



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

**METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE CONSUMOS
PARA A GESTÃO EFICIENTE DE
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Dália Susana dos Santos da Cruz Loureiro

(Mestre)

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil pela
Universidade Técnica de Lisboa

Orientador: Doutora Dília Isabel Cameira Covas
Co-orientador: Doutor Sérgio Carvalho de Matos Teixeira Coelho
Co-orientador: Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre

Júri

Presidente: Presidente do Conselho Científico do IST
Vogais: Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre
Doutor Sérgio Carvalho de Matos Teixeira Coelho
Doutor António Jorge Silva Guerreiro Monteiro
Doutora Dília Isabel Cameira Covas
Doutora Maria da Conceição Esperança Amado
Engenheiro Jaime Fernando de Melo Baptista

Setembro de 2010



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

**METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE CONSUMOS
PARA A GESTÃO EFICIENTE DE
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Dália Susana dos Santos da Cruz Loureiro

(Mestre)

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil pela
Universidade Técnica de Lisboa

Orientador: Doutora Dília Isabel Cameira Covas
Co-orientador: Doutor Sérgio Carvalho de Matos Teixeira Coelho
Co-orientador: Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre

Júri

Presidente: Presidente do Conselho Científico do IST
Vogais: Doutora Maria Helena Veríssimo Colaço Alegre
Doutor Sérgio Carvalho de Matos Teixeira Coelho
Doutor António Jorge Silva Guerreiro Monteiro
Doutora Dília Isabel Cameira Covas
Doutora Maria da Conceição Esperança Amado
Engenheiro Jaime Fernando de Melo Baptista

Setembro de 2010

RESUMO

Este trabalho de investigação teve como objectivo principal propor, aplicar e validar uma metodologia que permitisse transformar dados de consumo urbano de água, obtidos a partir de sistemas de telemetria, em informação útil para a gestão dos serviços de água e para os consumidores.

A metodologia encontra-se estruturada em quatro módulos: planeamento e monitorização, processamento de dados, produção de informação de caracterização e previsão e classificação. Tirando partido de dados de consumo telemedidos aos vários níveis, desde o cliente individual às zonas de medição e controlo (ZMC), procede-se à aplicação da metodologia para caracterização de grandes consumidores, previsão do consumo doméstico nocturno, avaliação do efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas de água e previsão do consumo em ZMC.

Para além da metodologia estruturada para a análise de consumos, as principais contribuições inovadoras são o desenvolvimento de modelos de previsão e de classificação do consumo em ZMC, em função das variáveis explicativas mais significativas, e a obtenção de expressões para a variação do consumo autorizado e das perdas reais com a pressão.

O trabalho desenvolvido contribuirá para um uso mais eficiente da água, através de um melhor conhecimento sobre as várias componentes do consumo urbano de água, assim como para o estabelecimento de critérios de projecto e de exploração da rede mais sustentados.

Palavras-Chave: sistemas de abastecimento de água, consumo urbano de água, uso eficiente da água, telemetria, zona de medição e controlo, perdas de água.

ABSTRACT

The objective of this research work was to propose, apply and validate a methodology for transforming urban water consumption telemetry data into useful information for water supply services management and for the consumers.

The methodology is structured in four modules: planning and monitoring, data processing, characterization information production, and prediction and classification. Taking advantage from consumption telemetry data at various levels, from the individual property to the network district metering area (DMA), the methodology is applied to the characterization of large consumers, to the prediction of nighttime domestic consumption, to the evaluation of service pressure on metered consumption and on leakage, and to the prediction of DMA consumption.

Beyond the structured methodology in itself, the main innovative contributions of this work are the development of consumption prediction and classification models in DMA, based on significant explanatory variables, and of relationships between authorized consumption and leakage with service pressure.

It is expected that the work will contribute to the efficient use of water through better knowledge over the various components of urban water consumption, as well as to the establishment of better supported criteria for network design and operation.

Keywords: water supply systems, urban water consumption, efficient water use, telemetry, district metering area, water losses.

AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado nesta tese foi realizado no âmbito de uma bolsa de Doutorado no Laboratório de Nacional de Engenharia Civil, no núcleo de Engenharia Sanitária - Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA). Quero expressar o meu agradecimento à Eng.^a Rafaela Matos, Chefe do DHA, e à Eng.^a Helena Alegre, Chefe do Núcleo de Engenharia Sanitária, por terem garantido todos os meios para a realização da tese e pelo apoio e reconhecimento transmitido durante a realização deste trabalho. Agradeço também ao Instituto Superior Técnico pelos meios facultados. Quero expressar também o meu agradecimento à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio financeiro prestado durante o período de bolsa.

Quero expressar um agradecimento particular aos meus orientadores por todo o apoio prestado. À Professora Dídya Covas, orientadora da tese, pelo contributo científico e por ter ajudado sempre a estabelecer as metas a atingir durante estes quatro anos. Ao Eng. Sérgio Teixeira Coelho, co-orientador de tese, pela transmissão de conhecimentos, por ter ajudado a nunca perder o rumo e por todo o incentivo, mesmo a milhares de quilómetros de distância. À Eng.^a Helena Alegre, co-orientadora de tese, pela transmissão de conhecimentos e experiência, sempre com muito pragmatismo, e pelo apoio nos momentos-chave deste trabalho.

À Dr.^a Margarida Rebelo, Investigadora no Núcleo de Ecologia Social (NESO-LNEC) pela transmissão de conhecimentos em matérias de sócio-demografia e pelo apoio pessoal prestado. À Prof.^a Conceição Amado, pelo contributo fundamental na aplicação de métodos estatísticos a este trabalho.

Ao Rodrigo Borba, Bolseiro de Investigação (BI) no NES, pela troca de conhecimentos em matemática e estatística, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho e incentivo. Ao Pedro Ramalho, também BI no NES, pela ajuda na implementação das ferramentas de cálculo para apoio ao processamento de dados e pela sua permanente disponibilidade. Ao Luís Pinheiro, BI no NES pelo apoio na realização e análise do inquérito sobre hábitos de consumo de água.

Ao Eng. Alexandre Santos, Consultor em Sistemas de Informação Geográfica, pela transmissão de conhecimentos nesta área e pelo apoio no desenvolvimento de uma

ferramenta para o geoprocessamento de dados sócio-demográficos. Ao Eng. Pedro Abreu, Consultor em Investigação e Desenvolvimento, pela transmissão de conhecimentos na área da programação computacional e pelo apoio no desenvolvimento no desenvolvimento da aplicação PROFILER.

Ao Eng. André Pina, Chefe de Divisão de Controlo de Perdas e Cadastro dos SMAS de Oeiras e Amadora, por ter assegurado a realização das campanhas de medição de consumo e pelo apoio proporcionado. Ao Eng. João Feliciano, Director da AGS, por todos os meios disponibilizados por esta empresa para a realização do trabalho. À Eng.^a Alice Ganhão e à Eng. Rita Almeida, da equipa de engenharia e gestão da AGS, por terem assegurado a implementação e utilização dos sistemas de telemetria e o fornecimento de dados.

À Eng.^a Daniela Cruz, à Eng. Sónia Vieira e ao Eng. Bruno Rocha, da equipa de exploração da Águas de Barcelos, por todo o apoio prestado e empenho, durante a campanha de recolha de dados, pela troca de conhecimentos e pelo interesse no trabalho desenvolvido.

Ao Eng. Luiz Araújo, à Eng.^a Sofia Coelho e ao Diogo Sousa, da Divisão de Controlo de Perdas e Cadastro dos SMAS de Oeiras e Amadora, pelo fornecimento de dados.

Ao Dr. Nuno Medeiros e ao Dr. João Mugeiro, do Departamento de Clientes Directos da EPAL, S.A. pelos meios disponibilizados e pelo apoio na realização do trabalho.

Gostaria de expressar um agradecimento especial ao Eng. José Miguel Maia, Director da AGS, e ao Eng. Eduardo Murinello, antigo Chefe de Divisão de Controlo de Perdas e Cadastro dos SMAS de Oeiras e Amadora, que estiveram na origem deste trabalho, garantindo todos os meios para o seu desenvolvimento. Agradeço-lhes também pelo incentivo e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Eng. Altino Alvares e ao Eng. Pedro Nunes, da Contar, Lda. ao Eng. Ricardo Cordeiro, da Janz - Contagem e gestão de fluidos, S.A., e ao Eng. Hernâni Santos, da Resopre, pela transmissão de conhecimentos em sistemas de telemetria e em contadores e pelo apoio na aquisição de dados de consumo telemedidos.

Quero também expressar o meu agradecimento particular às minhas colegas e amigas Rita Ribeiro, Maria do Céu Almeida e Paula Vieira por todo o incentivo e apoio no desenvolvimento do trabalho. Aos restantes colegas do NES pelo apoio prestado. Agradeço aos meus amigos Elsa Mesquita e Vítor Napier pela paciência e apoio durante estes anos de desenvolvimento da tese.

Por último, mas não menos importante, agradeço ao meu marido pelo apoio e incentivo prestado em todos os momentos. A meu irmão pelas dicas que me deu. A toda a minha família e amigos pelo apoio e compreensão.

O Trabalho desenvolvido na presente dissertação foi co-financiado pela fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projecto “Utilização de dados de telemedição domiciliária na gestão de sistemas de distribuição de água”(POCTI/ECM/60917/2004), pelos SMAS de Oeiras e Amadora, no âmbito do projecto “Apoio na implementação de uma metodologia para análise de consumos domiciliários nocturnos nos SMAS de Oeiras e Amadora” (Processo LNEC n.º 0606/1/16869).

ÍNDICE RESUMIDO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	O CONSUMO URBANO DE ÁGUA	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	49
4	METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA	81
5	FERRAMENTAS DE APOIO À METODOLOGIA	147
6	CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE GRANDES CONSUMIDORES	185
7	ANÁLISE DO CONSUMO DOMÉSTICO NOCTURNO	211
8	ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO NO CONSUMO E NAS PERDAS.....	259
9	TIPIFICAÇÃO DO CONSUMO EM ZMC	325
10	SÍNTESE, CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE DESENVOLVIMENTO FUTURO	387
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	401
	ANEXO 1 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS DE APOIO À METODOLOGIA	413
	ANEXO 2 - VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.....	425
	ANEXO 3 - CAMPANHA PRELIMINAR.....	427
	ANEXO 4 - CAMPANHA PARA ESTIMATIVA DE PERDAS DE ÁGUA	431

ÍNDICE DETALHADO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento e justificação do tema.....	1
1.2	Âmbito e objectivos	5
1.3	Metodologia e estrutura da tese.....	6
2	O CONSUMO URBANO DE ÁGUA	9
2.1	Nota introdutória	9
2.2	Categorias de consumo	9
2.2.1	<i>Conceitos</i>	9
2.2.2	<i>Consumo doméstico</i>	10
2.2.3	<i>Consumo comercial, industrial e público</i>	14
2.2.4	<i>Perdas de água</i>	15
2.3	Níveis de medição de consumo.....	16
2.4	Equipamentos de medição.....	21
2.5	Sistemas de telemetria.....	23
2.5.1	<i>Conceitos</i>	23
2.5.2	<i>Motivações para a instalação de sistemas de telemetria</i>	25
2.5.3	<i>Componentes de um sistema de telemetria</i>	30
2.5.4	<i>Integração dos sistemas de telemetria na EG</i>	40
2.5.5	<i>Levantamento dos principais usos dos sistemas de telemetria</i>	44
2.6	Síntese	46
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	49
3.1	Nota introdutória	49
3.2	Métodos utilizados nas principais etapas da análise do consumo de água	49
3.2.1	<i>Principais etapas</i>	49
3.2.2	<i>Processamento de dados de consumo</i>	49
3.2.3	<i>Modelação de consumos de água</i>	52
3.2.3.1	<i>Tipos de abordagem</i>	52

3.2.3.2	Modelação do consumo em ZMC.....	53
3.2.3.3	Modelação do consumo em clientes individuais.....	54
3.2.4	<i>Caracterização e previsão do consumo de água</i>	58
3.2.4.1	Tipos de abordagens.....	58
3.2.4.2	Caracterização do consumo de água.....	58
3.2.4.3	Métodos de previsão.....	64
3.3	Análise e controlo de perdas em sistemas de distribuição de água.....	68
3.3.1	<i>Perdas de água em sistemas de distribuição de água</i>	68
3.3.2	<i>Metodologias para avaliação da dimensão do problema</i>	70
3.3.3	<i>Intervenções para controlo de perdas de água</i>	74
3.4	Síntese e conclusões.....	77
4	METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA	81
4.1	Nota introdutória.....	81
4.2	Metodologia geral.....	82
4.3	Descrição da metodologia.....	93
4.3.1	<i>Planeamento e implementação da monitorização do consumo de água</i>	93
4.3.1.1	Planeamento da monitorização.....	93
4.3.1.2	Dimensionamento e instalação dos equipamentos de monitorização.....	102
4.3.1.3	Monitorização do consumo.....	108
4.3.2	<i>Processamento de dados de consumo de água</i>	109
4.3.2.1	Análise descritiva de dados.....	109
4.3.2.2	Detecção de dados anómalos.....	111
4.3.2.3	Combinação de dados.....	114
4.3.2.4	Normalização de dados.....	115
4.3.2.5	Redução de dados.....	120
4.3.3	<i>Produção de informação de caracterização do consumo de água</i>	122
4.3.3.1	Análise do consumo.....	122
4.3.3.2	Estimativa de parâmetros.....	126
4.3.3.3	Modelação do consumo.....	127
4.3.4	<i>Classificação e previsão do consumo de água</i>	133
4.3.4.1	Cálculo de variáveis explicativas.....	133

4.3.4.2	Construção do modelo de classificação ou de previsão	140
4.3.4.3	Exploração do modelo de classificação ou de previsão	142
4.4	Síntese	142
5	FERRAMENTAS DE APOIO À METODOLOGIA	147
5.1	Nota introdutória	147
5.2	Procedimentos para apoio à metodologia.....	148
5.2.1	<i>Seleção de zonas de análise ao nível do arruamento.....</i>	<i>148</i>
5.2.2	<i>Detecção de consumos anómalos em pequenas áreas de rede ou ZMC.....</i>	<i>150</i>
5.2.3	<i>Estimativa de perdas de água em ramais ou arruamentos.....</i>	<i>155</i>
5.2.4	<i>Normalização de dados na escala temporal.....</i>	<i>157</i>
5.2.5	<i>Obtenção de eventos rectangulares de consumo.....</i>	<i>159</i>
5.2.6	<i>Identificação de cenários de consumo.....</i>	<i>164</i>
5.2.7	<i>Simulação do consumo no período de consumo mínimo nocturno.....</i>	<i>168</i>
5.3	Aplicação computacional PROFILER	170
5.3.1	<i>Estrutura global da aplicação.....</i>	<i>170</i>
5.3.2	<i>Dados para importação.....</i>	<i>172</i>
5.3.3	<i>Módulo de importação.....</i>	<i>175</i>
5.3.4	<i>Módulo de análise</i>	<i>176</i>
5.3.5	<i>Módulo de visualização.....</i>	<i>177</i>
5.4	Ferramenta de geoprocessamento	177
5.5	Síntese	182
6	CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE GRANDES CONSUMIDORES	185
6.1	Nota introdutória	185
6.2	Aplicação da metodologia proposta	185
6.3	Planeamento e implementação da monitorização do consumo	187
6.3.1	<i>Planeamento da monitorização</i>	<i>187</i>
6.3.1.1	<i>Objectivos e dimensões de análise</i>	<i>187</i>
6.3.1.2	<i>Zonas de análise</i>	<i>188</i>
6.3.2	<i>Equipamentos de monitorização.....</i>	<i>189</i>
6.3.3	<i>Monitorização do consumo.....</i>	<i>190</i>

6.4	Processamento de dados.....	190
6.4.1	<i>Análise descritiva</i>	190
6.4.2	<i>Detecção de dados anómalos</i>	192
6.4.3	<i>Normalização de dados</i>	193
6.5	Produção de informação de caracterização	194
6.5.1	<i>Análise do consumo</i>	194
6.5.1.1	Cenários de consumo.....	194
6.5.1.2	Variáveis de consumo.....	197
6.5.2	<i>Estimativa de parâmetros</i>	201
6.5.3	<i>Modelação do consumo de água</i>	205
6.6	Síntese e conclusões	207
7	ANÁLISE DO CONSUMO DOMÉSTICO NOCTURNO	211
7.1	Nota introdutória	211
7.2	Aplicação da metodologia proposta	212
7.3	Planeamento e implementação da monitorização do consumo	216
7.3.1	<i>Planeamento da monitorização</i>	216
7.3.1.1	Objectivos e dimensões de análise	216
7.3.1.2	Zonas de análise	217
7.3.2	<i>Dimensionamento e instalação dos equipamentos de monitorização</i>	220
7.3.2.1	Medidor de caudal	220
7.3.2.2	Sistema de telemetria.....	223
7.3.3	<i>Monitorização do consumo</i>	225
7.4	Processamento de dados.....	226
7.4.1	<i>Análise descritiva de dados</i>	226
7.4.2	<i>Detecção de dados anómalos</i>	230
7.4.3	<i>Combinação de dados</i>	231
7.4.4	<i>Obtenção de eventos rectangulares de consumo</i>	236
7.5	Produção de informação de caracterização do consumo de água.....	241
7.5.1	<i>Análise do consumo</i>	241
7.5.1.1	Período de consumo mínimo	241
7.5.1.2	Variáveis de consumo.....	242

7.5.2	<i>Estimativa de parâmetros</i>	243
7.5.3	<i>Modelação do consumo de água</i>	245
7.6	Previsão do consumo nocturno	247
7.6.1	<i>Obtenção das variáveis explicativas</i>	247
7.6.2	<i>Construção do modelo de previsão</i>	248
7.6.3	<i>Exploração do modelo de previsão</i>	254
7.7	Síntese e conclusões	255
8	ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO NO CONSUMO E NAS PERDAS.....	259
8.1	Nota introdutória	259
8.2	Aplicação da metodologia proposta	260
8.3	Planeamento e implementação da monitorização do consumo	265
8.3.1	<i>Planeamento da monitorização</i>	265
8.3.1.1	Objectivos e dimensões de análise	265
8.3.1.2	Zonas de análise	266
8.3.2	<i>Equipamentos de monitorização</i>	270
8.3.2.1	Medidores de caudal.....	270
8.3.2.2	Sistema de telemetria.....	273
8.3.3	<i>Monitorização do consumo de água</i>	274
8.4	Processamento de dados.....	277
8.4.1.1	Análise descritiva de dados	277
8.4.1.2	Detecção de dados anómalos	280
8.4.1.3	Normalização de dados.....	281
8.4.1.4	Combinação de dados.....	281
8.5	Produção de informação de caracterização do consumo de água.....	283
8.5.1	<i>Análise do consumo</i>	283
8.5.1.1	Estabelecimento de cenários de consumo.....	283
8.5.1.2	Cálculo de variáveis de consumo	286
8.5.2	<i>Modelação do consumo</i>	290
8.5.2.1	Aspectos gerais.....	290
8.5.2.2	Zona 1.....	290
8.5.2.3	Zona 2.....	301

8.5.2.4	Zona 3.....	311
8.5.2.5	Resumo dos resultados	319
8.6	Síntese e conclusões	321
9	TIPIFICAÇÃO DO CONSUMO EM ZMC	325
9.1	Nota introdutória	325
9.2	Aplicação da metodologia proposta	326
9.3	Planeamento e implementação da monitorização do consumo	329
9.3.1	<i>Planeamento da monitorização</i>	329
9.3.1.1	Objectivos e dimensões de análise	329
9.3.1.2	Zonas de análise	329
9.3.2	<i>Equipamentos de monitorização</i>	332
9.3.3	<i>Monitorização do consumo</i>	333
9.4	Processamento de dados.....	333
9.4.1	<i>Análise descritiva</i>	333
9.4.2	<i>Detecção de dados anómalos</i>	336
9.4.3	<i>Normalização de dados</i>	339
9.4.4	<i>Combinação de dados</i>	340
9.5	Produção de informação de caracterização	341
9.5.1	<i>Análise do consumo</i>	341
9.5.1.1	Cenários de consumo.....	341
9.5.1.2	Variáveis de consumo.....	351
9.5.2	<i>Estimativa de parâmetros</i>	354
9.5.3	<i>Modelação do consumo</i>	357
9.6	Classificação e previsão	358
9.6.1	<i>Obtenção das variáveis explicativas</i>	358
9.6.1.1	Recolha e combinação de dados	358
9.6.1.2	Construção de variáveis.....	359
9.6.1.3	Redução de variáveis	362
9.6.2	<i>Construção do modelo de previsão e de classificação</i>	370
9.6.2.1	Modelo de previsão do consumo	370
9.6.2.2	Modelo de classificação da variação diária do consumo horário.....	377

9.6.3	<i>Exploração do modelo de previsão e de classificação</i>	382
9.7	Síntese e conclusões	383
10	SÍNTESE, CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE DESENVOLVIMENTO FUTURO	387
10.1	Síntese e contribuições inovadoras	387
10.2	Principais conclusões	393
10.3	Sugestões de desenvolvimento futuro	395
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	401
	ANEXO 1 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS DE APOIO À METODOLOGIA	413
	ANEXO 2 - VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	425
	ANEXO 3 - CAMPANHA PRELIMINAR	427
	ANEXO 4 - CAMPANHA PARA ESTIMATIVA DE PERDAS DE ÁGUA	431

