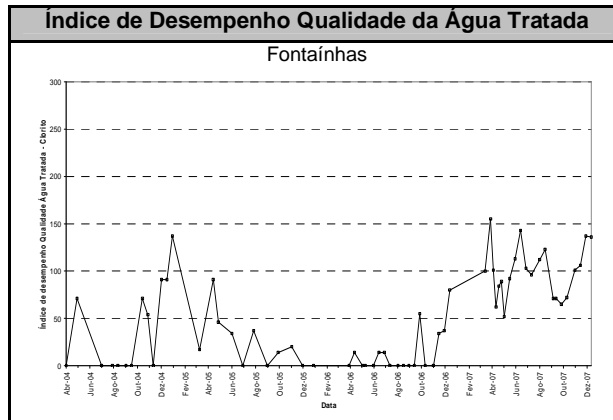
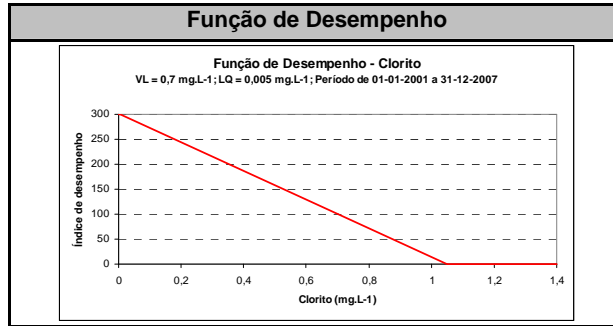




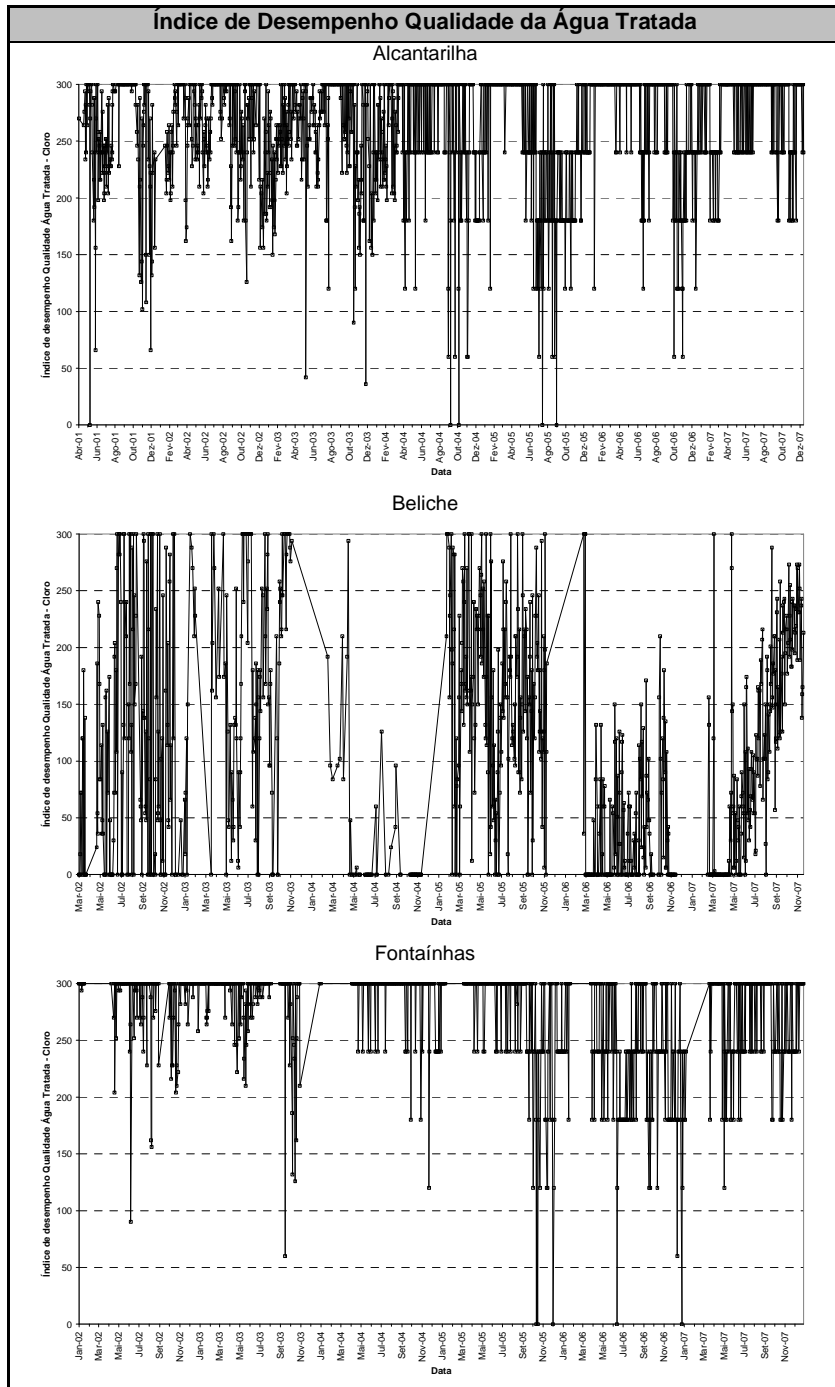
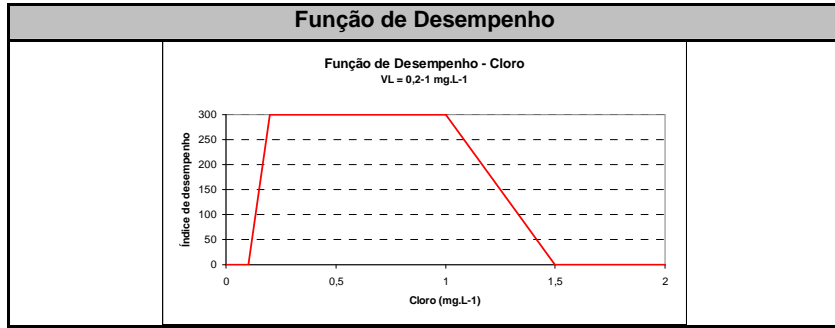
Parâmetro: cloreto de vinilo

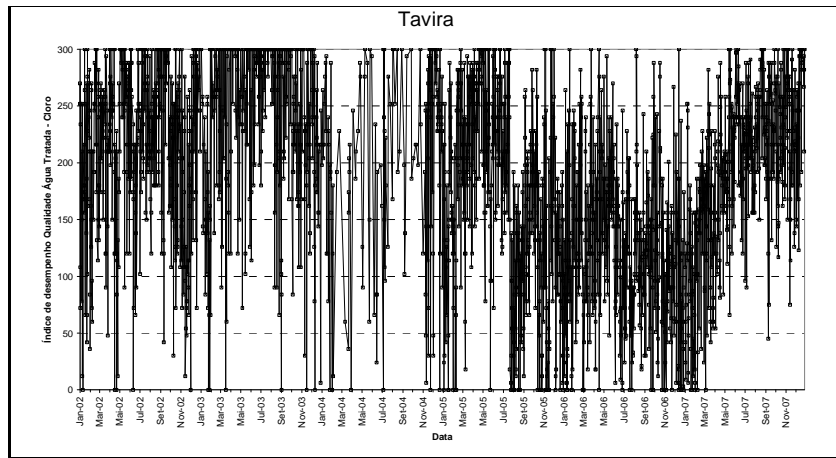


Parâmetro: clorito

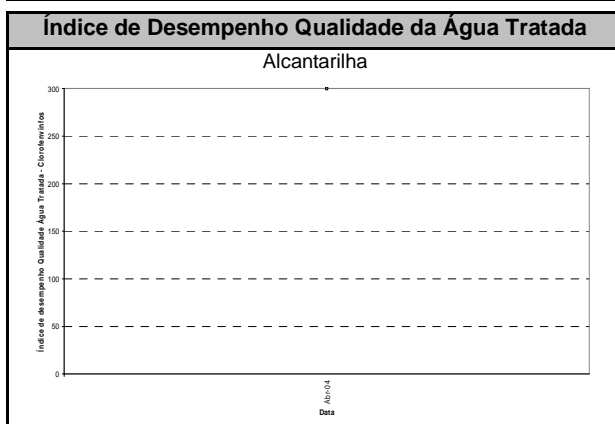
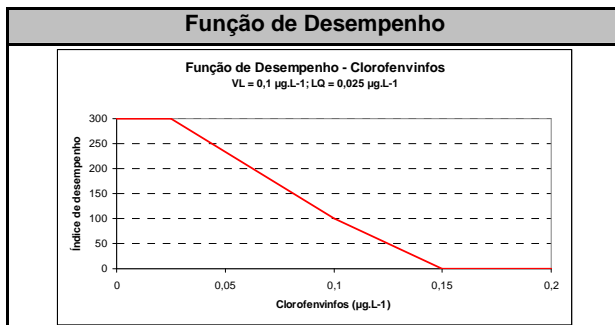


Parâmetro: cloro

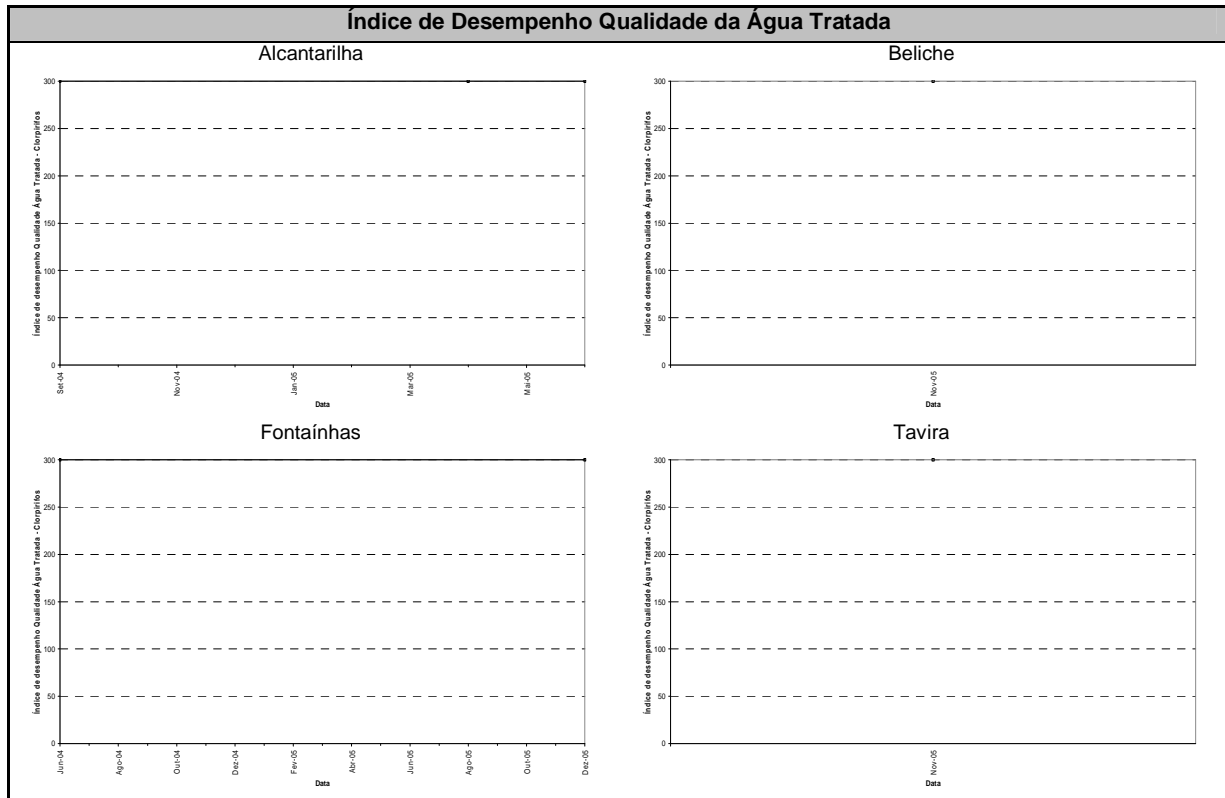
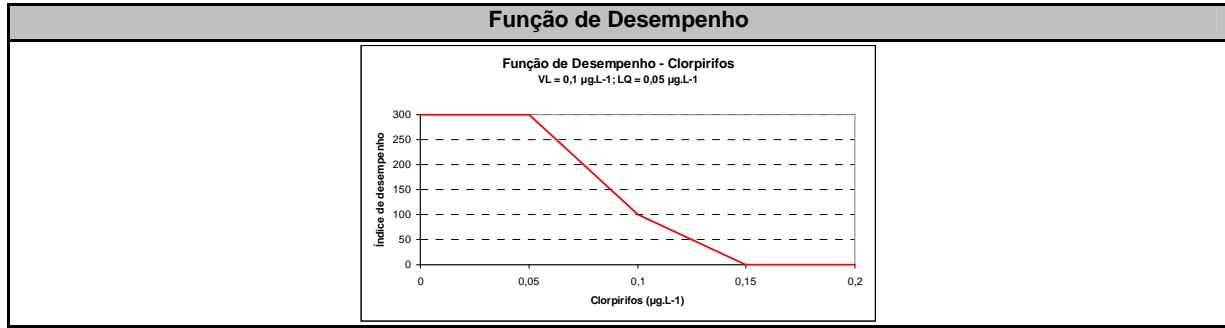




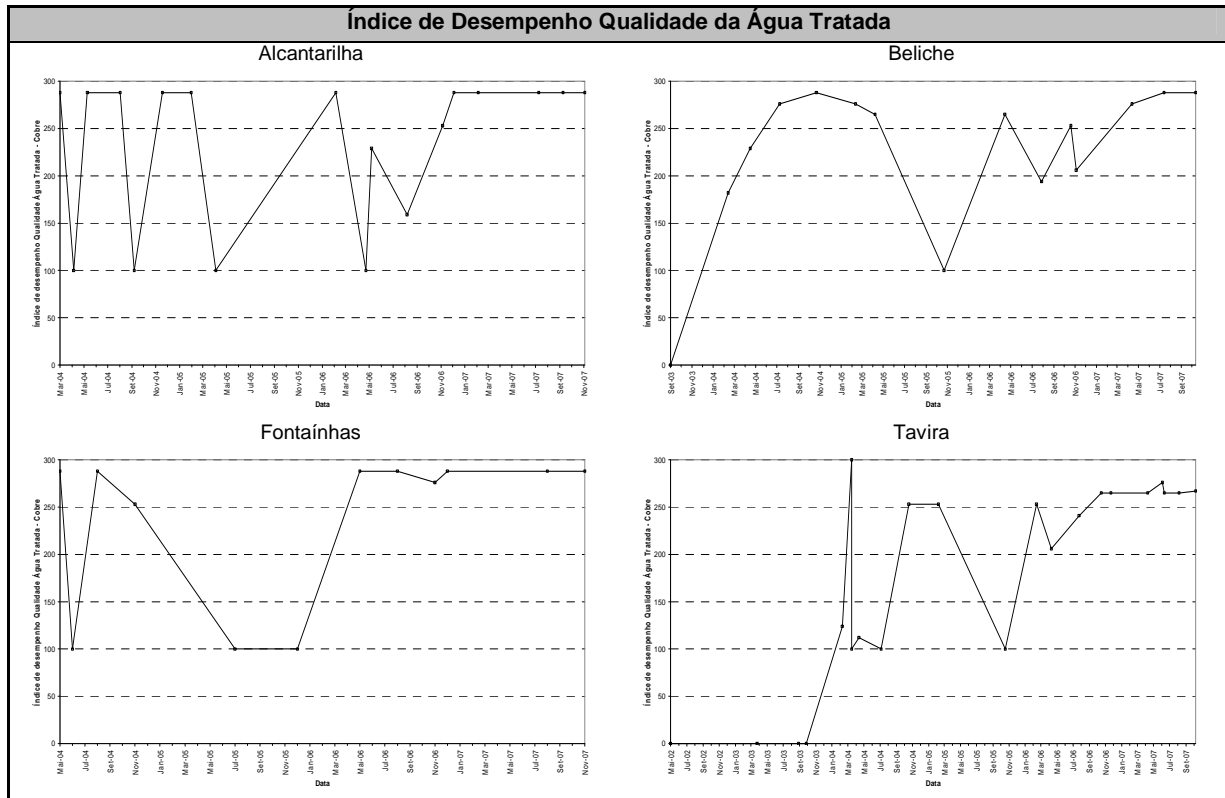
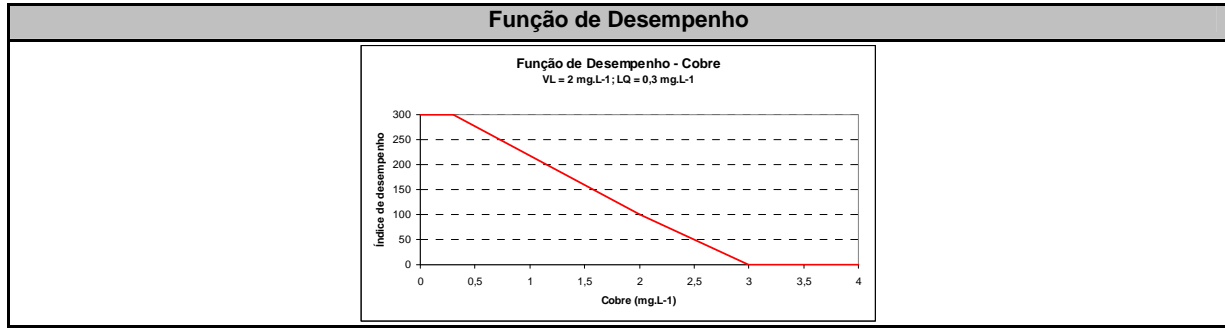
Parâmetro: clorofenifos



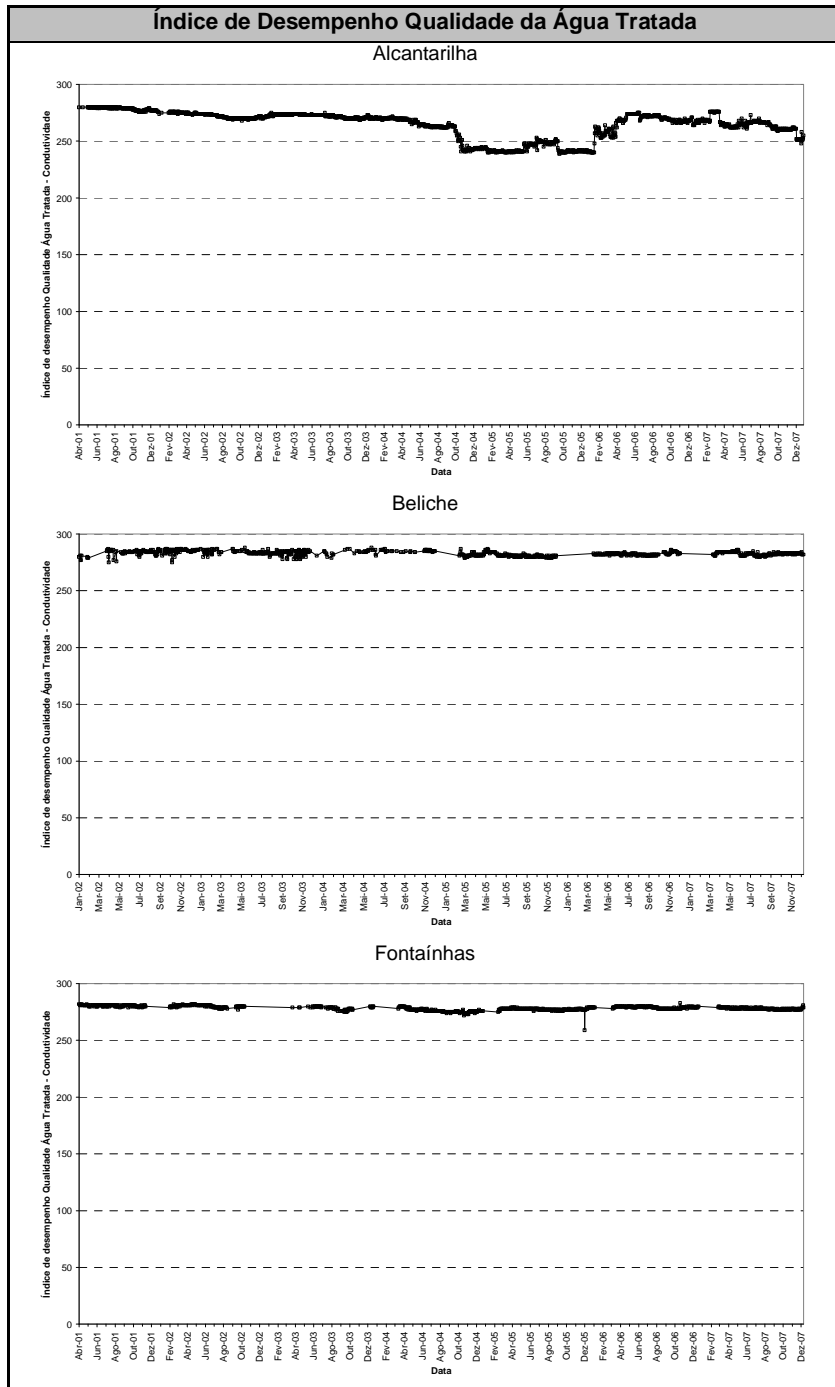
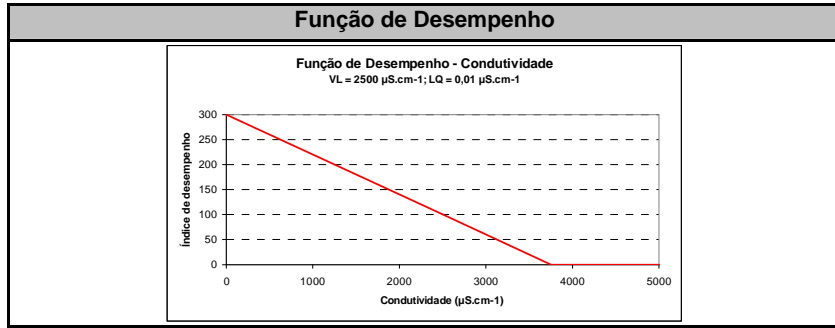
Parâmetro: clorpirifos

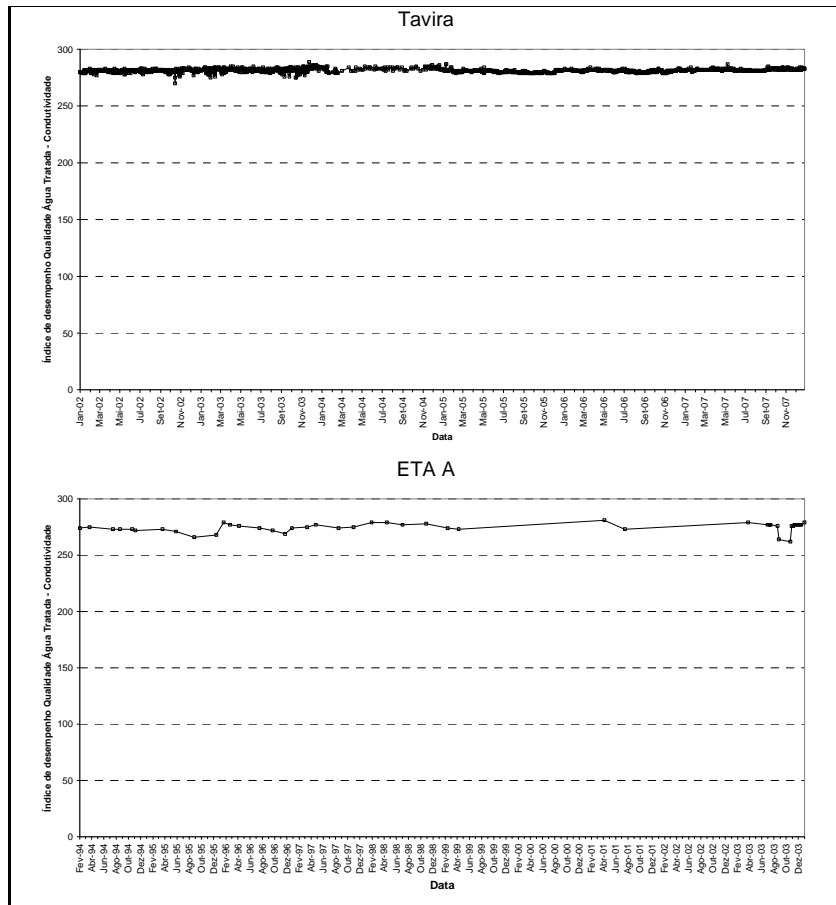


Parâmetro: cobre

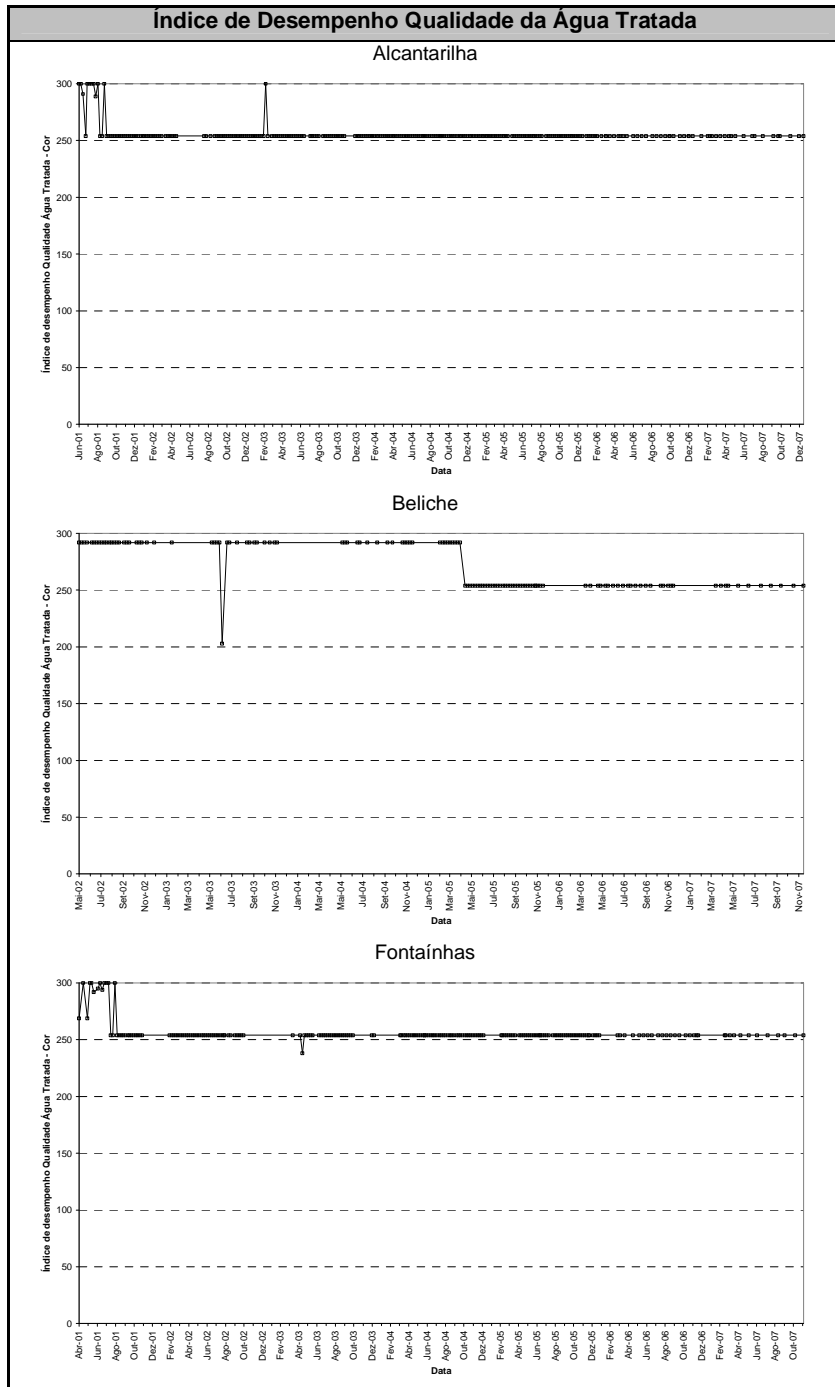
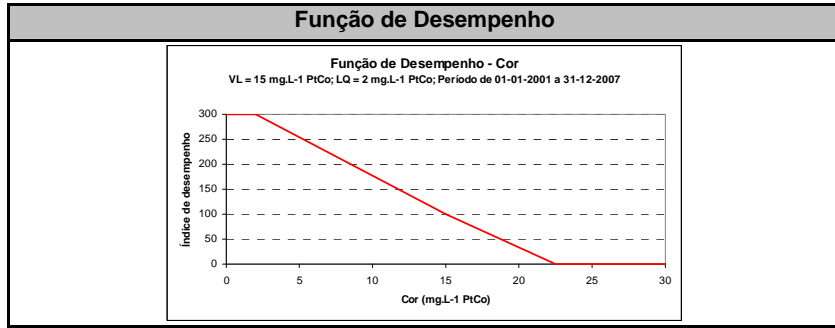


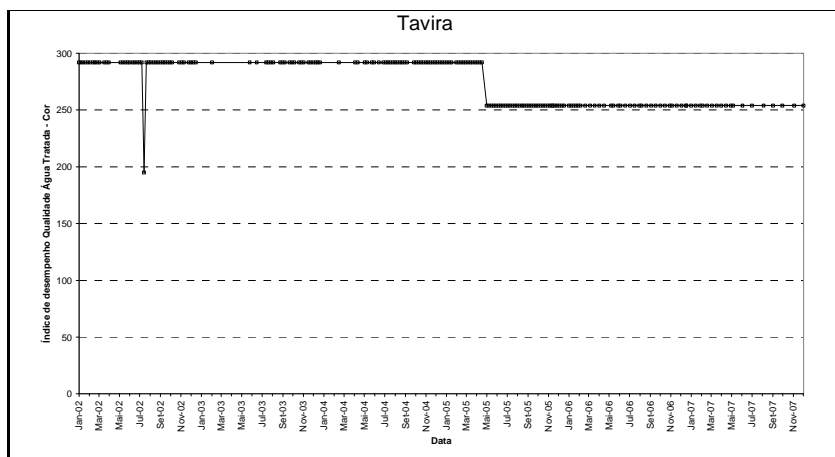
Parâmetro: condutividade



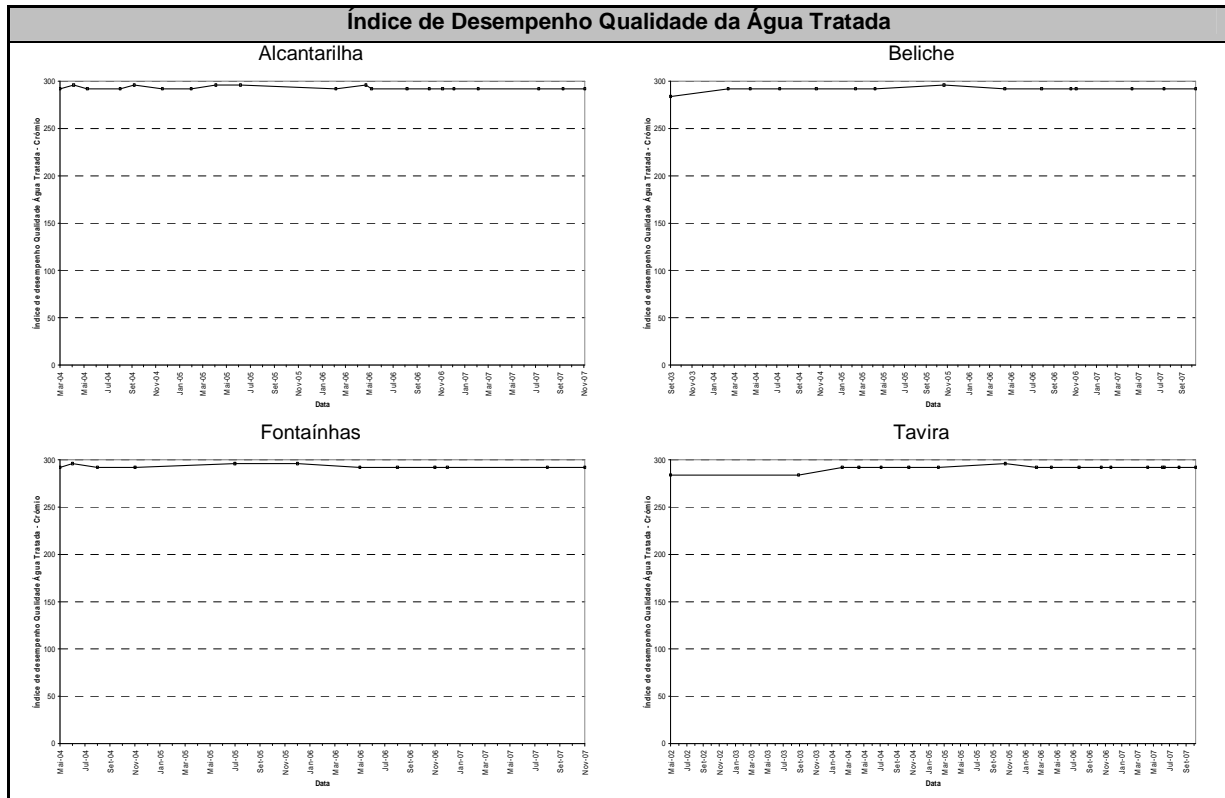
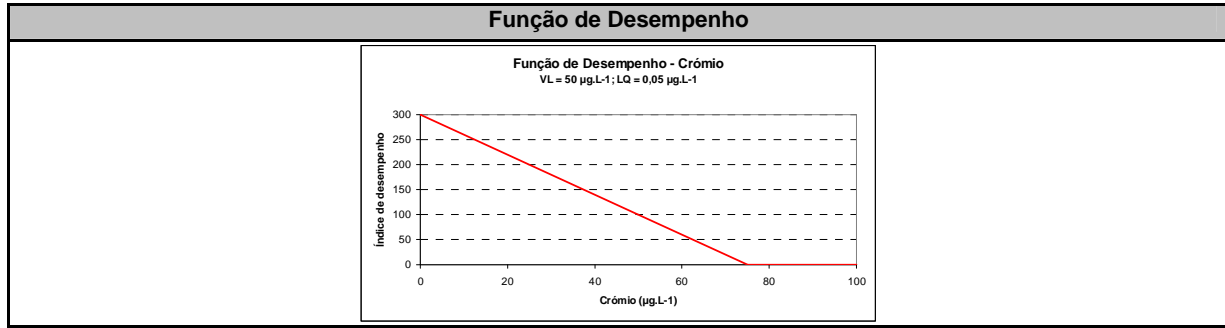