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Instrumentos de análise do consumo e de apoio à decisão num sistema de abastecimento de água	4
Figura 1.2 – Metodologia do trabalho	6
Figura 2.1 – Estrutura do consumo doméstico: a) Portugal, b) Reino Unido, c) Austrália, d) Estados Unidos da América	12
Figura 2.2 – Componentes do consumo urbano	14
Figura 2.3 – Localização dos medidores de caudal num sistema de distribuição de água.....	16
Figura 2.4 – Componentes de consumo numa ZMC: consumo total entrado, consumo doméstico, consumo não doméstico e perdas	17
Figura 2.5 – Componentes de consumo ao nível do arruamento ou ramal	20
Figura 2.6 – Componentes de consumo ao nível domiciliário.....	20
Figura 2.7 – Aplicação de sistemas de telemetria num sistema de distribuição de água	24
Figura 2.8 – Desvantagens do sistema tradicional de leitura de contadores.....	26
Figura 2.9 – Vantagens e preocupações associadas aos sistemas de telemetria, adaptado de Oracle (2010)..	27
Figura 2.10 – Principais motivações para a instalação de sistemas de telemetria	28
Figura 2.11 – Potenciais serviços <i>online</i> a disponibilizar pela entidade gestora.	29
Figura 2.12 – Principais componentes de um sistema de telemetria	31
Figura 2.13 – Tipos de unidades locais: a) contador com totalizador mecânico, sensor e módulo de comunicação remota com <i>datalogger</i> , b) contador com totalizador electrónico.....	32
Figura 2.14 – Tipos de terminais portáteis: a) sem ligação a pé, b) com ligação a pé; b) sem ligação com veículo, adaptado de Sensus (2010)	34
Figura 2.15 – Unidades locais dispostas em bateria	35
Figura 2.16 - Sistema de comunicação entre a unidade local e o concentrador: a) sistema <i>mesh</i> (rádio), b) sistema M-Bus.....	36
Figura 2.17 – Exemplo de uma plataforma Web para consulta de dados de consumo de clientes individuais	39
Figura 2.18 – Sistema de gestão de dados de medidores, adaptado de Oracle (2007).....	40
Figura 2.19 – Etapas para a integração dos sistemas de telemetria na EG	41
Figura 2.20 – Aspectos a atender na especificação de sistemas de telemetria.....	42

Figura 2.21 – Custos e benefícios dos sistemas de telemetria (adaptado de Oracle, 2007).....	43
Figura 2.22 - Novos serviços disponibilizados pelos sistemas de telemetria	45
Figura 3.1 - Separação do consumo em eventos rectangulares de consumo: a) registos originais; b) suavização do sinal; c) separação de eventos, adoptado de Buchberger e Wells (1996a).....	55
Figura 3.2 – Representação esquemática dos modelos de <i>Poisson</i> e <i>end use model</i> , adoptado de Blokker <i>et al.</i> (2008).....	58
Figura 3.3 – Características dos níveis de decisão (Alegre e Covas, 2010)	65
Figura 3.4– Componentes do consumo nocturno, adaptado de UK Water Industry (1994a).	73
Figura 4.1 – Metodologia geral da análise de consumo de água	83
Figura 4.2 – Etapas de cada módulo da metodologia geral da análise de consumos de água.....	84
Figura 4.3 – Etapas do Módulo 1	85
Figura 4.4 – Etapas do Módulo 2	87
Figura 4.5 – Etapas do Módulo 3	90
Figura 4.6 – Etapas do módulo 4.....	92
Figura 4.7 – Elementos para o cálculo da exactidão do contador: a) histograma de consumo, b) curva de erros do contador.....	111
Figura 4.8 - Exemplo de série de consumo com períodos de falha e com períodos de consumo nulo	118
Figura 4.9 – Evento rectangular de consumo.	121
Figura 4.10– Padrão (diário) de consumo adimensional para dia útil	128
Figura 4.11– Exemplo de diagrama de série temporal numa ZMC.....	129
Figura 4.12 – Exemplo de diagrama de série temporal de um grande consumidor.....	130
Figura 4.13 – Exemplo de padrão de probabilidade de ocorrência de consumo num grande consumidor	130
Figura 4.14 – Procedimento para a simulação do consumo no período de análise.....	132
Figura 5.1 – Exemplo de dados de consumos anómalos em pequenas áreas de rede ou ZMC: a) Tipo I, b) Tipo II, c) Tipo III.....	150
Figura 5.2 – Exemplos de séries reais de consumo e de série filtradas: a) série real com anómalo Tipo I, b) série real com anómalo Tipo II	152
Figura 5.3 – Procedimento para a detecção de dados de consumo anómalos do Tipo I.....	153
Figura 5.4 – Exemplo de zona de análise ao nível do arruamento.....	156
Figura 5.5 – Etapas na normalização da série de consumos instantâneos	157
Figura 5.6 – Etapas na normalização da série de consumos instantâneos (série com falhas de dados).....	158

Figura 5.7 – Etapas na normalização da série de consumos médios (ou volumes)	159
Figura 5.8 – Evento rectangular de consumo	160
Figura 5.9 – Etapa de obtenção de blocos de eventos	160
Figura 5.10 – Separação de eventos de consumo com sobreposição parcial do segundo evento	161
Figura 5.11 – Separação de eventos de consumo com sobreposição total do segundo evento	162
Figura 5.12 – Separação de eventos de consumo no caso de não haver sobreposição	163
Figura 5.13 – Variação diária do consumo horário numa ZMC para identificação: a) cenário sazonal, b) cenário diário.....	165
Figura 5.14 – Exemplos de dendrogramas do consumo numa ZMC: a) variável mês do ano, b) variável dia da semana (método de ligação média)	166
Figura 5.15 – Exemplo de dendrograma do consumo numa ZMC para a variável hora do dia (método de ligação média)	167
Figura 5.16 – Procedimento para a simulação do consumo em períodos de consumo homogéneo	169
Figura 5.17 - Estrutura da aplicação computacional PROFILER.....	171
Figura 5.18 – Ambiente de trabalho da aplicação computacional PROFILER	172
Figura 5.19 – Exemplos de ficheiros de dados de entrada da aplicação PROFILER	173
Figura 5.20 – Metodologia para cálculo de variáveis sócio-demográficas ao nível de uma ZMC.....	178
Figura 5.21 – Áreas de influência de cada ramal por ZMC.....	180
Figura 5.22 – Distribuição da população por ZMC com base numa ponderação por área.	181
Figura 6.1 – Aplicação da metodologia geral para caracterização de grandes consumidores	186
Figura 6.2 – Características dos grandes consumidores seleccionados para análise: a) consumo por cliente, b) peso do consumo de cada cliente no consumo total facturado na ZMC.....	189
Figura 6.3 – Série de consumo para os clientes: a) instituição social 1, b) indústria 3.....	192
Figura 6.4 – Variação do consumo mínimo ao longo do ano para os clientes da categoria Instituição de I&D	192
Figura 6.5 – Identificação de dados anómalos: a) instituição de lazer, b) comércio 2.	193
Figura 6.6 – Cenários sazonais de consumo para cada cliente	194
Figura 6.7 – Cenários de consumo: a) sazonais, b) diários.....	195
Figura 6.8 – Variação diária do consumo horário do cliente instituição I&D 4 para: a) cada mês do ano, b) cada dia da semana entre os meses de Janeiro e Maio e entre Outubro e Dezembro	196
Figura 6.9 – Dendrograma do consumo do cliente Instituição I&D 4 para a variável: a) mês b) dia da semana (método de ligação de <i>Ward</i>)	197

Figura 6.10 – Consumo por cliente por categoria de consumo: valor médio, mínimo e máximo	198
Figura 6.11 – Variáveis de consumo características dos grandes consumidores: a) consumo diário, b) factores de ponta instantâneo, diário e mensal.....	199
Figura 6.12 – Série de consumo para os clientes a) indústria 1 e instituição de lazer, b) indústria 4 e escola 4	200
Figura 6.13 – Dendrograma para os clientes em análise (método de <i>Ward</i>)	201
Figura 6.14 – Séries de consumo para os clientes a) comércio 5, b) indústria 2, c) comércio 2 e d) instituição de I&D 1.....	202
Figura 6.15 - Valores observados, valores estimados de consumo e resultados dos testes de ajustamento para o comércio 2 (para dia útil e sábado): a) 4:00 e b) 9:00	203
Figura 6.16 – Valores observados, valores estimados de consumo e resultados dos testes de ajustamento para a indústria 2 (para dia útil): a) 4:00 e b) 9:00.....	204
Figura 6.17 – Probabilidade de consumo ao longo do dia para o comércio 5: a) dia útil e sábado, b) domingo e feriado.....	206
Figura 6.18 – Padrões diário de consumo para o comércio 2 para: dia útil e sábado, b) domingo e feriado .	206
Figura 6.19 – Padrões diário de consumo para o indústria 2 para: dia útil, b) sábado, domingo e feriado....	207
Figura 7.1 – Aplicação da metodologia geral para previsão do consumo doméstico nocturno em ZMC.....	212
Figura 7.2 – Localização das ZMC a que pertencem as zonas de estudo	217
Figura 7.3 – Consumo por escalão e consumo doméstico por cliente em cada zona de estudo	218
Figura 7.4 – Selecção do arruamento na ZMC NO: a) subsecção estatística seleccionada, b) arruamento seleccionado (zona de estudo NO-s)	219
Figura 7.5 – Edificado das zonas de estudo: a) NO-s, b) ALF-sc, c) SA-sc.....	220
Figura 7.6 – Sítio para acesso <i>online</i> aos dados de consumo ao nível arruamento/ramal	225
Figura 7.7 – Diagrama de extremos e quantis do consumo para cada zona de estudo: a) série completa, b) período nocturno	227
Figura 7.8 – Distribuição do consumo no contador primário e secundário: a) ao longo do dia, b) período nocturno	228
Figura 7.9 – Curvas de consumo para as várias zonas de estudo	229
Figura 7.10 – Estatísticas descritivas para as zonas de estudo: a) NO-s e b) FN-s.....	230
Figura 7.11 – Detecção de dados de consumo anómalos na zona de estudo NO-s: a) estatísticas no período nocturno, b) diagrama de consumo	231
Figura 7.12 – Detecção de dados de consumo anómalos na zona de estudo ZA-s: a) estatísticas no período nocturno, b) diagrama de consumo	231

Figura 7.13 - Consumo médio horário entre 1:00-6:00 ao longo da semana: a) FN-s, b) NO-s.....	232
Figura 7.14 – Dendrograma para a variável hora do dia: a) FN-s b) NO-s (método de ligação de <i>Ward</i>)	233
Figura 7.15 – Período de consumo mínimo nocturno para cada zona de estudo	233
Figura 7.16 – Consumos mínimos e médios no período de consumo mínimo: a) ZA-s, NO-s	235
Figura 7.17 – Histogramas das características dos eventos de consumo para cada zona de estudo: a) duração, b) intensidade	237
Figura 7.18 – Histograma de volumes para cada zona de estudo	238
Figura 7.19 – Variação da intensidade com a duração dos eventos: a) zona NO-s, b) zona FN-s.....	239
Figura 7.20 – Histogramas de níveis de intensidade dos blocos de eventos para cada zona de estudo	239
Figura 7.21 – Tipos de usos de água na zona de estudo QMP-s: a) 18-11-2009, b) 4-12-2009	240
Figura 7.22 - Tipos de usos de água na zona de estudo NO-s: a) 16-09-2009, b) 23-10-2009.....	241
Figura 7.23 – Valores observados e valores esperados na zona de estudo QMP-s: a) chegada de eventos, b) duração dos eventos, c) intensidade dos eventos.....	244
Figura 7.24 – Consumo mínimo simulado para um número de clientes compreendido entre 300-5000 clientes: a) zona SA-sc, b) zona NO-s.....	247
Figura 7.25 – Variáveis sócio-demográficas nas zonas de estudo: a) famílias com idosos e mobilidade social, b) Edifícios com menos de 27 anos e edifícios com mais de 3 pisos	247
Figura 7.26 – Dendrograma para agrupamento das zonas segundo as variáveis de consumo (método de ligação de <i>Ward</i>)	249
Figura 7.27 - Dendrograma para agrupamento das zonas segundo as variáveis de consumo e de facturação	250
Figura 7.28 - Dendrograma para agrupamento das zonas segundo as variáveis de consumo e sócio- demográficas (método de ligação de <i>Ward</i>).....	250
Figura 7.29 – Leis de regressão linear para cada zona de estudo	251
Figura 8.1 – Aplicação da metodologia para análise do efeito da variação de pressão no consumo e nas perdas de água.	260
Figura 8.2 – Localização das zonas de estudo e dos pontos de medição	267
Figura 8.3 – Envolvente urbana das zonas de estudo com telemetria domiciliária: a) Zona 2; b) Zona 3.....	267
Figura 8.4 – Localização dos equipamentos de medição nas zonas de estudo	268
Figura 8.5– Esquema-tipo da instalação dos equipamentos de medição e controlo ligados ao sistema de telegestão.....	272
Figura 8.6– Equipamento ligado ao sistema de telegestão: a) câmara com o equipamento de medição e controlo instalado, b) armário com equipamento da telegestão e telemetria.....	272

Figura 8.7 – Variação do consumo total medido em MC6, MC7, MC9 e MC10 entre 06-03-2009 e 08-03-2009.....	278
Figura 8.8 – Variação do consumo total medido em MC8 e MC7 entre 07-04-2009 e 12-04-2009	279
Figura 8.9 – Variação do consumo total medido e da pressão a montante e a jusante da VRP instalada em: a) MC6 (04-05-2009 e 07-05-2009) e b) MC7 (03-05-2009 e 06-05-2009)	280
Figura 8.10– Variação do consumo total medido e da pressão a montante e jusante da VRP instalada em: a) MC6 (22-01-2009 e 24-01-2009), b) MC7 (12-02-2009 e 15-02-2009).....	280
Figura 8.11 – Consumo autorizado telemedido na Zona 1: a) Campanha A, b) Campanha B	281
Figura 8.12 – Consumo autorizado telemedido na Zona 2: a) Campanha A, b) Campanha B	282
Figura 8.13 – Consumo autorizado telemedido na Zona 3: a) Campanha A, b) Campanha B	282
Figura 8.14 – Variação diária do consumo doméstico horário no cenário de consumo I: a) Zona 1, b) Zona 2, c) Zona 3	284
Figura 8.15 – Variação do consumo doméstico e de pressão na Zona 1 durante a Campanha A: a) valores médios 3:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	292
Figura 8.16 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 1 para o cenário diário I (2. ^a -6. ^a) (Campanha A)	292
Figura 8.17 – Variação do consumo médio e de pressão média diária durante a Campanha A: a) instituição social 1, b) escola.....	293
Figura 8.18 – Variação do consumo total medido e da pressão em MC7 durante a Campanha A: a) valores médios 5:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	294
Figura 8.19 – Variação do consumo mínimo medido em MC7 com a pressão respectiva entre 05-01-2009 e 02-03-2009.....	295
Figura 8.20 – Variação de consumo mínimo, da respectiva pressão medida em MC7 e do consumo mínimo autorizado na Zona 1 durante a Campanha A1	296
Figura 8.21 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 1 durante a Campanha B: a) valores médios 3:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	297
Figura 8.22 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 1 para o cenário diário I (2. ^a -6. ^a) (Campanha B)	298
Figura 8.23 – Variação do consumo da rega 1 e da pressão durante a Campanha B (01-07-2009 e 04-07-2009)	298
Figura 8.24 – Variação do consumo da rega 1 e da pressão (mínimo e médio entre 0:00-3:00) durante a Campanha B.....	299
Figura 8.25 - Variação do consumo médio entre 0:00-3:00 da rega 1 com a pressão média entre as 0:00 e as 3:00 durante a Campanha B (21-06-2009 e 22-07-2009).....	299

Figura 8.26 – Variação do consumo total e da pressão medidos em MC7 durante a Campanha B: a) valores médios 3:00-6:00 e mínimos, b) médios diários e máximos	300
Figura 8.27 - Variação do consumo mínimo medido em MC7 com a respectiva pressão durante a Campanha B (08-06-2009 e 21-07-2009)	300
Figura 8.28 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 2 durante a Campanha A: a) valores médios 2:00-5:00 e mínimos, b) médios diários e máximos	302
Figura 8.29 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 2 para o cenário diário I (2. ^a -6. ^a) (Campanha A)	303
Figura 8.30 – Variação do consumo autorizado e da pressão na oficina durante a Campanha A: a) valores médios 0:00-7:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	303
Figura 8.31 – Variação do consumo da Oficina e da pressão durante a Campanha A (05-01-2009 e 16-02-2009)	304
Figura 8.32– Variação do consumo mínimo da oficina com a respectiva pressão durante a Campanha A (05-01-2009 e 11-02-2009).....	304
Figura 8.33 – Variação do consumo total e da pressão medidos em MC6 durante a Campanha A: a) valores médios entre as 2:00 e as 5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	305
Figura 8.34 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 2 durante a Campanha B: a) valores médios 2:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	306
Figura 8.35 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 2 para o cenário diário I (2. ^a -5. ^a) (Campanha B)	306
Figura 8.36 – Variação do consumo doméstico e da pressão na moradia 1, durante a Campanha B: a) valores médios 2:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	307
Figura 8.37 – Variação do consumo na moradia 1 e da pressão durante a Campanha B (08-06-2009 e 30-07-2009)	307
Figura 8.38 – Variação do consumo doméstico com a pressão na Zona 2 durante a Campanha B: a) média diária, b) máximo	308
Figura 8.39– Variação de consumo total e da pressão medidos em MC6, durante a Campanha B: a) valores médios 1:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	309
Figura 8.40 – Variação do consumo total medido em MC6 e MC9 e da pressão durante a Campanha B (16-06-2009 e 27-06-2009).....	309
Figura 8.41 – Variação do consumo mínimo medido em MC6 com a pressão entre 20-06-2009 e 27-07-2009	310
Figura 8.42– Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 3 durante a Campanha A: a) valores médios 3:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	312

Figura 8.43 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 3 para o cenário diário I (2. ^a -6. ^a) (Campanha A)	312
Figura 8.44– Variação do consumo e da pressão na instituição social 3 durante a Campanha A: a) valores médios 1:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	313
Figura 8.45 – Padrão diário de consumo da instituição social 3 para o cenário diário I (2. ^a -6. ^a) (Campanha A)	313
Figura 8.46 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 3, durante a Campanha B: a) valores médios 5:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	314
Figura 8.47 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 3 para o cenário diário I (2. ^a -6. ^a) (Campanha B)	315
Figura 8.48 – Variação do consumo e da pressão na moradia 2 durante a Campanha B (15-06-2009 e 22-06-2009)	315
Figura 8.49 – Variação do consumo e da pressão na moradia 2 durante a Campanha B: a) valores médios 3:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos	316
Figura 8.50– Variação do consumo e da pressão na moradia 2 durante a Campanha B (13-06-2009 e 18-09-2009): a) médio 3:00-5:00, b) máximo	316
Figura 8.51 – Variação de consumo não doméstico sem grandes consumidores e da pressão na Zona 3 durante a Campanha B: a) valores médios 2:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos	317
Figura 8.52 – Variáveis de consumo e da pressão da rega 2, durante a Campanha B: a) valores médios 5:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos.....	317
Figura 8.53– Variação do consumo médio entre 5:00-6:00 com a pressão média 5:00-6:00 para a rega 2 (entre 06-06-2009 e 05-08-2009)	318
Figura 8.54 – Padrão diário de consumo da Instituição social 3 para o cenário diário I (2. ^a -6. ^a) (Campanha B)	319
Figura 9.1 – Aplicação da metodologia para tipificação do consumo de água em ZMC	327
Figura 9.2 – Localização dos sectores de rede	330
Figura 9.3 – Características dos sectores de rede: a) número de ramais e densidade de ramais, b) número de cliente, número de clientes por ramal e número de habitantes por cliente	331
Figura 9.4 – Critérios para selecção de ZMC: a) consumo facturado, b) tipo de edificado.....	331
Figura 9.5 – Gráfico de quartis, máximo e mínimo do consumo para as ZMC em estudo.....	335
Figura 9.6 – Variação do consumo mínimo, médio e máximo durante o período de análise: a) ZMC ALF, b) ZMC SA.....	335

Figura 9.7 – Variação do consumo mínimo, médio e máximo durante o período de análise: a) ZMC MN, ZMC MP	336
Figura 9.8 – Identificação de dados anómalos de consumo Tipo I: a) ZMC AZA, b) ZMC CS	337
Figura 9.9 – Identificação de dados anómalos de consumo Tipo II: a) ZMC BA, b) ZMC AZA	338
Figura 9.10 – Dados anómalos de consumo Tipo III na ZMC AZA	338
Figura 9.11 – Identificação de dados anómalos de consumo Tipo II: a) ZMC BA, b) ZMC ALF	339
Figura 9.12 – Diagramas de consumo na ZMC NO e de consumo de grandes consumidores: a) 02-04-2007 a 06-04-2007 e b) 17-09-2007 a 21-09-2007	340
Figura 9.13 - Diagramas de consumo na ZMC e de consumo de grandes consumidores: a) ZMC M, b) ZMC FN	341
Figura 9.14 – Variação diária do consumo horário na ZMC para cada mês do ano: a) SA, b) FC.....	342
Figura 9.15 – Dendrograma para a variável mês na ZMC: a) SA, b) FC (método de ligação média).....	342
Figura 9.16 – Cenários sazonais de consumo para cada ZMC	343
Figura 9.17 – Variação diária do consumo horário para cada mês na ZMC: a) AI, b) QUE.....	344
Figura 9.18 – Cenários diários de consumo em cada ZMC: a) cenário sazonal 1, b) cenário sazonal 2	345
Figura 9.19 – Variação diária do consumo horário para cada dia da semana, durante o cenário sazonal 1, nas ZMC: a) BA, b) AZA.....	346
Figura 9.20 – Dendrograma para a variável dia da semana no cenário anual 1 para a ZMC: a) BA, b) AZA (método de ligação média)	346
Figura 9.21 – Variação diária do consumo horário para cada dia da semana para a ZMC LP: a) cenário sazonal 1, b) cenário sazonal 2.....	347
Figura 9.22 – Cenários de consumo durante o período nocturno: a) dia útil, b) sábado, b) domingo e feriados	349
Figura 9.23 - Cenários de consumo ao longo do dia para dia útil	350
Figura 9.24 - Cenários de consumo ao longo do dia: a) sábado, b) domingo e feriados	350
Figura 9.25 – Variáveis de consumo anuais: a) factores de ponta (F_p , F_{pd} , F_{pm}), b) factores de consumo mínimo e no PCMN ($F_{PCMNMax}$, F_{minMax}).....	352
Figura 9.26 – Diagramas de consumo médio diário, de consumo médio entre as 3:00 e as 5:00 e de consumo mínimo para a ZMC: a) FC, b) SA.....	352
Figura 9.27 – Variáveis de consumo para o cenário sazonal 1: a) consumo médio diário e consumo mínimo médio, b) factores de consumo (F_{dMax} , F_{minMax} , F_{Max}).....	353
Figura 9.28 – Séries de consumo para as ZMC: a) CS (1569 clientes), BA (2026 clientes) e ZA (54560 clientes)	354

Figura 9.29 - Valores observados e estimados de consumo às 5:00 e resultados dos testes de ajustamento para as ZMC: a) CS, b) BA e c) ZA.....	355
Figura 9.30 - Valores observados e estimados de consumo às 9:00 e resultados dos testes de ajustamento as ZMC: a) CS, b) BA e c) ZA.....	355
Figura 9.31 - Valores observados e estimados para a ZMC BA: a) às 5:00, b) às 7:00.....	357
Figura 9.32 – Padrões diários de consumo (adimensional) em dia útil e no cenário sazonal 1 para as ZMC: a) CS, b) BA e c) ZA.....	358
Figura 9.33 – Variáveis de infra-estrutura: a) material das condutas e avarias em condutas, b) densidade de ramais e avarias em ramais.....	359
Figura 9.34 – Variáveis sócio-demográficas	361
Figura 9.35 – Variáveis de facturação	361
Figura 9.36 – Projecção das variáveis de infra-estrutura no plano factorial 1-2.....	365
Figura 9.37 – Projecção das variáveis de sócio-demográficas no plano factorial 1-2	367
Figura 9.38 - Projecção das variáveis de consumo doméstico no plano factorial 1-2	368
Figura 9.39 – Dendrograma para a variável ZMC em dia útil, cenário sazonal 1 (método de ligação média)	377
Figura 9.40 – Variação diária do consumo horário em cenário sazonal 1 para dia útil: a) Tipo I, b) Tipo II	378
Figura 9.41 – Variação diária do consumo horário em cenário sazonal 1 para dia útil: a) Tipo III, b) Tipo IV	379
Figura 9.42 – Árvore de decisão para a variação diária do consumo em dia útil (cenário sazonal 1)	380

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Caracterização dos dispositivos domiciliários	13
Quadro 2.2 – Caracterização das utilizações de água por alojamento	13
Quadro 2.3 – Balanço hídrico e terminologia relativa a consumos e a perdas de água	16
Quadro 2.4- Vantagens e desvantagens dos contadores de água (FCM, 2003; Arregui <i>et al.</i> , 2006).....	22
Quadro 2.5 - Vantagens e desvantagens dos medidores de caudal (FCM, 2003; Arregui <i>et al.</i> , 2006).....	23
Quadro 2.6 – Vantagens e desvantagens dos emissores de impulsos.	33
Quadro 2.7 – Usos dos dados de consumo ao nível do cliente individual.....	45
Quadro 2.8 – Usos dos dados de consumo ao nível do arruamento ou ramal	46
Quadro 2.9 – Usos dos dados de consumo ao nível de pequenas áreas de rede ou de ZMC	46
Quadro 3.1 – Etapas e métodos para controlo de perdas de água.	69
Quadro 3.2 – Indicadores de desempenho relativos a perdas de água e a água não facturada.	71
Quadro 4.1 – Objectivos gerais da análise do consumo de água	94
Quadro 4.2 – Dimensões da análise do consumo de água	95
Quadro 4.3 – Dimensão típica dos vários tipos de zonas de análise.....	96
Quadro 4.4 – Objectivos gerais e dimensões da análise do consumo de água.....	98
Quadro 4.5 - Objectivos e níveis de medição para os casos de estudo abordados na tese.....	99
Quadro 4.6 – Dimensões de análise para os casos de estudo abordados na tese.	99
Quadro 4.7 – Aspectos a atender na selecção das zonas de análise.....	100
Quadro 4.8 – Aspectos a atender no levantamento das condições locais.	102
Quadro 4.9 – Aspectos a atender na selecção dos equipamentos de medição e do sistema de telemetria.	104
Quadro 4.10 – Aspectos a atender na monitorização do consumo	109
Quadro 4.11 – Parâmetros e estatísticas relativas à série original	110
Quadro 4.12 – Métodos de detecção de dados anómalos aplicados a cada caso de estudo	113
Quadro 4.13 – Combinação de dados de consumo nos casos de estudo abordados na tese	115
Quadro 4.14 – Normalização de dados de consumo nos casos de estudo abordados na tese	117
Quadro 4.15– Exemplo de amostras transversais de consumo numa série temporal de consumo.....	119

Quadro 4.16 - Variáveis de consumo para o cenário de consumo global.....	125
Quadro 4.17 – Características do consumo a que foram a cada caso de estudo	127
Quadro 4.18 – Tipo, requisitos e origens dos dados de contexto.	134
Quadro 4.19 – Dados de contexto recolhidos em cada caso de estudo.....	135
Quadro 4.20 – Variáveis de infra-estrutura	137
Quadro 4.21 – Variáveis de facturação.....	138
Quadro 4.22 – Variáveis sócio-demográficas.....	139
Quadro 4.23 – Aplicação de métodos de classificação ou de previsão em cada caso de estudo	142
Quadro 5.1 – Campo de aplicação dos procedimentos e técnicas desenvolvidas para apoio à metodologia.	147
Quadro 5.2 – Variáveis sócio-demográficas consideradas para a selecção da subsecção estatística.....	149
Quadro 5.3 – Exemplo de dados armazenados após obtenção dos eventos rectangulares de consumo.....	163
Quadro 5.4 – Matriz de dados para obtenção dos cenários sazonais de consumo	164
Quadro 5.5 – Matriz de dados para obtenção dos cenários diários de consumo.....	165
Quadro 5.6 – Matriz de dados para obtenção dos cenários de consumo por período do dia	165
Quadro 5.7 – Dados para importação do medidor de caudal e da série de consumos	174
Quadro 5.8 – Procedimentos implementados no módulo de importação	176
Quadro 5.9 – Procedimentos do módulo de análise em fase de implementação no PROFILER.....	176
Quadro 6.1 – Parâmetros das séries temporais de consumo dos grandes consumidores	191
Quadro 7.1 – Variáveis de consumo consideradas no estudo.....	214
Quadro 7.2 – Variáveis explicativas consideradas no estudo.....	215
Quadro 7.3 – Características das ZMC a que pertencem as zonas de estudo	218
Quadro 7.4 - Localização do contador, n.º de clientes e n.º de ramais por zona de estudo.	219
Quadro 7.5 – Perdas (reais) de base e consumo máximo por zona de estudo.....	221
Quadro 7.6 – Características do equipamento de medição e de telemetria.....	223
Quadro 7.7 – Dados disponíveis para análise para cada zona de estudo	226
Quadro 7.8 – Características do consumo no período de consumo mínimo.....	234
Quadro 7.9 – Características dos eventos rectangulares no período de consumo mínimo nocturno para cada zona de estudo.....	242
Quadro 7.10 – Valores- <i>p</i> resultantes dos testes de ajustamento da distribuição de Poisson modificada à chegada, da distribuição Pareto à duração e da mistura de normais à intensidade dos eventos	243

Quadro 7.11 – Parâmetros das distribuições.....	245
Quadro 7.12 – Estatísticas dos dados reais e de simulação	246
Quadro 7.13 – Variáveis de consumo no período de consumo mínimo	248
Quadro 7.14 – Estimativas dos parâmetros da regressão linear.....	252
Quadro 7.15 – Estimativa de consumo doméstico noturno em ZMC	253
Quadro 7.16 – Exploração do modelo de previsão para estimativa do consumo doméstico numa nova ZMC	254
Quadro 8.1 – Cotas topográficas e número de pisos por zona de estudo.....	268
Quadro 8.2 – Características da rede de distribuição de água e número de clientes para cada zona.	269
Quadro 8.3 – Características dos equipamentos de medição instalados.	271
Quadro 8.4 – Cenários de regulação de pressão para a VRP instalada no ponto de medição MC6, por campanha	275
Quadro 8.5 – Cenários de regulação de pressão para a VRP instalada no ponto de medição MC7, por campanha	276
Quadro 8.6 – Cenários de consumo para cada zona de estudo (Campanha A).....	283
Quadro 8.7 – Cenários de consumo para cada zona de estudo (Campanha B).....	284
Quadro 8.8 – Cenários de consumo para os grandes consumidores (Campanha A).....	285
Quadro 8.9 – Cenários de consumo para os grandes consumidores (Campanha B).....	285
Quadro 8.10 – Cenários de consumo total medido em MC6 e MC7 (Campanha A e B).	286
Quadro 8.11 – Variáveis do consumo autorizado no cenário de pressão 1 (Campanha A e B).....	287
Quadro 8.12 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 1 (Campanha A)	291
Quadro 8.13 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 1 (Campanha B)	296
Quadro 8.14 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 2 (Campanha A)	302
Quadro 8.15 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 2 (Campanha B)	305
Quadro 8.16 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 3 (Campanha A)	311
Quadro 8.17 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 3 (Campanha B)	314
Quadro 8.18 – Avaliação do efeito da variação de pressão no consumo e nas perdas de água: valores do expoente da pressão.....	320
Quadro 9.1 – Parâmetros das séries temporais de consumo nas ZMC	334
Quadro 9.2 – Resultados dos testes de ajustamento à distribuição Log-normal para as ZMC CS, BA e ZA	356
Quadro 9.3 – Dados recolhidos para tipificação de consumo em ZMC	359

Quadro 9.4 – Síntese das variáveis explicativas para previsão e classificação do consumo de água em ZMC	369
Quadro 9.5 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo (para o ano completo, cenário global) em função das variáveis explicativas	372
Quadro 9.6 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo em dia útil (cenário sazonal 1) em função das variáveis explicativas	373
Quadro 9.7 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo ao sábado (cenário sazonal 1) em função das variáveis explicativas	374
Quadro 9.8 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo ao domingo e feriado (cenário sazonal 1) em função das variáveis explicativas	376
Quadro 9.9 – Variação diária do consumo horário em cenário sazonal para a:) sábado, b) domingo e feriado.	380

SIMBOLOGIA

Alfabeto latino

Símbolo	Grandeza	Dimensão
A	Secção do orifício	L^2
a	Coefficiente de fuga	$L^{3-N}T^{-1}$
C	Consumo instantâneo	L^3T^{-1}
\bar{C}	Consumo médio diário	L^3T^{-1}
$C(t+\tau)$	Valor de consumo real	L^3T^{-1}
\bar{C}'	Consumo médio por cliente	L^3T^{-1}
\bar{C}''	Percentagem de consumo médio	(-)
\bar{C}_a	Consumo médio anual	L^3T^{-1}
C_d	Coefficiente de vazão	(-)
C_{dMax}	Consumo diário máximo	L^3T^{-1}
$C_j(t)$	Consumo “filtrado” no instante t	L^3T^{-1}
C_{j0}	Consumo devido a fugas antes da variação de pressão	L^3T^{-1}
C_{j1}	Consumo devido a fugas após a variação de pressão	L^3T^{-1}
C_{Max}	Consumo máximo instantâneo	L^3T^{-1}
\bar{C}_{min}	Consumo mínimo médio	L^3T^{-1}
C_{minMax}	Consumo mínimo máximo	L^3T^{-1}
C_{mMax}	Consumo mensal máximo	L^3T^{-1}
\bar{C}_{PCMN}	Consumo médio no PCMN	L^3T^{-1}
$C_{PCMNMax}$	Consumo máximo no PCMN	L^3T^{-1}
C_v	Coefficiente de variação	(-)
d	Duração de um evento rectangular, intervalo de tempo entre instantes de consumo	T
d	Distância de corte	(-)
d_i	Duração do i -ésimo evento antes da separação	T
d_i^*	Duração do i -ésimo evento após a separação	T
d_j	Duração do evento j	T
d_{lim}	Duração-limite de falha	T
$E(j)$	Soma do quadrado dos desvios na subsecção estatística j	(-)
f	Factor de consumo instantâneo	(-)
f_{dmax}	Factor de consumo diário máximo	(-)
F_{Max}	Factor de consumo instantâneo máximo	(-)
F_{minMax}	Factor de consumo mínimo máximo	(-)
F_p	Factor de ponta instantâneo	(-)

$F_{PCMNMax}$	Factor de consumo máximo no PCMN	(-)
F_{pd}	Factor de ponta diário	(-)
F_{pm}	Factor de ponta mensal	(-)
g	Aceleração da gravidade	LT^{-2}
H	Número de passos de tempo	(-)
I_i	Intensidade do i -ésimo evento antes da separação	L^3T^{-1}
I_i^*	Intensidade do i -ésimo evento após a separação	L^3T^{-1}
I_j	Intensidade do evento j	L^3T^{-1}
j	Índice da subsecção estatística, evento, número de chegadas de eventos	(-)
j^*	Índice da subsecção estatística que minimiza a soma dos quadrados dos desvios	(-)
L	Comprimento de rede	L
L_p	Comprimento médio dos ramais	L
N	Número total de acontecimentos, número de pontos da janela do filtro, número de clientes, número de ramais	(-)
n	Número total de chegadas de eventos	(-)
N_1	Expoente da pressão (relação entre o consumo devido a fugas e a pressão)	(-)
N_2	Expoente da pressão (relação entre o consumo autorizado e a pressão)	(-)
N_A	Número de acontecimentos de consumo	(-)
O_i	Frequência observada na classe i	(-)
P	Pressão	$ML^{-1}T^{-2}$
$P(A)$	Probabilidade de ocorrência de consumo num dado passo de tempo	(-)
P_0	Pressão inicial	$ML^{-1}T^{-2}$
P_1	Pressão final	$ML^{-1}T^{-2}$
Q	Caudal	L^3T^{-1}
Q_{max}	Caudal máximo	L^3T^{-1}
Q_{min}	Caudal mínimo	L^3T^{-1}
Q_n	Caudal nominal	L^3T^{-1}
Q_t	Caudal de transição	L^3T^{-1}
r	Coefficiente de correlação	(-)
r^2	Coefficiente de determinação	(-)
r_a^2	Coefficiente de determinação ajustado	(-)
S_1	Número de semanas no passado em relação ao instante de cálculo	(-)
S_2	Número de semanas no futuro em relação ao instante de cálculo	(-)
SD_{SSEj}	Valor da variável i na subsecção estatística j	(-)
SD_{ZMCi}	Valor da variável i na ZMC	(-)
SE	Desvio-padrão de cada parâmetro da regressão linear	(-)

t	Instante de tempo	T
t_1	Instante inicial de um evento rectangular	T
t_2	Instante final de um evento rectangular	T
t_f	Instante final de análise	T
T_{H_0}	Estatística de teste sob H_0	(-)
t_i	Instante inicial do i -ésimo evento antes da separação	T
t_i^*	Instante inicial do i -ésimo evento após a separação, i -ésimo instante de tempo normalizado	T
t_j	Instante inicial do evento j	T
W	Dimensão da janela do filtro	T
Y	Variável referente à duração de eventos rectangulares	(T)
Z	Variável referente à intensidade de eventos rectangulares	L^3T^{-1}

Alfabeto grego

α	Nível de significância	(-)
β	Número de instantes de tempo que representam uma semana	(-)
β_i	Parâmetros da regressão linear	(-)
Δt	Passo de tempo	T
Δt^*	Passo de tempo normalizado	T
ε_{max}	Erro relativo máximo entre a série filtrada e a série de consumo real	(-)
$\varepsilon_r(t)$	Erro relativo entre a série filtrada e a série de consumo real no instante t	(-)
$\sigma^2(t)$	Variância do consumo	(-)
σ	Desvio-padrão do consumo	L^3T^{-1}
τ	Distância à observação corrente	
ω_τ	Peso para cálculo da média ponderada do consumo no instante τ	(-)

ABREVIATURAS

Sigla	Significado
AGS	Administração e Gestão de Sistemas de Salubridade
ARMA	Modelo Auto-Regressivo de Médias Móveis
DHA	Departamento de Hidráulica e Ambiente
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (antigo Instituto Reguladora de Águas e Resíduos)
ILI	Índice Infra-Estrutural de Fugas
INAG	Instituto Nacional da Água
INE	Instituto Nacional de Estatística
INSAAR	Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais
LNEC	Laboratório Nacional da Engenharia Civil
MAD	Mediana dos Desvios Absolutos em Relação à Mediana
MAOTDR	Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território
NES	Núcleo de Engenharia Sanitária
PCMN	Período de Consumo Mínimo Nocturno
PEAASARII	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
PNUEA	Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água
PRM	Perdas Reais Mínimas
SI	Sistemas de Informação
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMAS	Serviços Municipalizados de Água e Saneamento
SSE	Subsecção Estatística
VRP	Válvula Reguladora de Pressão
ZGP	Zona de Gestão de Pressão
ZIP	Distribuição de <i>Poisson</i> Modificada
ZMC	Zona de Medição e Controle

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e justificação do tema

É reconhecida a necessidade de melhorar a eficiência na utilização do recurso água em sistemas de abastecimento de água. Embora estes sistemas tenham sofrido uma forte evolução nos últimos anos, traduzindo-se na melhoria global dos níveis de serviço prestados, existem sistemas com realidades muito distintas, em termos de escala, estado da infra-estrutura, modelo de gestão e níveis de serviços prestados. No caso dos sistemas de distribuição – o objecto de análise neste trabalho – embora os níveis de serviço em termos de água não facturada e ineficiência nos recursos hídricos sejam em média razoáveis, uma parte significativa destes sistemas (em geral mais envelhecidos e degradados do que os sistemas de produção, transporte e armazenamento) apresenta níveis de serviço insatisfatórios. Por exemplo, não são raros os sistemas onde o volume de água não facturado é da ordem de 40% do volume total de água fornecido, o que representa um elevado desperdício no uso dos recursos hídricos, assim como nos custos ao longo de todo o processo de abastecimento de água, desde os custos de energia com a elevação de água até aos custos de tratamento da água bruta (ERSAR, 2009). Um uso mais racional da água permite também um melhor aproveitamento das infra-estruturas existentes, adiando ou evitando a necessidade de expansão dos sistemas. Em termos dos clientes abastecidos, é também necessário melhorar a eficiência de certos usos como os públicos (*e.g.*, regas de espaços verdes, lavagem de arruamentos, usos de fontanários) e estabelecer medidas para promover o uso eficiente da água dos mesmos (Almeida *et al.*, 2006).

No sentido de aumentar a eficiência dos sistemas e de garantir a sua sustentabilidade ambiental e económica desta actividade, as entidades gestoras responsáveis pelos sistemas de distribuição de água têm investido em instrumentos para apoio ao diagnóstico da rede (*e.g.*, sistemas de informação, equipamentos de medição) para melhor conhecimento sobre a infra-estrutura e sobre a principal solicitação destes sistemas que é o consumo urbano de água; em meios para controlo do funcionamento dos sistemas, tais como a sectorização, as alterações nos circuitos de abastecimento ou a redução de pressões; e na reabilitação de redes e de outros componentes dos sistemas, tais como reservatórios ou bombas.