Parâmetro: cor

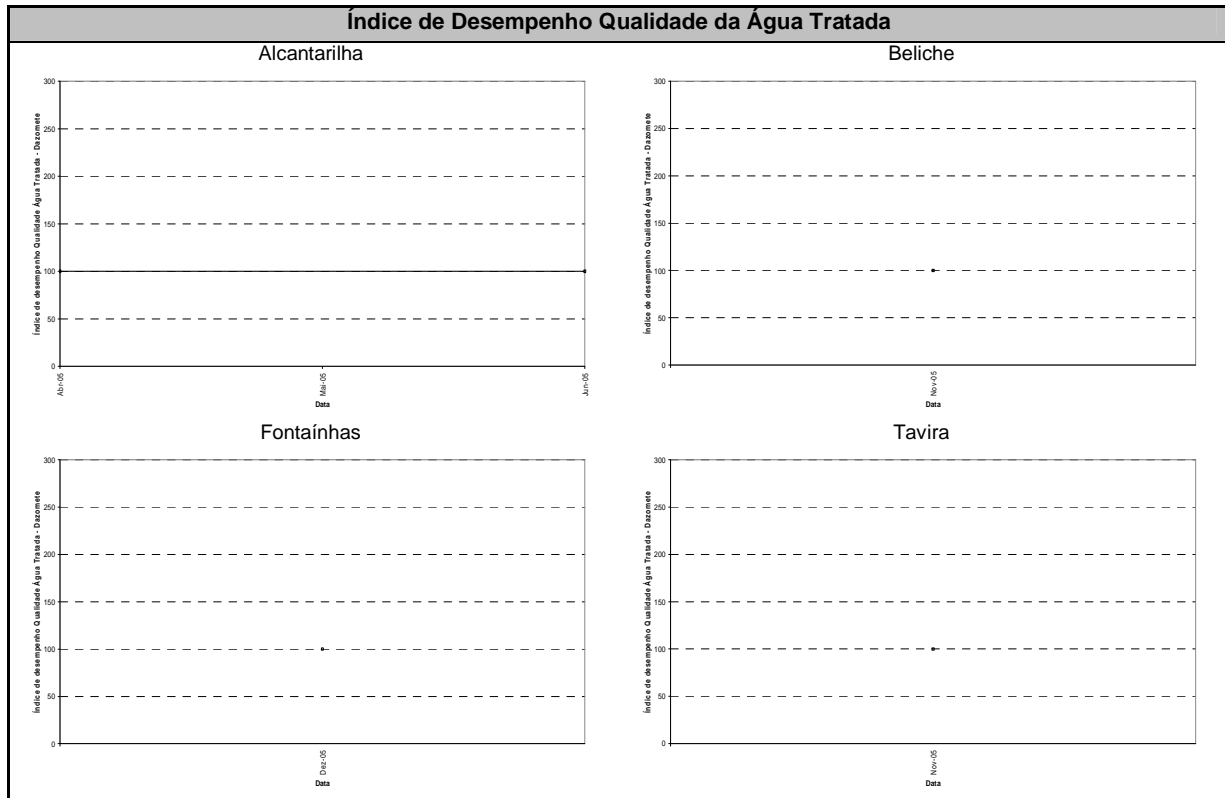
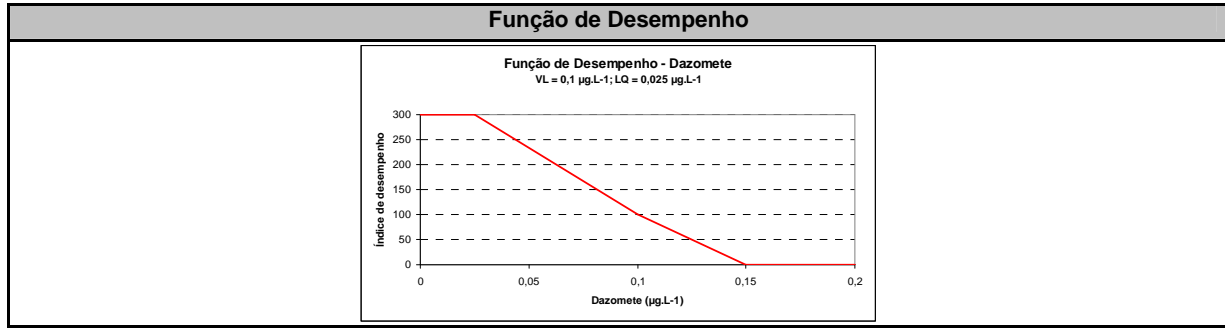




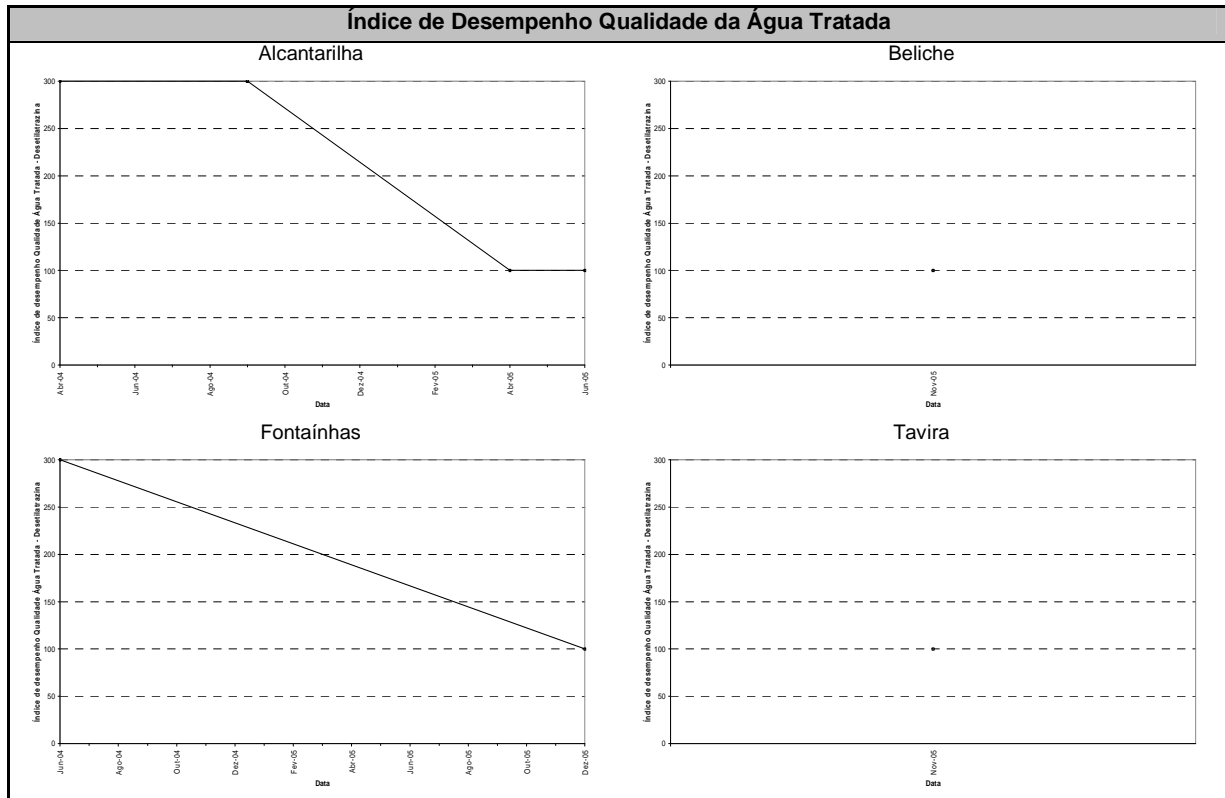
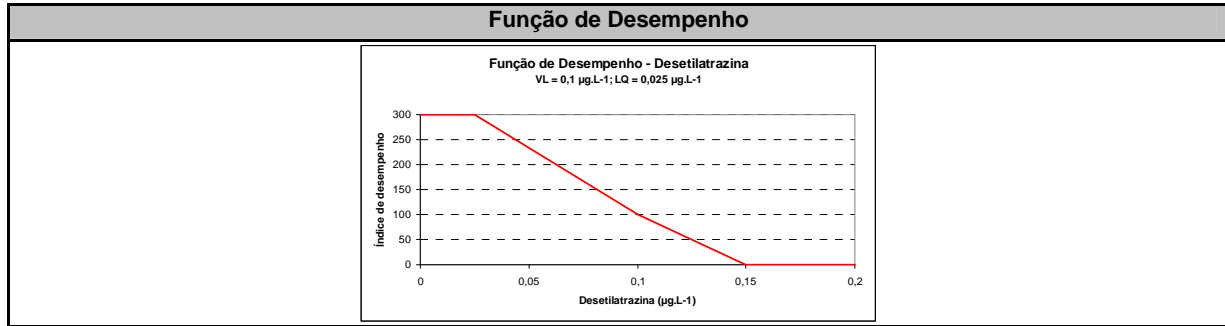
Parâmetro: crómio



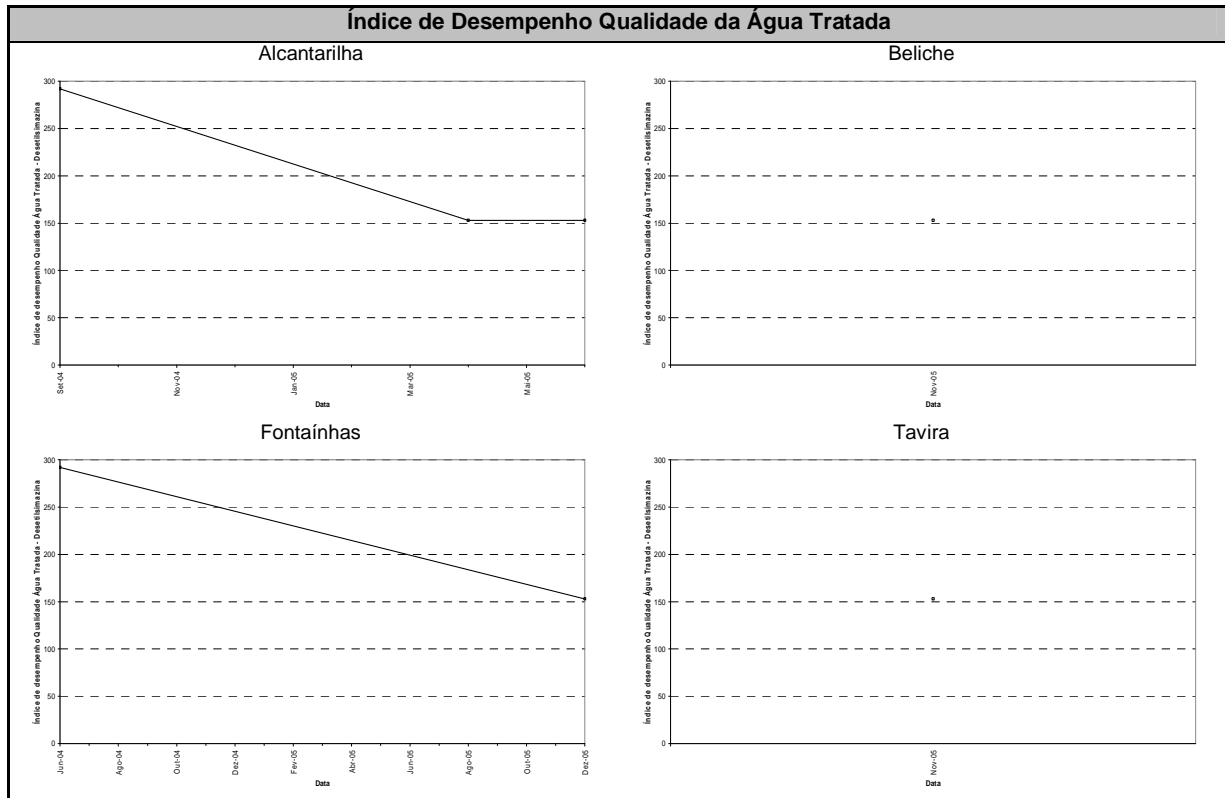
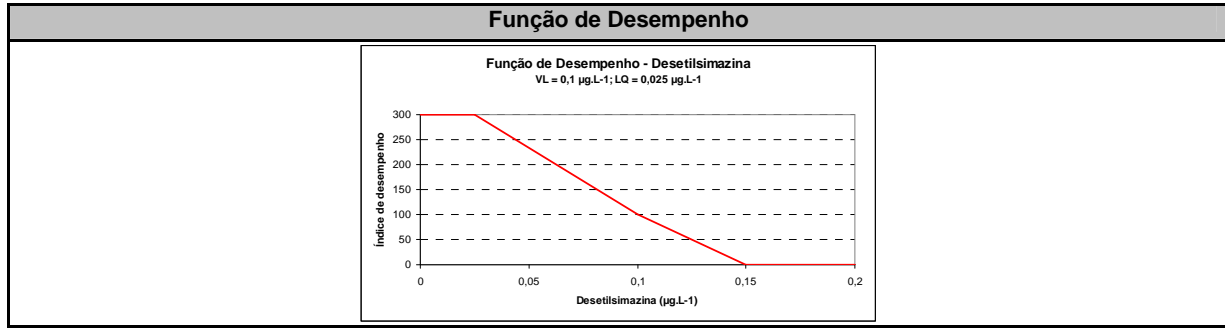
Parâmetro: dazomete



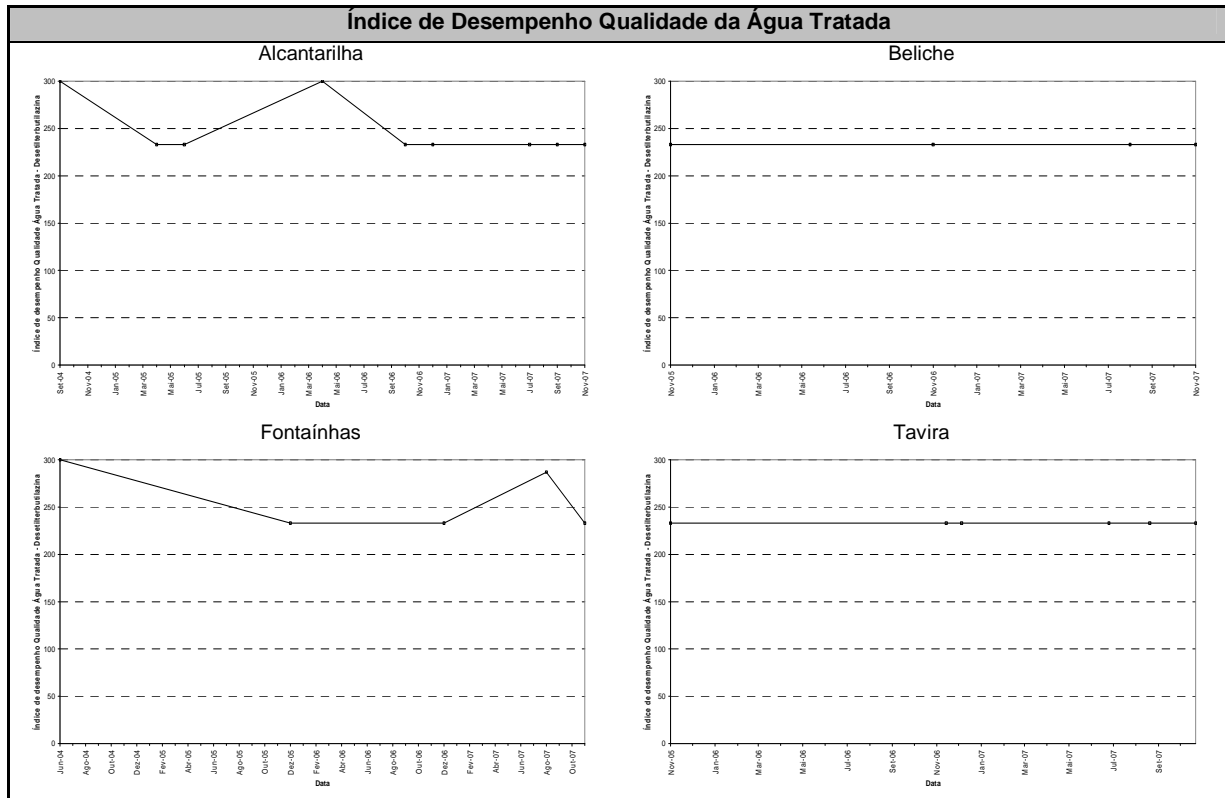
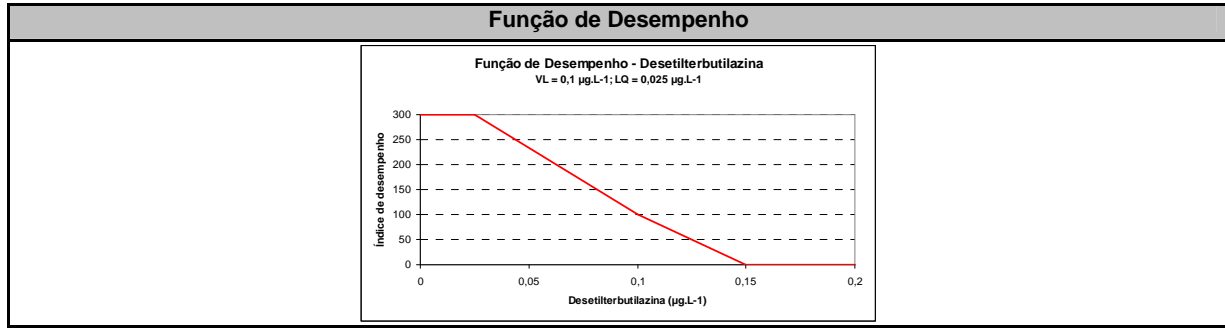
Parâmetro: desetilatrazina



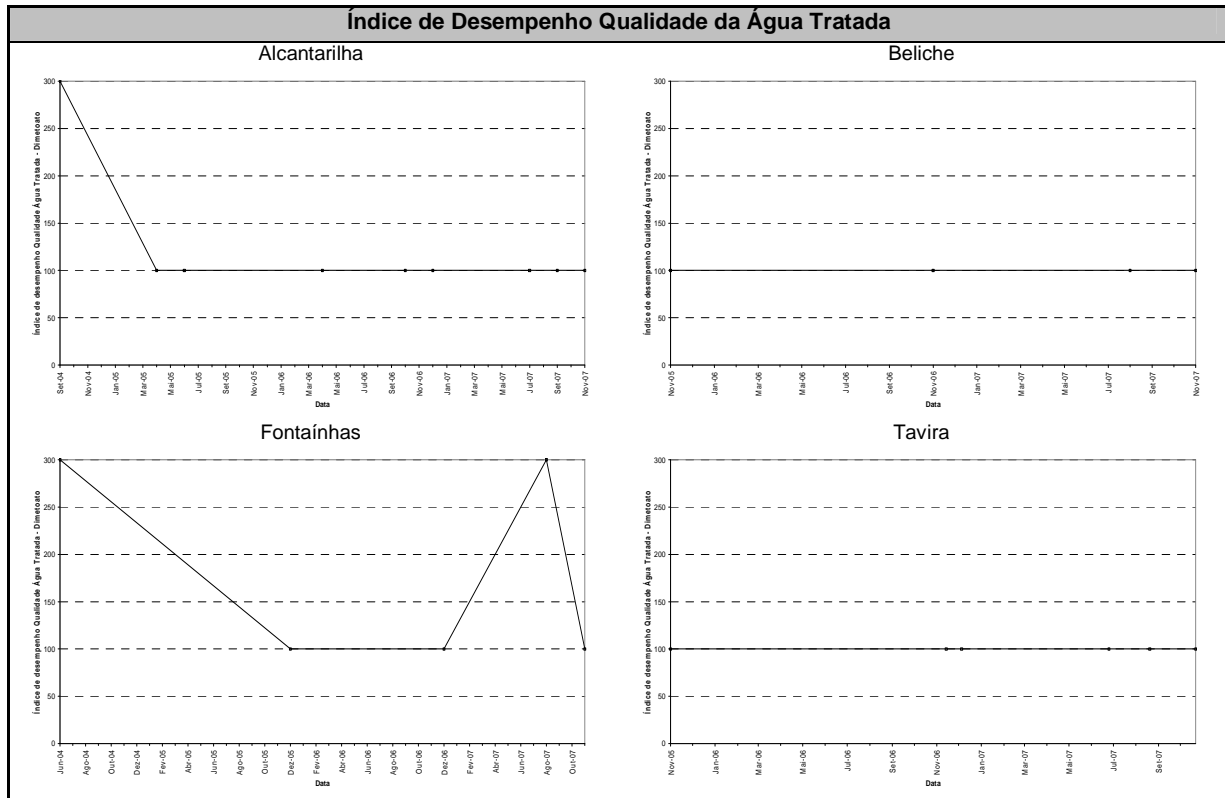
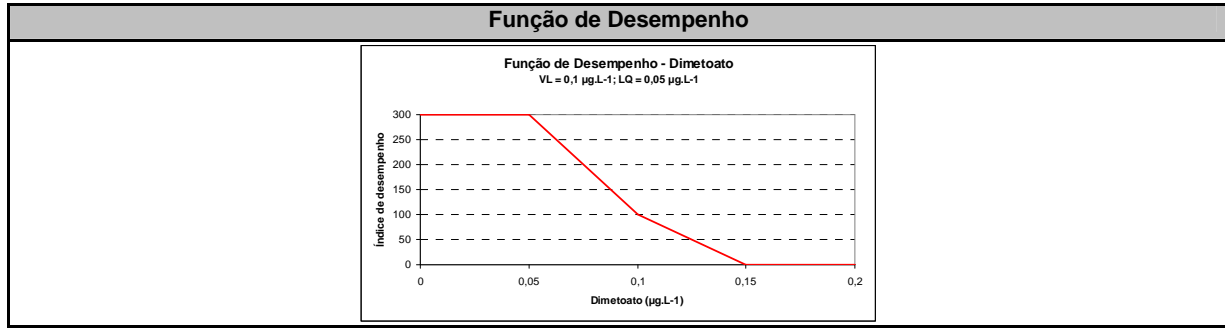
Parâmetro: desetilsimazina



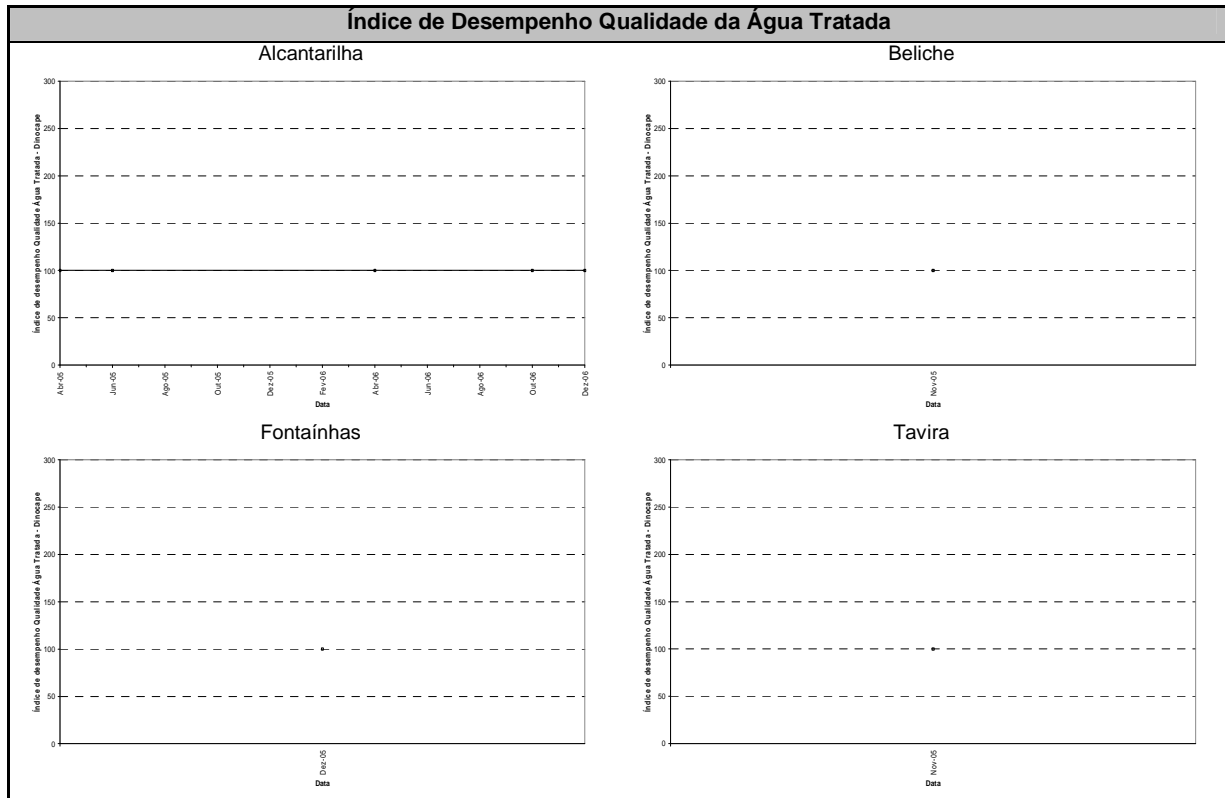
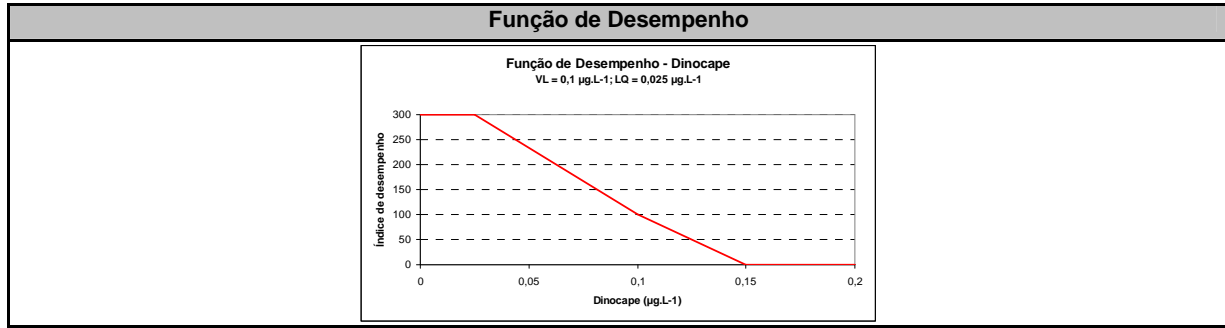
Parâmetro: deseterbutilazina



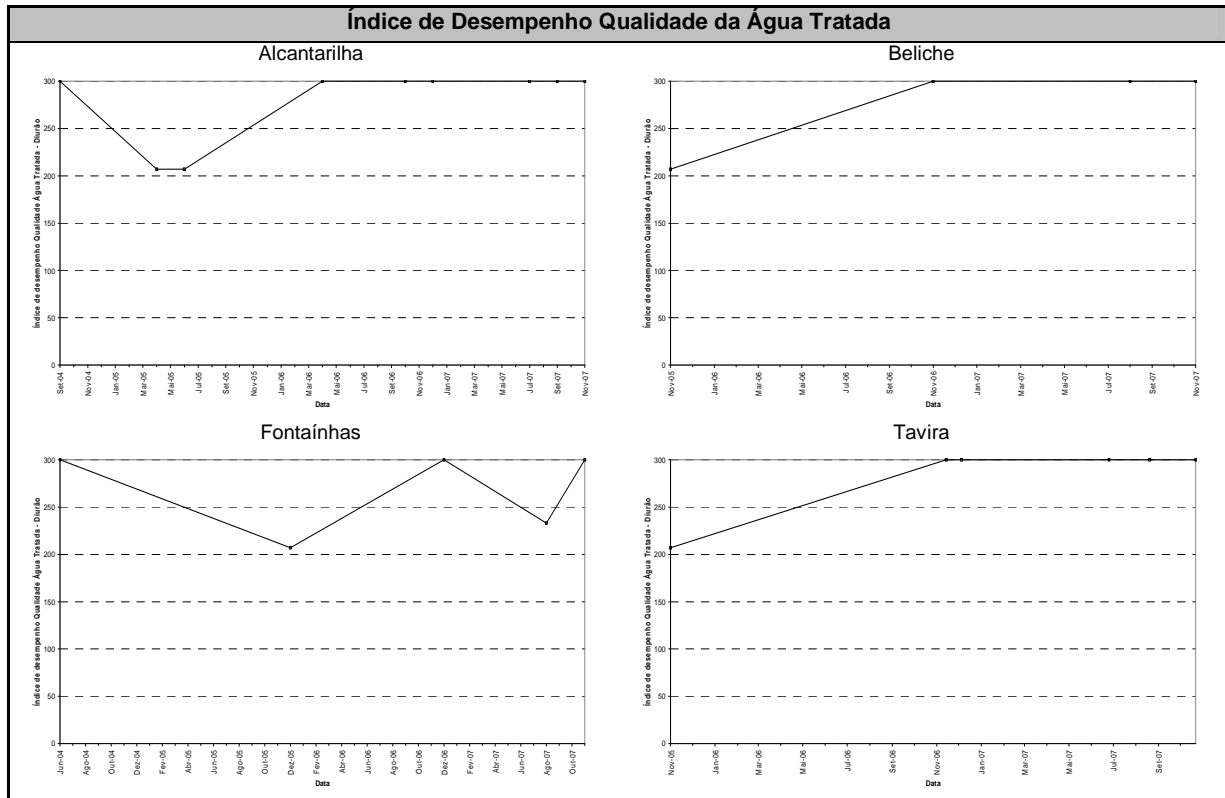
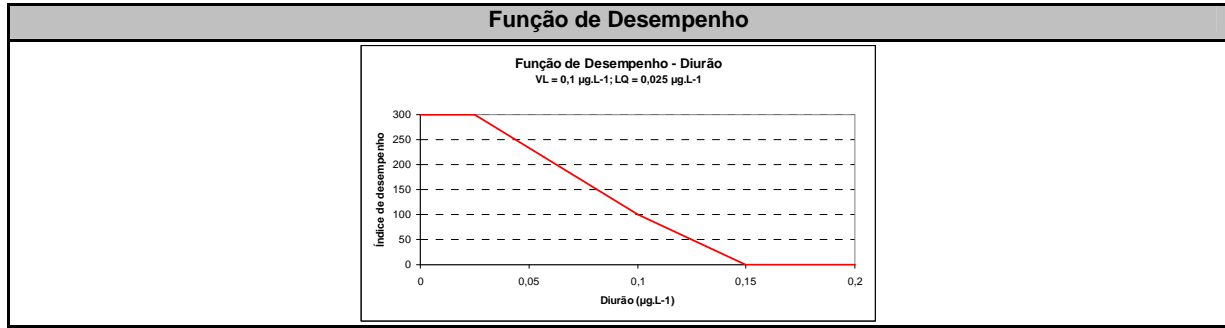
Parâmetro: dimetoato