No que se refere aos instrumentos para apoio ao diagnóstico da rede, a utilização de sistemas de informação geográfica, de sistemas de telegestão, para além dos sistemas de

facturação e de gestão de clientes, estes últimos de utilização mais corrente, têm-se revelado instrumentos essenciais para conhecer melhor a infra-estrutura existente, assim como as várias componentes do consumo urbano. Estes sistemas de informação, para além da função primária de gestão da informação, contribuem também para a sistematização dos processos e para a melhoria da estrutura orgânica das entidades gestoras. No entanto, qualquer um destes sistemas de informação (SI) são geradores de grandes volumes de dados e não são muitas vezes explorados de uma forma interligada com os restantes SI, o que dificulta a extracção de conhecimento a partir dos dados obtidos.

Relativamente ao consumo ao nível do sistema, de zonas de rede e de grandes consumidores, os elevados volumes de água associados têm levado parte das entidades a recorrer a sistemas de telemetria para a sua medição, permitindo obter dados mais pormenorizados e mais fiáveis.

Os dados de consumo em clientes individuais são tipicamente obtidos com base em leituras manuais de consumo, com periodicidade bimestral ou superior. Em geral, os sistemas de facturação, desenvolvidos para cumprir objectivos comerciais, raramente partilham dados com os restantes sistemas de informação. Por exemplo, a georeferenciação dos clientes no sistema de facturação, que permite localizá-los automaticamente no SIG, é ainda pouco frequente. Dificuldades relacionadas com o acesso aos locais de leitura e com os elevados tempos entre leituras fazem com que o consumo facturado por estimativa possa ser bastante significativo nalgumas entidades gestoras. Estes aspectos têm contribuído para que se tire pouco partido da informação existente sobre o consumo de água ao nível individual para uma gestão mais eficiente dos sistemas.

O investimento das entidades gestoras na medição de consumos e o desenvolvimento tecnológico em equipamentos de medição têm permitido recuperar, a custos relativamente reduzidos, volumes significativos de água não facturada. Recentes avanços tecnológicos, particularmente nas redes de comunicação, vieram possibilitar a implementação de sistemas de telemetria ao nível dos contadores de clientes individuais. Estes sistemas de informação, para além de permitirem leituras mais fiáveis e frequentes, e de virtualmente eliminarem a facturação do consumo por estimativa, permitem obter conhecimento útil para a gestão técnica dos sistemas e para o aumento da sua eficiência. A informação gerada pode ser utilizada, por exemplo, para a caracterização das diferentes componentes do consumo urbano, para estimativas mais fiáveis das perdas de água e de parâmetros de dimensionamento, e para a avaliação do efeito da pressão nas perdas e no consumo.

No que se refere aos meios para controlo dos sistemas, a recente tendência para a sectorização dos sistemas através da instalação de zonas de medição de controlo (ZMC) tem contribuído, a nível nacional, para um melhor conhecimento sobre a infra-estrutura e sobre o consumo de água, nomeadamente sobre perdas reais de água, permitindo também um controlo mais eficiente dos sistemas através, por exemplo, da redução de pressão e da identificação de fugas e roturas.

No que se refere à reabilitação dos sistemas (em particular no caso de condutas e de ramais), e de acordo com o relatório anual do sector das águas e resíduos em Portugal, RASARP 2008 (ERSAR, 2009), a percentagem de condutas e ramais reabilitados é ainda reduzida, o que pode contribuir para um rápido envelhecimento das condutas, aumento de avarias nos ramais e maior vulnerabilidade das infra-estruturas e das perdas de água, pelo que é necessário que as entidades continuem a investir também nesta área.

No sentido de reduzir a ineficiência dos sistemas de distribuição de água e contribuir para a melhoria global dos níveis de serviço, salienta-se também o papel da regulamentação e do estabelecimento de linhas orientadoras. O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais, PEAASAR II 2007-2013 (MAOTDR, 2007), tem por objectivo apoiar na resolução destes problemas, nomeadamente através da articulação entre os sistemas de produção, transporte e armazenamento e os sistemas de distribuição, e da redução de perdas nas redes. Apesar dos elevados investimentos já realizados, este plano aponta para a necessidade actual de investimentos igualmente significativos, o que reforça as recomendações apontadas pelo RASARP 2008, em termos de necessidades de reabilitação.

Adicionalmente, a aprovação das linhas orientadoras do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, PNUEA (CM, 2005; Almeida *et al.*, 2006), do Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de Junho, relativo ao regime económico e financeiro dos recursos hídricos – instrumento de grande importância para a concretização dos princípios em que se baseia a Lei da Água (Lei n.º 58/2005), que estabeleceu a taxa de recursos hídricos, e da Recomendação ERSAR n.º 02/2010 sobre critérios de cálculo de tarifários em sistemas de abastecimento de água (ERSAR, 2010) vieram reforçar a necessidade de um melhor conhecimento sobre o consumo urbano de água para promover a eficiência na utilização do recurso água, sem pôr em causa as necessidades das populações e das actividades económicas. A um nível mais global refere-se também o Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de Agosto, relativo ao regime dos serviços municipais de abastecimento de água, de

saneamento de água residuais e de gestão de resíduos urbanos que veio reforçar a necessidade de assegurar a racionalidade dos investimentos e dos custos operacionais face aos objectivos de serviço prestados através de abordagens de gestão patrimonial de infra-estruturas, para as quais o conhecimento produzido neste trabalho pode contribuir.

Reconhecida a importância de um melhor conhecimento sobre as várias componentes do consumo urbano, nomeadamente do consumo doméstico, para uma gestão mais eficiente dos sistemas de distribuição de água e do potencial dos recentes sistemas de telemetria como sistema de informação gerador de dados de consumo fiáveis, importa assim avaliar a sua aplicabilidade e capacidade para recolha de dados para usos de engenharia, que são geralmente mais exigentes (*i.e.*, exigem dados mais pormenorizados). No entanto, estes sistemas geram elevados volumes de dados e é importante dispor de instrumentos de análise que permitam o processamento destes dados e a obtenção de conhecimento útil, atendendo também às características da população abastecida e da infra-estrutura (onde se inclui também as características operacionais) (Figura 1.1). Deste modo, é possível, por exemplo, estimar melhor o consumo em zonas sem medições ou em zonas de expansão de rede (planeando novas infra-estruturas com menor incerteza), obter valores de referência sobre parâmetros de dimensionamento (*e.g.*, factores de ponta, capitações), que são, em geral, muito limitados, estimar com maior exactidão perdas reais e fazer uma gestão mais adequada de pressões nas redes.

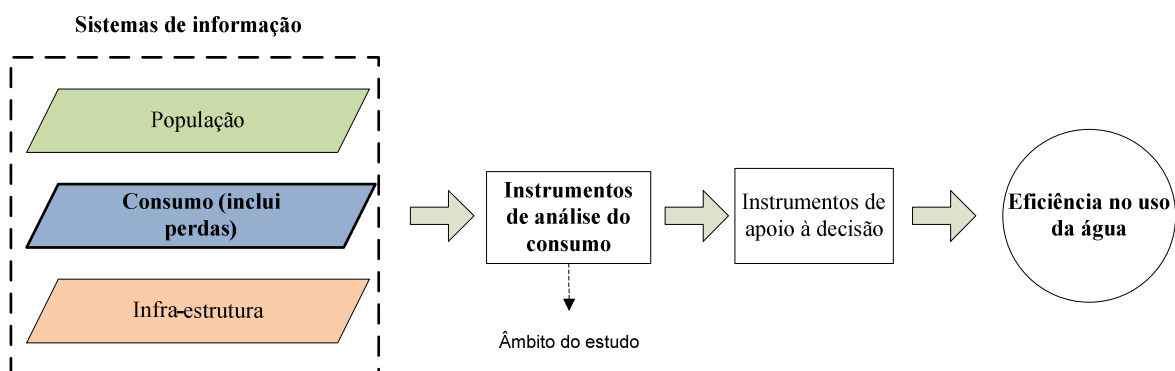


Figura 1.1 – Instrumentos de análise do consumo e de apoio à decisão num sistema de abastecimento de água

A informação produzida por estes instrumentos de análise serve para alimentar as ferramentas de apoio à decisão, cujo objectivo é maximizar a eficiência dos sistemas com o custo mínimo. A inexistência em Portugal de estudos de consumo de água em sistemas de distribuição de água, a partir de dados de consumo teledido, e a necessidade de

estabelecer uma metodologia que sistematize um conjunto de métodos de análise e produza valores de referência constituiu a principal motivação deste trabalho.

Este trabalho pretende contribuir com uma metodologia testada e validada para transformar dados de consumo urbano de água em informação útil para a gestão dos serviços de água e para os consumidores. Insere-se numa linha de investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e usufrui de conhecimento acumulado nesta instituição resultante de teses de investigação anteriores (Bau, 1983; Coelho, 1988; Alegre, 1992) e de estudos de investigação programada e por contrato (Alegre *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 2006; Coelho *et al.*, 2007; Lucas *et al.*, 2008).

1.2 Âmbito e objectivos

O presente trabalho incide sobre o estudo de dados de consumo urbano de água, em particular de consumo doméstico, provenientes de sistemas de telemetria instalados a diferentes níveis de medição nos sistemas de abastecimento de água: cliente individual, arruamento ou ramal, pequenas áreas de rede e zonas de medição e controlo.

Tem como **objectivo central** propor e validar uma metodologia que permita transformar dados de consumo urbano de água em informação útil para a gestão dos serviços de água e para os consumidores. O volume de dados de consumo de água gerado pelos sistemas de telemetria é, como referido, muito elevado. A metodologia proposta permite que estes sejam processados, analisados e sintetizados para diferentes usos, tais como o controlo de perdas de água, o apoio à operação dos sistemas, a gestão patrimonial de infra-estruturas ou a prestação de novos serviços aos consumidores (*e.g.*, alertas em caso de fugas de água nos sistemas prediais).

Para o cumprimento deste objectivo central, constituem **objectivos específicos** da tese:

- o estabelecimento dos principais usos e requisitos dos sistemas de telemetria para monitorização do consumo de água;
- o estabelecimento de uma metodologia geral para análise do consumo de água, que permita o processamento, a validação, a análise e a sintetização dos elevados volumes de dados de consumo gerados pelos sistemas de telemetria, atendendo aos diferentes usos da informação;
- a implementação de ferramentas computacionais de apoio à metodologia;

- a aplicação e validação da metodologia proposta para um conjunto de usos específicos: i) caracterização de grandes consumidores; ii) previsão do consumo doméstico nocturno; iii) avaliação do efeito da variação de pressão no consumo e nas perdas de água; e iv) previsão do consumo em zonas de medição e controlo.

1.3 Metodologia e estrutura da tese

Para o cumprimento dos objectivos propostos adoptou-se a metodologia de trabalho que se apresenta na Figura 1.2. A metodologia encontra-se estruturada em quatro partes principais, que se passa a descrever sucintamente.

Na Parte I, para além da introdução ao tema da análise do consumo de água em sistemas de abastecimento de água, definição do âmbito, objectivos e metodologia de trabalho (Capítulo 1), são estabelecidos os conceitos mais relevantes para este trabalho, relativos ao consumo urbano de água, e discute-se os principais requisitos e usos dos sistemas de telemetria para monitorização do consumo de água (Capítulo 2). Ainda nesta parte do trabalho, apresenta-se uma síntese dos métodos existentes para análise do consumo de água, assim como das abordagens para análise e controlo de perdas de água (Capítulo 3).

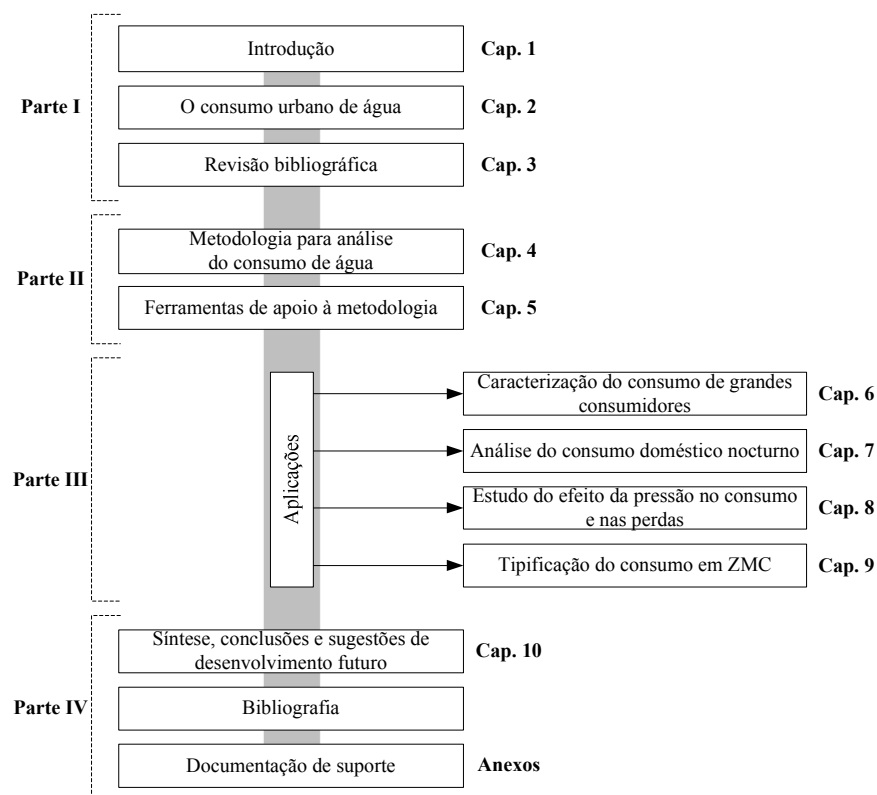


Figura 1.2 – Metodologia do trabalho

Na Parte II descreve-se a metodologia geral proposta para análise de dados de consumo de água provenientes de sistemas de telemetria (Capítulo 4), atendendo a diferentes objectivos de engenharia, aos vários níveis de medição e às características dos dados. São igualmente apresentados os procedimentos desenvolvidos no âmbito deste trabalho, para apoio à metodologia, e as ferramentas computacionais para o processamento e análise de dados de consumo de água e recolha de dados sócio-demográficos (Capítulo 5).

Na Parte III faz-se a aplicação e validação da metodologia proposta para análise de dados de consumo de água, tirando partido da disponibilidade de dados de consumo telemedidos a vários níveis de medição (*e.g.*, cliente individual, arruamento ou ramal, pequenas áreas de rede, zonas de medição e controlo) para usos específicos de engenharia. Aplica-se a metodologia para caracterização do consumo de grandes consumidores (Capítulo 6), com o objectivo de identificar quais as características de consumo mais relevantes, modelar o comportamento diário e identificar usos nestes clientes com maior potencial para implementação de medidas para o uso eficiente da água. Aplica-se também a metodologia para análise do consumo doméstico nocturno (Capítulo 7), ao nível do arruamento ou ramal, com o objectivo de obter regras expeditas para extrapolação desta componente de consumo para zonas de medição e controlo, contribuindo para uma melhor estimativa das perdas reais nestas áreas de rede. A metodologia é também aplicada para avaliar o efeito da variação de pressão no consumo medido e nas perdas reais (Capítulo 8). Por último, a utilização da metodologia para tipificação do consumo em zonas de medição e controlo permite prever o consumo de água (incluindo o comportamento diário) para zonas existentes, nas quais não existem dados de consumo a este nível, ou para expansões de rede (Capítulo 9).

Na parte IV apresenta-se a síntese e conclusões do presente trabalho, as principais componentes de inovação desenvolvidas e sugestões para futuros desenvolvimentos (Capítulo 10). Ainda nesta parte apresentam-se as referências bibliográficas, assim como um conjunto de anexos como documentação de suporte.

2 O CONSUMO URBANO DE ÁGUA

2.1 Nota introdutória

O presente capítulo apresenta os conceitos mais importantes relativos ao consumo urbano de água, nomeadamente em relação às diferentes categorias de consumo que o compõem e aos níveis a que pode ser feita a telemedição do consumo.

Dado que a telemedição domiciliária (*i.e.*, ao nível do clientes individual) é uma tecnologia de aplicação recente em sistemas de distribuição de água, descrevem-se as principais características destes sistemas e apresenta-se uma reflexão, decorrente sobretudo da experiência adquirida durante a realização deste trabalho, sobre motivações para a sua instalação, aspectos a atender para a integração destes sistemas numa entidade gestora e potenciais usos desta tecnologia.

Este capítulo descreve as categorias do consumo urbano em 2.2 e caracteriza os diferentes níveis a que pode ser feita a telemedição do consumo em 2.3. Apresenta-se também uma breve descrição dos equipamentos existentes para medição do consumo de água (*i.e.*, contadores de água e medidores de caudal) em 2.4. Uma caracterização dos sistemas de telemetria e dos potenciais usos é feita em 2.5. Apresenta-se uma síntese do capítulo em 2.6.

2.2 Categorias de consumo

2.2.1 Conceitos

No contexto da análise de consumo, importa, em primeiro lugar, distinguir três conceitos importantes:

- caudal;
- procura de água;
- consumo de água.

O caudal (*flow rate*), Q , é o volume de fluido que atravessa uma dada área por unidade de tempo. Em sistemas de abastecimento de água esta grandeza é medida através de medidores de caudal. O caudal constitui a resposta do sistema a uma solicitação, que no caso dos sistemas de abastecimento de água, corresponde ao consumo de água. Por

exemplo, no caso dos sistemas de drenagem, as solicitações são devidas a descargas de efluentes ou à ocorrência de eventos de precipitação.

A procura de água (*water demand*) corresponde ao volume de água por unidade de tempo estimado como necessário para a satisfação dos consumos futuros (Bau, 1983). Os valores que se prevêem que os consumos (incluindo as perdas de água) venham a atingir num determinando horizonte de projecto determinam o tipo, as dimensões e o faseamento da construção dos órgãos do sistema de abastecimento, assim como o montante de investimentos necessário.

O consumo de água (*water consumption*), C , corresponde ao volume de água por unidade de tempo que é efectivamente consumido nos vários pontos de uma rede de abastecimento de água, designando-se especificamente por consumo urbano. O Decreto Regulamentar n.º 23/95 subdivide o consumo urbano em consumo doméstico, comercial, industrial e similares, público e perdas reais. No entanto, verifica-se que as entidades gestoras adoptam categorias de consumo adaptadas à sua realidade de facturação e traduzindo os usos associados às diferentes actividades municipais, variando entre entidades gestoras. A falta de uniformização das categorias de consumo dificulta bastante a realização de estudos que visem a identificação de ineficiências no uso da água ou de oportunidades para promover o uso eficiente da água num contexto mais geral (Dias *et al.*, 2006; Dias *et al.*, 2007). Em muitas entidades gestoras, as categorias de consumo referentes ao comércio e indústria são englobados numa mesma categoria para fins de facturação.

De acordo com o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, PNUEA, (CM, 2005), as capitações são muito variáveis no País, sendo claramente superiores em grandes zonas urbanas. No PNUEA estimam-se os seguintes valores médios de capitação a nível nacional:

- doméstico: 78 l/(hab.dia);
- comercial: 16 l/(hab.dia);
- público: 11 l/(hab.dia);
- total sem perdas: 105 l/(hab.dia);
- total com perdas: 170 l/(hab.dia).

2.2.2 Consumo doméstico

O consumo doméstico constitui a principal componente do consumo urbano, excedendo frequentemente 75% de consumo urbano (Almeida *et al.*, 2006). O consumo doméstico (ou domiciliário) está associado aos usos de água efectuados no interior das habitações e na

envolvente das habitações pelos seus ocupantes. Os consumos no interior das habitações (*i.e.*, consumos interiores) incluem usos de água para preparação de alimentos, higiene pessoal (*i.e.*, banhos, duchas, lavagem de mãos, lavagem de dentes, *etc.*), descarga de autoclismos, limpeza da habitação e lavagem de roupa e de loiça. Os consumos no exterior das habitações (*i.e.*, consumos exteriores) incluem usos de água para rega de espaços verdes, lavagem de veículos, lavagem de pátios e enchimento de piscinas.

O consumo doméstico pode variar em função de um conjunto variado de características, como por exemplo tipo de alojamento, hábitos dos seus ocupantes e características climáticas da região. A componente de usos exteriores é, em geral, muito mais variável que a componente de usos interiores, sendo particularmente sensível a factores como o tipo de alojamento (*i.e.*, vivenda ou prédio), a região onde se localiza, o clima e a estação do ano. Uma síntese dos principais factores que influenciam o consumo doméstico é apresentada em 3.2.4.2. Para além do consumo doméstico, há ainda a considerar as *perdas de água* que podem ocorrer nas redes prediais, no interior e no exterior da habitação e nos dispositivos e equipamentos domiciliários.

A estrutura do consumo doméstico em quatro países é apresentada na Figura 2.1 para ilustrar a variabilidade do peso de cada uso no consumo total doméstico. Em Portugal, os banhos (de chuveiro e de banheira), os autoclismos e as torneiras interiores representam a principal componente dos usos interiores. Em termos do consumo doméstico total, os usos exteriores representam uma componente significativa (34%).

A estrutura de consumos no Reino Unido (Figura 2.1b) é semelhante à de Portugal (Figura 2.1a), excepto na componente de consumo exterior que é claramente mais reduzida (6%), pois as características climáticas neste país levam a que as necessidades de irrigação sejam, em geral, menores.