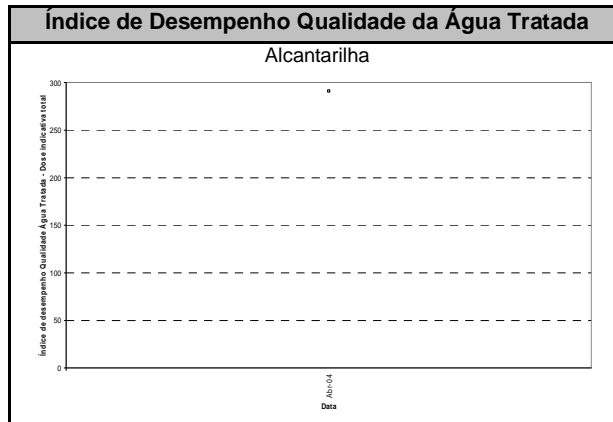
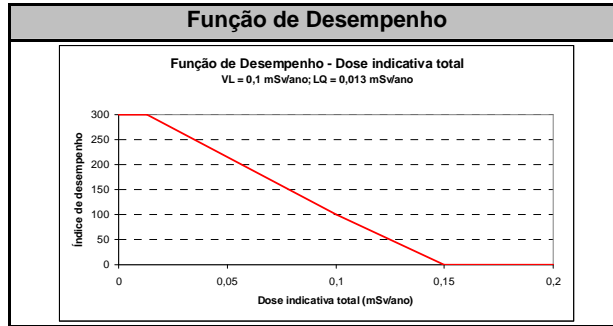
Parâmetro: dinocape



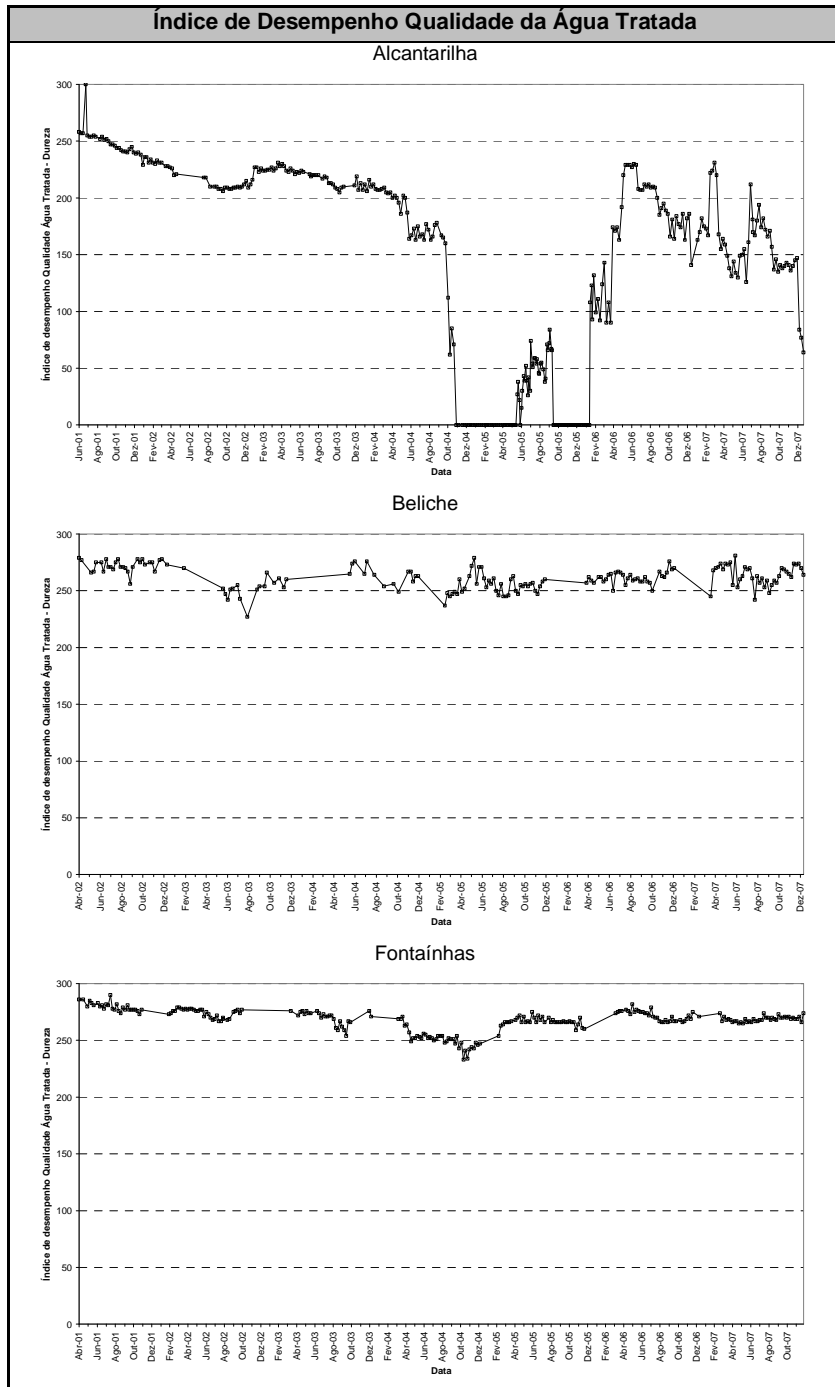
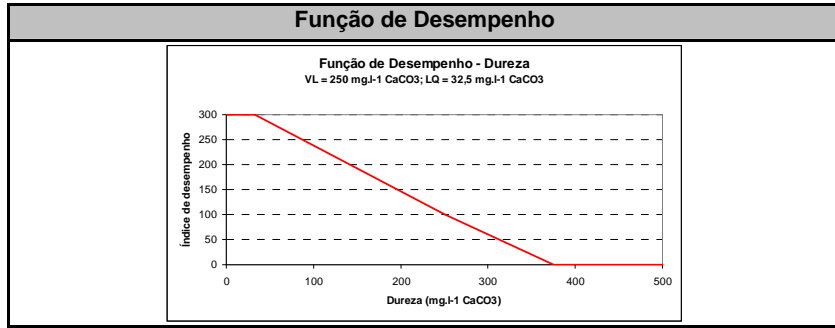
Parâmetro: diurão

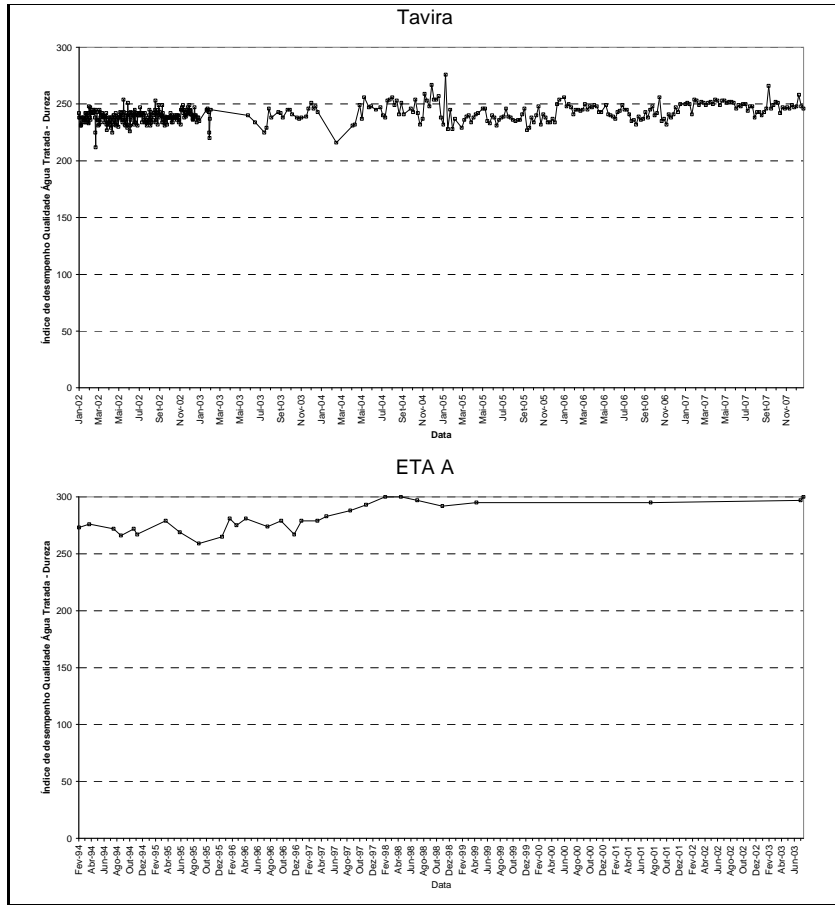


Parâmetro: dose indicativa total

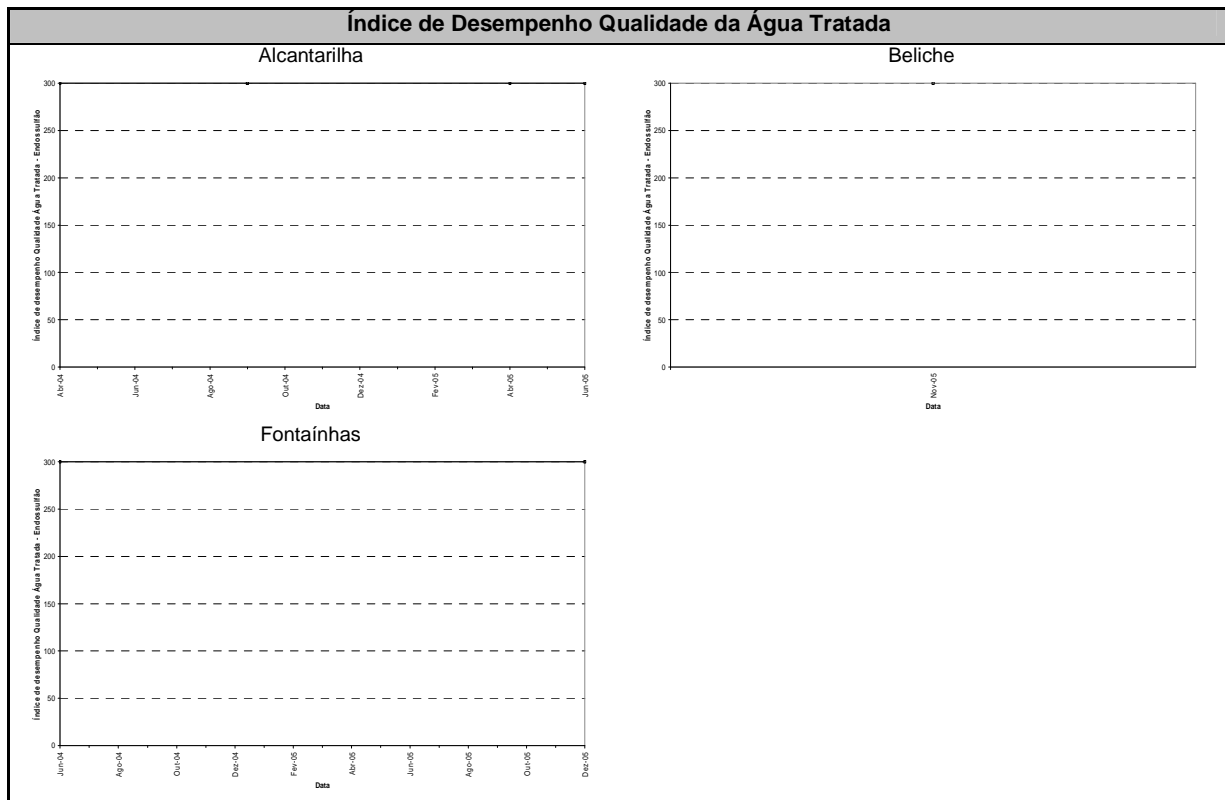
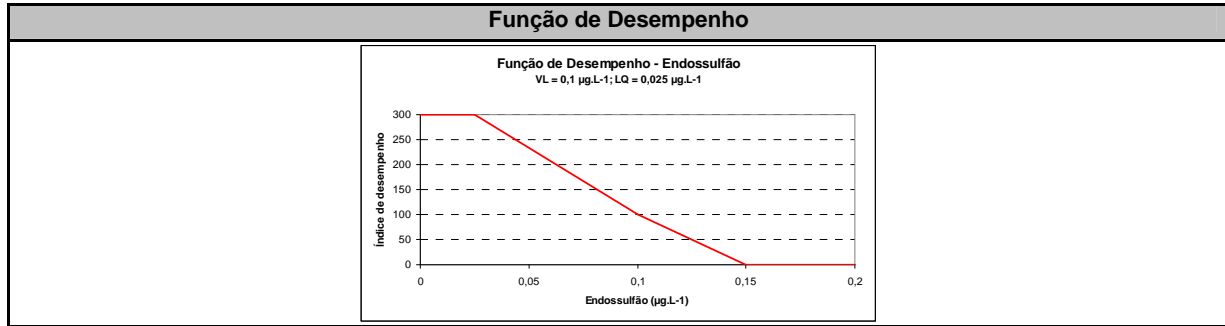


Parâmetro: dureza

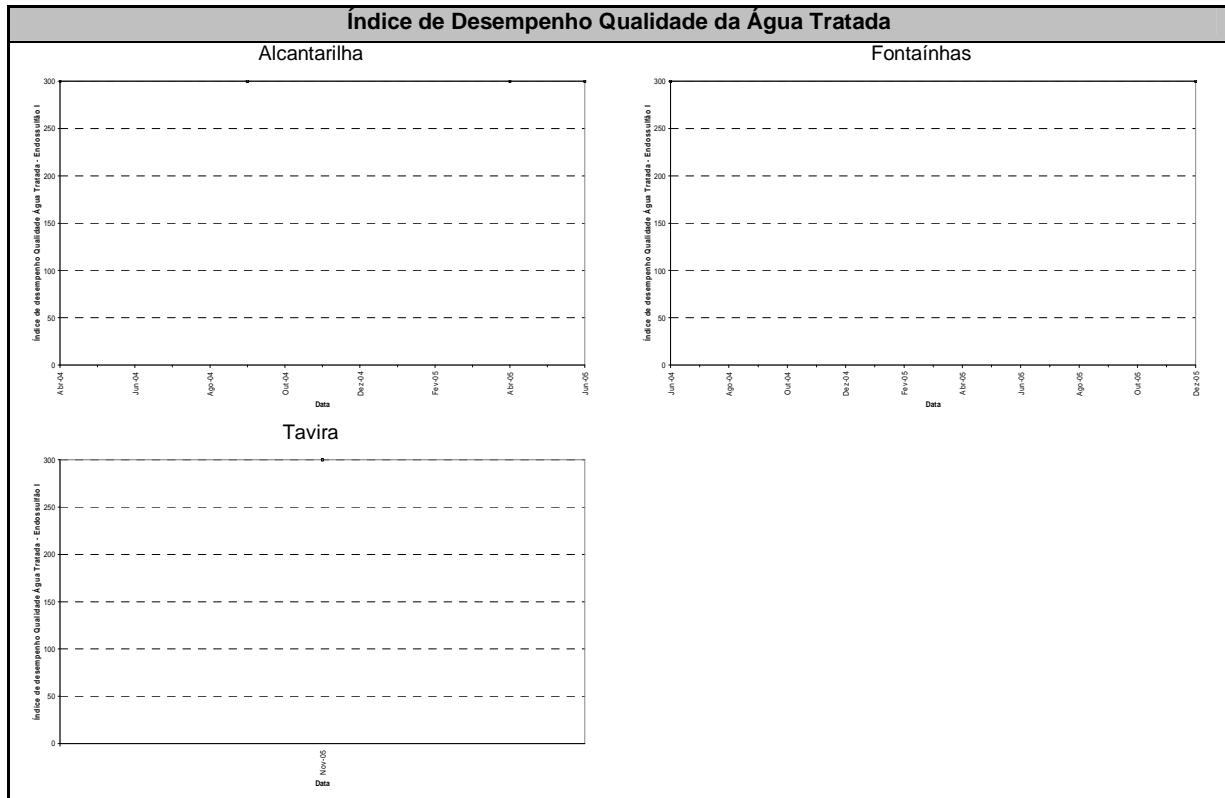
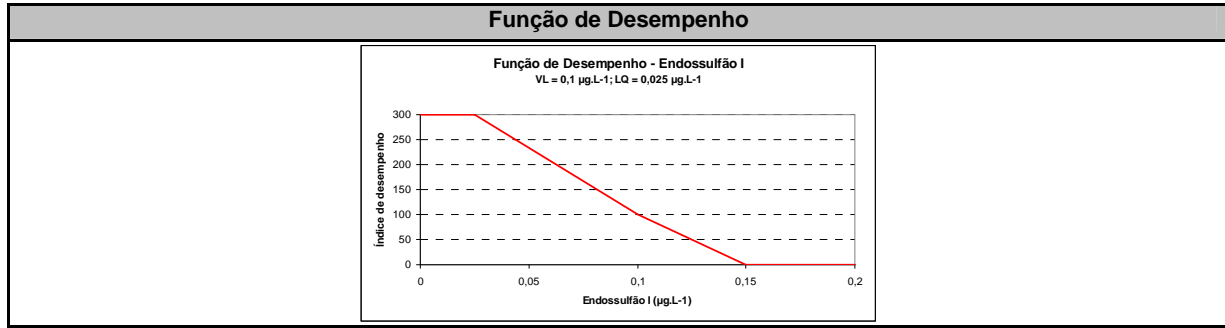




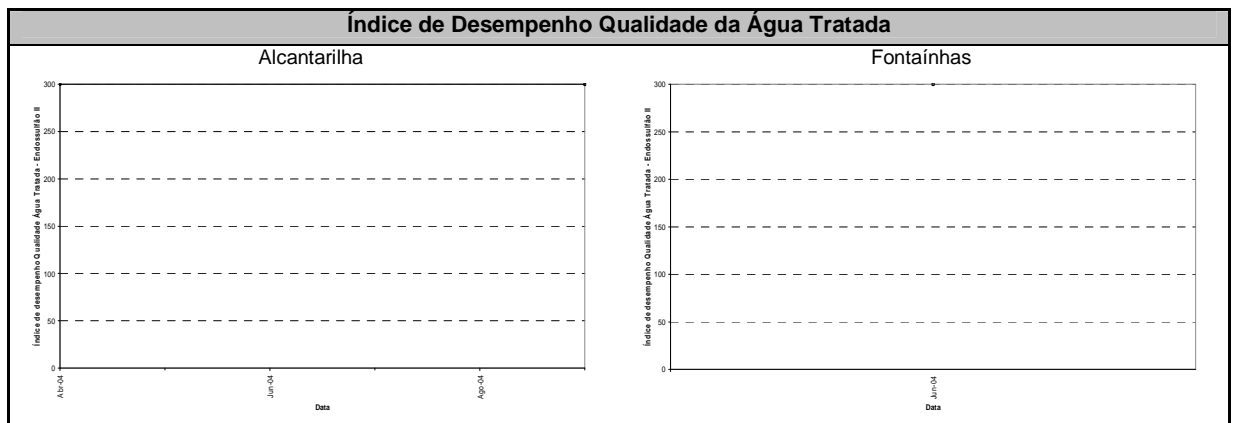
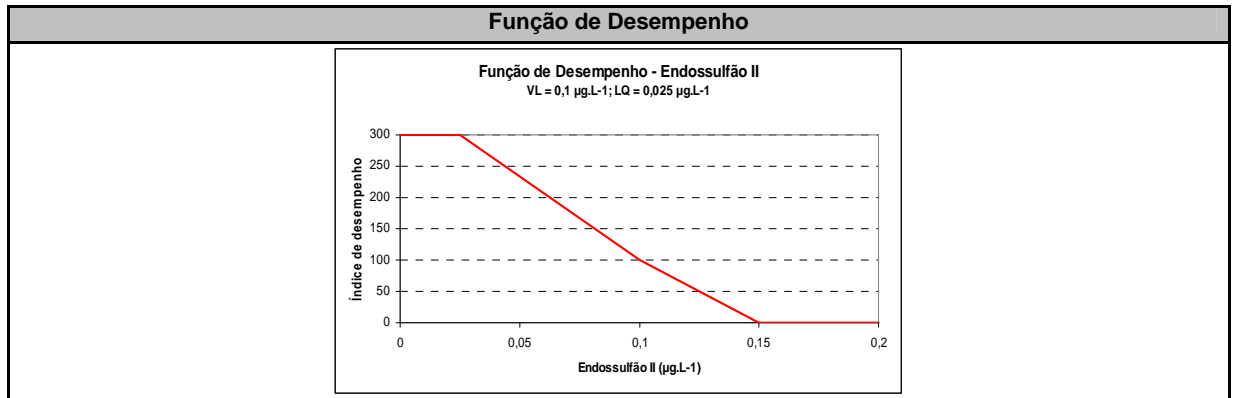
Parâmetro: endossulfão



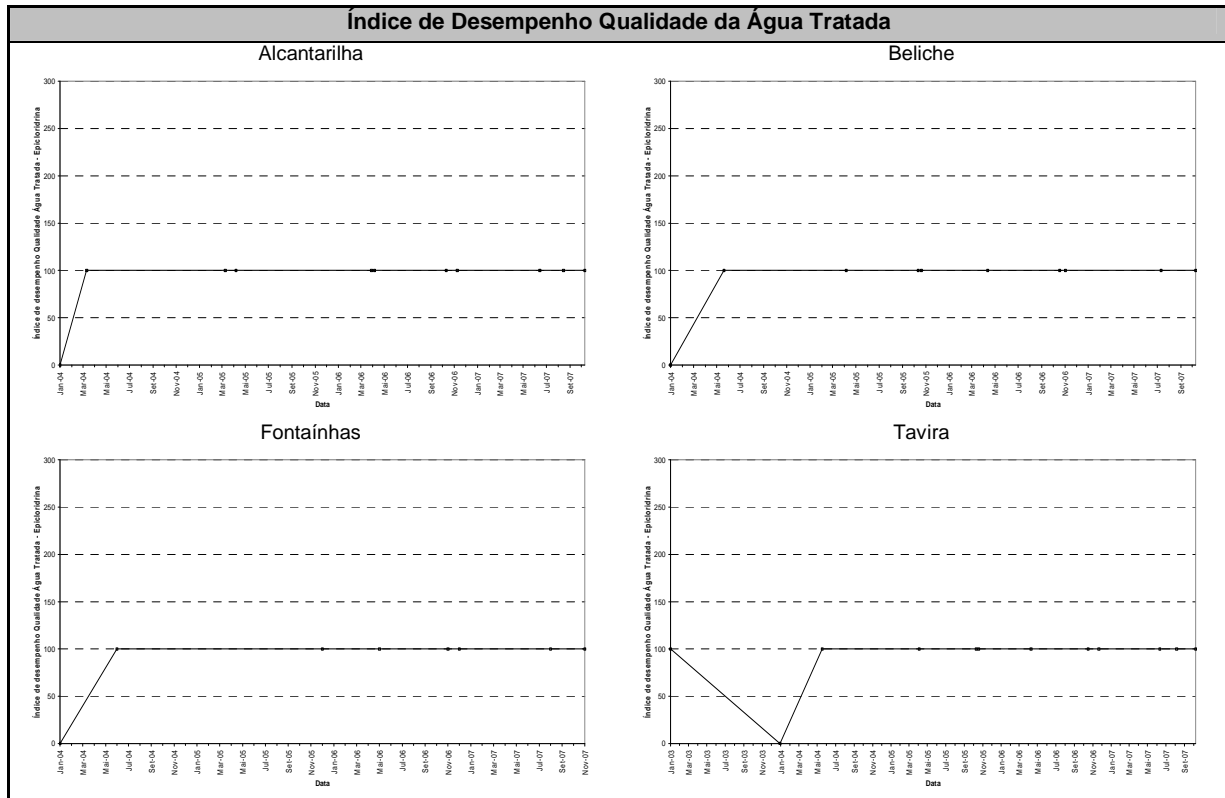
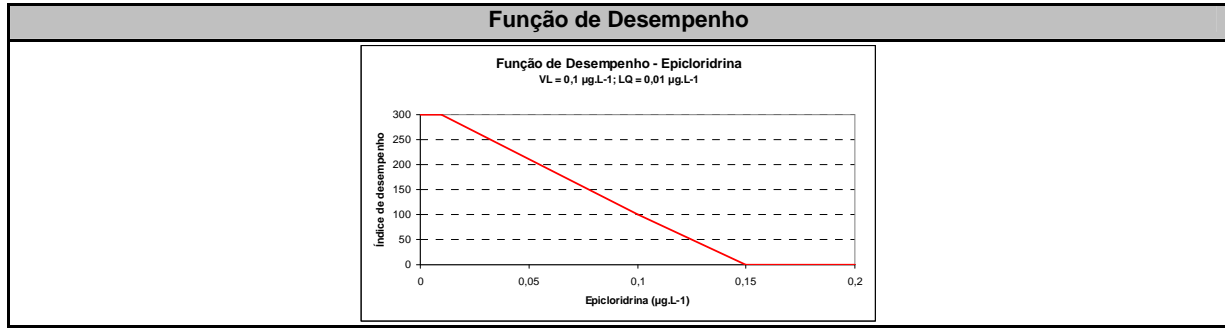
Parâmetro: endossulfão I



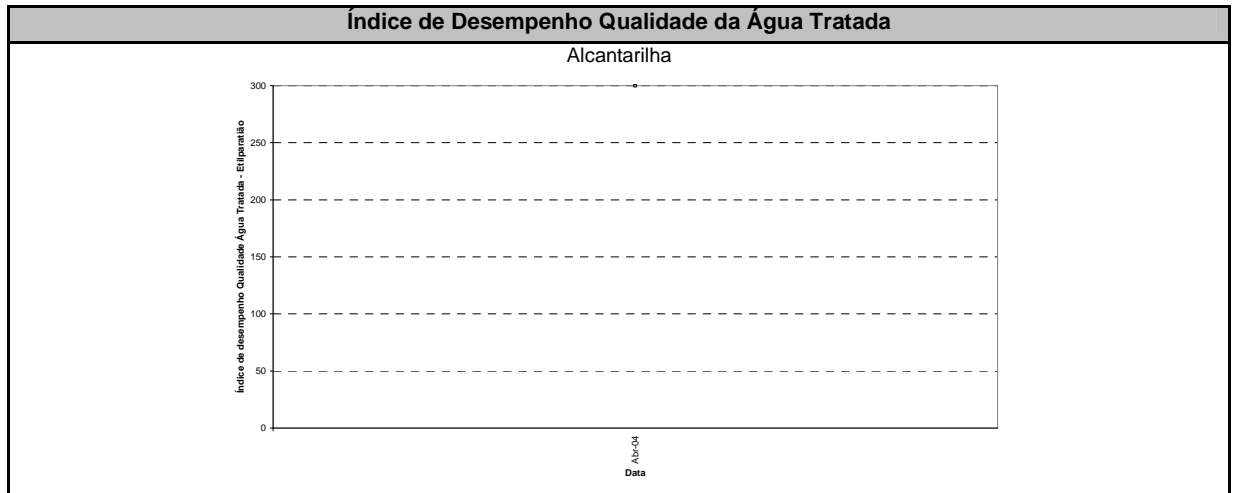
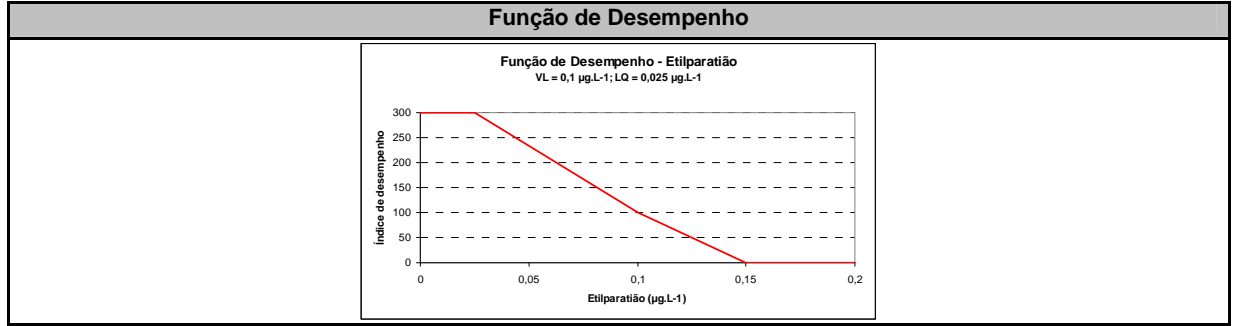
Parâmetro: endossulfão II



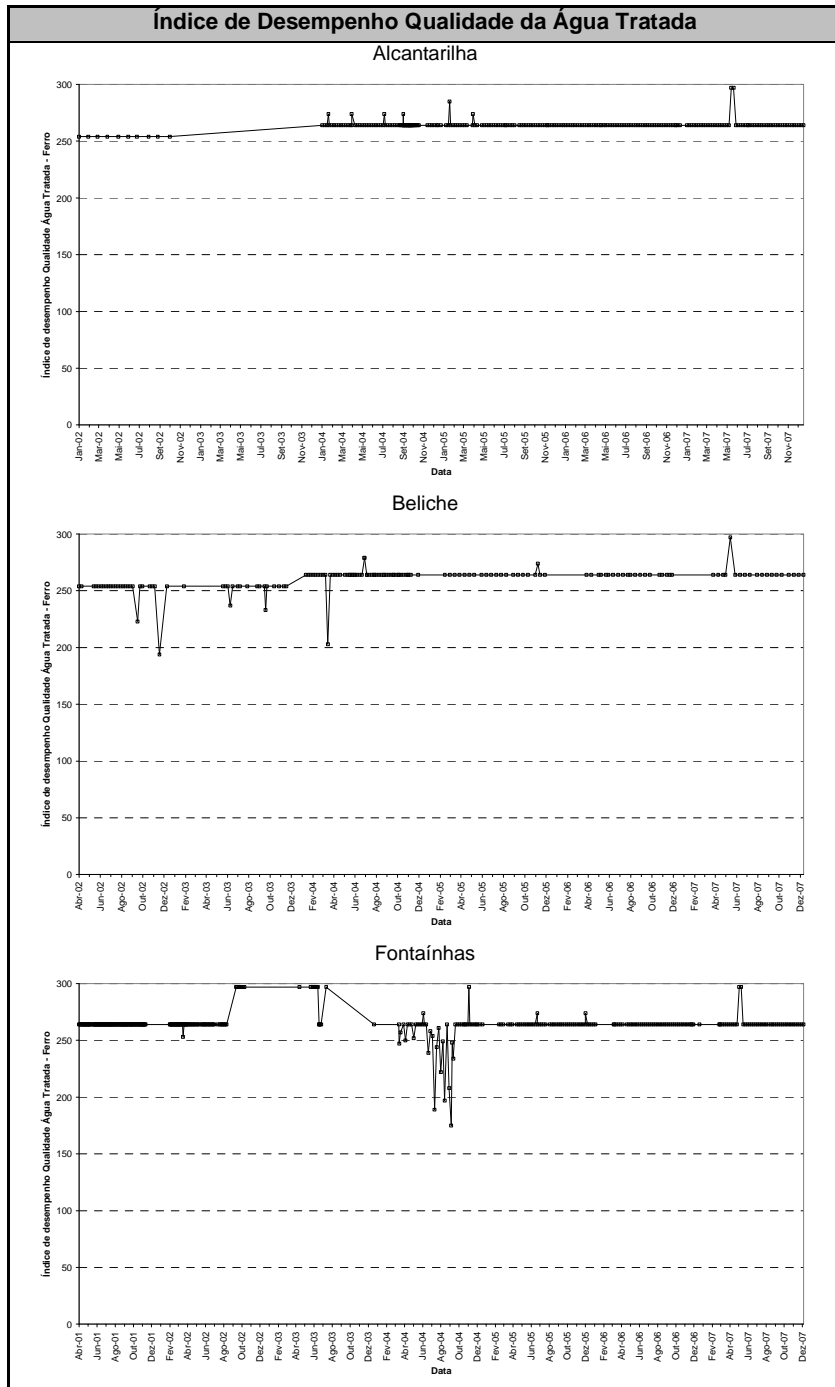
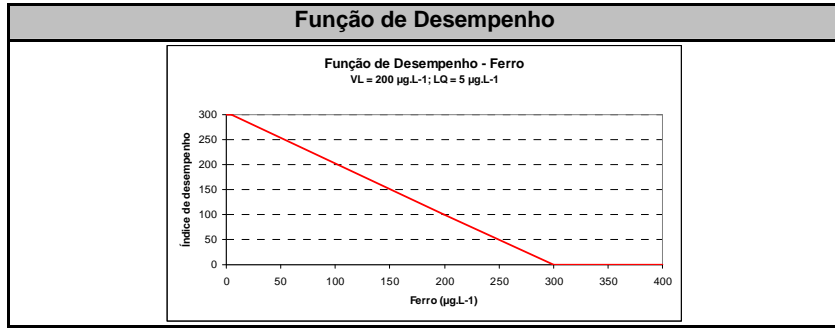
Parâmetro: epicloridrina

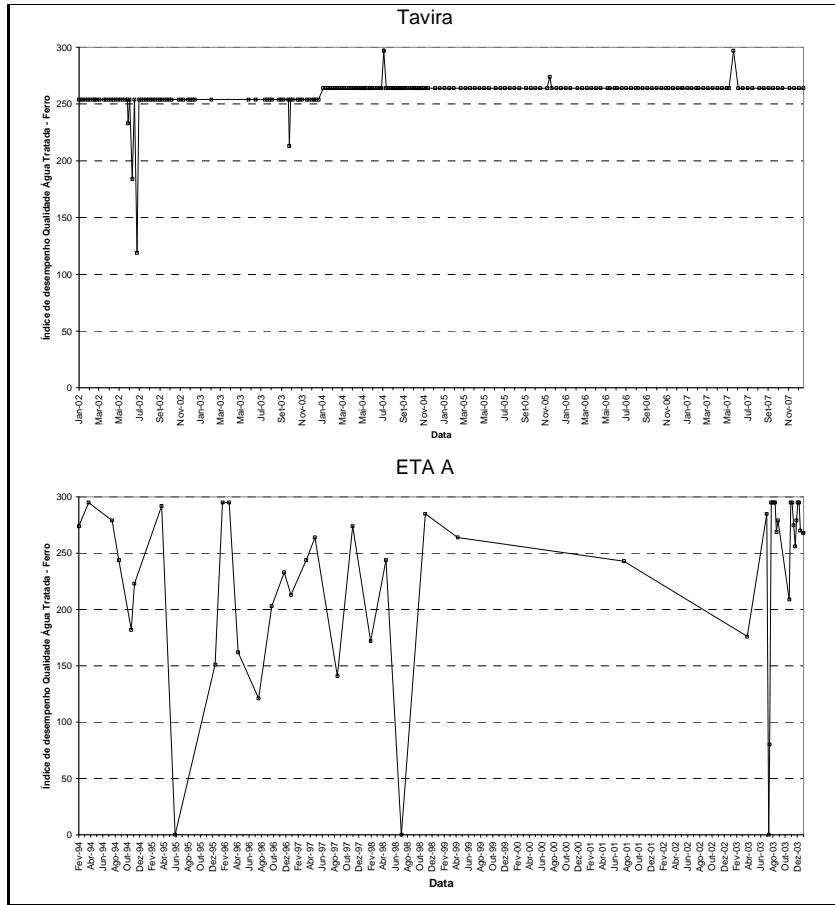


Parâmetro: etilparatião

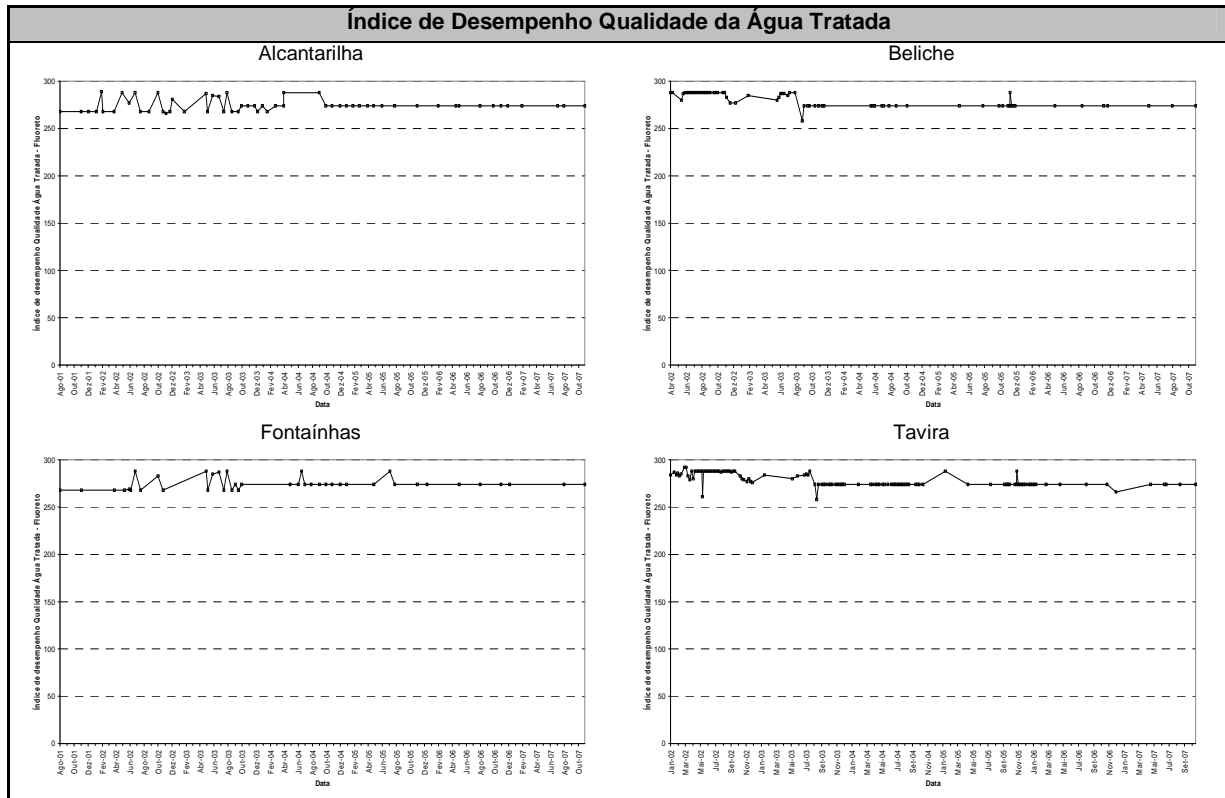
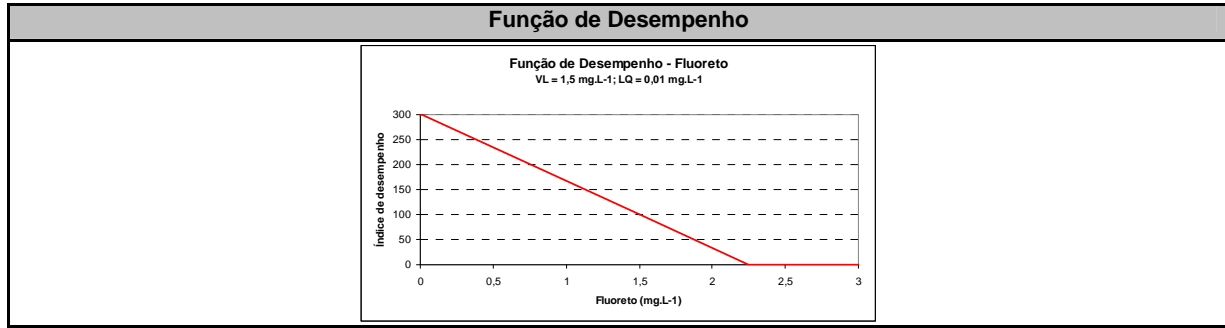


Parâmetro: ferro

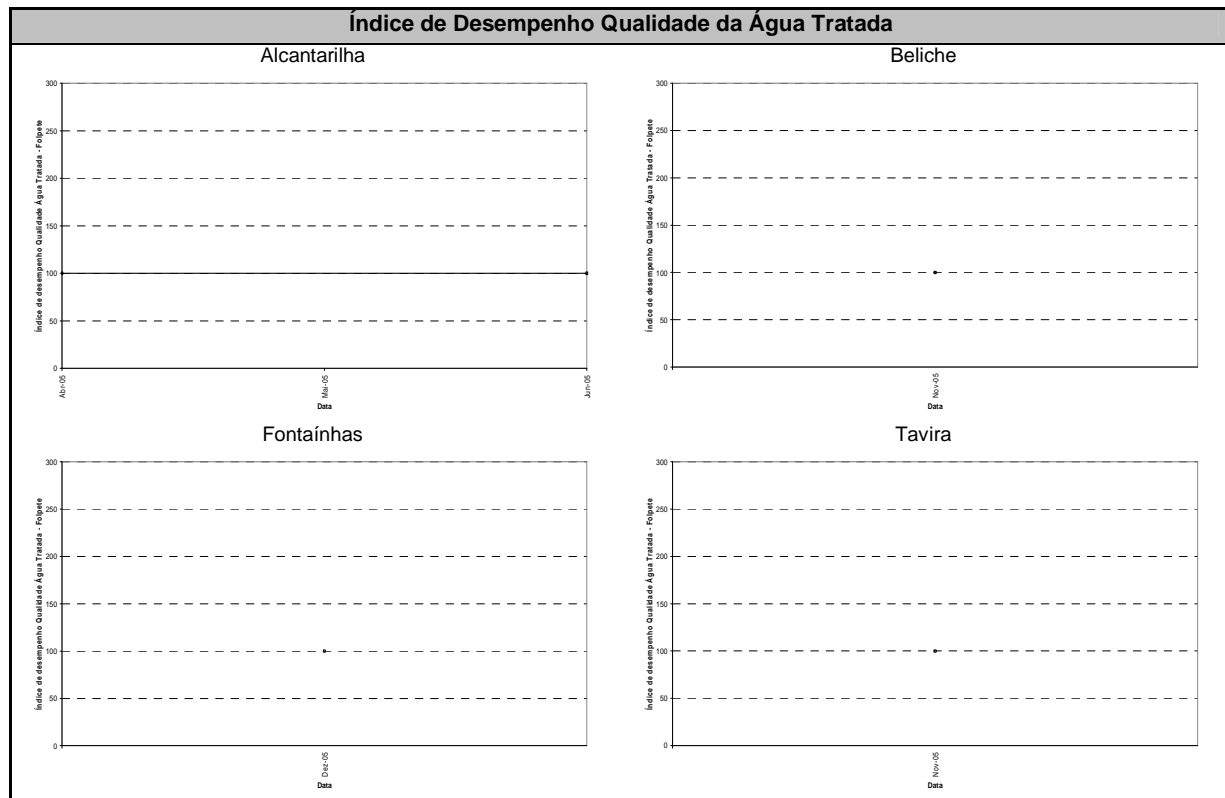
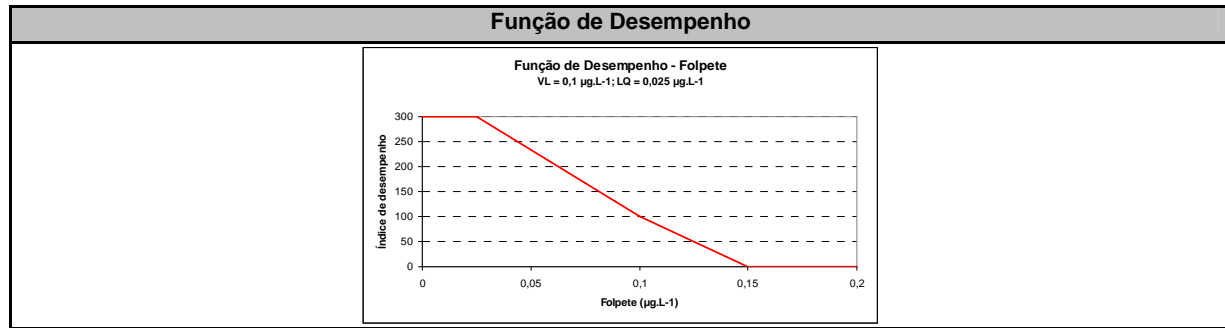




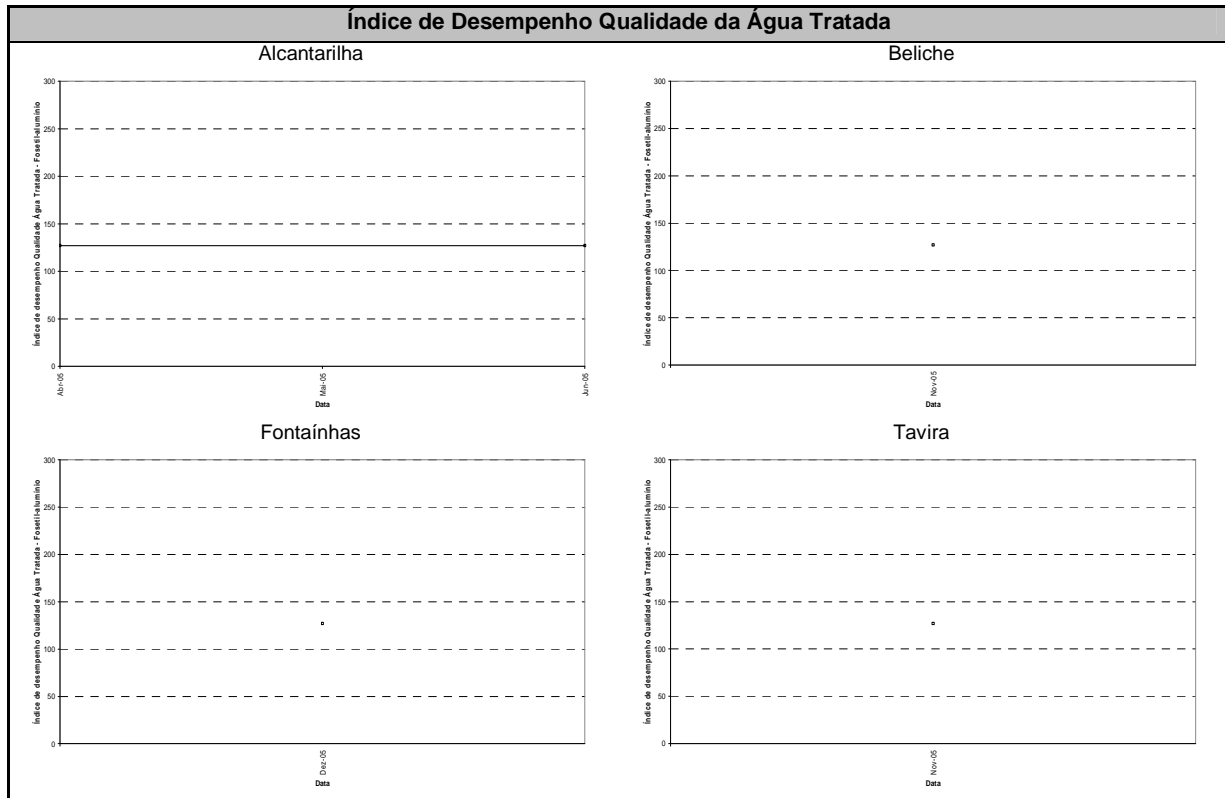
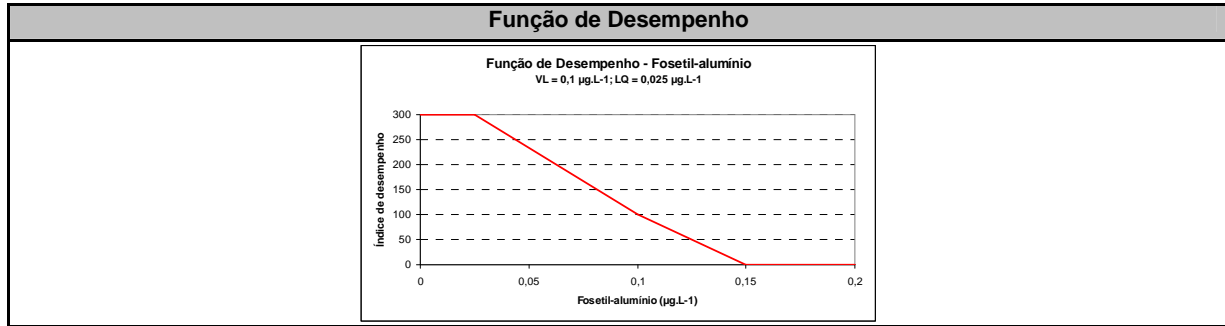
Parâmetro: fluoreto



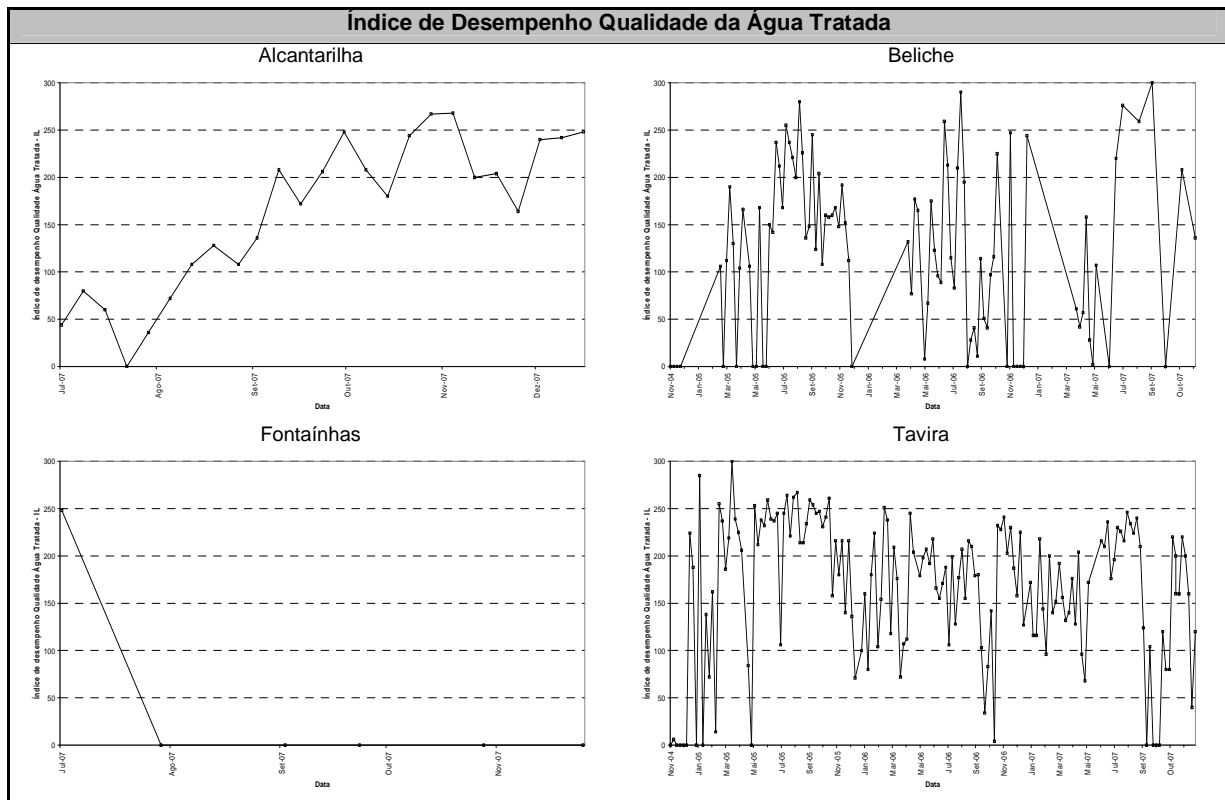
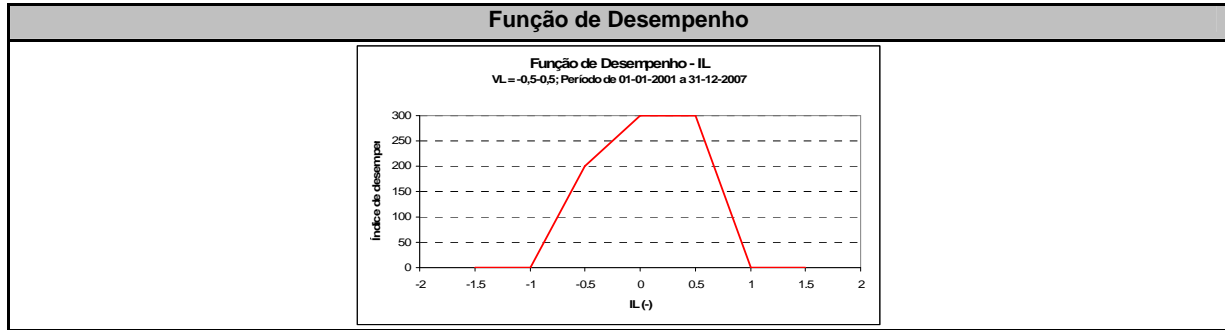
Parâmetro: folpete



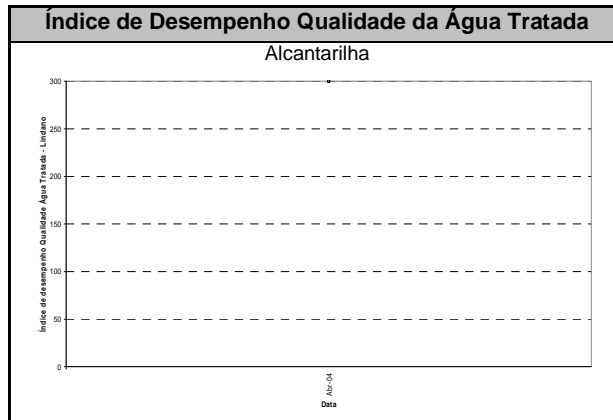
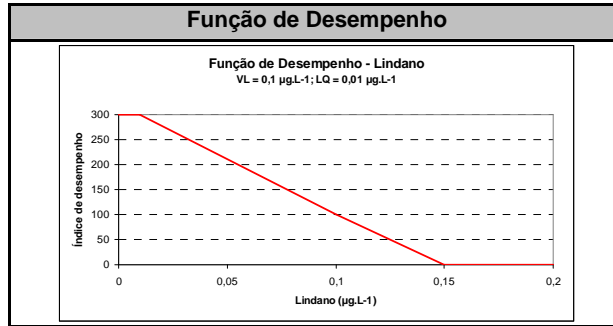
Parâmetro: fosetil-alumínio



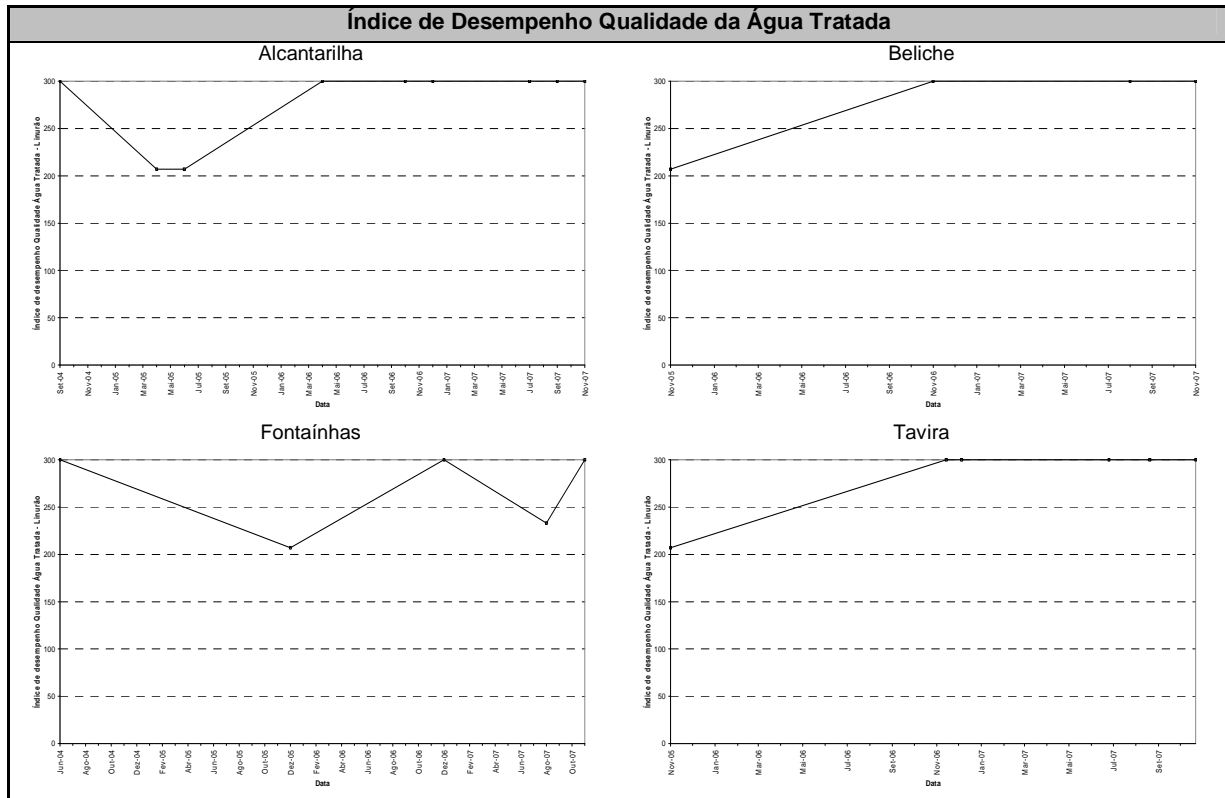
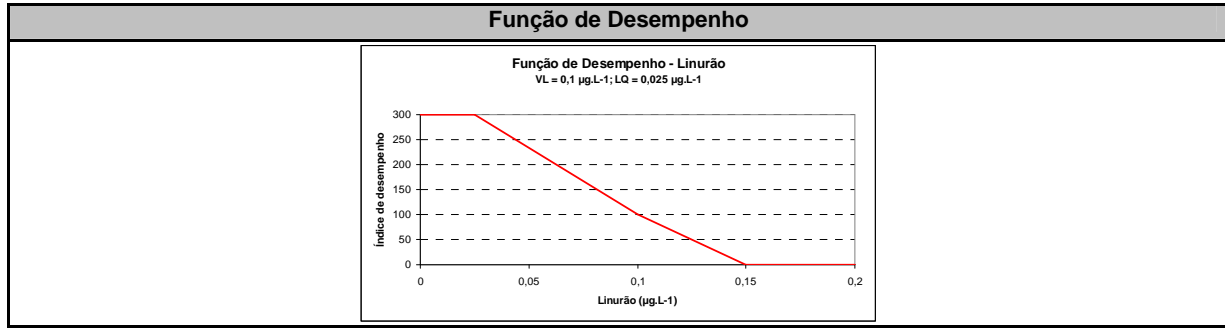
Parâmetro: Índice de Saturação de Langelier



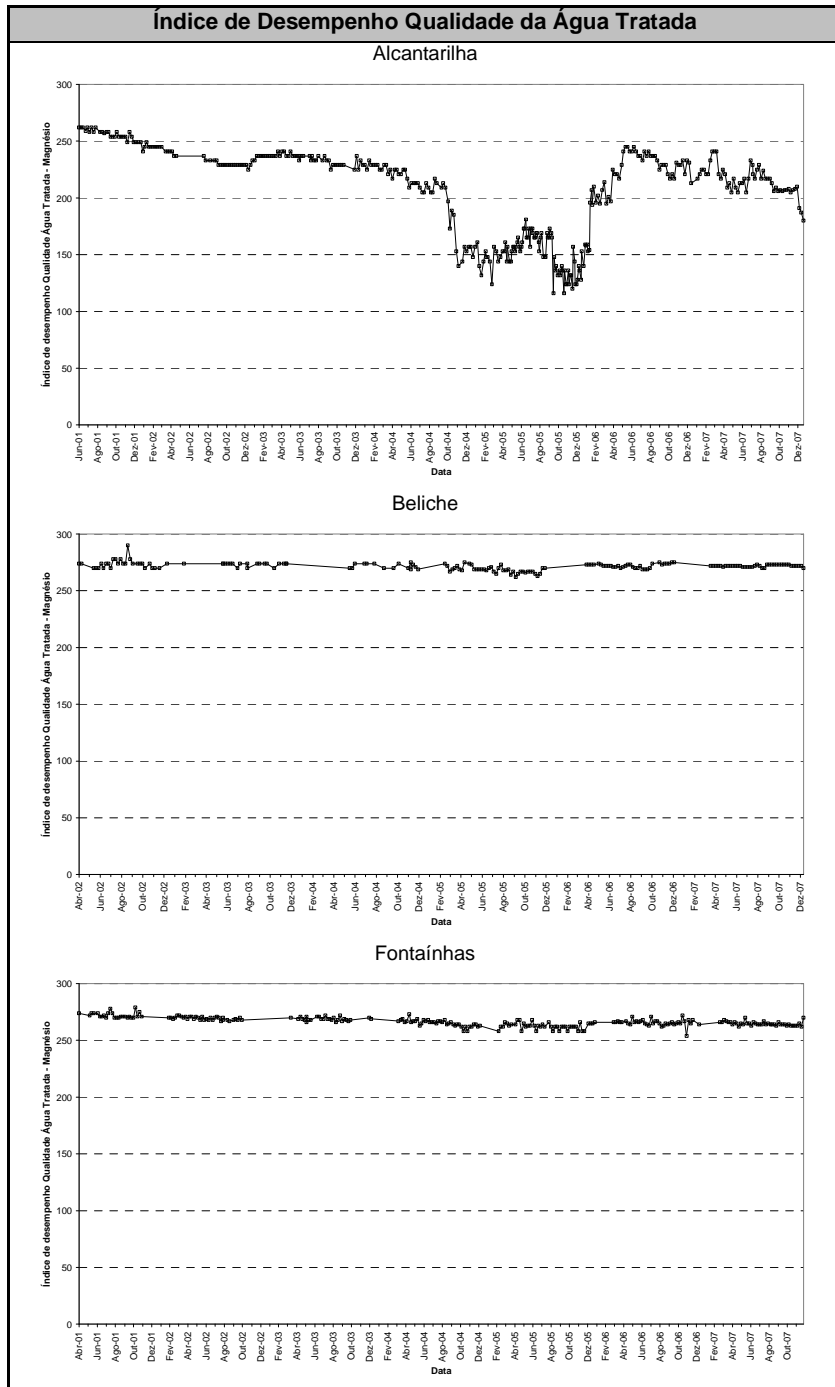
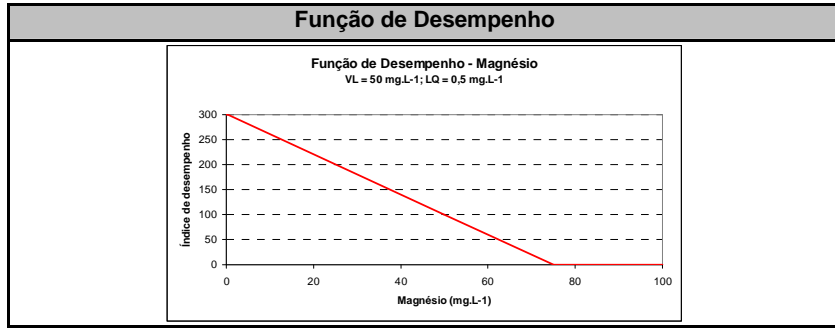
Parâmetro: lindano