A estrutura de consumos numa das cidades com maior consumo na Austrália (Alice Springs) é apresentada na Figura 2.1c). O consumo por cliente é muito elevado (~1500 l/(cliente.dia)), sobretudo durante o Verão, período muito seco e quente, no qual os usos de água para rega de jardins, enchimento de piscinas e sistemas de ar condicionado representam 75% do consumo total doméstico.

Nos Estados Unidos, a componente de usos interiores representa cerca de 70% do consumo total (*cf.* Figura 2.1d). Verificou-se também que muitos dispositivos eram antigos e pouco eficientes e que a componente de perdas domiciliárias era significativa (10%).

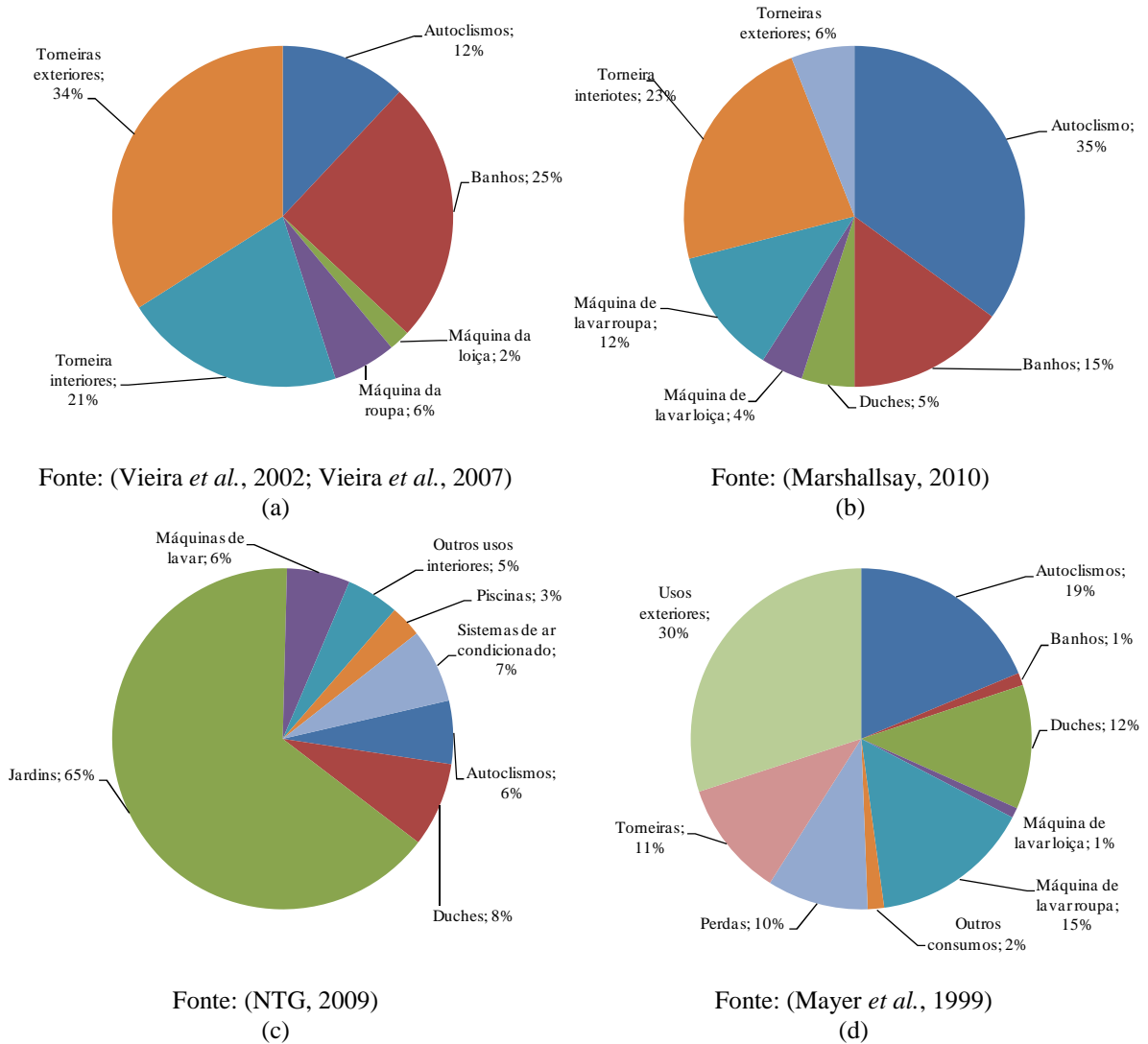


Figura 2.1 – Estrutura do consumo doméstico: a) Portugal, b) Reino Unido, c) Austrália, d) Estados Unidos da América

Estas diferenças de comportamentos revelam a importância da análise do impacto de factores como o clima, a existência de espaços exteriores ou piscinas e o tipo de dispositivos domiciliários no consumo doméstico (*cf.* descrição em 3.2.4.2).

Uma caracterização dos dispositivos domiciliários em Portugal (Vieira *et al.*, 2007), na Holanda (Blokker *et al.*, 2009) e nos Estados Unidos (Vickers, 2001) é apresentada no Quadro 2.1. Os valores apresentados por Vieira *et al.* (2001) e por Blokker *et al.* (2009) foram obtidos por inquérito. Nos Estados Unidos a utilização de dispositivos mais eficientes (*i.e.*, com consumo reduzido) faz com que os respectivos valores de volume e de intensidade estejam mais próximos dos valores apresentados por Vieira *et al.* (2001) e Blokker *et al.* (2009). Os valores apresentados por Blokker *et al.* (2009) são indicativos da utilização de dispositivos mais eficientes na Holanda do que em Portugal, em particular no que se refere às torneiras exteriores.

Quadro 2.1 – Caracterização dos dispositivos domiciliários

<i>Dispositivo</i>	<i>Vieira et al. (2007)</i>	<i>Vickers (2001)</i>		<i>Blokker et al. (2009)</i>
	<i>Consumo médio</i>	<i>Consumo médio normal</i>	<i>Consumo médio reduzido</i>	<i>Consumo médio</i>
Autoclismos				
Volume de descarga total (l)	9,1	13,2-26,5	6,1	9 ou 6
Volume de descarga parcial (l)	4,6	(1)	(1)	(1)
Torneiras (interiores e exteriores)				
Caudal torneira da banheira (l/min)	11,2	(1)	(1)	12
Caudal chuveiro (l/min)	10,2	10,4-30,3	9,5	8,5
Caudal torneira exterior (l/min)	33,3	(1)	(1)	6,0
Caudal torneira casa de banho (l/min)	7,3	10,4-26,5	9,5	2,5
Caudal torneira da cozinha (l/min)	7,4	10,4-26,5	9,5	5,0
Máquina da roupa				
Volume gasto em cada lavagem (l)	82	147,6-212	102,2	(2)
Máquina da Loiça				
Volume gasto em cada lavagem (l)	29	26,5-53	26,5	(3)

Nota: (1) não definido;

(2) 4 ciclos de entrada de água, tempo total de 5 min., 10,0 l/min=50 l;

(3) 4 ciclos de entrada de água, tempo total de 84 s, 10,0 l/min=14 l.

O Quadro 2.2 apresenta uma caracterização das utilizações de água por alojamento, em termos do número de utilizações por dia e da duração de cada utilização (Vieira *et al.*, 2007; Blokker *et al.*, 2009). Embora os valores obtidos em ambos os estudos sejam da mesma ordem de grandeza, estes apresentam diferenças que indicam a utilização de dispositivos diferentes e a existência de hábitos de consumo distintos.

Quadro 2.2 – Caracterização das utilizações de água por alojamento

<i>Dispositivo</i>	<i>Vieira et al. (2007)</i>		<i>Blokker et al. (2009)</i>	
	<i>N.º de utilizações por dia</i> (1)	<i>Duração de cada utilização (min.)</i> (1)	<i>N.º de utilizações por dia</i> (1)	<i>Duração de cada utilização (min.)</i> (1)
Autoclismos	9,3	(2)	6	2,4
Banho (chuveiro)	2,5	5,7	0,7	8,7
Banho (banheira)	0,1	6,9	0,04	10,0
Máquina da roupa	0,6	(2)	0,3	(3)
Máquina da loiça	0,5	(2)	0,3	(4)
Torneiras de casa de banho	10,6	0,8	4,1	0,7
Torneiras de cozinhas	8,4	1,5	(2)	(2)

Nota: (1) valor médio;

(2) não definido

(3) 4 ciclos de entrada de água, tempo total de 5 min., 10,0 l/min=50 l;

(4) 4 ciclos de entrada de água, tempo total de 84 s, 10,0 l/min=14 l.

2.2.3 Consumo comercial, industrial e público

O consumo comercial e industrial depende, entre outros factores do tipo de actividade, do tipo de instalação e da dimensão de cada unidade. No caso do consumo comercial, algumas das actividades estão associadas a consumos semelhantes aos domésticos, como é o caso do sector dos serviços e terciários, onde predominam escritórios e armazéns.

De acordo com Decreto Regulamentar n.º 23/95, para efeitos de dimensionamento de sistemas, o consumo público inclui os usos em fontanários, bebedouros, lavagem de arruamentos, rega de zonas verdes e limpeza de colectores. Embora não incluídos no decreto regulamentar, os consumos associados ao tratamento de água residuais podem ser incluídos nesta categoria (Almeida *et al.*, 2006). Estes consumos são na sua maioria da responsabilidade dos serviços municipais e não inclui o consumo de organismos públicos. São em geral usos associados a baixas eficiências e em muitos casos não são medidos.

O Decreto Regulamentar n.º 23/95 não engloba em nenhuma das categorias referidas os consumos de instituições públicas ou privadas, como seja estabelecimentos de ensino e de saúde, instalações desportivas, organismos públicos, quartéis, refeitórios, oficinas e lavandarias. Almeida *et al.* (2006) designou por *colectivo* o consumo em instalações deste tipo, em que se utilizam dispositivos idênticos aos das instalações residenciais por grande número de utilizadores.

No presente trabalho, assume-se que o consumo urbano se subdivide em cinco categorias: doméstico, comércio-indústria, público, colectivo e perdas (Figura 2.2).

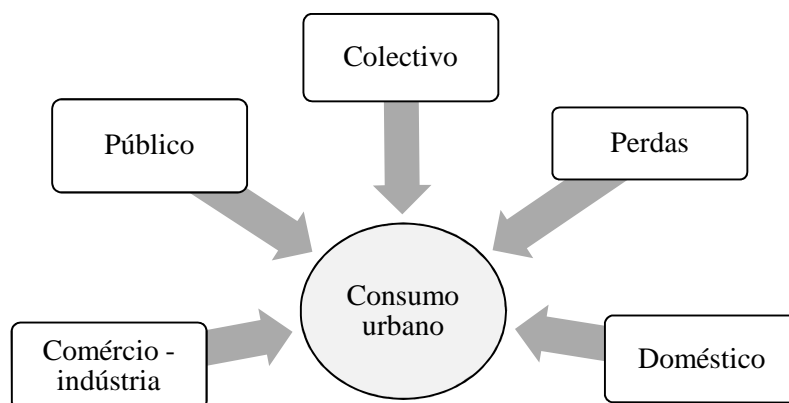


Figura 2.2 – Componentes do consumo urbano

2.2.4 Perdas de água

Para além dos consumos autorizados pelas entidades gestoras e que se enquadram nas categorias atrás referidas, há que considerar as perdas de água, que representam diferenças entre o volume entrado no sistema e o consumo autorizado.

No Quadro 2.3 apresenta-se a terminologia proposta pela Associação Internacional da Água (IWA) relativa a consumos e perdas de água em sistemas de distribuição. As perdas podem ser classificadas em perdas reais e perdas aparentes.

As *perdas reais* correspondem às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. Estas podem ocorrer em diferentes locais de um sistema de abastecimento de água: condutas adutoras, reservatórios, condutas de distribuição, ramais, ramais de ligação. Referem-se ao volume anual perdido através de todo o tipo de fissuras e roturas em condutas ou ramais e extravasamentos de reservatórios e dependem da frequência, do consumo e da duração média de cada fuga (Alegre *et al.*, 2005).

As perdas reais podem ser classificadas segundo três componentes: i) perdas de base (ou perdas reais mínimas), ii) roturas reportadas/extravasamentos, iii) roturas não reportadas/extravasamentos. De acordo com Lambert e Morrison (1996) considera-se que as perdas de base correspondem a pequenas fugas, cujo consumo individual é inferior $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Estas podem ocorrer em contínuo na rede e, geralmente, não é economicamente viável eliminá-las. As roturas correspondem a caudais superiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e têm duração variável.

As perdas aparentes incluem todas as imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, assim como o consumo não-autorizado (por furto ou uso ilícito).

Quadro 2.3 – Balanço hídrico e terminologia relativa a consumos e a perdas de água

Água entrada no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado (incluindo água exportada)	Água facturada	
			Consumo facturado não medido		
		Consumo autorizado não facturado	Consumo não facturado medido		
			Consumo não facturado não medido		
	Perdas de água	Perdas aparentes		Uso não autorizado	Água não facturada (perdas económicas)
				Erros de medição	
		Perdas reais		Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição	
				Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição	
		Fugas nos ramos (a montante do ponto de medição)			

2.3 Níveis de medição de consumo

Neste trabalho a análise de consumos tem por base medições de caudal efectuadas a *diferentes escalas espaciais* (i.e., para diferentes número de clientes) ou *níveis de medição* em sistemas de distribuição de água (Figura 2.3), que se classificam de acordo as seguintes categorias:

1. cliente individual (domiciliário);
2. ramal ou arruamento;
3. pequena áreas de rede;
4. zona de medição e controlo (ZMC);
5. sistema de distribuição.

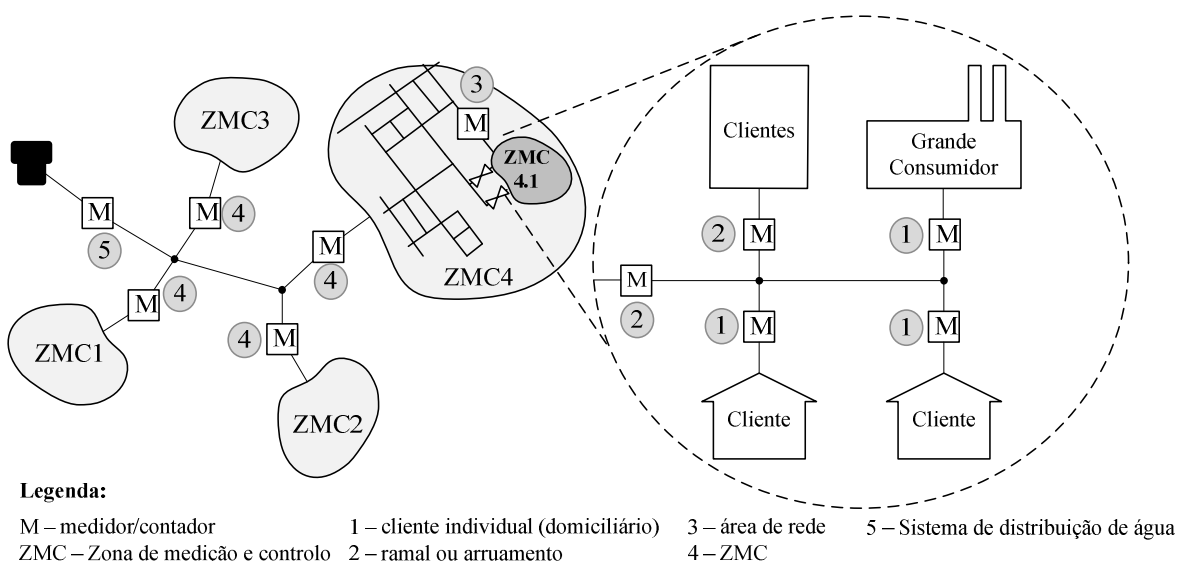


Figura 2.3 – Localização dos medidores de caudal num sistema de distribuição de água

Zonas de medição e controlo (ZMC)

Designa-se por Zona de Medição e Controlo (ZMC) um sector de rede, cujas entradas e saídas de água são controladas, através de campanhas temporárias, periódicas ou permanentes de medição de caudais (Coelho *et al.*, 1994; Alegre *et al.*, 2005). Estas zonas facilitam a operação dos sistemas, permitem um melhor conhecimento sobre os consumos de água, assim como uma estimativa mais correcta das perdas de água e sobre os métodos a adoptar para o seu controlo (Farley e Trow, 2003). Alegre *et al.* (2005) recomenda que as ZMC tenham uma dimensão aproximada de 2000 ramais, embora refira a experiência de outros países onde a dimensão recomendada seja significativamente inferior (300-600 ramais). Neste trabalho, consideraram-se que as ZMC correspondem a sectores de rede com as seguintes características (Figura 2.4):

- número de ramais compreendido entre 200-2000;
- número de clientes compreendido entre 500-5000;
- número de habitantes compreendido entre 1000-10000.

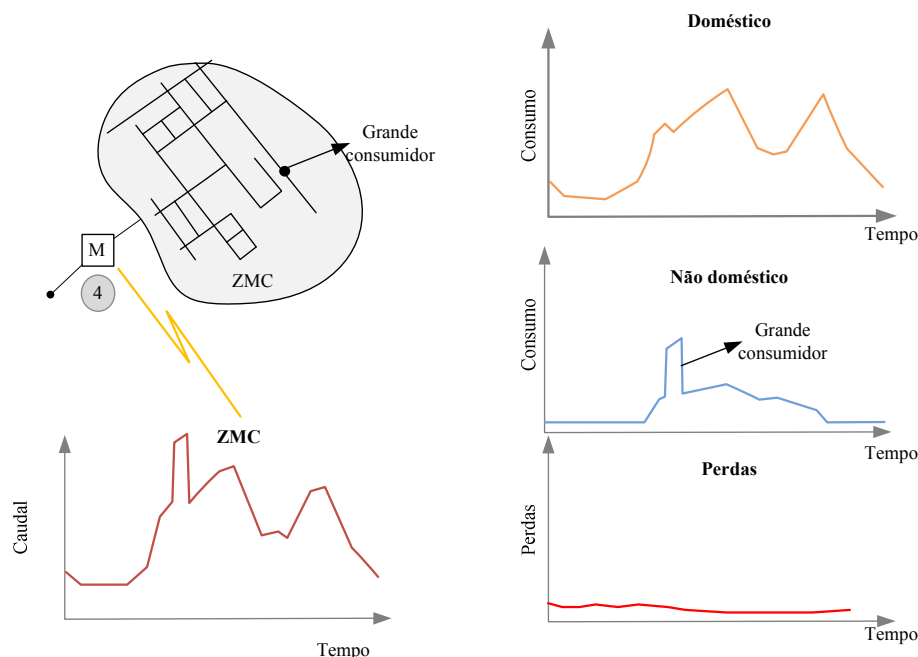


Figura 2.4 – Componentes de consumo numa ZMC: consumo total entrado, consumo doméstico, consumo não doméstico e perdas

Para níveis de medição de maior dimensão, considera-se que se está ao nível do sistema.

A análise de consumos ao nível de uma ZMC possibilita a realização de balanços hídricos, para diagnóstico da rede em termos de perdas aparentes e de perdas reais. Embora os dados de consumo ao nível de uma ZMC sejam tipicamente recolhidos com um passo de tempo

de 15 min. (Coelho *et al.*, 2006), os dados de consumo em clientes domésticos e não doméstico são obtidos tradicionalmente com uma periodicidade bimestral ou semestral, inviabilizando a realização de balanços hídricos em períodos inferiores a um ano. O recurso a sistemas de telemetria domiciliária permite obter leituras de consumo, em clientes domésticos e não domésticos, com maior frequência e eliminar valores obtidos por estimativa, possibilitando a realização de balanços hídricos mais fiáveis e frequentes. Em geral, apenas os grandes consumidores têm contadores ligados a sistemas de telegestão ou telemedição. Estes representam um peso bastante significativo no consumo total na ZMC (muitas vezes superior a 10%) e apresentam comportamentos diários, frequentemente, muito distintos dos restantes clientes, factores que justificam financeiramente o investimento em sistemas de telemetria nos grandes consumidores.

A análise de dados de consumo ao nível de uma ZMC, durante o período nocturno, permite apoiar na detecção de fugas (*e.g.*, através da realização de *step-test*) e na estimativa de perdas reais.

Pequenas áreas de rede

Designam-se, neste trabalho, por pequenas áreas de rede os sectores de rede, tipicamente com medição controlada de caudal e, muitas vezes também, de pressão, com as seguintes características:

- número de ramais compreendido entre 30-200;
- número de clientes compreendido entre 30-500;
- número de habitantes compreendido entre 100-1000.