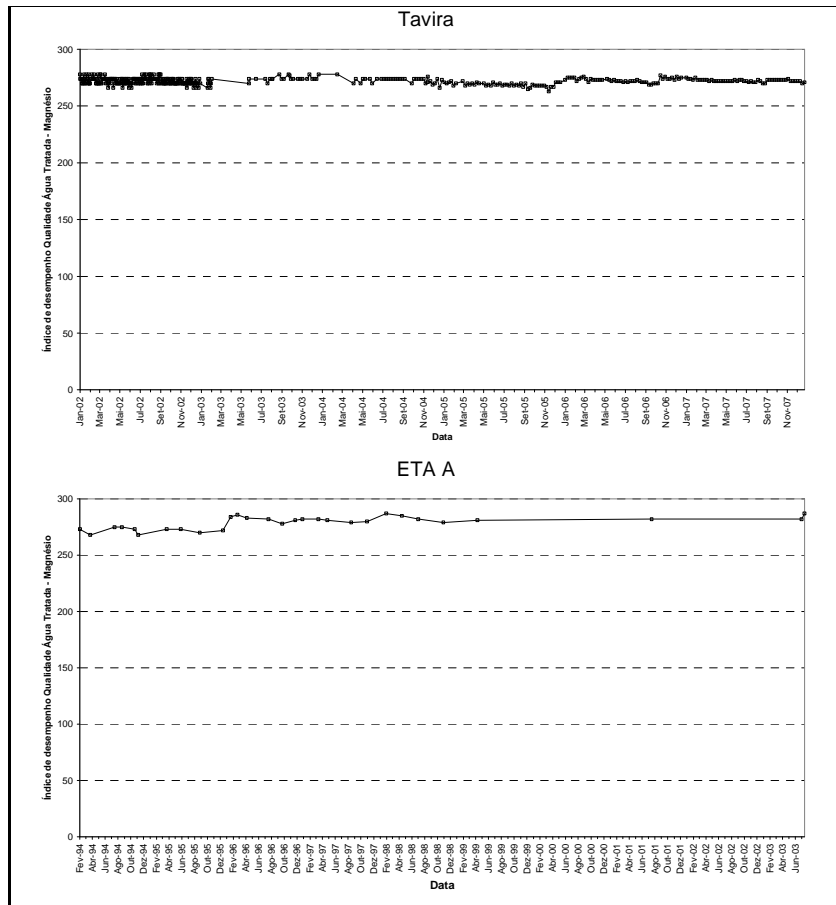


Parâmetro: linurão

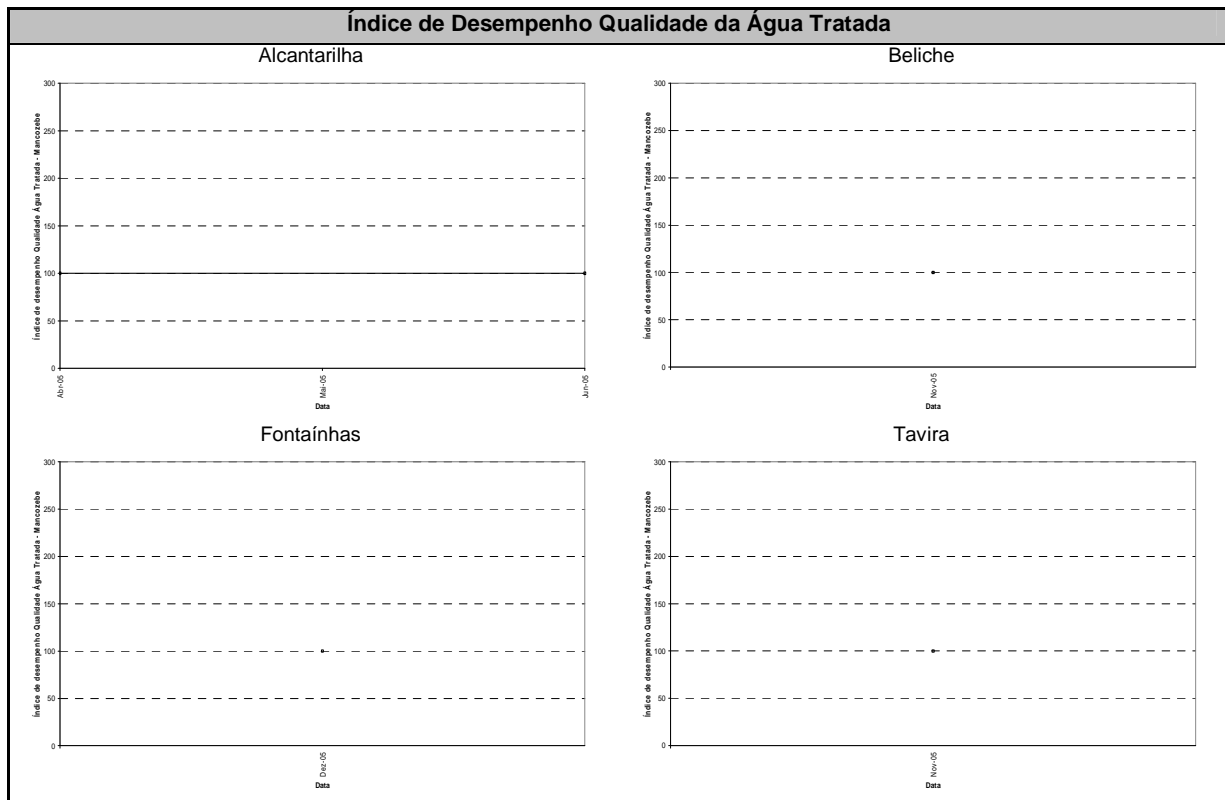
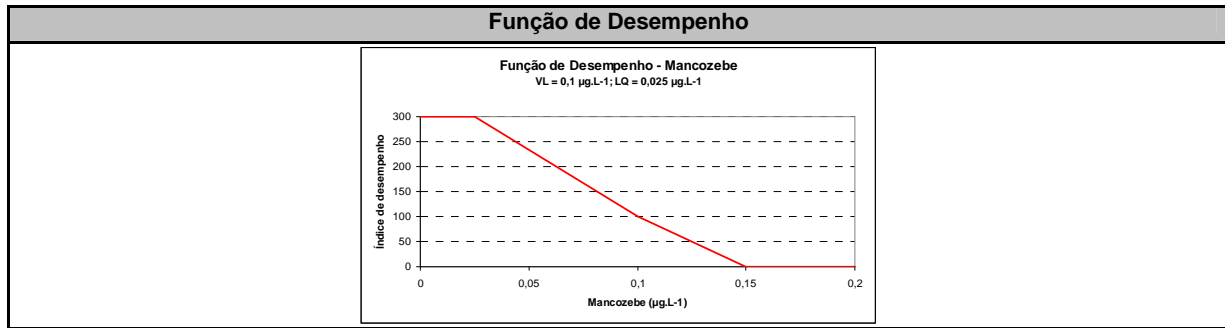


Parâmetro: magnésio

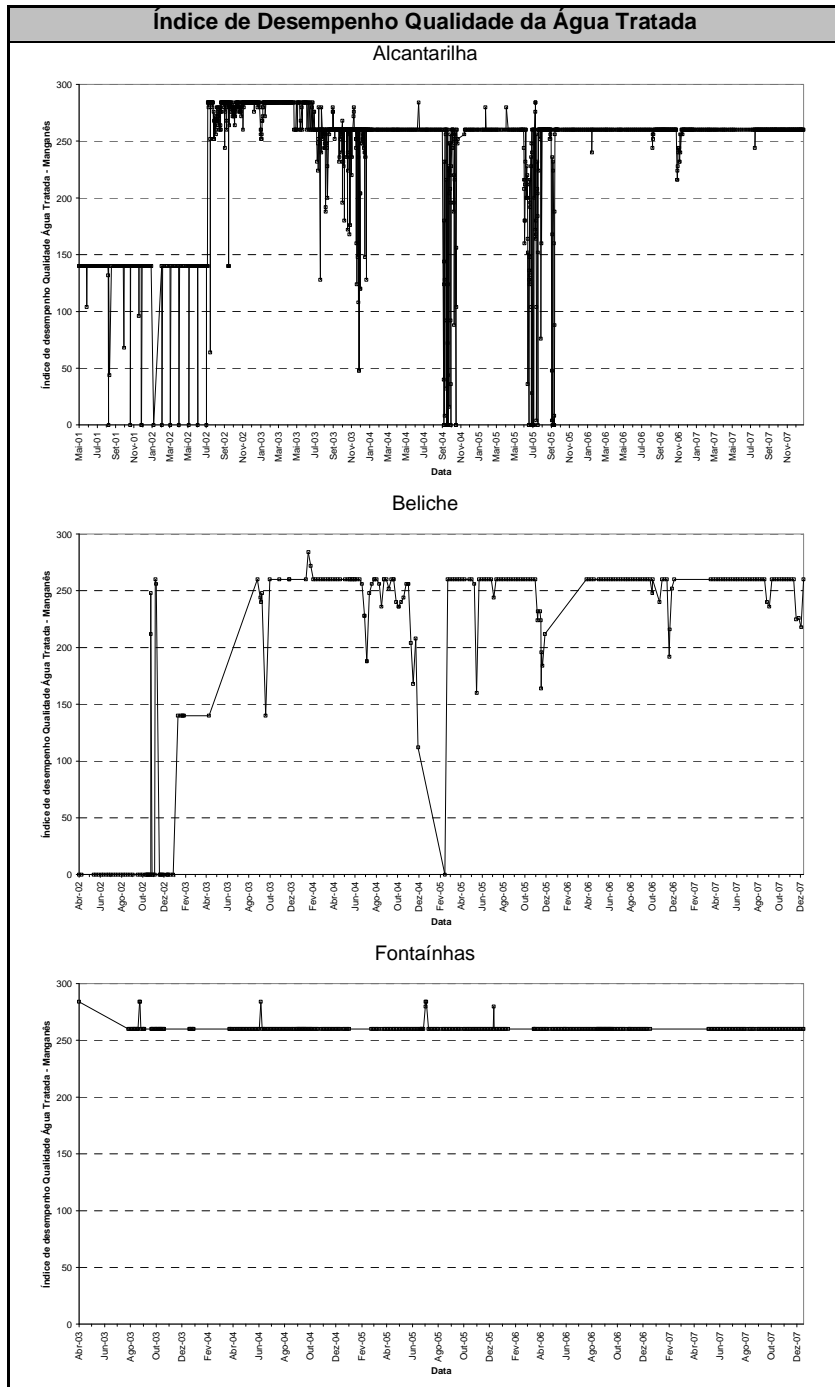
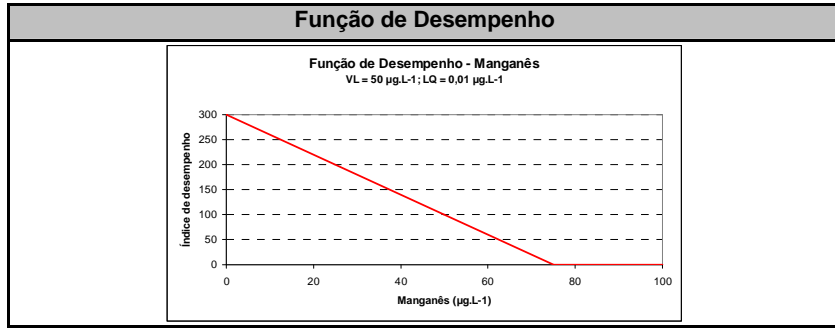


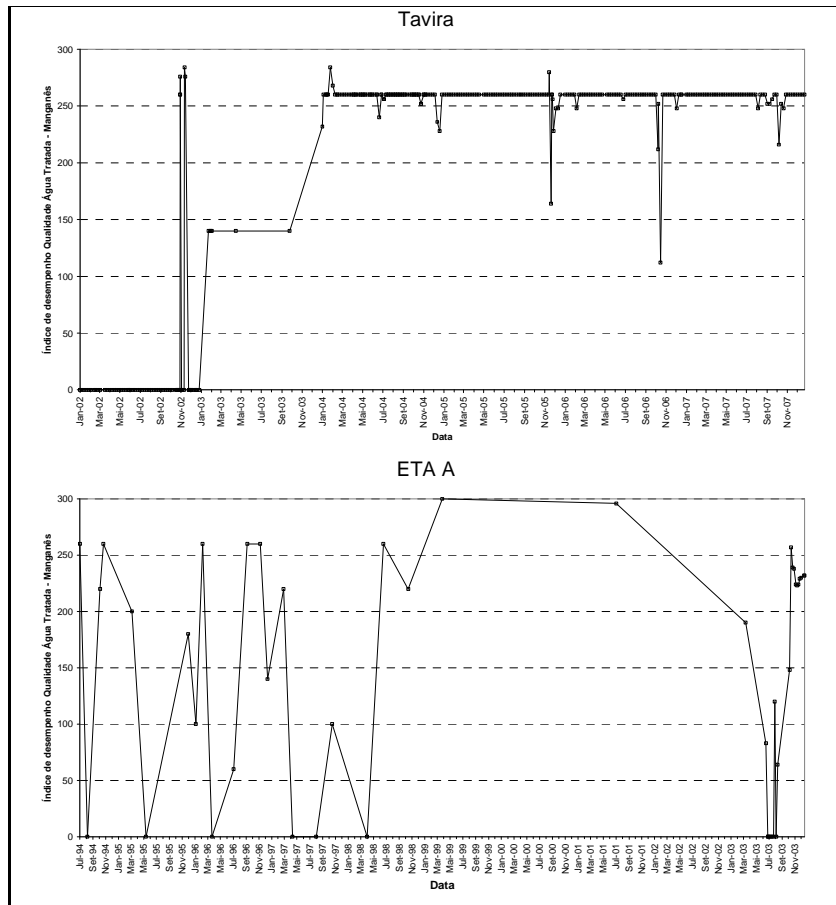


Parâmetro: mancozebe

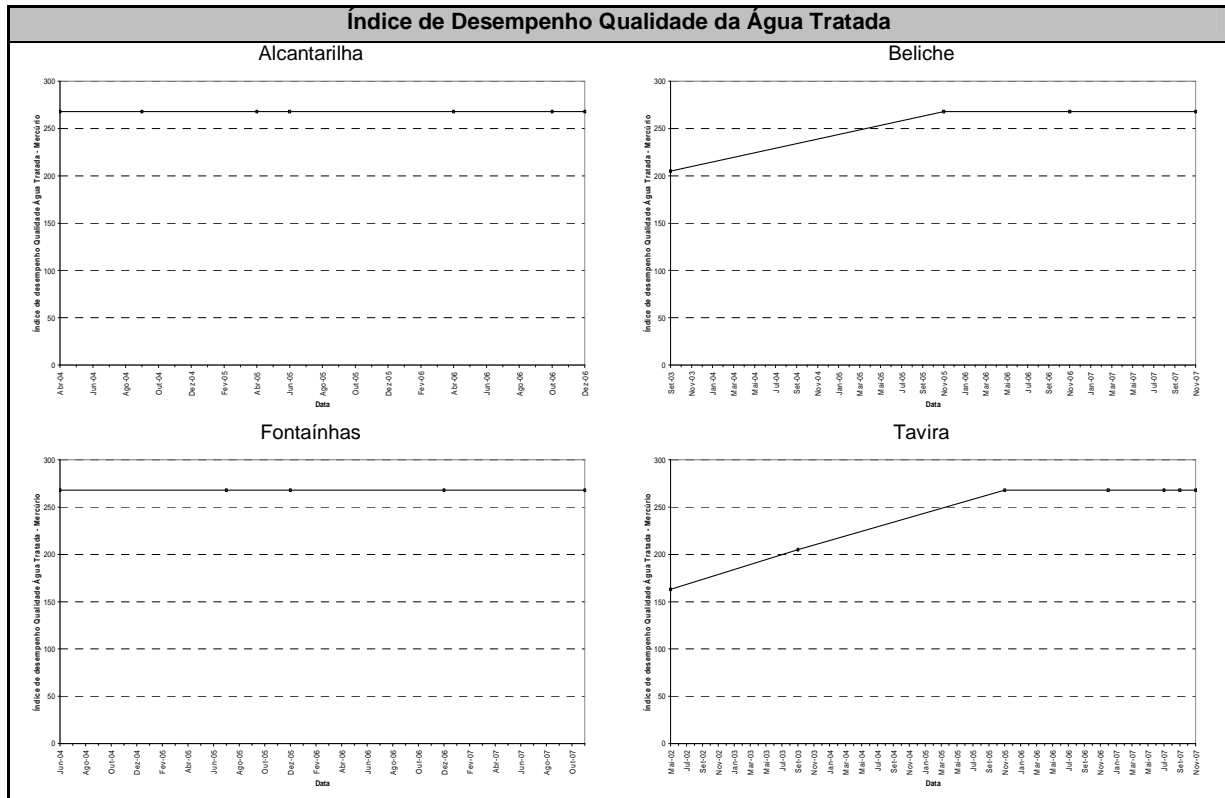
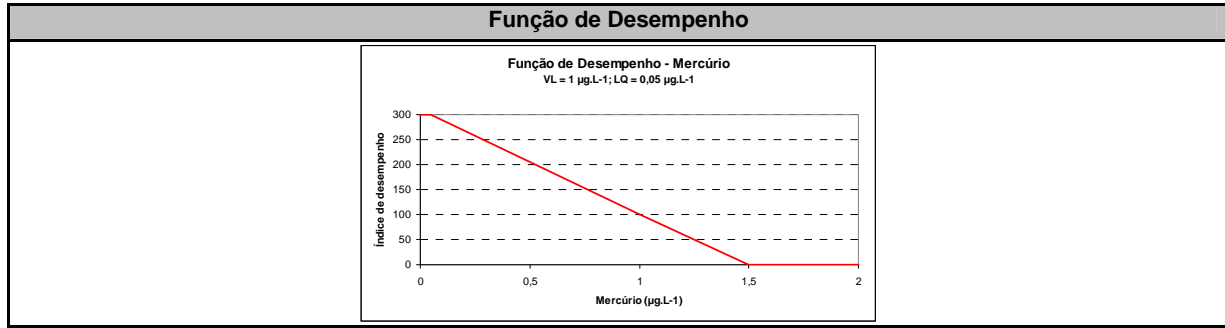


Parâmetro: manganês

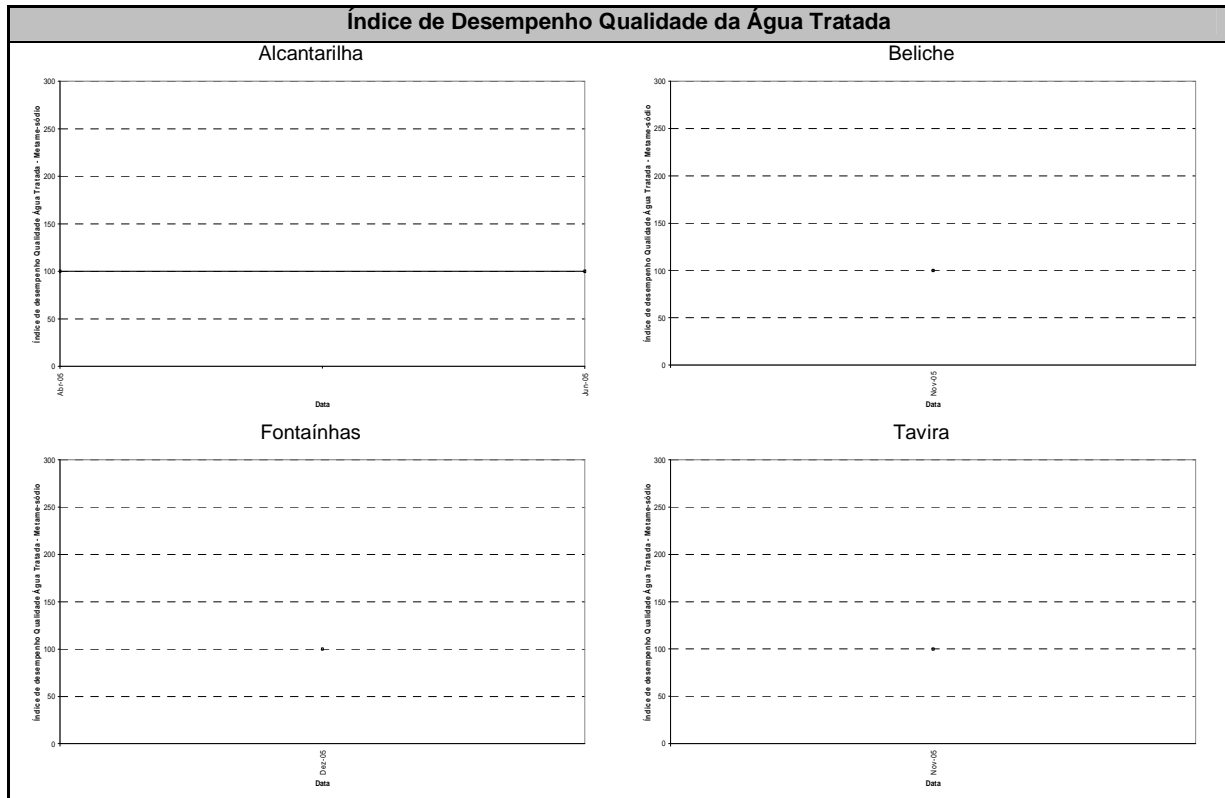
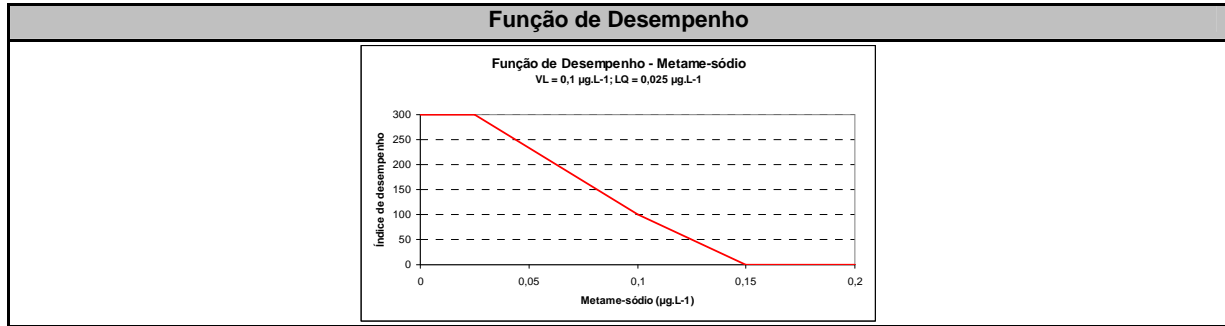




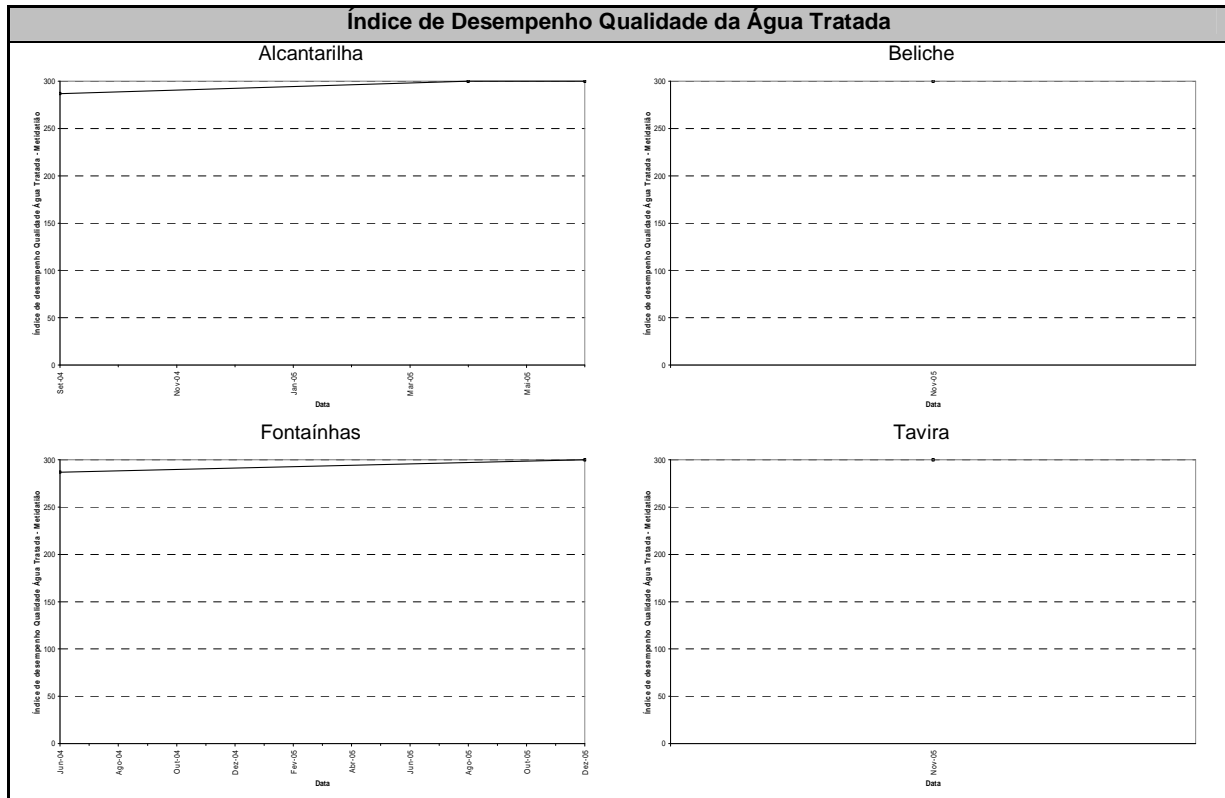
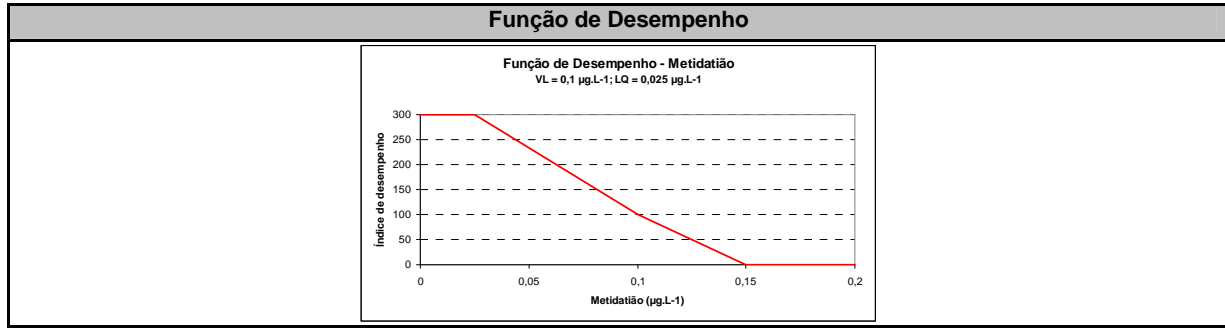
Parâmetro: mercúrio



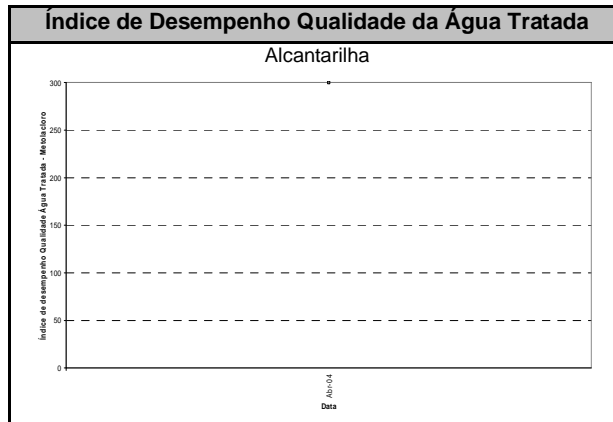
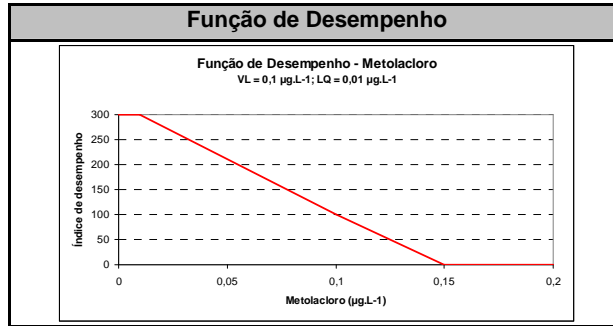
Parâmetro: metame-sódio



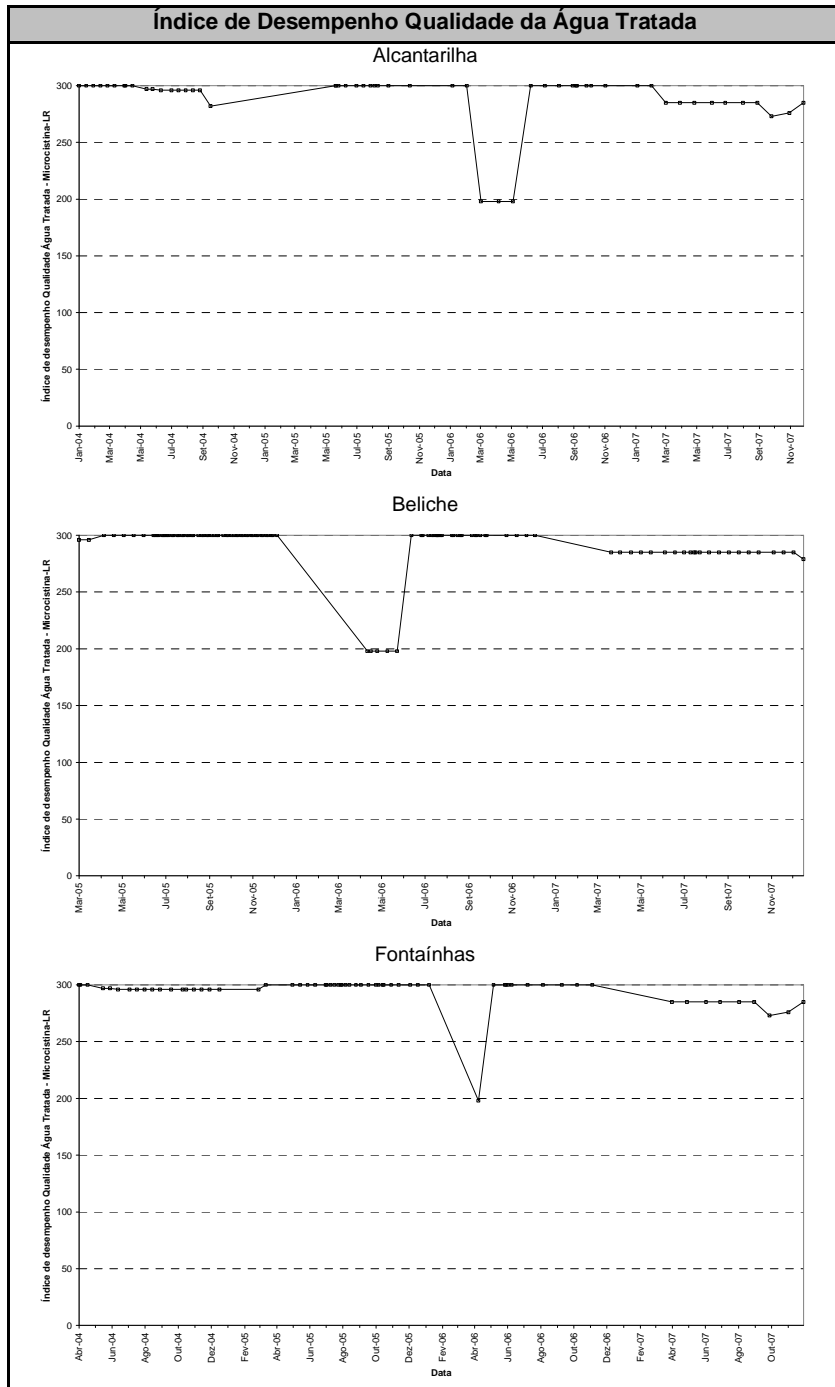
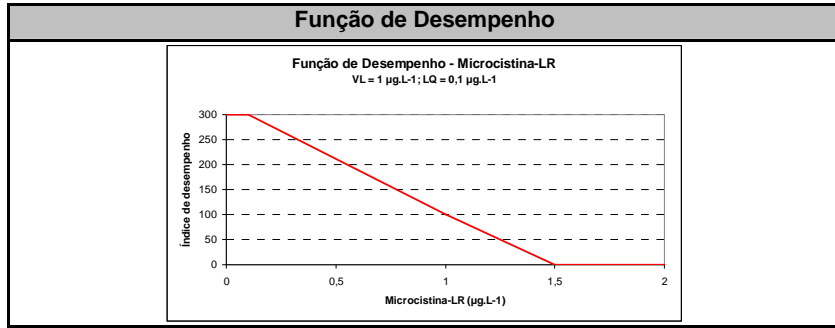
Parâmetro: metidatião

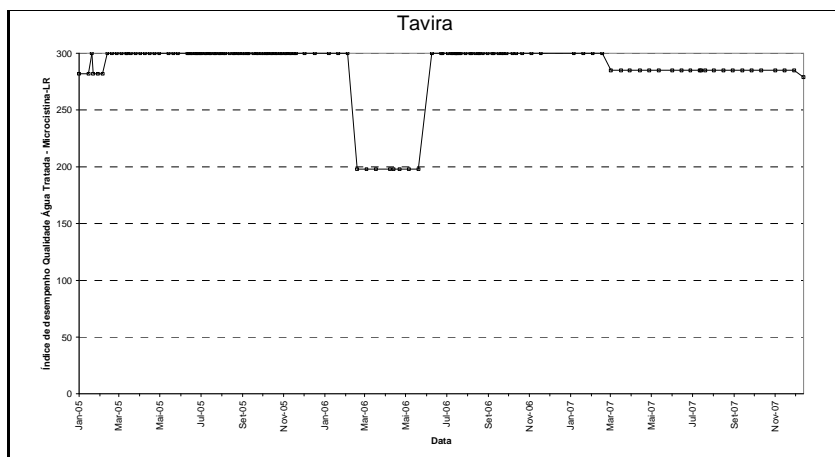


Parâmetro: metolacoloro

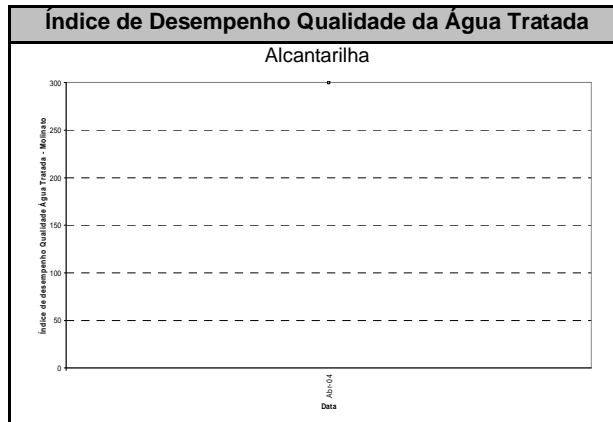
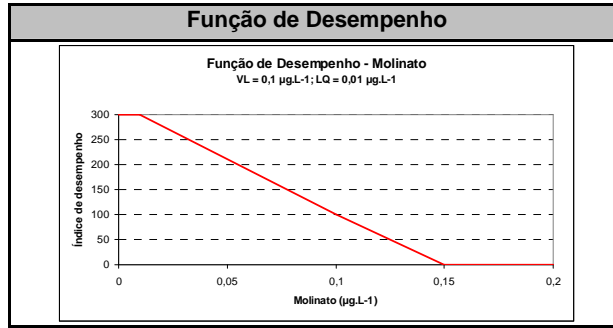


Parâmetro: microcistina-LR

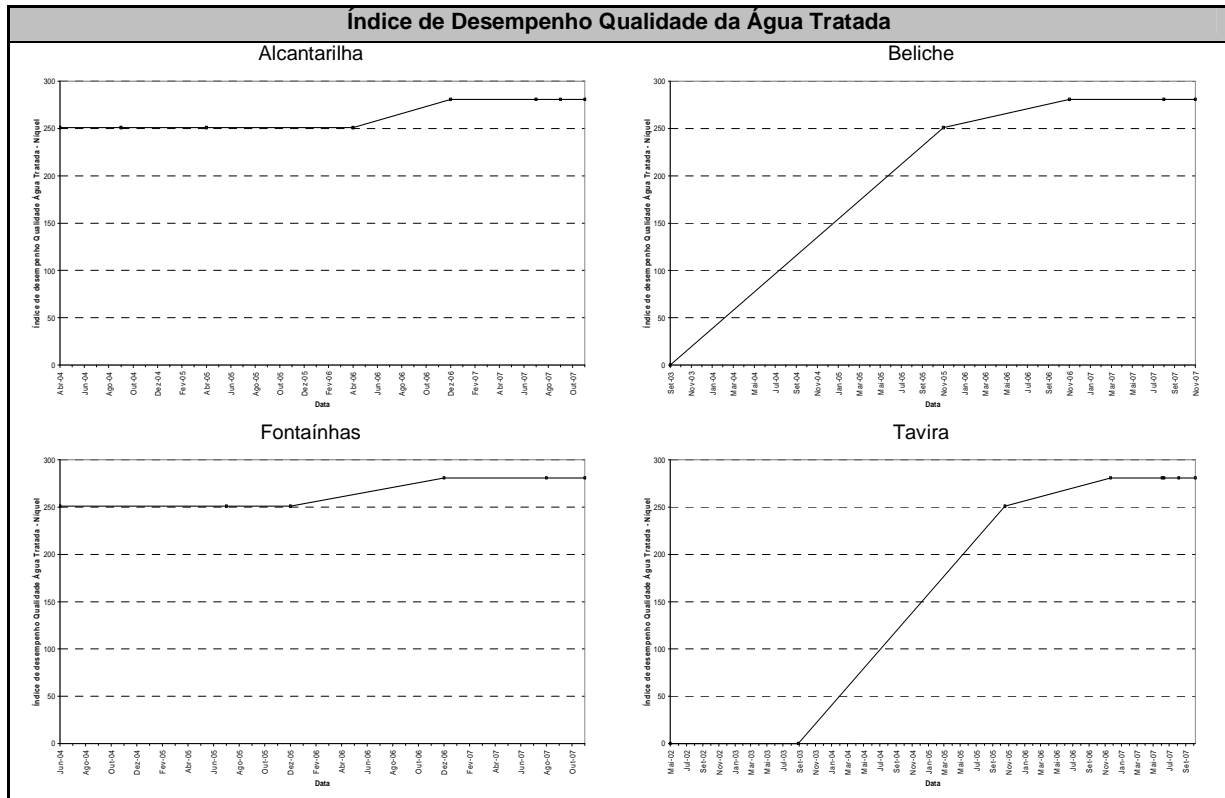
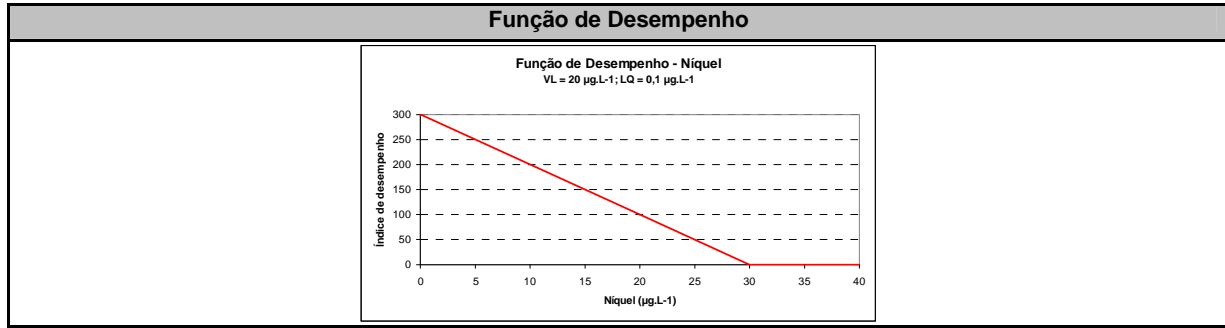




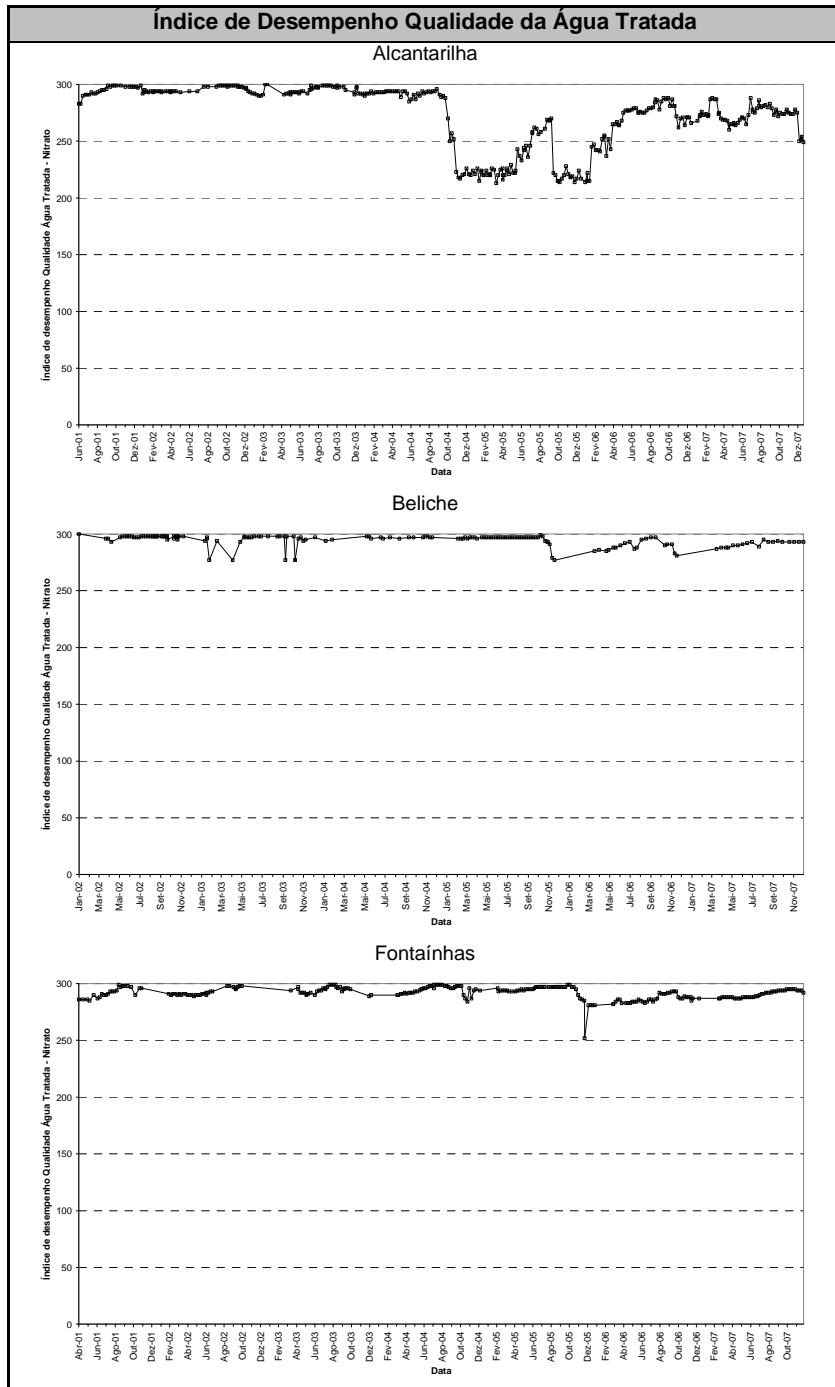
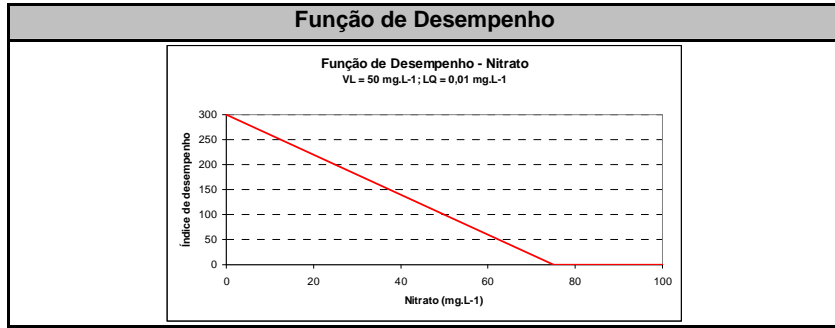
Parâmetro: molinato

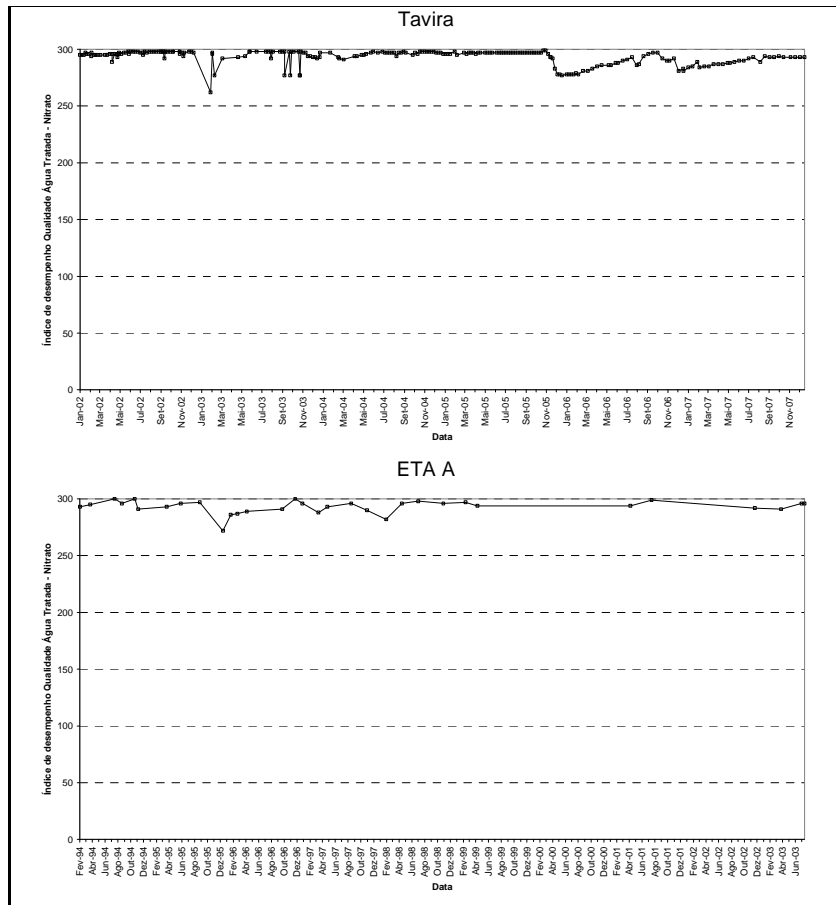


Parâmetro: níquel

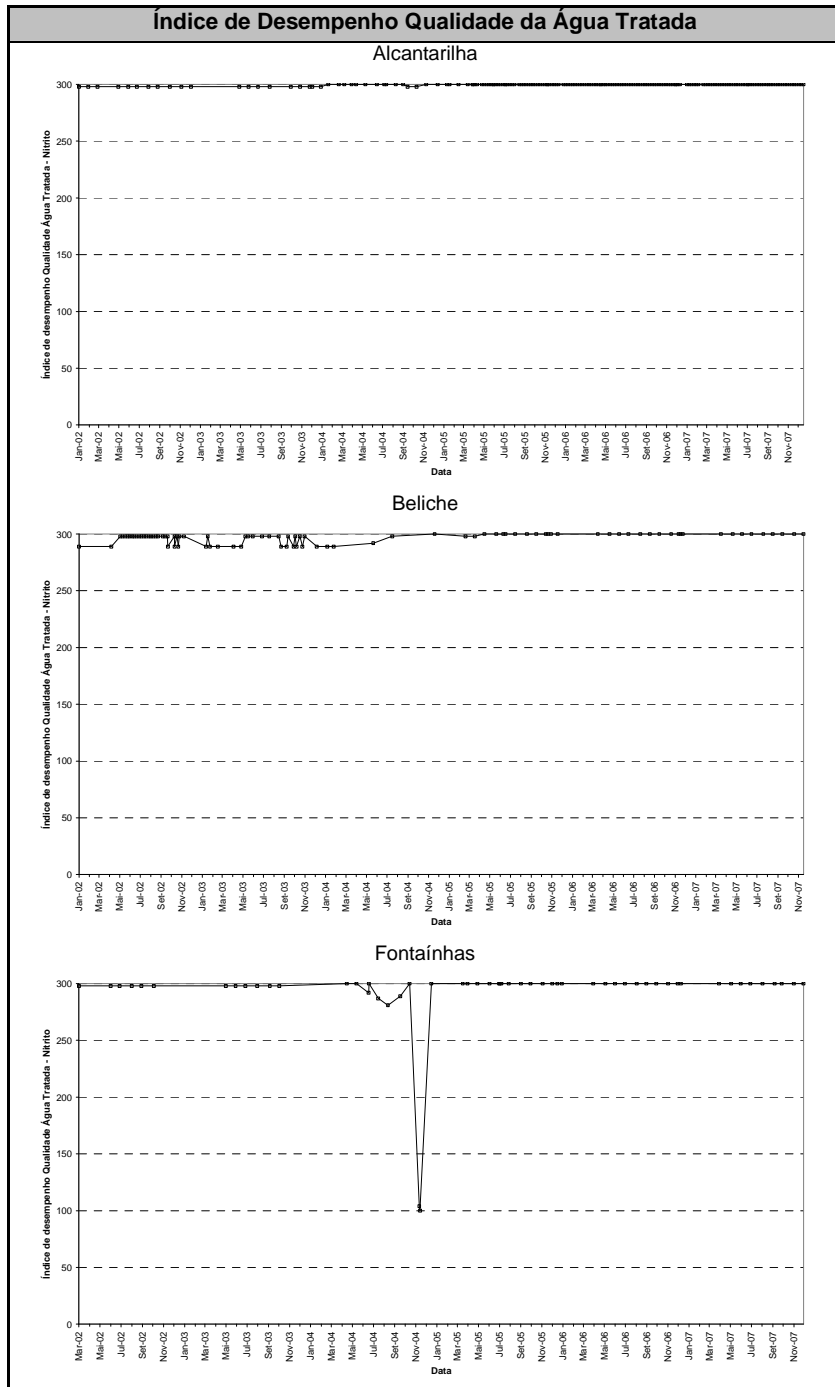
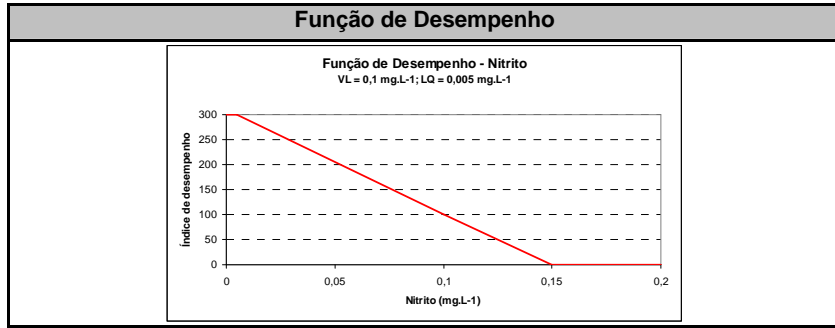


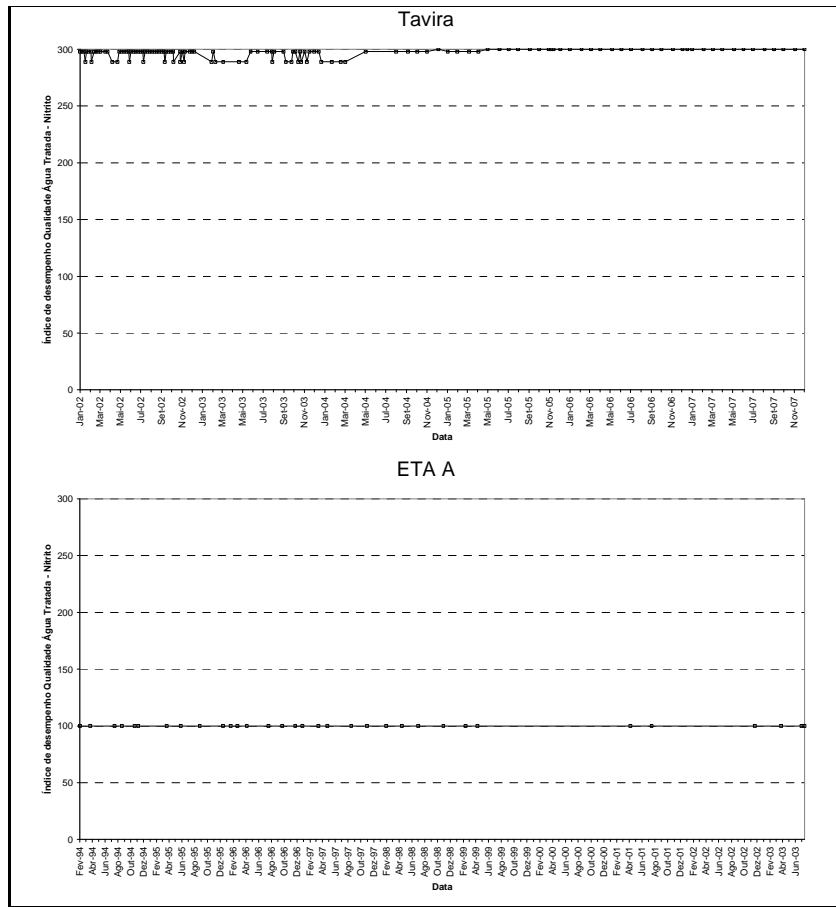
Parâmetro: nitrato



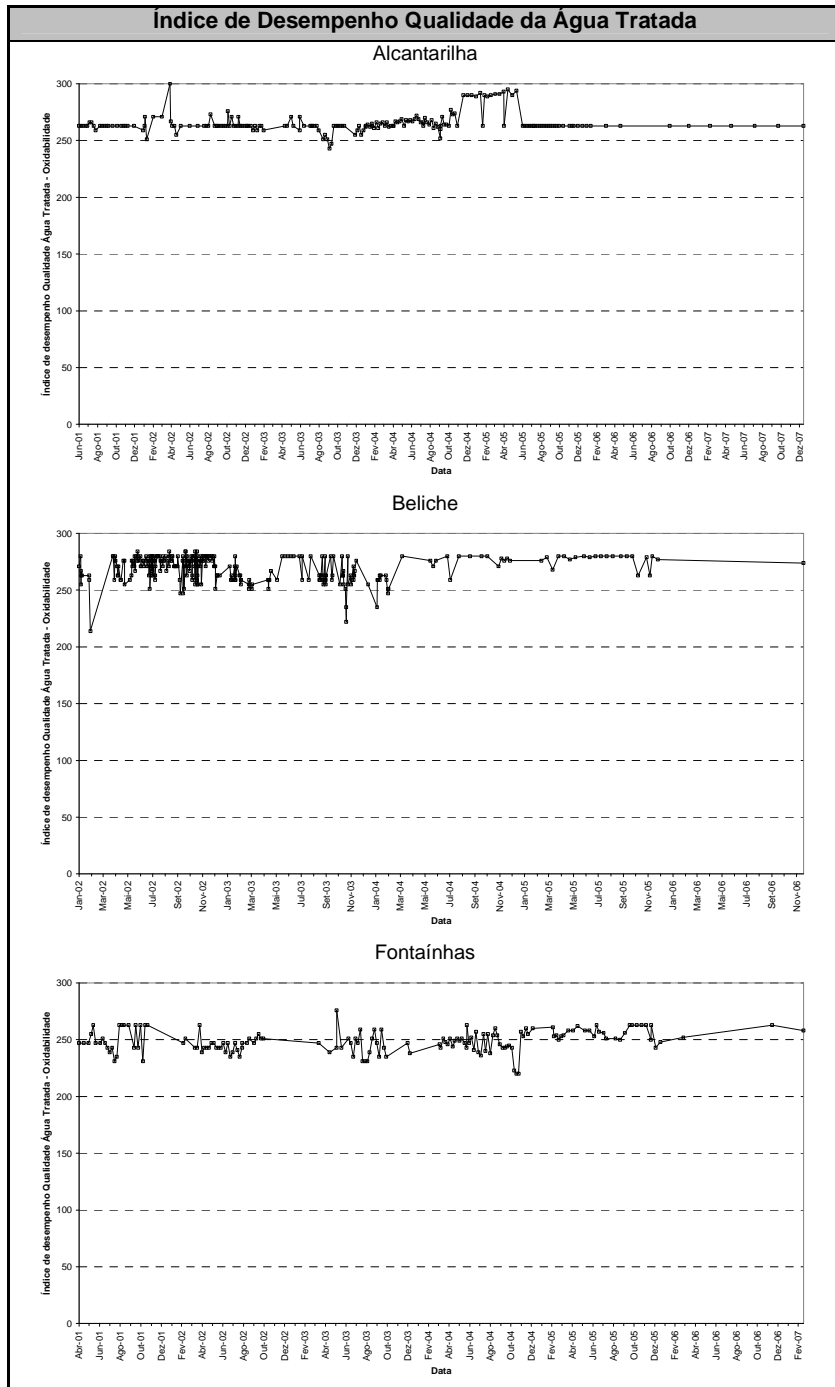
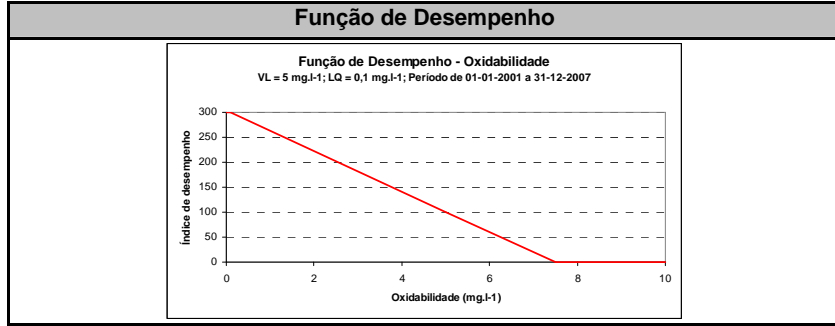


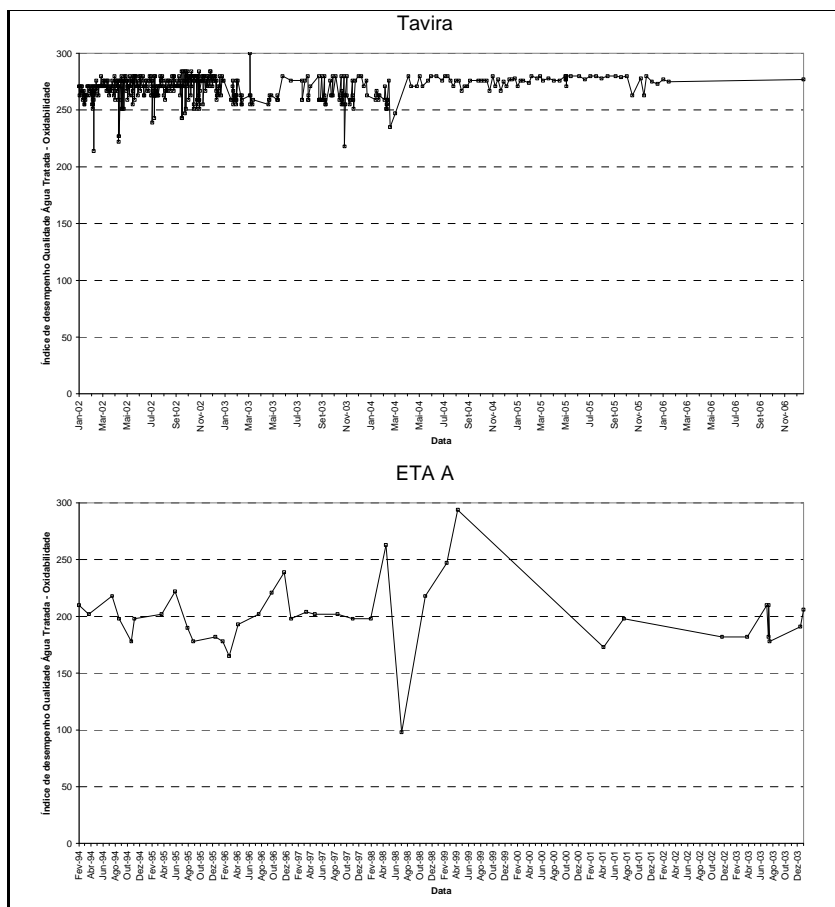
Parâmetro: nitrato



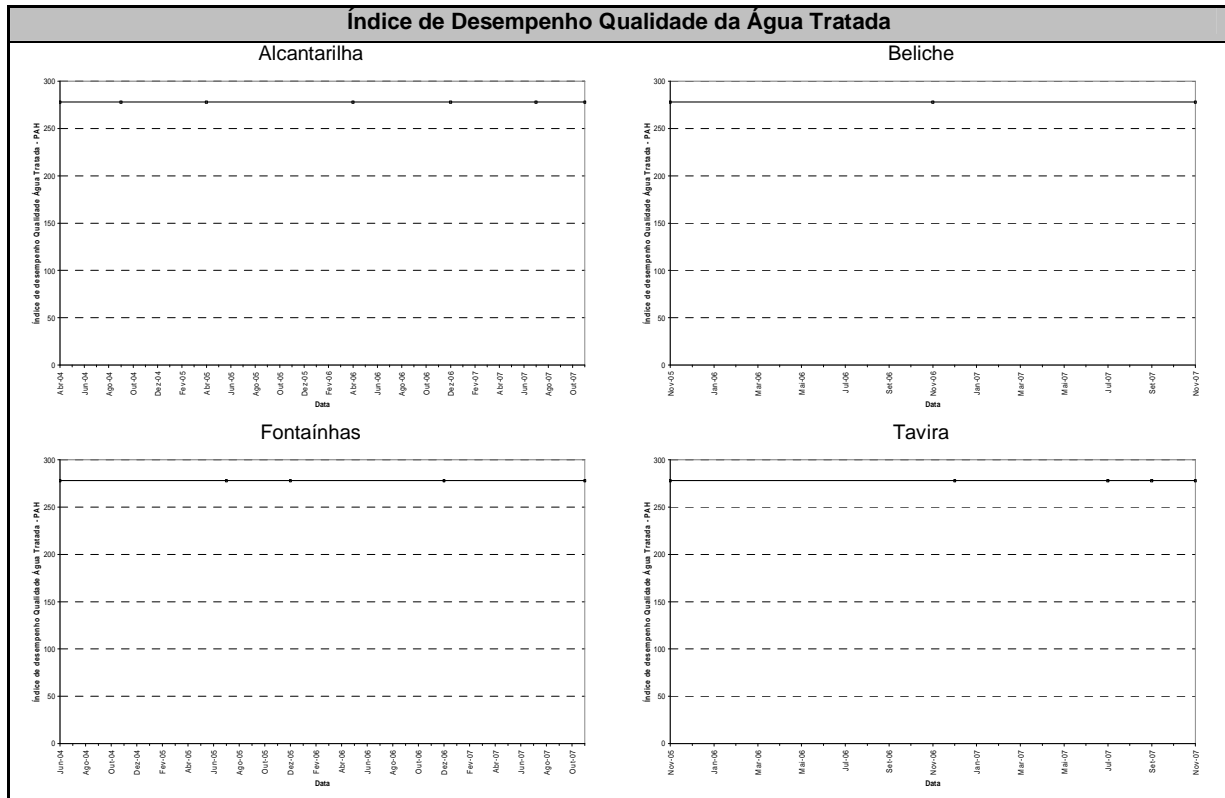
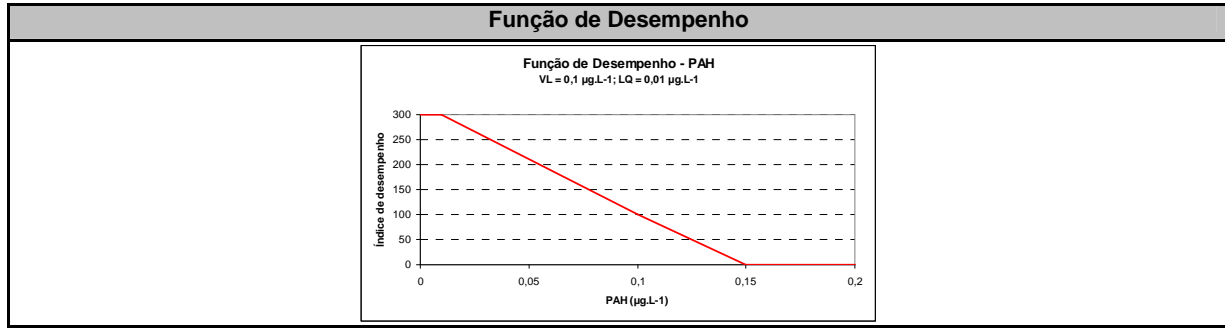