As pequenas áreas de rede correspondem, geralmente, a zonas da rede hidráulicamente controladas, inseridas em ZMC, representativas do sistema de distribuição (em termos de perfis de consumo, perdas reais, perdas aparentes, estado da rede) cuja infra-estrutura é bem conhecida, assim como os consumos associados. As componentes de consumo são idênticas às apresentadas para as ZMC (Figura 2.4). Estas áreas de rede, também designadas por áreas-piloto permitem testar um conjunto de métodos e de tecnologias que podem ser posteriormente alargadas a zonas maiores da rede, nomeadamente (Farley e Trow, 2003):

- demonstrar métodos para a monitorização de caudais nocturnos e recolha de dados;
- testar novas tecnologias (*e.g.*, equipamentos para detecção de fugas, sistemas de telemetria);

- testar novos métodos (*e.g.*, realização de balanços hídricos, cálculo de indicadores de desempenho);
- demonstrar resultados (*e.g.*, o efeito da variação da pressão nas perdas de água e no consumo);
- treino de pessoal.

Ramais ou arruamentos

A medição do consumo em ramais ou arruamentos engloba a medição ao nível de um pequeno conjunto de arruamentos ou mesmo ao nível de um ramal, com as seguintes características (Figura 2.5):

- número de ramais ~ 30;
- número de clientes ~30;
- número de habitantes ~100.

A medição de caudal a este nível permite uma análise bastante detalhada dos consumos e quantificação de eventuais perdas reais, durante o período nocturno, dado o reduzido número de clientes com consumo simultâneo durante este período e o facto de se poder individualizar os eventos de consumo. No Reino Unido, onde a medição individual de clientes não é ainda generalizada, a medição do consumo a este nível constitui uma das vias para a estimativa de consumos domésticos (McDonald *et al.*, 2003). A telemedição a este nível tem a vantagem, face à telemedição domiciliária, de não requerer a (eventual) substituição de contadores nem a instalação de sistemas de telemetria ao nível domiciliário, diminuindo a complexidade do sistema de monitorização e reduzindo o volume de dados a processar. Estas zonas podem ser utilizadas para a estimativa dos consumos nocturnos, aplicação que se aborda em detalhe no Capítulo 7.

Nos casos em que a medição coincide com zonas terminais da rede, como uma única entrada de caudal, designam-se estas áreas de rede por *cul-de-sac* ou *dead end* (Buchberger *et al.*, 2003). Estas constituem geralmente zonas problemáticas da rede em termos de qualidade da água, dadas as baixas velocidades que aí ocorrem durante a maior parte do tempo (Barbeau *et al.*, 2005; Vreeburg e Boxall, 2007). A monitorização destas zonas para medição de parâmetros de qualidade da água (*e.g.*, concentração de cloro residual) pode ser importante para o estabelecimento de programas de descarga periódica (*flushing*) destes troços de rede.

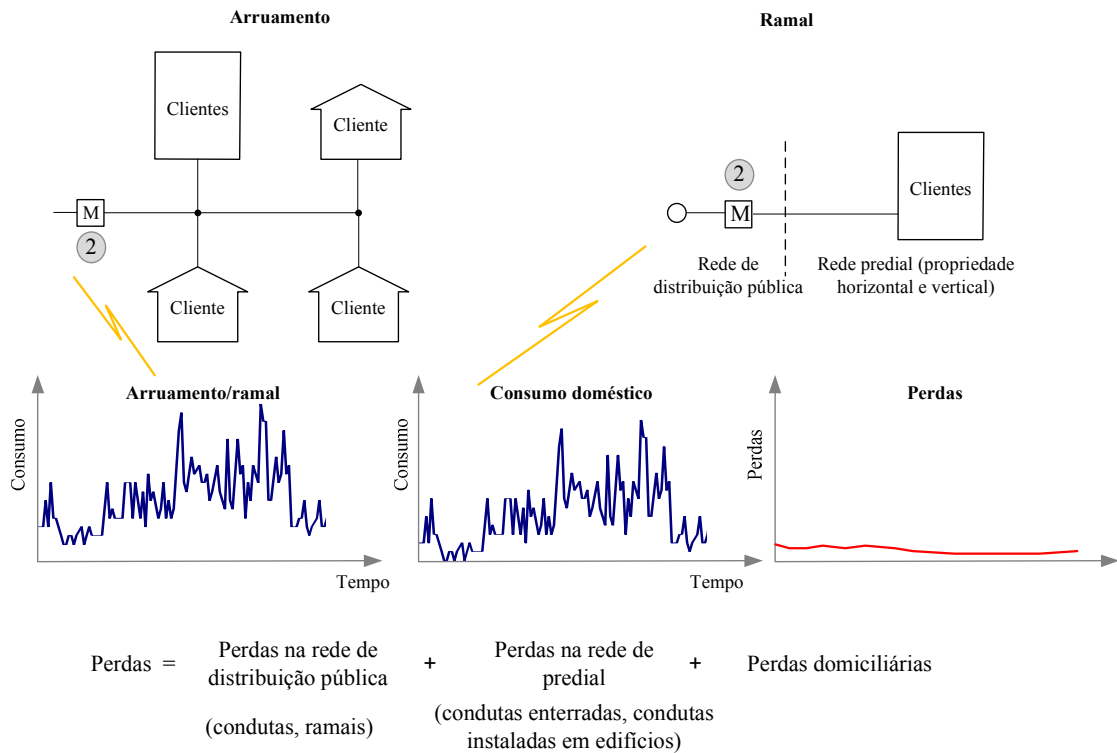


Figura 2.5 – Componentes de consumo ao nível do arruamento ou ramal

Cliente individual (domiciliário)

O consumo domiciliário refere-se ao consumo que é medido a jusante do contador do cliente e inclui as perdas domiciliárias a jusante do contador e o consumo do cliente. Inclui-se neste nível de medição a monitorização individual de cada cliente, incluindo os grandes consumidores (Figura 2.6).

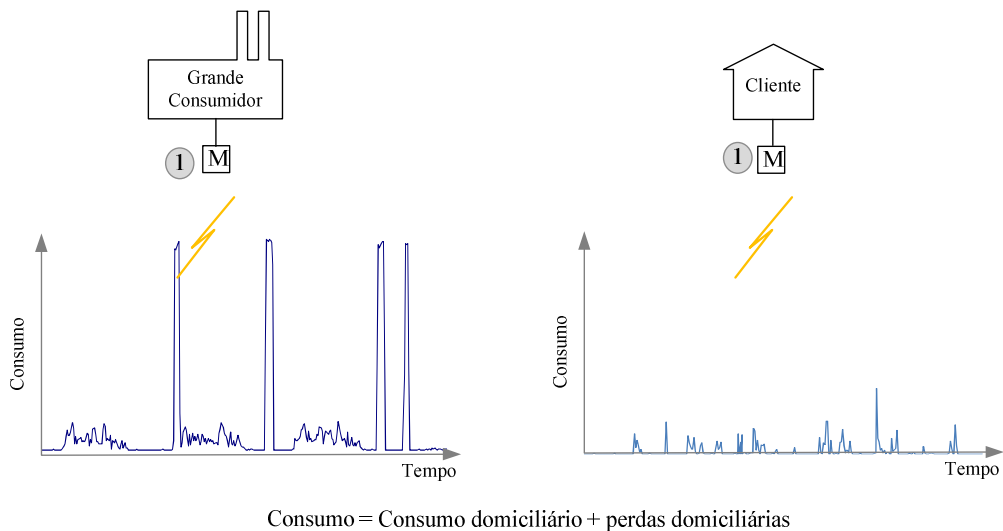


Figura 2.6 – Componentes de consumo ao nível domiciliário

Em Portugal, o consumo de cada cliente é medido com uma periodicidade bimestral ou semestral, exceptuando-se os grandes consumidores, que pelo peso que possuem no

consumo total facturado já são nalgumas entidades gestoras individualmente telemedidos. Nalguns países, como o Reino Unido, e medição domiciliária é ainda reduzida, sendo as taxas de cobertura de 20-30% (Stedman, 2006).

2.4 Equipamentos de medição

De acordo com norma NP EN 14154-1:2008, um contador de água é definido como um instrumento concebido para medir de forma contínua, registar e indicar o volume de água que passa através dele em condições normais de funcionamento. Um contador inclui pelo menos, o transdutor da medição (*i.e.*, dispositivo de medição que recebe um sinal e o retransmite), o calculador (*i.e.*, totalizador) e um dispositivo indicador (*i.e.*, mostrador). Esta definição permite englobar outros tipos de contadores para além dos contadores mecânicos, como seja os contadores electrónicos. O volume de água consumido num determinado intervalo de tempo é obtido pela diferença entre a leitura no instante final e a leitura no instante inicial (Arregui *et al.*, 2006).

Para além dos contadores, o consumo pode ser obtido a partir de caudalímetros ou medidores de caudal. Para além de medir o caudal instantâneo, um medidor de caudal pode, regra geral, fazer a integração temporal dos valores medidos dessa grandeza, obtendo-se o volume consumido (Henriques *et al.*, 2007).

Contadores de água

No que se refere aos contadores de água (Quadro 2.4), estes classificam-se em: contadores volumétricos ou de pistão rotativo e contadores de velocidade.

Os contadores de velocidade podem ser classificados de acordo com as seguintes categorias principais (Arregui *et al.*, 2006):

- monojacto;
- multijacto;
- Woltman;
- combinado.

No caso dos contadores volumétricos, utilizados em geral como contadores domésticos em Portugal, o elemento de medição consiste num conjunto de câmaras de volume conhecido e num mecanismo que, accionado pelo caudal que atravessa o contador, faz com que as câmaras encham e esvaziem. A contagem do número de vezes que encham e esvaziam permite obter o volume de água consumido que é indicado no totalizador do contador.

No caso dos contadores de velocidade, o elemento de medição consiste num elemento móvel (turbina) que é colocado em movimento devido à passagem do caudal no contador. O movimento desse elemento móvel é transmitido para o totalizador, que regista o volume de água.

Quadro 2.4- Vantagens e desvantagens dos contadores de água (FCM, 2003; Arregui *et al.*, 2006)

<i>Tipo de contador</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Contador volumétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia fiável e utilizada há muitas décadas. • Não é afectado pelo perfil de velocidade. • É necessário menos espaço para instalação. • Grande variedade de modelos, de características metrológicas e de preços. • Pouco influenciado pela posição de instalação. • Os erros estão sempre do lado negativo da curva (submedição). • Caudais de arranque muito reduzidos (< 1 l/h) 	<ul style="list-style-type: none"> • Afectado por sólidos em suspensão. • Barulho a caudais elevados. • Maiores e mais pesados comparativamente com contadores equivalentes com outras tecnologias. • Mais dispendiosos do que contadores equivalentes com outras tecnologias.
Contador monojecto	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a sólidos suspensos. • Grande variedade de modelos. • Tecnologia fiável e utilizada há muitas décadas. • Pequena dimensão. • Os contadores de 13, 15 e 20 mm são provavelmente os contadores mais baratos de entre todas as tecnologias. • Contadoras da classe C são boas alternativas a contadores combinados para grandes consumidores com larga gama de caudais (<i>e.g.</i>, escolas, indústrias) • Baixa sensibilidade ao perfil de velocidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Risco de danos dos componentes fora das condições ideais. • Afectado pela orientação da instalação. • Os caudais de arranque não são suficientemente baixos para detectar fugas.
Contador multijacto	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia fiável e utilizada há muitas décadas. • Não é afectado pelo perfil de velocidade. • Boa resistência a sólidos em suspensão. • Grande variedade de modelos, de características metrológicas e de preços. • Contadores entre 20 e 40 mm são muito competitivos comparados com outras tecnologias. 	<ul style="list-style-type: none"> • De maior dimensão que os contadores monojecto, em particular em pequenos diâmetros. • Afectado pela posição de instalação. • Erros por sobrestimação. • Não estão disponíveis na classe D. • Os caudais de arranque não são suficientemente baixos para detectar fugas.
Woltman (eixo horizontal)	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamento em condições difíceis, podendo tolerar uma quantidade moderada de sólidos em suspensão. • A gama de medição é muito alargada (rácio entre o caudal mínimo e máximo de 1:100 ou mesmo 1:200). • Pode ser instalado em qualquer posição. • Os totalizadores permitem a instalação de diferentes tipos de emissores de impulsos. 	<ul style="list-style-type: none"> • A curva de erro é sensível ao perfil de velocidades. A utilização de comprimentos de conduta a montante para estabilização é frequentemente necessária. • O impacto de sólidos suspensos de grande dimensão pode danificar o contador.
Woltman (eixo vertical)	<ul style="list-style-type: none"> • Bom comportamento a baixos caudais. • Reduzida sensibilidade ao perfil de velocidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispendioso. • Perda de carga elevada.
Contador conjugado	<ul style="list-style-type: none"> • A gama de medição é muito alargada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada probabilidade de falha da válvula de transição, levando a erros importantes. • Muitos modelos usam totalizadores separados para o contador principal e secundário. • Dispendioso. • Não é recomendável para “águas sujas” com grande quantidade de sólidos suspensos.

No caso dos contadores de turbina (*i.e.*, contadores monojecto ou multijacto), o elemento móvel é composto por uma turbina, com eixo perpendicular ao escoamento, enquanto os contadores *Woltman* são compostos por uma turbina com hélice helicoidal (de eixo vertical ou horizontal) com eixo paralelo ao escoamento. No caso dos contadores combinados ou proporcionais, a medição é assegurada, quer totalmente, quer parcialmente, através de uma derivação ao escoamento principal.

Caudalímetros ou medidores de caudal

Os medidores de caudal mais utilizados nos sistemas de abastecimento de água são os electromagnéticos (Arregui *et al.*, 2006; Henriques *et al.*, 2007). Os medidores electromagnéticos podem ser do tipo tubular ou de inserção, sendo o tipo tubular o mais utilizado. Os medidores ultrassónicos subdividem-se em duas categorias: medidor ultrassónico de tempo de trânsito e medidor ultrassónico de efeito de Doppler (Quadro 2.5).

Quadro 2.5 - Vantagens e desvantagens dos medidores de caudal (FCM, 2003; Arregui *et al.*, 2006)

<i>Tipo de medidor</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Ultrassónico de tempo de trânsito	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada exactidão e resposta linear. • Não existem partes móveis sujeitas a danos. • Reduzida perda de carga. • Custos moderados. O preço não varia linearmente com o diâmetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Grande sensibilidade a perturbações do escoamento. • Necessidade de alimentação eléctrica. • Não pode ser utilizado para facturação. • Não recomendado em “águas sujas”.
Ultrassónico de efeito de Doppler	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada exactidão. Não existem partes móveis sujeitas a danos. • Reduzida perda de carga. • Adequado para águas residuais 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa exactidão. • Grande sensibilidade a perturbações do escoamento. • Necessidade de alimentação eléctrica. • Não pode ser utilizado para facturação. • Não recomendado em “águas limpas”.
Electromagnético	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada exactidão e resposta linear. • Não existem partes móveis sujeitas a danos. • Reduzida perda de carga. Baixos custos de operação. • Baixa sensibilidade a perturbações do escoamento. • Custos moderados 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de alimentação eléctrica. • Não pode ser utilizado para facturação. • Precisa de ser enterrado. • É necessária protecção contra tempestades.

2.5 Sistemas de telemetria

2.5.1 Conceitos

Uma vez que os dados de consumo neste trabalho foram recolhidos através de sistemas de telemetria, importa estabelecer alguns conceitos sobre este tema.

Entende-se por telemetria o tipo de tecnologia que permite medir e transmitir grandezas (*e.g.*, caudal, pressão, energia, temperatura) remotamente e de forma automática, através de

sistemas de comunicação, como o rádio, o cabo, a fibra óptica ou redes sem fios, para uma unidade de armazenamento remota. Ao nível dos sistemas de abastecimento de água, esta tecnologia faz parte integrante dos sistemas de Telegestão (*Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA*), destinados à monitorização e controlo de processos e largamente utilizados em Portugal pelas entidades gestoras dos sistemas multimunicipais. Os sistemas de telemetria podem ser aplicados aos diferentes níveis de medição apresentados em 2.3: cliente individual, ramal ou arruamento, pequenas áreas de rede, ZMC e sistema, tal como se ilustra na Figura 2.7.

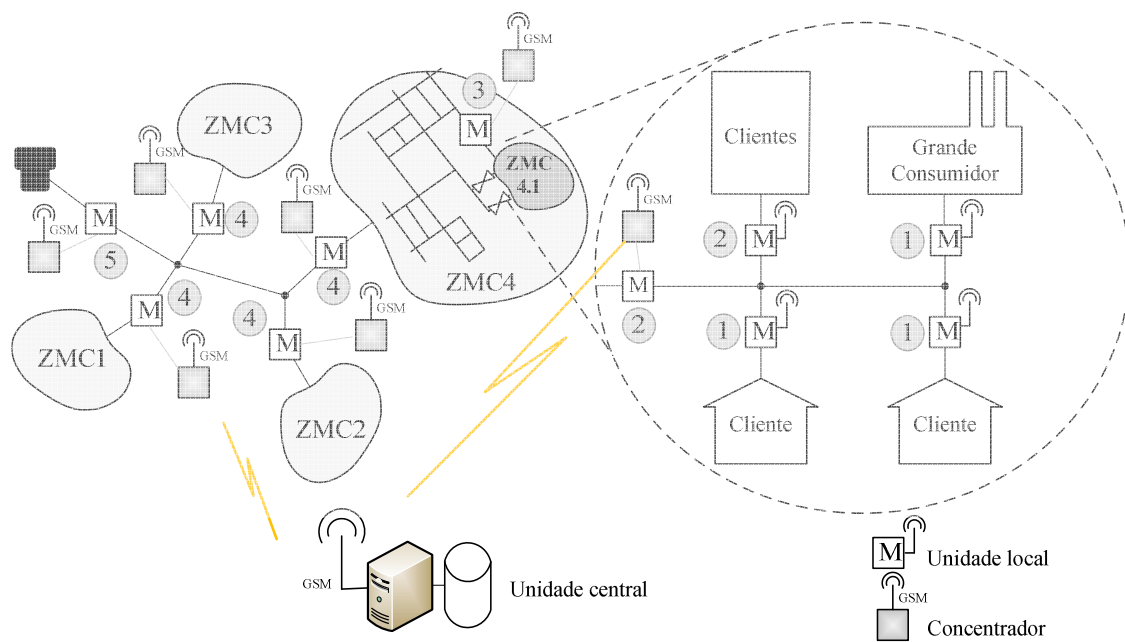


Figura 2.7 – Aplicação de sistemas de telemetria num sistema de distribuição de água

Oracle (2007) distingue dois conceitos importantes neste domínio: sistemas de leitura automática de medidores, *Automatic Meter Reading (AMR)*, e medição inteligente, *Smart Metering*. Nos sistemas AMR, os medidores comunicam diariamente ou mensalmente os consumos totais para uma unidade central utilizando diferentes meios de comunicação, como seja rádio, cabo, corrente eléctrica, *etc.* Estes sistemas substituem a leitura manual dos medidores. Os sistemas *Smart Metering* usam sistemas de comunicação mais robustos, permitem leituras com maior frequência, assim como leituras a pedido. Proporcionam novos serviços, como seja o envio de alertas sobre o estado dos contadores, o fecho remoto de válvulas, *etc.*

2.5.2 Motivações para a instalação de sistemas de telemetria

O consumo de cada cliente é tradicionalmente medido mensalmente (sendo o intervalo de tempo entre leitura mais curto), bimestralmente ou semestralmente, tendo como única finalidade a facturação. A leitura dos contadores implica que um funcionário da entidade gestora aceda periodicamente ao local onde está instalado o contador e efectue a leitura do volume medido. Esta informação é suficiente para o cumprimento do seu objectivo primário, mas não para usos que necessitem de informação mais detalhada (*e.g.*, padrões de consumo diários ou semanais). Devido ao elevado número de clientes, a leitura mais frequente dos contadores só é possível se forem adoptados sistemas de telemetria. Contudo, até hoje, a telemetria era apenas adquirida para medição de caudais em ZMC e ao nível de grandes consumidores, cujos volumes consumidos justificam um maior investimento em equipamento de medição. A Figura 2.8 enumera as desvantagens do sistema tradicional de leitura de consumos, cuja descrição de cada uma delas se apresenta seguidamente (Arregui *et al.*, 2006):

- *Custo*: A leitura individual dos contadores é um processo dispendioso e demorado, factores que inviabilizam a leitura de contadores em passos de tempo menores que 1 mês e afectam a fiabilidade do cálculo do consumo facturado em cada escalão.
- *Tempo*: Directamente ligado com o ponto anterior, as leituras para efeitos de facturação são efectuadas com uma periodicidade bimestral ou semestral, o que inviabiliza o estabelecimento de tarifas diferenciadas consoante a época do ano, o dia da semana ou a hora do dia.
- *Erros*: A leitura manual dos contadores, o registo do consumo acumulado e o carregamento do valor consumido no sistema de facturação são processos podem introduzir erros significativos no consumo efectivo, assim como as estimativas de consumo nos locais inacessíveis.
- *Acessibilidade*: A falta de acesso aos contadores constitui uma grande preocupação em muitas entidades gestoras, que muitas vezes se encontram instalados dentro da própria habitação e cujo acesso é condicionado pela presença dos ocupantes do alojamento, levando a que percentagem de consumo facturado por estimativa seja bastante significativa; acresce ainda nalguns o problema da insegurança no acesso a alguns locais.
- *Leitura*: a localização do contador inviabiliza muitas vezes a sua correcta leitura, devido a não se encontrar numa posição que permita a visualização do totalizador,

caso este se encontre tapado ou o contador se encontre rodado, aumentando o erro na medição e afectando o consumo facturado.