Parâmetro: oxidabilidade

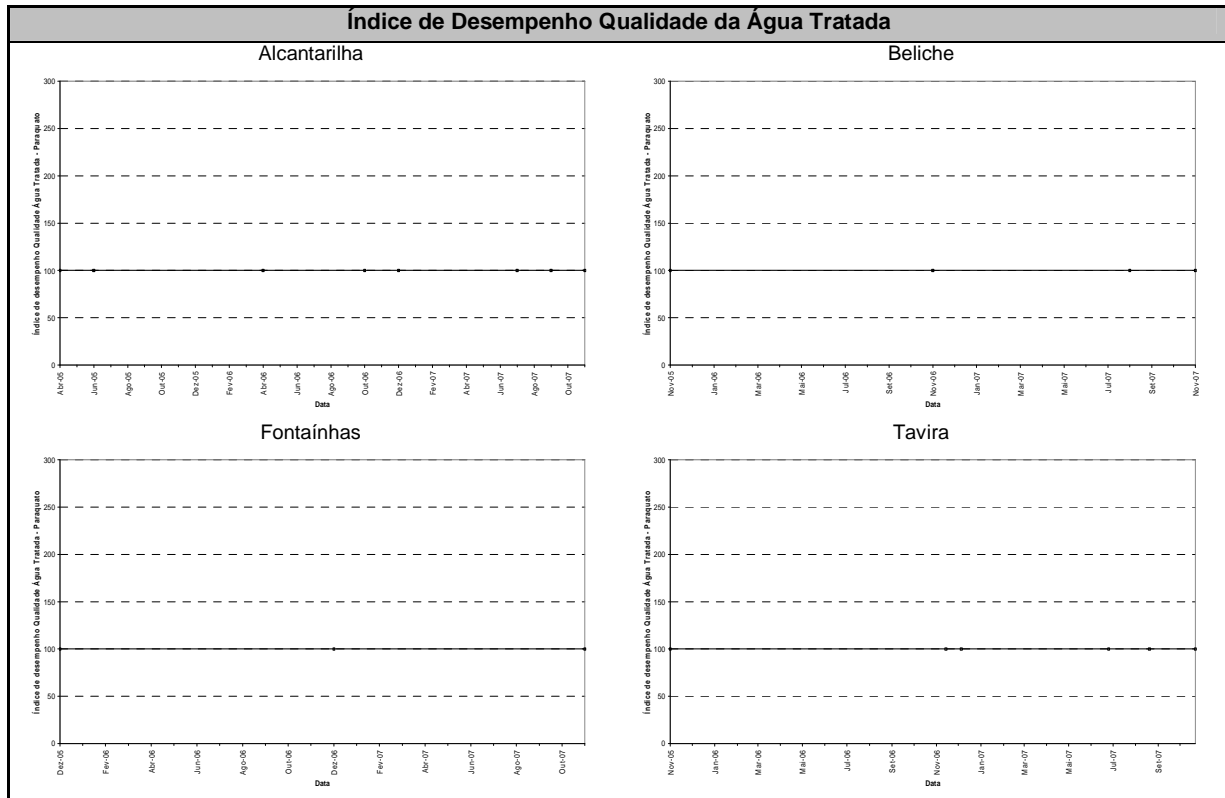
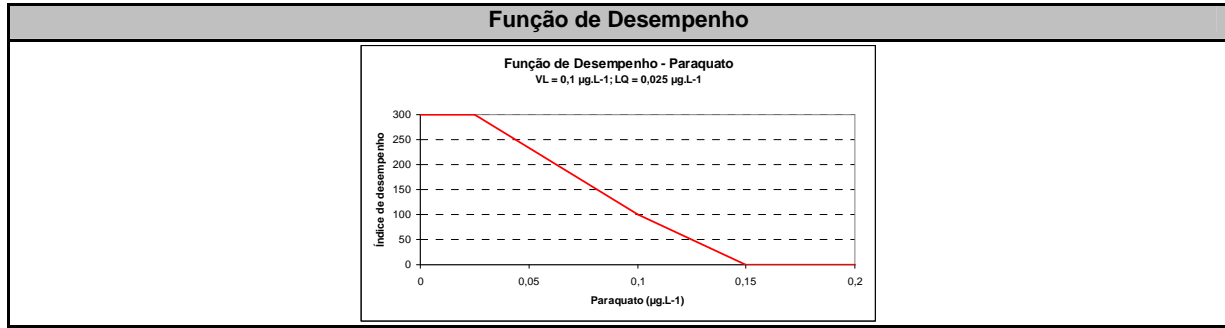




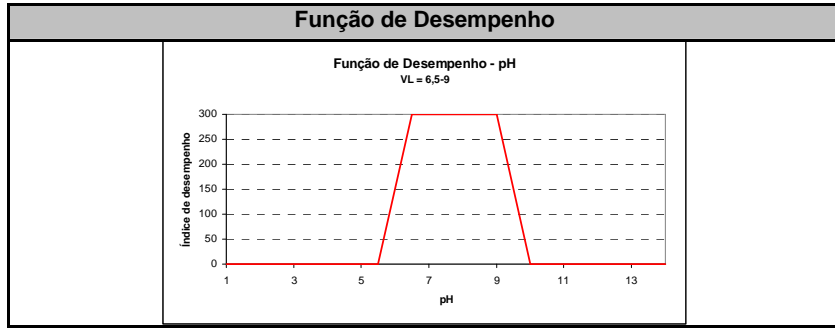
Parâmetro: PAH



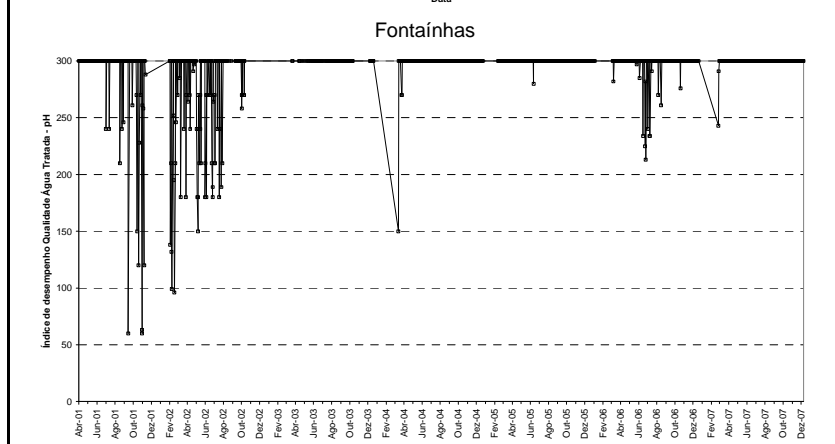
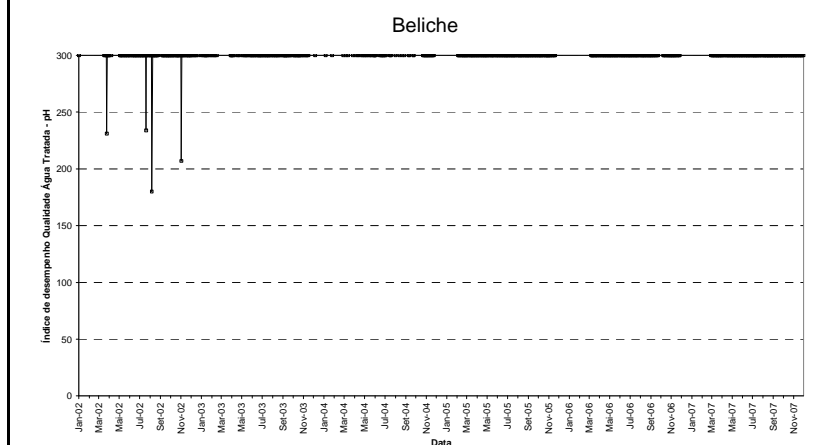
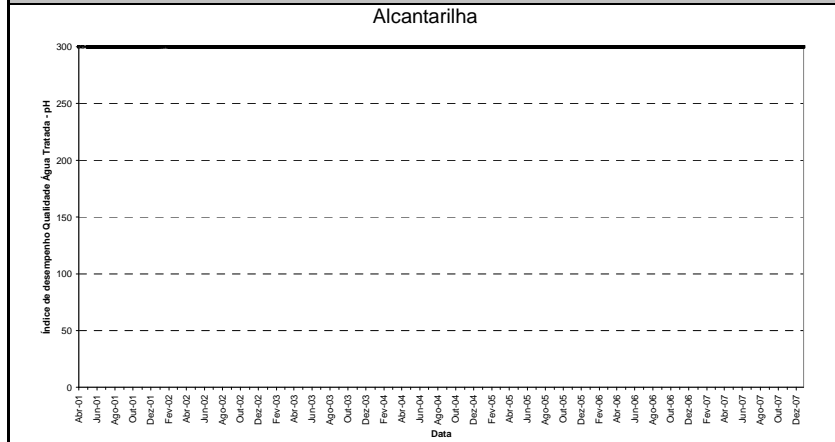
Parâmetro: paraquato

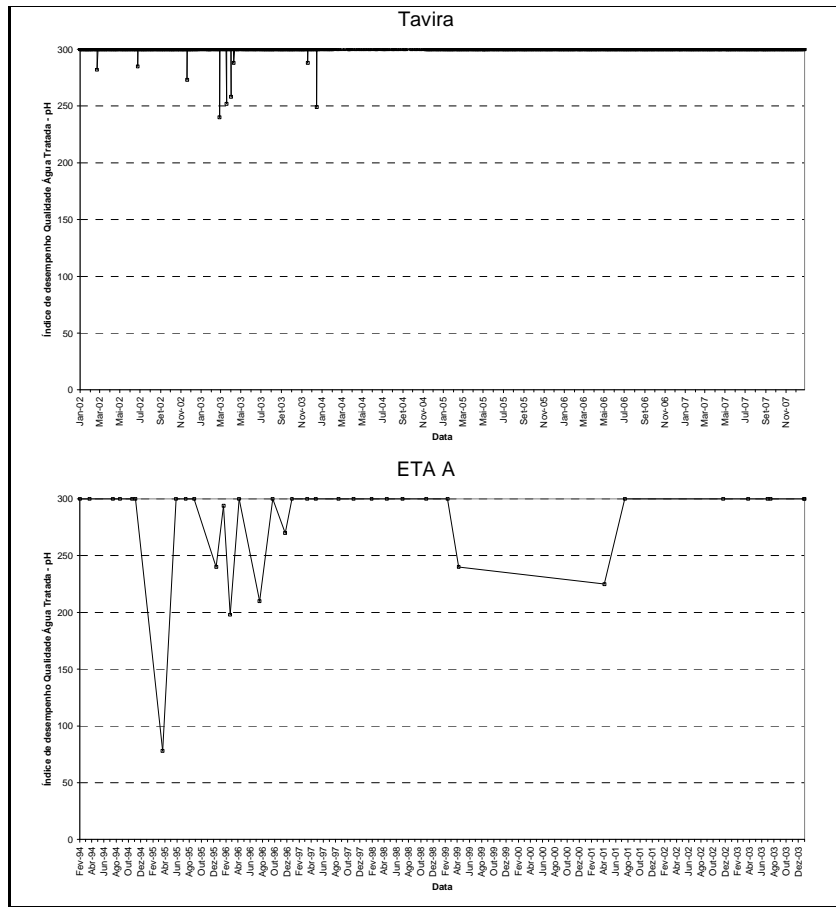


Parâmetro: pH

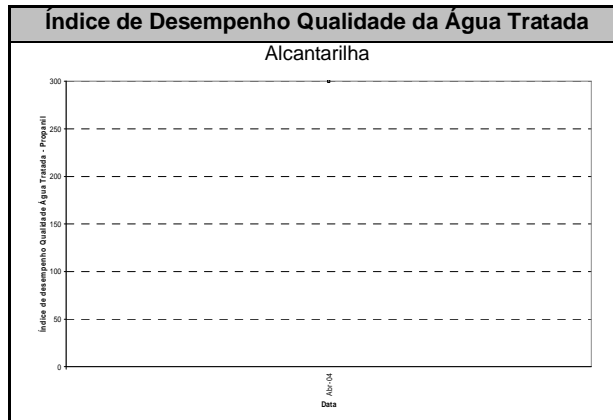
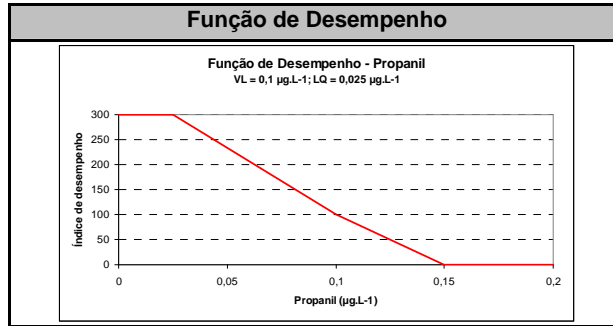


Índice de Desempenho Qualidade da Água Tratada

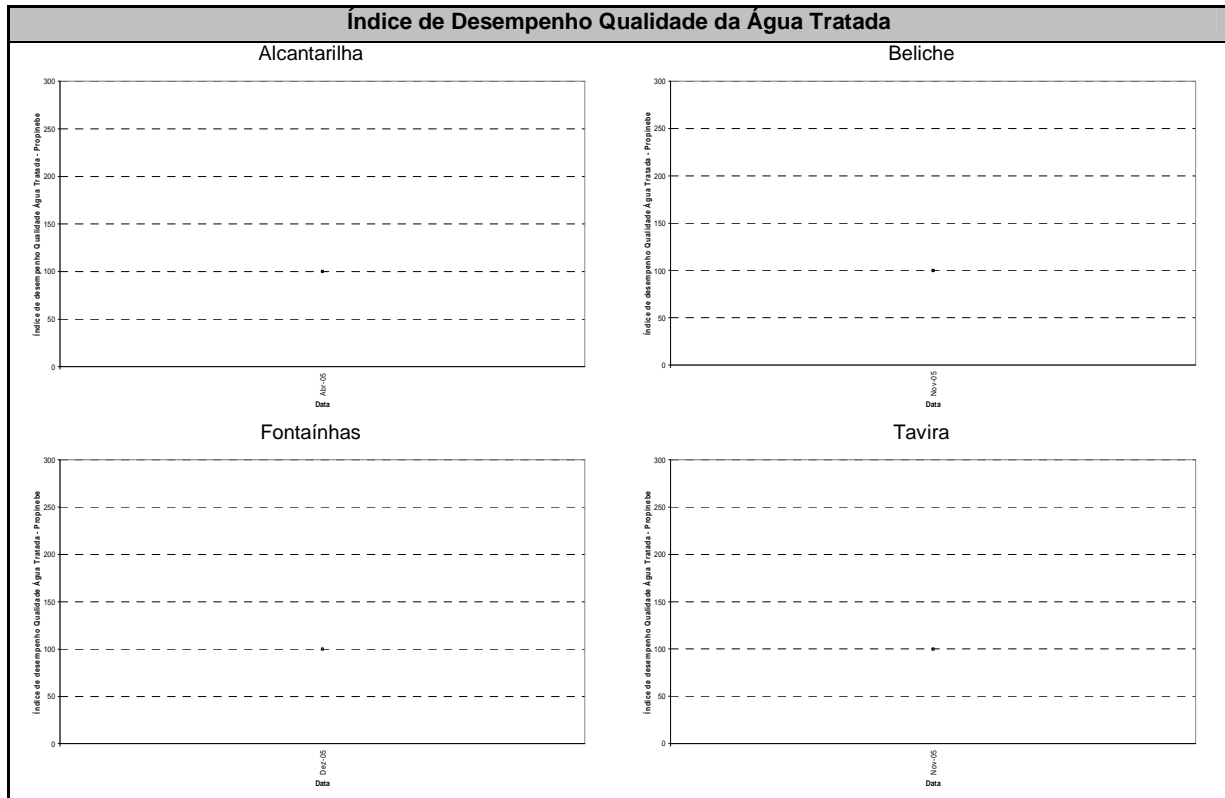
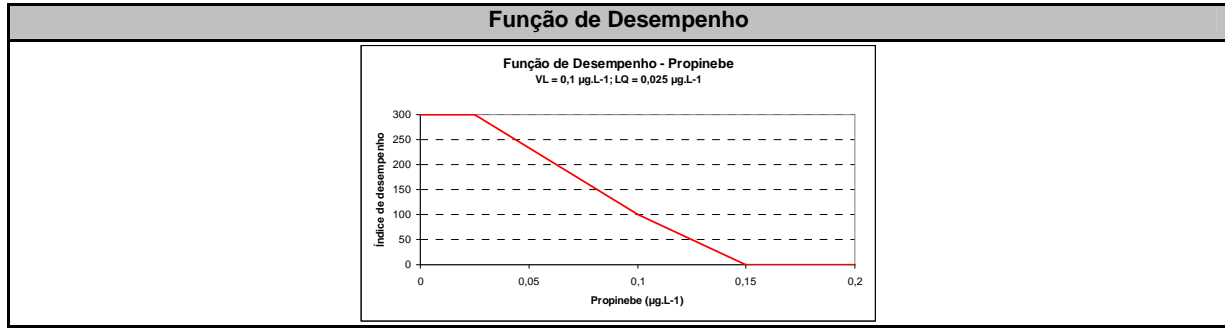




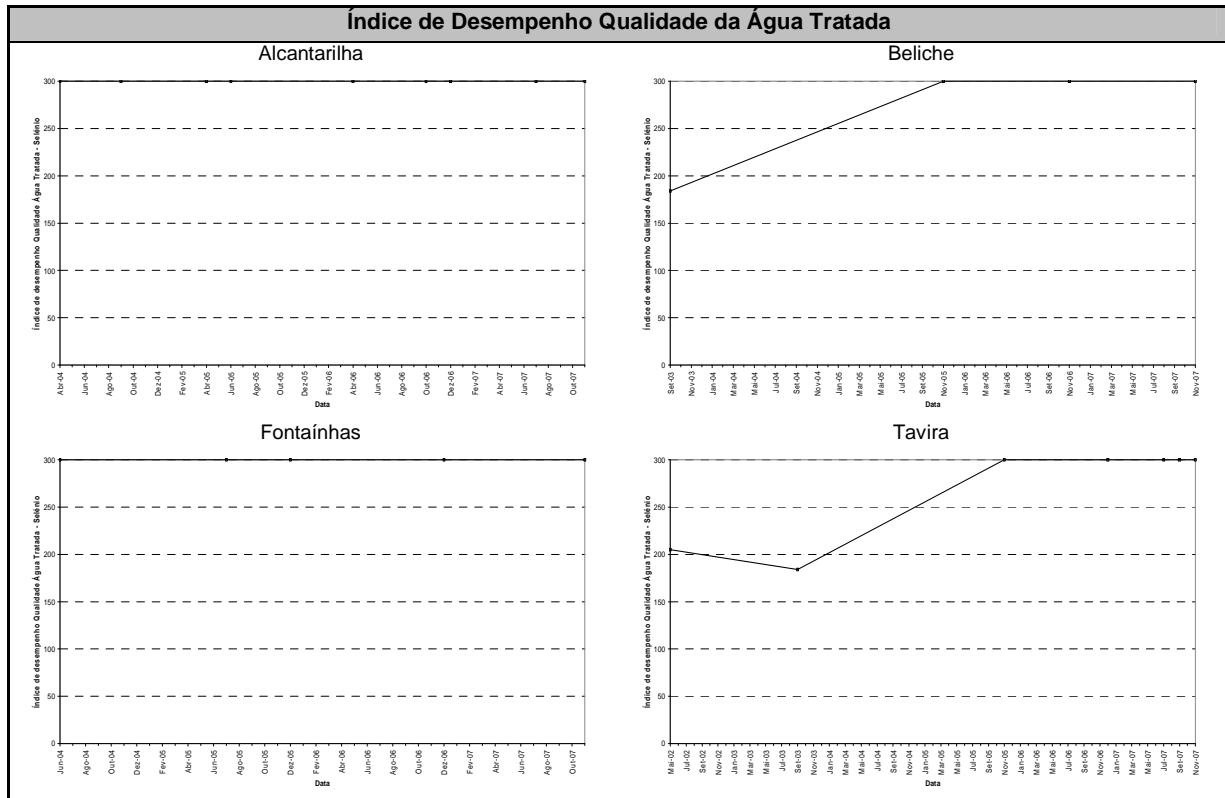
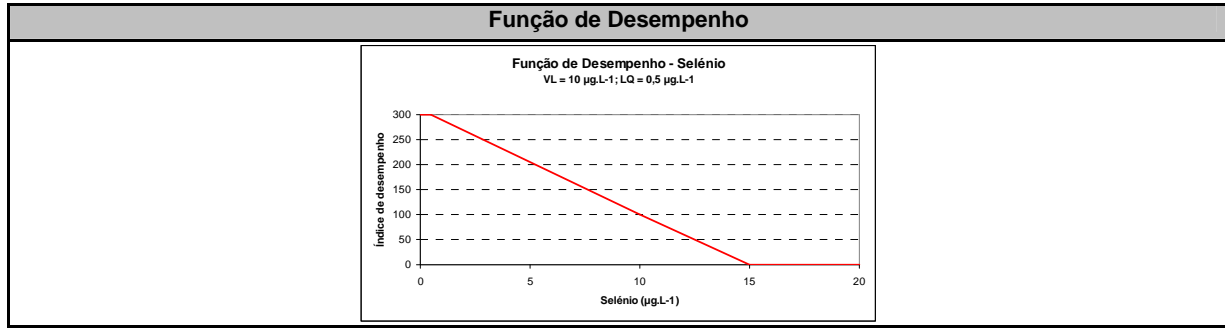
Parâmetro: propanil



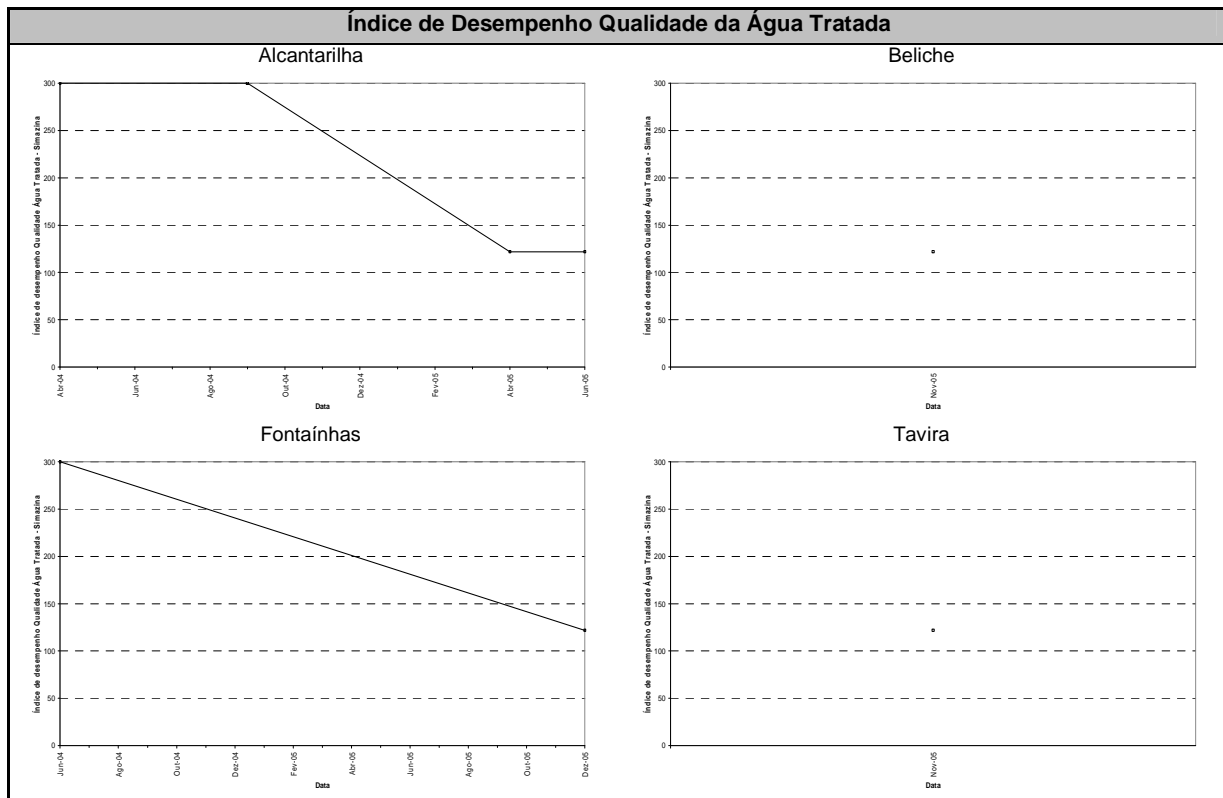
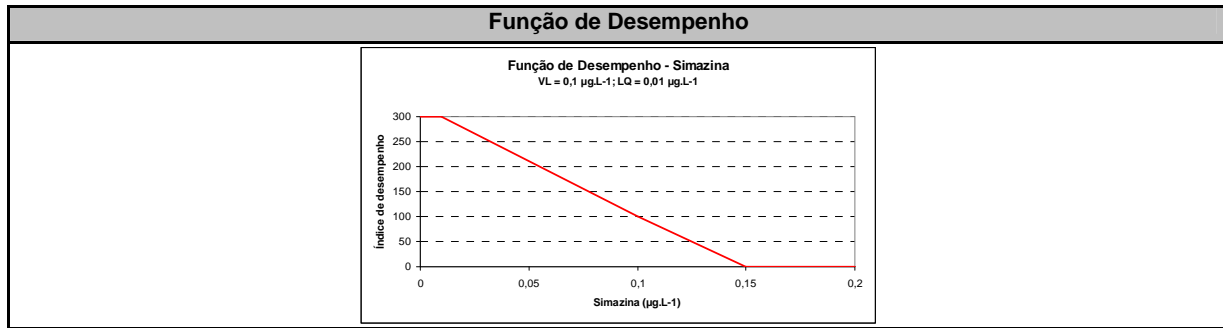
Parâmetro: propinebe



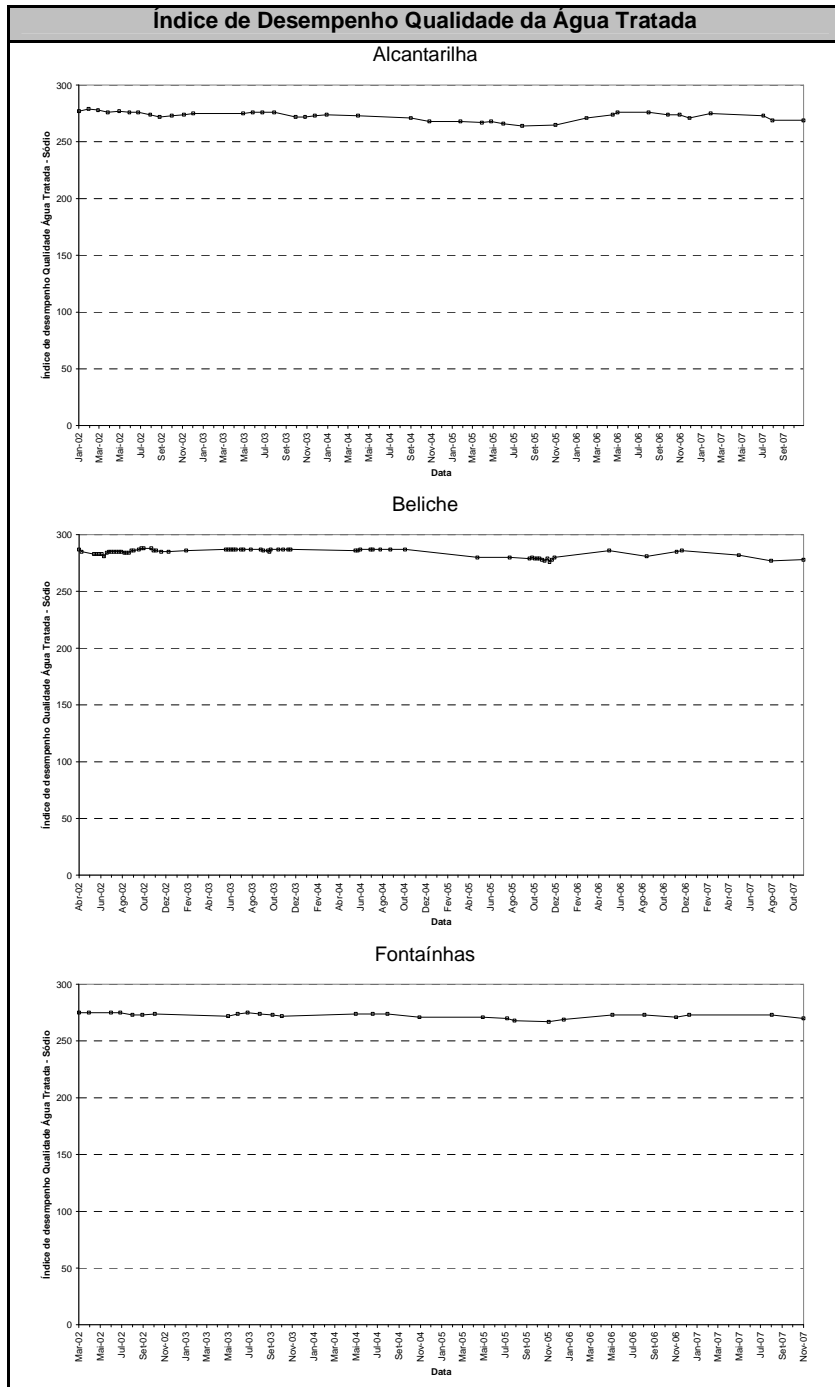
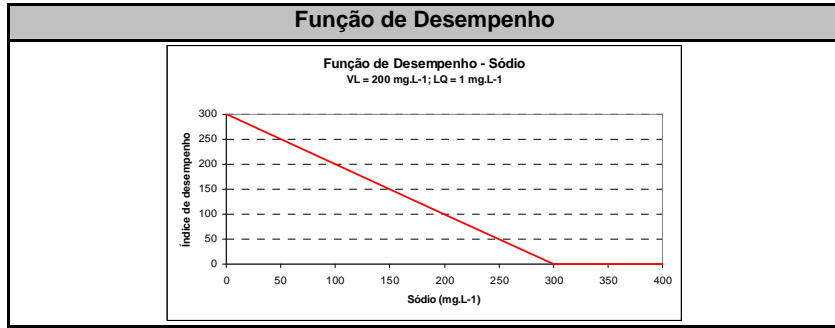
Parâmetro: selênio