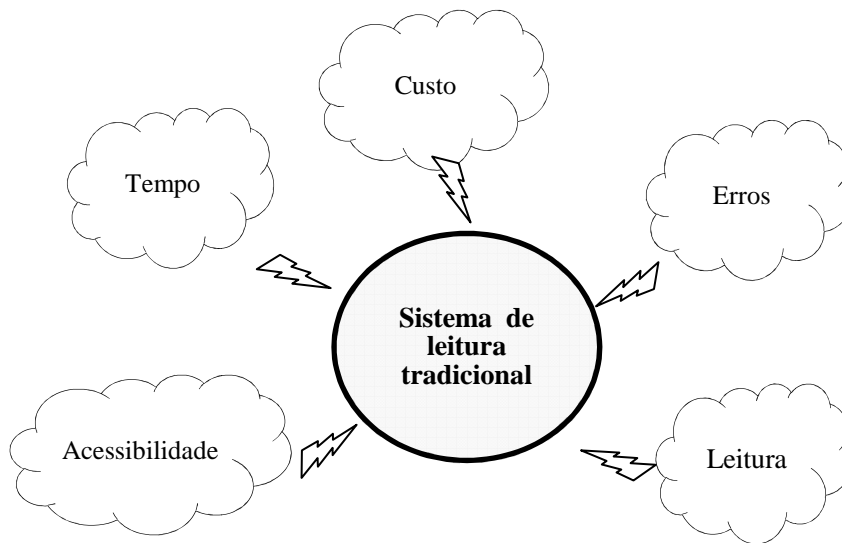


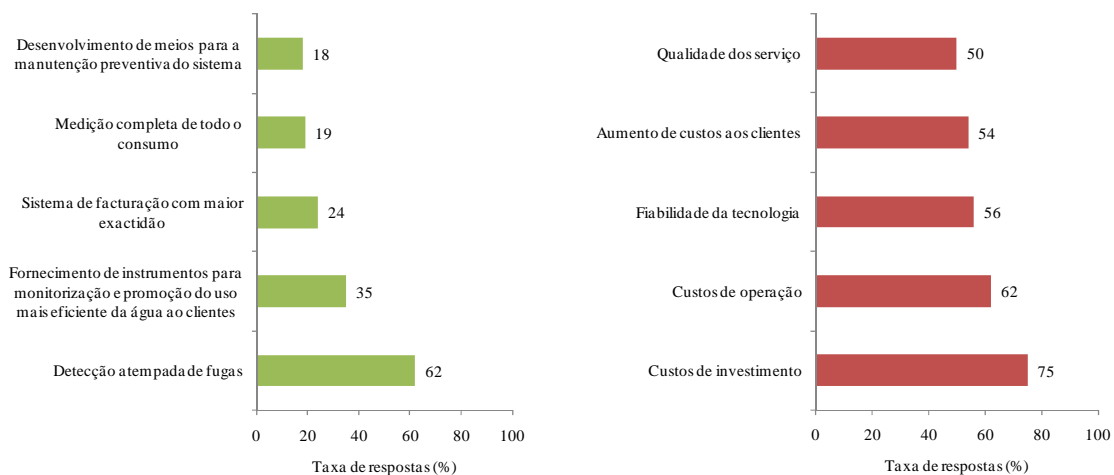
Figura 2.8 – Desvantagens do sistema tradicional de leitura de contadores

O RASARP 2008 (ERSAR, 2009) refere como um dos principais problemas dos sistemas de distribuição de água é o elevado nível de perdas, embora os indicadores de desempenho revelem que nos últimos anos tem havido uma melhoria da situação, reflectindo a preocupação crescente das entidades gestoras em minimizar as suas perdas económicas (*i.e.*, água não facturada). Por outro lado, este relatório constata a existência de uma grande disparidade nos tarifários, reflectindo pouca equidade entre os consumidores deste serviço, assim como falta de transparência nos critérios subjacentes ao estabelecimento dos tarifários e um défice na recuperação de custos pela via tarifária. Em 2009, a ERSAR propôs ao Governo um anteprojecto de regime tarifário dos serviços de abastecimento de água, saneamento de águas residuais e tratamento de resíduos sólidos urbanos prestados a utilizadores finais que uniformiza as regras para a elaboração dos serviços de água, trazendo maior transparência aos tarifários praticados. O recurso aos sistemas de telemetria permite reduzir os custos das leituras manuais e os erros associados à leitura tradicional. Como uma medida adicional para a recuperação dos custos, o RASARP 2008 (ERSAR, 2009) aponta o incentivo à eficiência na utilização da água, pelo que é fundamental um melhor conhecimento sobre as diferentes componentes de consumo urbano. O recurso a sistemas de telemetria constitui um instrumento-chave para o cumprimento desta medida.

Actualmente, factores tecnológicos como o aumento da fiabilidade da tecnologia de telemetria envolvida, para a qual foi determinante o desenvolvimento na área dos sistemas

de comunicação sem fios (*e.g.*, rádio, GSM, GPRS), o aumento significativo do tempo de vida das baterias, o desenvolvimento tecnológico ao nível dos equipamentos de medição e controlo (*e.g.*, contadores, medidores de caudal e de pressão, válvulas de controlo), contribuíram de forma determinante para a aplicação de sistemas de telemetria. A Directiva 2004/22/CE, vulgarmente designada MID (*Measuring Instruments Directive*), transposta através do Decreto-Lei n.º 192/2006, de 26 de Setembro, que veio uniformizar a legislação europeia existente sobre instrumentos de medição, assegurando a livre circulação de instrumentos de medição nos estados membros da União europeias e a Norma NP EN 14154-1: 2008 vieram regular novos tipos de contadores (*e.g.*, contadores mecânicos com totalizadores, contadores electrónicos) que permitem uma ligação fácil com os sistemas de telemetria.

Tendo por base um inquérito realizado pela Oracle (2010) a 300 entidades gestoras americanas e canadianas e a 1200 clientes, para avaliar a percepção relativamente ao potencial e obstáculos na implementação de sistemas de telemetria, verificou-se que uma em cada três entidades estão a considerar instalar ou estão já a implementar sistemas de telemetria. Como principais benefícios da instalação de sistemas de telemetria apontam a detecção atempada de fugas e o fornecimento de instrumentos para monitorização e promoção do uso mais eficiente da água aos clientes (Figura 2.9a), enquanto como principais preocupações os custos de investimento e de operação (Figura 2.9b).



N=86 – número total de entidades gestoras que realizaram uma análise custo-benefício

N=100 – número total de entidades gestoras que estão a considerar instalar ou já estão a implementar sistemas de telemetria

Figura 2.9 – Vantagens e preocupações associadas aos sistemas de telemetria, adaptado de Oracle (2010)

Verificaram também que as entidades gestoras de maior dimensão (*i.e.*, entidades com mais de 100 empregados) estão mais motivadas para a implementação de sistemas de

telemetria do que as entidades gestoras de pequena dimensão – 59% e 26%, respectivamente.

A Figura 2.10 sistematiza as principais motivações para a instalação de sistema de telemetria em sistemas de distribuição de água. Em termos do sistema facturação e de gestão de clientes, o recurso a sistemas de telemetria permite reduzir as perdas aparentes e melhorar o sistema de gestão dos clientes. Os tempos entre leituras podem ser significativamente reduzidos, obtendo-se também leituras mais fiáveis e eliminando os consumos obtidos por estimativa. Estes aspectos possibilitam uma redução no consumo não facturado, assim como a implementação de tarifas diferenciadas por período do dia, do dia da semana ou da época do ano. Os sistemas de telemetria actuais permitem, para além da leitura de grandezas como o caudal ou a pressão, o envio de alertas sobre o estado dos contadores, permitindo uma melhor gestão destes, assim como detectar situações de uso ilegal deste equipamento.

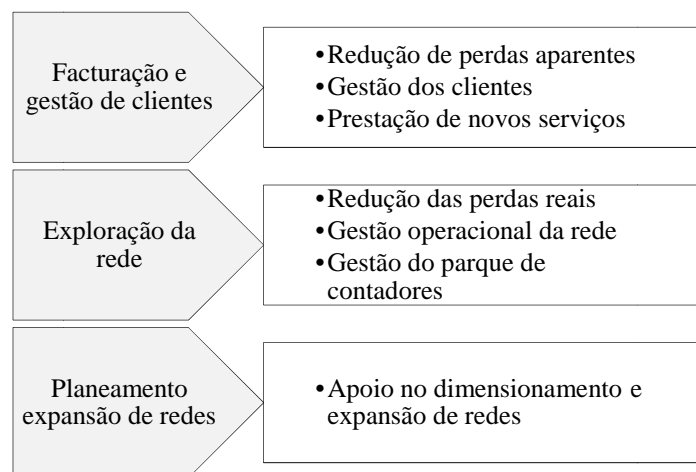
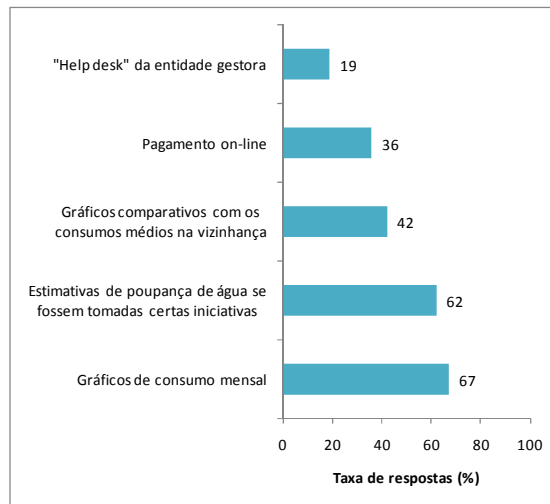


Figura 2.10 – Principais motivações para a instalação de sistemas de telemetria

Os resultados do inquérito realizado pela Oracle (2010) revelaram que a maior parte dos clientes inquiridos (77%) referem o acesso aos dados de consumo seria uma medida importante para promover um uso mais eficiente da água. A Figura 2.11 sistematiza um conjunto de serviços online que os clientes consideraram útil, onde se destaca a visualização gráfica do consumo mensal e a obtenção de estimativas de poupança de água se fossem tomadas certas iniciativas.



N=934 – clientes que consideraram consultar os dados de consumo *online*.

Figura 2.11 – Potenciais serviços *online* a disponibilizar pela entidade gestora.

Estes aspectos contribuem também para uma melhoria no serviço prestado aos clientes, reduzindo o número de reclamações e criando novas áreas de serviços, como seja: facturação detalhada de espaços alugados, detecção de roturas ou fugas em clientes. O RASARP 2008 (ERSAR, 2009) refere o aumento do número de reclamações recebidas nas entidades gestoras como uma consequência da alteração da periodicidade de facturação, que passou a ser mensal, de acordo com a Lei dos Serviços Públicos Essenciais (Lei n.º 12/2008). O recurso a sistemas de telemetria permitiria fornecer leituras de consumo com maior periodicidade e com maior fiabilidade, contribuindo para uma melhoria do serviço prestado.

O potencial da informação sobre o consumo facturado transcende largamente o seu objectivo primário que é o da facturação. Esta informação é fundamental para o diagnóstico do funcionamento dos sistemas (*e.g.*, realização de balanços hídricos), para a gestão operacional da rede (*e.g.*, identificação dos clientes com maior consumo nocturno) e para o dimensionamento da rede (*e.g.*, avaliação das necessidades de abastecimento).

No que se refere à exploração da rede, os sistemas de telemetria podem fornecer informação crucial para a análise e redução das perdas reais, assim como para o melhoramento da gestão operacional da rede. Uma das medidas de base para o controlo de perdas reais é a subdivisão da rede em ZMC. A análise de consumos na ZMC, assim como a identificação dos clientes com maior consumo, permite apoiar no dimensionamento do equipamento de medição e controlo, assim como no estabelecimento do esquema de regulação de pressão de válvula reguladoras de pressão. A telemedição dos clientes com

consumo significativo durante o período nocturno, em simultâneo com o consumo total numa dada ZMC, permite aumentar a exactidão das estimativas de perdas reais através da análise de caudais nocturnos, assim como identificar melhor a existência de roturas (que por vezes ocorrem a jusante do contador domiciliário e não na rede pública). O conhecimento sobre os padrões diários de consumo e sobre a sua variabilidade ao longo da semana e dos meses do ano permite uma gestão mais eficiente dos volumes de água armazenados, assim como dos gastos de energia envolvidos no abastecimento de água. Permite igualmente a identificação das componentes de consumo e dos clientes com maior potencial de redução, contribuindo para um uso mais eficiente da água.

Relativamente ao planeamento e expansão de redes, os sistemas de telemetria permitem um melhor conhecimento sobre a variação sazonal do consumo, sobre os factores de ponta e sobre a evolução das necessidades de água para abastecimento, dados essenciais para o planeamento dos sistemas a médio e longo prazo.

Para além das motivações enumeradas, a construção de um sistema de telemetria permite a recolha de informação sobre outros parâmetros relevantes para uma entidade gestora (*e.g.*, pressão, ruído, parâmetros de qualidade da água), assim como uma melhor monitorização sobre o estado dos equipamentos (*e.g.*, contadores).

2.5.3 Componentes de um sistema de telemetria

Um sistema de telemetria pode apresentar diferentes configurações e componentes em função dos usos da informação, dos constrangimentos locais, da tecnologia disponível e dos custos. Face a estas condicionantes, é frequente encontrar numa entidade gestora diferentes soluções de telemetria. Recomenda-se que estes sistemas comecem por ser instalados à escala piloto e sejam gradualmente expandidos, à medida que os sistemas existentes ficam consolidados. Os vários componentes de um sistema de telemetria devem ser compatíveis com os vários sistemas de comunicação, permitir a sua fácil parametrização quer localmente, quer remotamente, poderem ser facilmente substituídos a actualizados ou serem integrados em sistemas de maior dimensão. Independentemente das características específicas de cada sistema apresenta-se na Figura 2.12 os principais componentes de um sistema de telemetria, que se descrevem seguidamente.

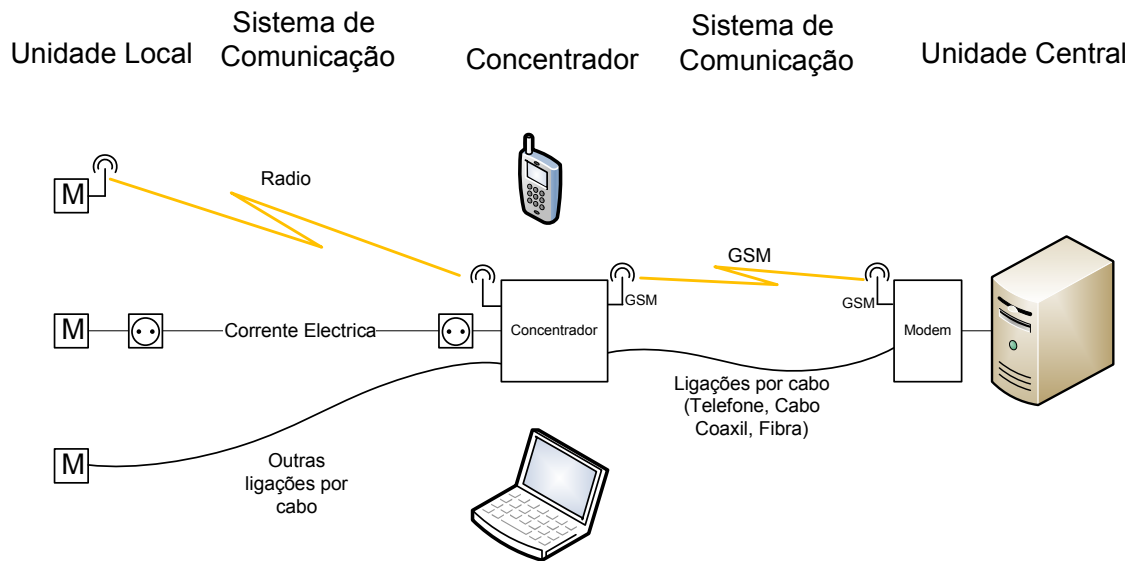


Figura 2.12 – Principais componentes de um sistema de telemetria

Unidade local

O totalizador constitui um mecanismo colocado no interior do contador, destinado a registar e a permitir a visualização do volume de água consumido ao longo do tempo. Uma das classificações dos totalizadores com interesse para este tema divide estes dispositivos em totalizadores mecânicos e electrónicos. No caso dos totalizadores mecânicos, é necessário transformar a leitura do totalizador num sinal eléctrico e enviá-lo, pelo que é necessário um sensor e um módulo de comunicação remota. Os totalizadores electrónicos já integram as funções de leitura e transmissão de dados, de acordo com a Directiva 2004/22/CE, vulgarmente designada MID (*Measuring Instruments Directive*) (Figura 2.13).

Uma vez processados os sinais gerados pelo sensor, integrado no contador electrónico, é possível obter-se informação complementar relevante para uma entidade gestora, como seja o volume acumulado, o tempo que o contador esteve activo/inactivo, os caudais mínimos e máximos registados, *etc.* Pelo potencial que possuem afiguram-se como sendo o tipo de contadores a utilizar num futuro próximo. Tratam-se ainda de contadores mais dispendiosos que os contadores mecânicos, dada a tecnologia que os compõem e a necessidade de manutenção das baterias, cuja duração é de cerca de 10 anos (Arregui *et al.*, 2006). O investimento será apenas justificado se for possível tirar partido das potencialidades destes contadores, que transcendem a leitura de consumos (*e.g.*, emissão de alarmes sobre consumos, contadores, baterias; detecção de fraudes; detecção de fugas).



(a)



(b)

Figura 2.13 – Tipos de unidades locais: a) contador com totalizador mecânico, sensor e módulo de comunicação remota com *datalogger*, b) contador com totalizador eletrônico

Os sensores, tipicamente designados por emissores de impulsos, têm como função converter a leitura do totalizador mecânico num sinal eléctrico para que possa ser processado pelo módulo de comunicação. No caso do contador com totalizador electrónico esta função está incorporada no próprio contador. Existem vários tipos de emissores de impulsos, sendo os mais comuns os de tipo *Reed*, óptico e indutivo. Arregui *et al.* (2006) sintetizam as principais vantagens e desvantagens de cada um dos tipos de emissores, que se apresentam no Quadro 2.6. Os emissores óptico e indutivo são mais fiáveis e permitem resoluções mais elevadas que os emissores *Reed*. Tirando partido do sistema de telemetria instalado, outros parâmetros podem ser medidos no local, como seja a pressão ou parâmetros de qualidade da água (*e.g.*, pH, temperatura, condutividade, cloro).

Concentrador

O concentrador faz a interface entre as unidades locais e a unidade central. Comunica com as unidades locais, recolhe e armazena informação sobre o caudal (*e.g.*, leituras, eventos ocorridos) e comunica com a unidade central. A comunicação com as unidades locais é tipicamente feita por cabo ou rádio e a comunicação com a unidade central por GSM¹ ou através de terminais portáteis de leitura. Deve ser feita uma avaliação prévia da disponibilidade de energia eléctrica no local e da disponibilidade de rede para comunicação via rádio ou GSM. Como alternativa, os dados podem ser descarregados localmente, ligando o concentrador a um computador ou a um terminal portátil.

¹ Rede de comunicação celular (Global System for Mobile communications) onde se podem atingir débitos sustentados até ~ 300 kbit/s

Quadro 2.6 – Vantagens e desvantagens dos emissores de impulsos.

<i>Tipo de emissor</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<i>Reed</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Não é necessária alimentação interna. • O sinal não tem polaridade. • Comprimento de cabo até 1 km, dependendo da impedância da linha. • Baixo custo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa frequência (até 1 Hz). • São sensíveis a interferências electromagnéticas, afectando a fiabilidade. • A direcção do escoamento não pode ser detectada. • Os emissores são frágeis.
<i>Óptico</i>	<ul style="list-style-type: none"> • As interferências electromagnéticas não têm qualquer efeito sobre o sinal adquirido pelo que são sensores mais estáveis. • Elevada frequência de amostragem² e resolução³. O volume de informação produzida pode ser elevado. • São mais robustos do que os emissores tipo <i>Reed</i>. • Permitem detectar o sentido do escoamento 	<ul style="list-style-type: none"> • É necessária alimentação externa. • Disponível apenas para contadores de médio e grande calibre. • Elevado custo de aquisição.
<i>Indutivo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Não são necessárias baterias externas, contudo operam com baterias inseridas na componente fixa • Podem trabalhar com frequências de amostragem e resoluções elevadas. • Mecanicamente mais robustos que os emissores tipo <i>Reed</i>, com um preço idêntico. • O mesmo tipo de emissor de impulso pode ser utilizado em todos os contadores compatíveis • Permitem detectar o sentido do escoamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamento condicionado pelo tempo de vida da bateria (tipicamente mais do que 10 anos).