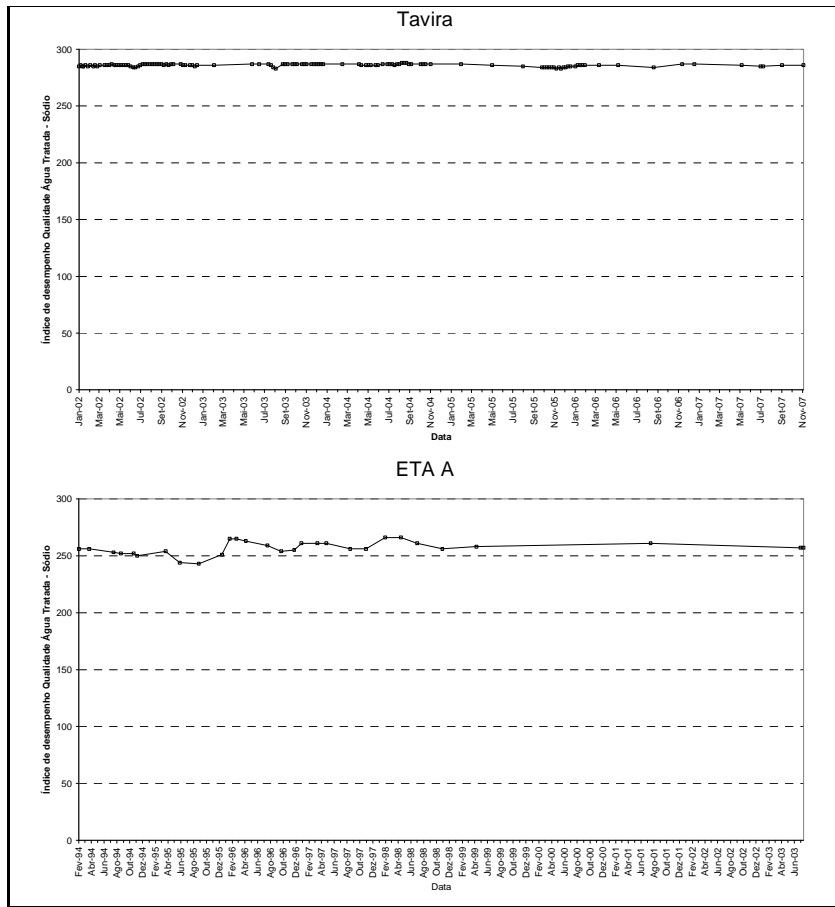


Parâmetro: simazina

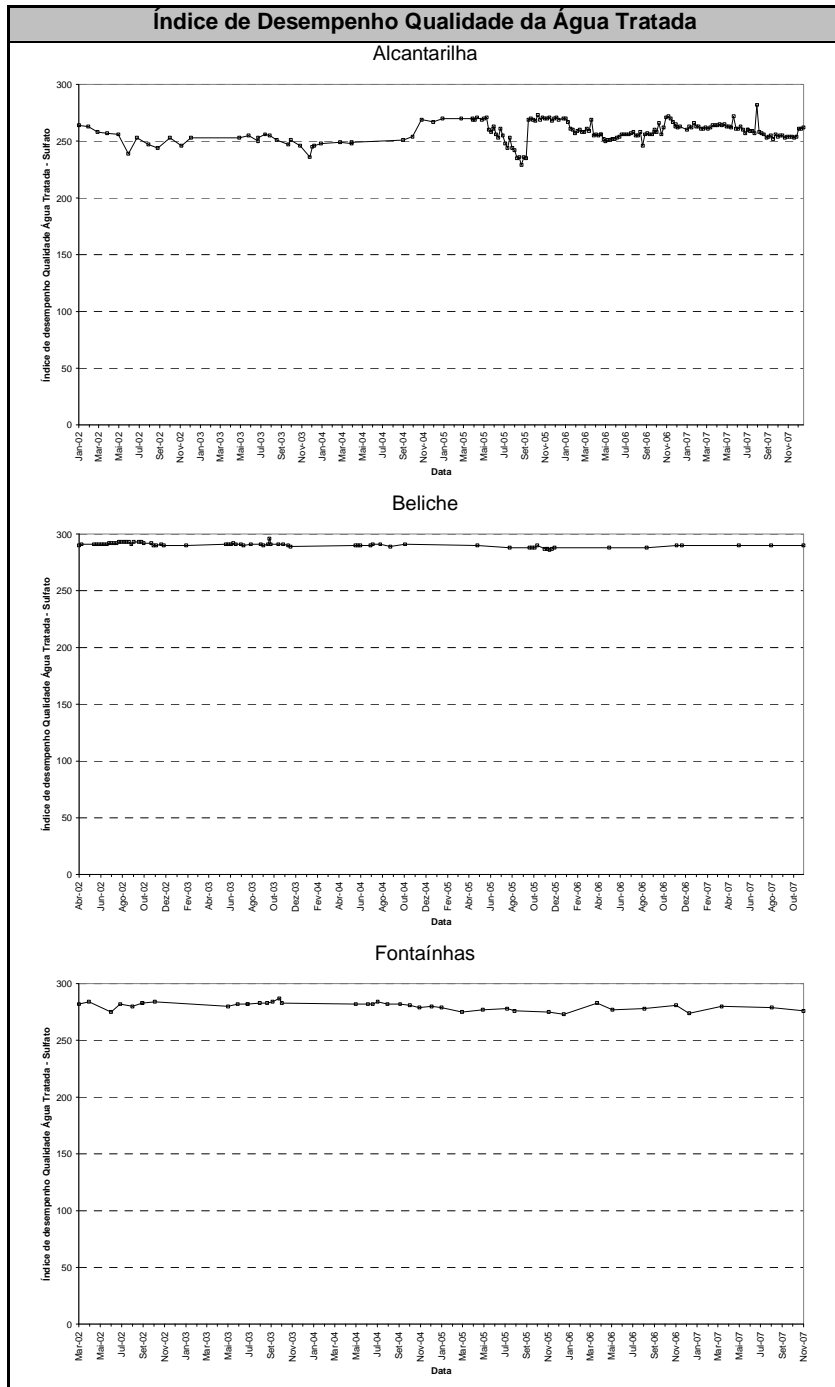
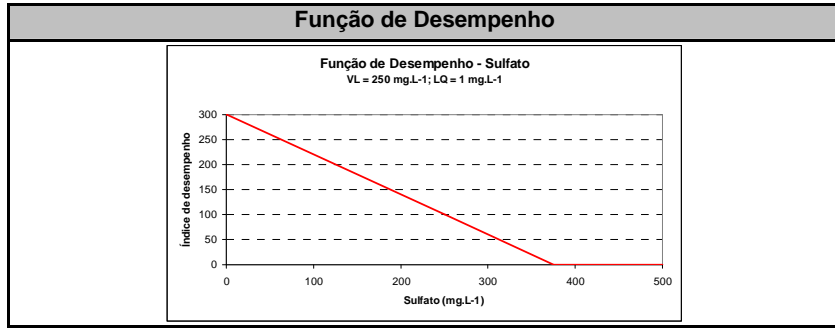


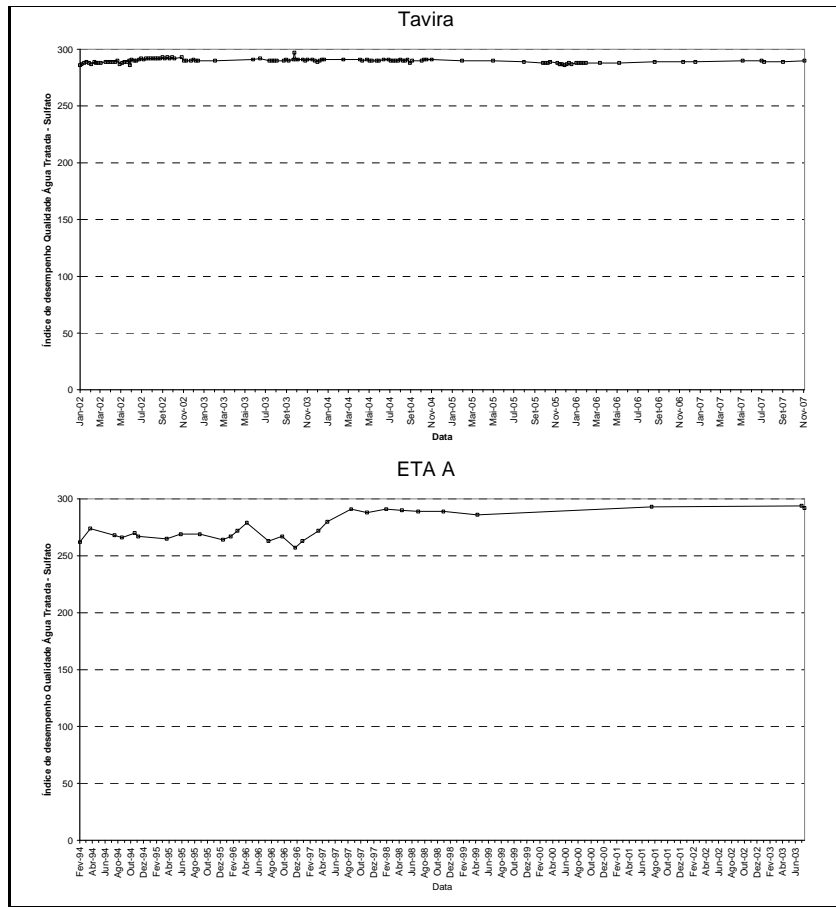
Parâmetro: sódio



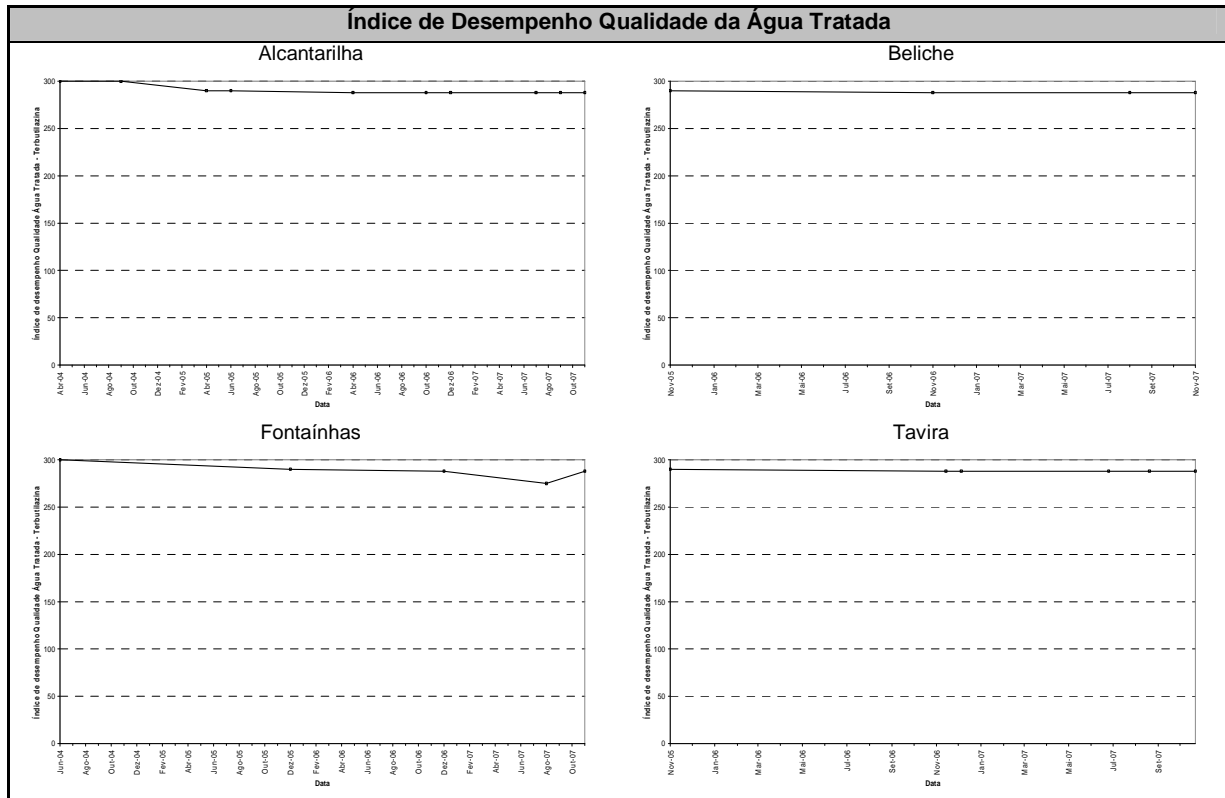
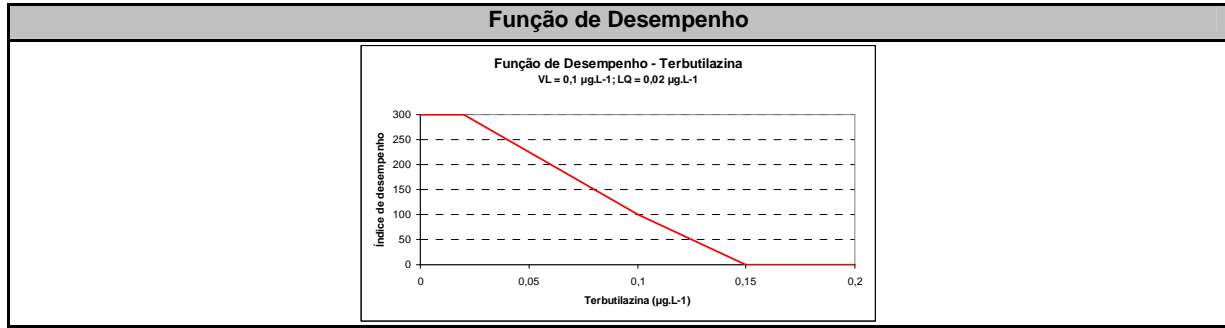


Parâmetro: sulfato

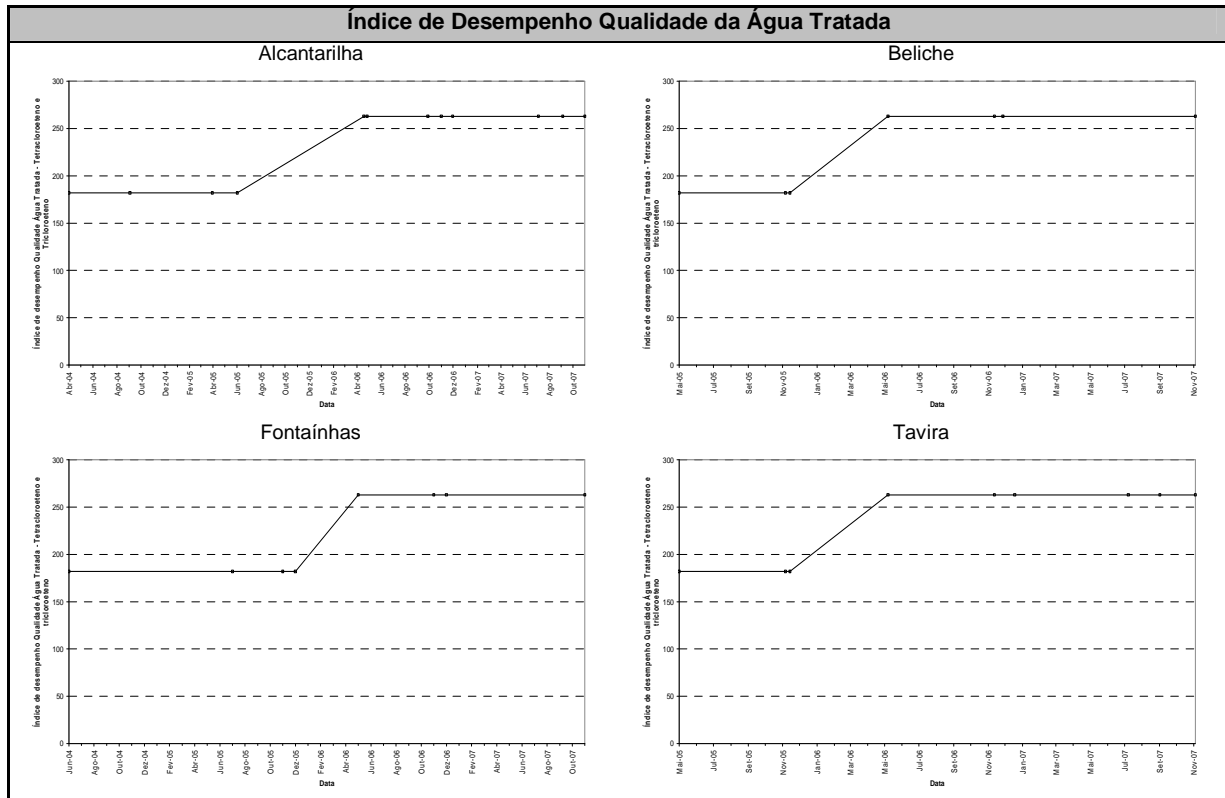
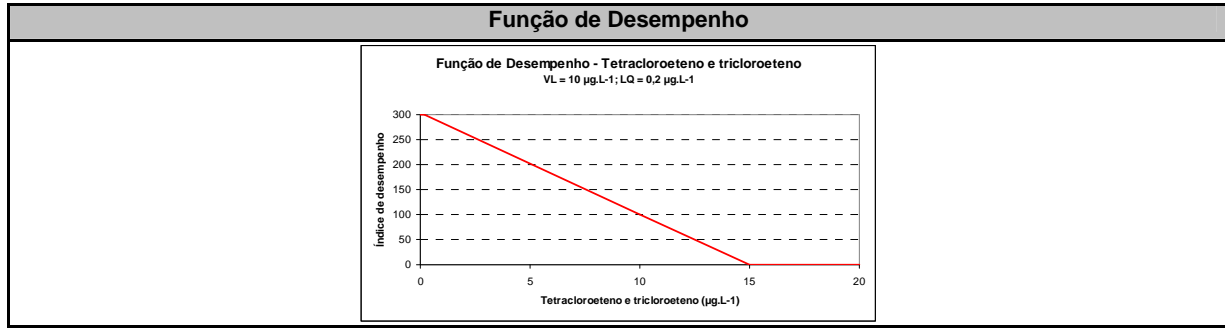




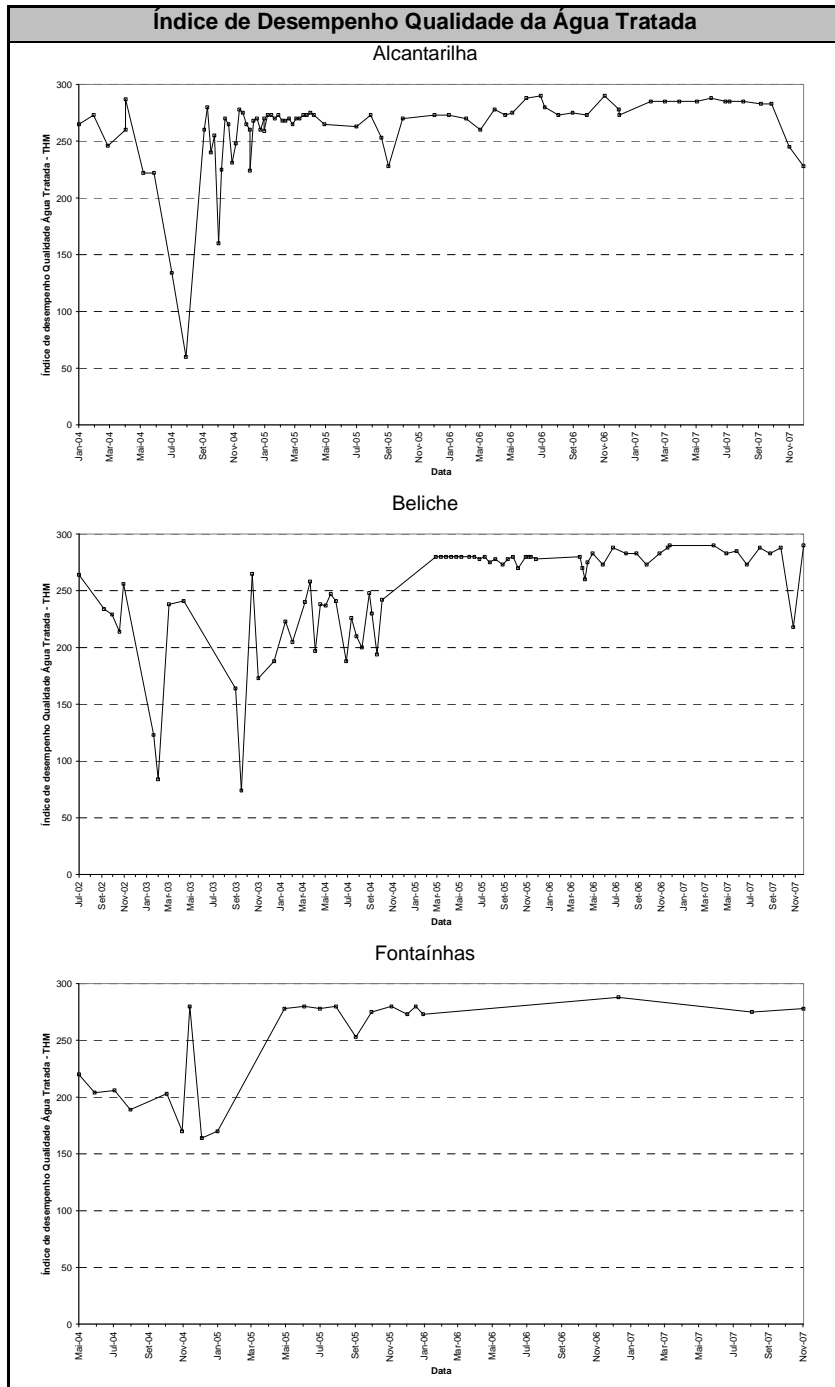
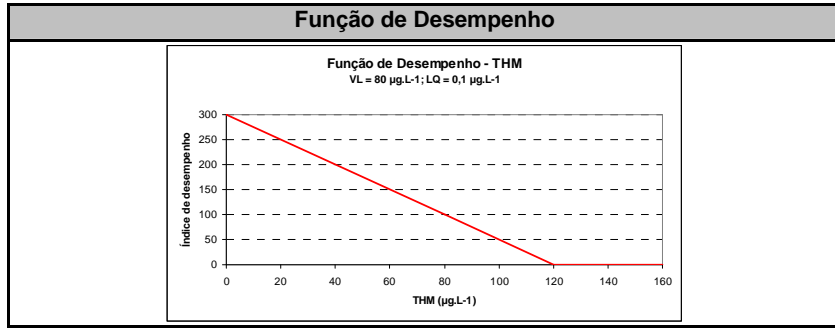
Parâmetro: terbutilazina

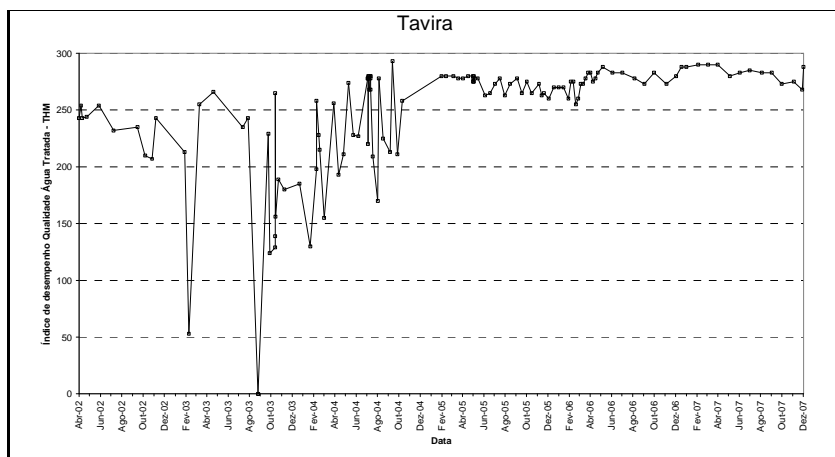


Parâmetro: tetracloreto e tricloroeteno

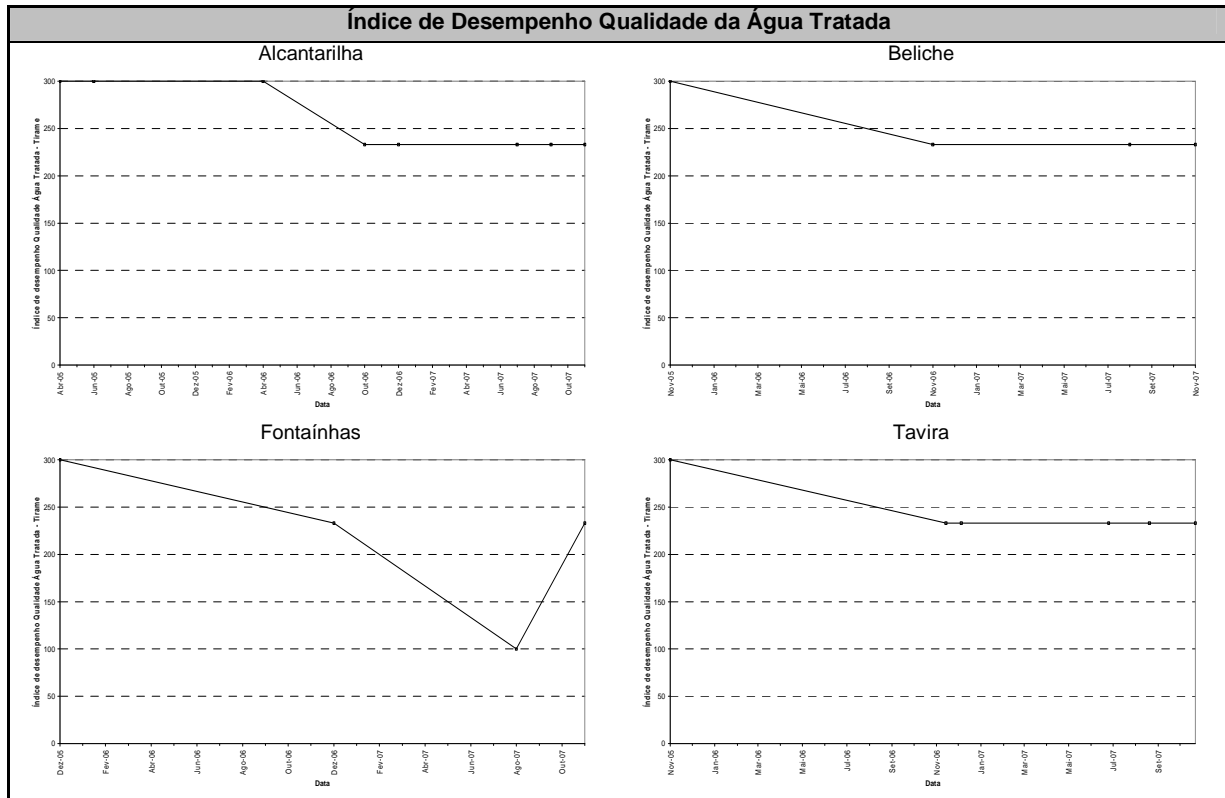
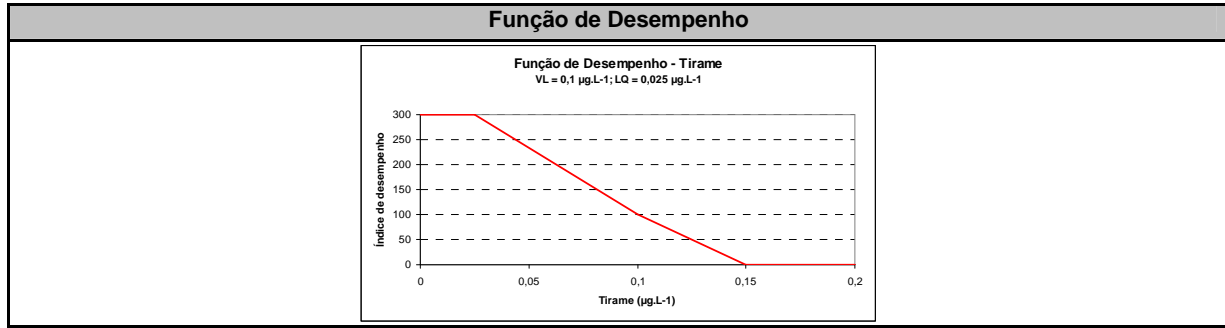


Parâmetro: THM

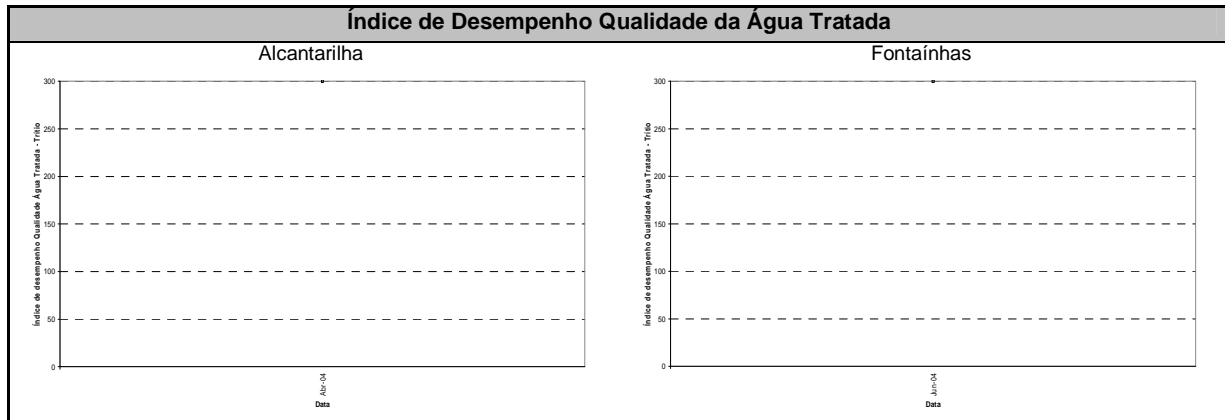
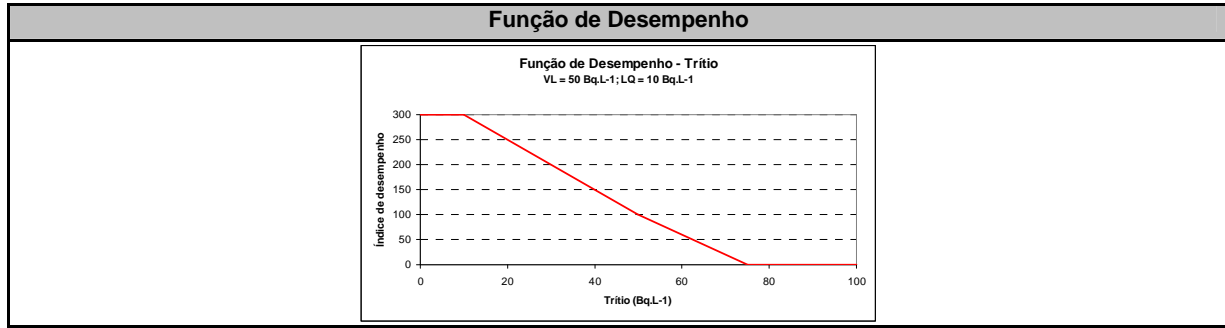




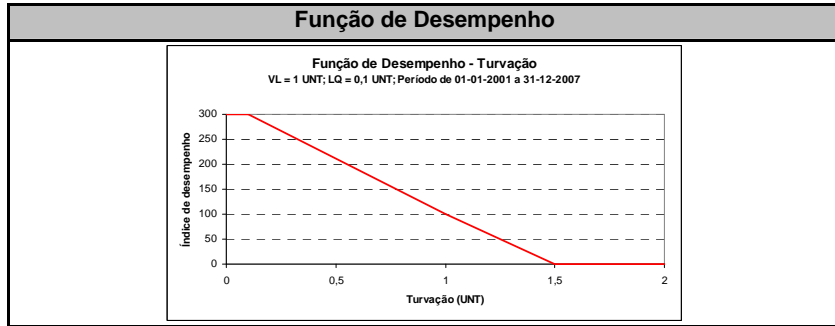
Parâmetro: tirame



Parâmetro: trítio



Parâmetro: turvação



Índice de Desempenho Qualidade da Água Tratada