A capacidade de armazenamento deste componente depende de factores como a passo de tempo entre registos consecutivos e a resolução do sensor. Esta deve contemplar a possibilidade de armazenar dados em caso de falha no sistema (*e.g.*, falhas no sistema de comunicação), minimizando perdas de informação. Deve haver também um compromisso entre os dados armazenados no concentrador a enviar para a unidade central e a periodicidade de comunicação com esta unidade. Comunicações com maior frequência entre o concentrador e a unidade central acarretam custos de comunicação mais elevados, mas tempos de comunicação mais reduzidos, pois a informação a transmitir é mais reduzida, contribuindo para a minimização de problemas na transmissão dos dados.

A utilização de terminais portáteis ou de viaturas equipadas com computadores e sistemas de emissão/recepção de informação tornou-se muito popular em países como os Estados Unidos, onde permitiu recuperar importantes volumes de água não facturada e reduzir as reclamações por parte dos clientes. Em vastas áreas pode constituir simultaneamente um modo de leitura mais barato que a adopção de sistemas de comunicação fixos (AMRA,

² Frequência de amostragem: número de registos adquiridos por segundo, expresso em hertz (Hz) (*e.g.*, 50 Hz ou seja 50 registos/segundo).

³ Menor quantidade que o sensor pode detectar, expresso geralmente em unidade de caudal/impulso (*e.g.*, 0,1 l/impulso)

2004). Nestes casos, a leitura e recolha dos dados pode ser feita a partir de um local próximo do contador (*e.g.*, via rádio) ou obrigar à ligação física à rede de comunicação do contador (*e.g.*, via cabo) (Figura 2.14). A informação recolhida nestas unidades móveis pode ser descarregada posteriormente no sistema de facturação ou noutra sistema de informação da entidade gestora.

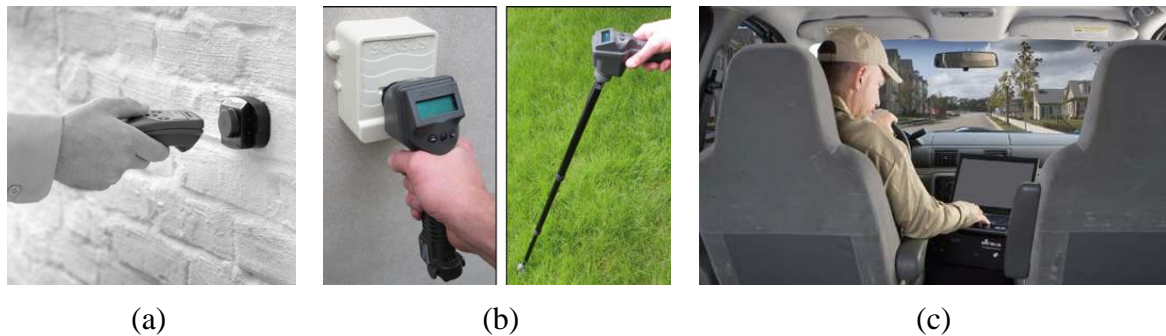


Figura 2.14 – Tipos de terminais portáteis: a) sem ligação a pé, b) com ligação a pé; b) sem ligação com veículo, adaptado de Sensus (2010)

Apesar de requerer a mobilização de meios humanos para efectuar a leitura de consumo, a sua expressão é reduzida face à leitura tradicional. Algumas vantagens específicas tornaram a utilização de terminais portáteis com comunicação por rádio como meio de recolha e armazenamento de dados muito popular nos EUA, uma vez que:

- a recolha de dados é feita tipicamente a partir do arruamento (à medida que o leitor se desloca a pé ou de carro), podendo ser lidos vários contadores a partir de um mesmo ponto, o que elimina a necessidade de aceder à propriedade privada, reduz a dimensão dos roteiros de leituras e permite leituras mais frequentes;
- o processo de leitura e armazenamento dos dados é feito sem intervenção humana, eliminando erros associados a esta tarefa.

Sistemas de comunicação entre as unidades locais e o concentrador

Os sistemas de comunicação mais comuns, entre as unidades locais e o concentrador, são por cabo e via rádio (Arregui *et al.*, 2006).

O sistema comunicação por cabo M-Bus, incluído na Norma Europeia EN1434-3, tem sido particularmente utilizado para comunicação entre as unidades locais, onde os contadores estão dispostos em bateria, e o concentrador (Figura 2.15). Trata-se de um sistema para a leitura remota de contadores em rede (*e.g.*, gás, electricidade, água), que quando interrogados por um coordenador, enviam os dados de consumo recolhidos. Este coordenador pode ser um terminal portátil, um computador portátil ou um concentrador

que envia os dados para uma unidade central (Figura 2.16b). Tem-se revelado um sistema mais eficiente e fácil de instalar que a ligação individual por cabo de cada contador ao concentrador. A unidade local não necessita de alimentação externa. No entanto, o facto do mesmo cabo ser partilhado por vários contadores, conduz à necessidade de existir um protocolo que permita discriminar os dados provenientes de cada um dos terminais, de forma a evitar perdas de informação. Esse protocolo estabelece um máximo de 250 contadores ligados a um coordenador (*e.g.*, concentrador). Por outro lado, um problema no cabo (*e.g.*, corte do cabo, interferência electromagnética) afecta toda a rede. Assim, as redes sem fios constituem uma alternativa às comunicações por cabo.



Figura 2.15 – Unidades locais dispostas em bateria

Nos sistemas de comunicação por rádio (Mak e Radford, 1995; AMRA, 2004) é necessário que cada unidade local esteja equipada com um módulo rádio e que esteja relativamente perto do concentrador, de forma a garantir a transmissão dos dados. A ausência de cabos torna a instalação e manutenção destes sistemas mais barata, podendo cobrir extensas áreas e distâncias significativas entre as unidades locais. No entanto, a comunicação por rádio é sempre menos fiável que a comunicação por cabo, uma vez que está sujeita a interferências causadas por elementos metálicos, aparelhos electrónicos, obstáculos físicos e condições climáticas. A comunicação via rádio pode assumir várias configurações. A comunicação individual de cada contador ao concentrador requer que todos os contadores estejam suficientemente perto dos concentradores de forma a permitir uma correcta transmissão dos dados.

De forma a minimizar esta condicionante, encontra-se disponível no mercado um novo sistema de rádio que permite a ligação de todas as unidades locais ao concentrador por

meio de um sistema de comunicação em malha, rede *mesh*. A comunicação entre as unidades locais e o concentrador pode ser feita através de repetidores (ou por módulos rádio, acoplados aos próprios contadores) cuja função é retransmitir o sinal (Figura 2.16a). A configuração em malha é bastante útil para resolver o problema da distância entre as unidades locais e o concentrador e é bastante versátil. Por exemplo, o sistema permite a reconfiguração do “roteiro” de comunicação se o “roteiro” usual estiver interrompido. Permite aumentar significativamente a fiabilidade na transmissão dos dados, tornando-o menos sensível a interferências. Tipicamente, as frequências de transmissão variam entre os 400 e 900 MHz e a distância entre dispositivos pode variar entre 20 e 50 m, para contadores no interior dos edifícios e entre 100 e 300 m para contadores localizados no exterior (Arregui *et al.*, 2006). As baterias destes módulos de comunicação remota têm uma duração de cerca de 10 anos. A duração das baterias deve ser sempre ajustada em função da frequência de leitura adoptada.

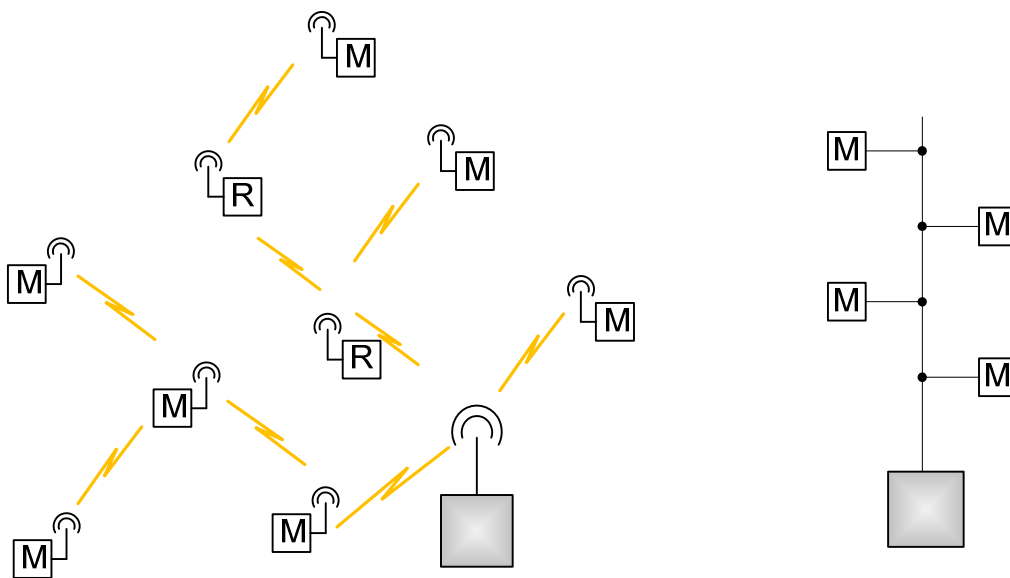


Figura 2.16 - Sistema de comunicação entre a unidade local e o concentrador: a) sistema *mesh* (rádio), b) sistema M-Bus

Um dos aspectos importantes na comunicação entre as unidades locais e o concentrador prende-se com o mínimo passo de tempo entre registos consecutivos. Este deve ser estimado em função do tempo entre leituras que garante que todos os contadores cobertos pelo sistema de telemetria são lidos. Neste caso, a leitura entre as várias unidades locais não é síncrona. Para contornar este problema, alguns sistemas de telemetria dotaram as unidades locais de *dataloggers*, minimizando perdas de informação e garantindo o sincronismo entre leituras entre as várias unidades locais (Coronis, 2009).

Sistemas de comunicação entre o concentrador e a unidade central

Um conceito importante em termos de transmissão entre as unidades locais e o concentrador é o sentido das comunicações. Quer em comunicações via cabo, quer em comunicações sem fios, o sistema de comunicações pode ser unidireccional *one-way* ou bidireccional *two-way* (Mak e Radford, 1995).

No sistema de comunicação unidireccional, a informação é enviada apenas no sentido das unidades locais para o concentrador. A informação armazenada na unidade local é enviada periodicamente, independentemente do concentrador estar a receber dados ou não. Os módulos de comunicação despendem energia desnecessariamente, por causa da redundância que é necessário ter nas transmissões, conduzindo a maiores preocupações na gestão das baterias. O risco de se perder informação é muito grande, tornando a solução pouco fiável para se aplicar, por exemplo, em sistemas de facturação.

No sistema de comunicação bidireccional, a informação pode circular em ambos os sentidos, da unidade local para o concentrador e do concentrador para a unidade local. O contador apenas transmite dados após ter recebido um pedido por parte do concentrador. Após terminar o processo com sucesso, volta a ficar em *stand-by* até receber o próximo pedido. O protocolo M-Bus utiliza este tipo de comunicação e a maioria dos sistemas de comunicação via rádio utilizam a comunicação bidireccional. Embora o sistema de comunicação bidireccional seja mais complexo, este é muito mais flexível, uma vez que, de forma selectiva, permite:

- obter informação em tempo real sobre o consumo, contador e baterias;
- parametrizar remotamente das unidades locais;
- escalonar a transmissão das unidades.

Sistemas de comunicação entre o concentrador e a unidade central

Os sistemas de comunicação entre o concentrador e a unidade remota de recolha e processamento de dados apresentam aspectos distintos do sistema de comunicação entre as unidades locais e o concentrador:

- o volume de dados a ser transmitido é muito superior, dado tratar-se do envio de informação relativo a um conjunto significativo de contadores (*e.g.*, como ordem de grandeza, 36 dias de recolha de leituras de consumo detalhado, com 100 unidades locais, com uma periodicidade de 15 min., implica ± 1 Mbyte);

- a distância entre o concentrador e a unidade central é em regra muito superior à distância entre as unidades locais e o concentrador.

As redes de comunicações mais utilizadas são: a linha telefónica, cabo e as redes sem fios (*e.g.*, rádio, GSM, GPRS) (AMRA, 2004; Mak e Radford, 1995). A utilização da linha telefónica típica requer um modem ligado ao concentrador, a disponibilidade de alimentação eléctrica para o modem e a disponibilidade de linha telefónica no local. Trata-se de um sistema simples do ponto de vista de comunicações e que permite utilizar a linha telefónica *standard* para envio de dados. O uso de rede de cabo para transmissão de dados não é ainda muito utilizado. Este sistema de comunicação permite tirar partido de redes de cabo já existentes (*e.g.*, TV, Internet). Os requisitos de equipamento são similares aos da linha telefónica. O sistema de comunicação via rádio, bastante utilizado para comunicação entre o contador e o concentrador, não é tão utilizado neste nível de comunicação (Arregui *et al.*, 2006). Actualmente, com a grande expansão em termos de comunicações móveis, tem sido bastante utilizada a rede GSM e GPRS. No caso da rede GSM, a transmissão de dados pode ser feita através de chamadas telefónicas codificadas ou por *Short Messaging Service* (SMS). Esta última alternativa é mais barata, a mensagem apenas é enviada quando a ligação é possível e possui uma melhor cobertura. A desvantagem é que há algum atraso na transmissão dos dados, pelo que a informação não é entregue em tempo real e está limitada à dimensão do SMS que é muito curta. Para a rede GPRS, que estão a ganhar maior implementação em sistemas de telemetria, dispõe-se normalmente de velocidades de transmissão mais altas e os custos tendem a ser mais baixos.

É importante uma programação cuidada da comunicação entre os vários concentradores existentes na rede e a unidade central de forma a garantir que não sobreposição. Outro aspecto importante prende-se com a eventual necessidade de explorar períodos preferências do dia para comunicação, de forma a minimizar perdas de informação.

Unidade central

Em termos de unidade central, esta pode residir na entidade gestora ou na empresa responsável pelo sistema de telemetria. Para que esta informação possa ser acedida por outros sectores de actividade de uma entidade gestora, alguns fornecedores fornecem sistemas de *intranet* com diferentes níveis de acesso. Uma outra funcionalidade que se afigura promissora é a de permitir aos consumidores consultarem elementos estatísticos sobre o seu consumo ou acederem ao seu consumo em tempo real.

Meters		199 records (1/4)			
Serial No	Last Message		Site	Location	History
	Date	Value			
0060990	21/01/10 17:16	water 100.92 m³	Ramal 22 - DN15 - Moradia	Zona 15 - Roteiro 486 - 08/A00195 Rua Rosa Ramalho Barcelos, 4750 Barcelos	Show
0062828	21/01/10 17:15	water 42.25 m³	Ramal 12 - DN15 - Prédio	Zona 15 - Roteiro 1296 - 08/A00303 Avenida João Paulo II Barcelos, 4750 Barcelos	Show
0062906	21/01/10 17:15	water 189.66 m³	Ramal 16 - DN15 - Prédio	Zona 15 - Roteiro 352 - 08/A00339 Avenida João Paulo II Barcelos, 4750 Barcelos	Show
0062722	21/01/10 17:15	water 119.03 m³	Ramal 7 - DN15 - Prédio	Zona 15 - Roteiro 453 - 08/A00252 Avenida João Paulo II Barcelos, 4750 Barcelos	Show
0062964	21/01/10 17:15	water 152.40 m³	Ramal 18 - DN15 - Prédio	Zona 15 - Roteiro 294 - 07/823407 Avenida João Paulo II Barcelos, 4750 Barcelos	Show
0062764	21/01/10 17:15	water 16.21 m³	Ramal 9 - DN15 - Prédio	Zona 15 - Roteiro 816 - 08/A00272 Avenida João Paulo II Barcelos, 4750 Barcelos	Show
0062664	21/01/10 17:15	water 188.74 m³	Ramal 4 - DN15 - Prédio	Zona 15 - Roteiro 430 - 08/A00225 Avenida João Paulo II Barcelos, 4750 Barcelos	Show
0062790	21/01/10 17:15	water 76.54 m³	Ramal 10 - DN15 - Prédio	Zona 15 - Roteiro 849 - 08/A00285 Avenida João Paulo II Barcelos, 4750 Barcelos	Show

Figura 2.17 – Exemplo de uma plataforma Web para consulta de dados de consumo de clientes individuais

No entanto, com o alargamento dos sistemas de telemetria, o volume de informação vai aumentando sucessivamente, pelo que é necessária uma gestão eficiente de dados e que estes possam ser transformados em informação útil (Oracle, 2007). A Figura 2.18 apresenta um exemplo de um sistema de gestão de dados de medidores, onde se ilustram as principais funcionalidades. Este sistema deve permitir aceder de uma forma fácil e rápida aos vários medidores ligados a diferentes sistemas de telemetria. A geração de processos automatizados, como seja a emissão de alertas e de ordens de serviços, tem como objectivo assegurar uma melhor manutenção dos equipamentos (*e.g.*, contadores) e uma boa qualidade de serviço (*e.g.*, emissão de alertas a clientes sobre fugas). O processamento de dados de consumo, permite transformá-los em informação útil, nomeadamente através das seguintes funções:

- cálculo de indicadores de facturação;
- operações de agregação entre consumos;
- obtenção de perfis de consumo (*e.g.*, por categoria de consumo);
- obtenção dos clientes não medidos;
- cálculo do consumo não facturado;
- produção de inventários de medidores;
- produção de relatórios.

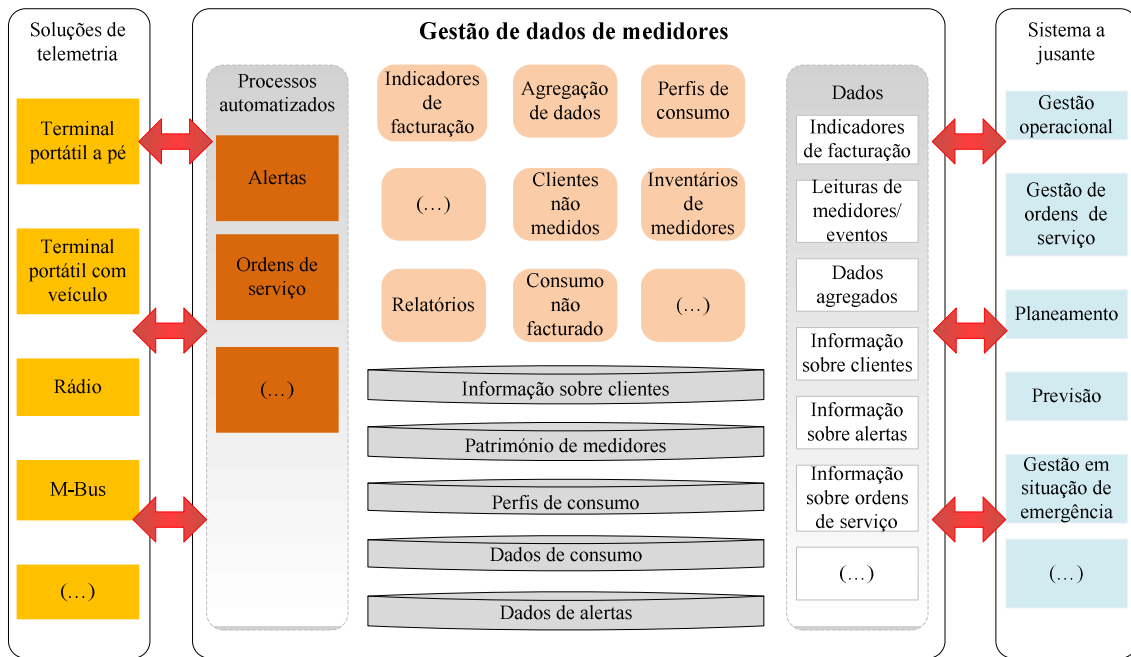


Figura 2.18 – Sistema de gestão de dados de medidores, adaptado de Oracle (2007)

A informação relativa a clientes, medidores, perfis de consumo, dados de consumo e dados de alertas pode ser armazenada para consulta posterior. Esta informação pode ser utilizada pela entidade gestora no desempenho de diferentes funções, nomeadamente: gestão operacional da rede, gestão de ordens de serviços, previsão de consumos, planeamento e expansão de infra-estrutura, e gestão em situações de emergência (*e.g.*, situação de seca).

2.5.4 Integração dos sistemas de telemetria na EG

A especificação de um sistema de telemetria obriga, em primeiro lugar, ao levantamento dos potenciais usos, a curto prazo e a longo prazo e ao estabelecimento de usos prioritários para a informação que é recolhida. Um aspecto que deve ser equacionado prende-se com o compromisso em termos de informação requerida e da dimensão da amostra. Tipicamente, parte das aplicações desta informação em engenharia (*e.g.*, balanços hídricos, estimativa de consumos nocturnos, estudos de factores de ponta, dimensionamento de contadores) requerem informação detalhada (*e.g.*, registos periódicos ao longo do dia), o que é incompatível com o estudo de extensas amostras de clientes. Por exemplo, para a realização de balanços hídricos semanais num dado sector de rede, pode recorrer-se à informação diária obtida apenas ao nível dos contadores totalizadores.

A Figura 2.19 sintetiza as principais etapas para integração dos sistemas de telemetria na entidade gestora (EG).

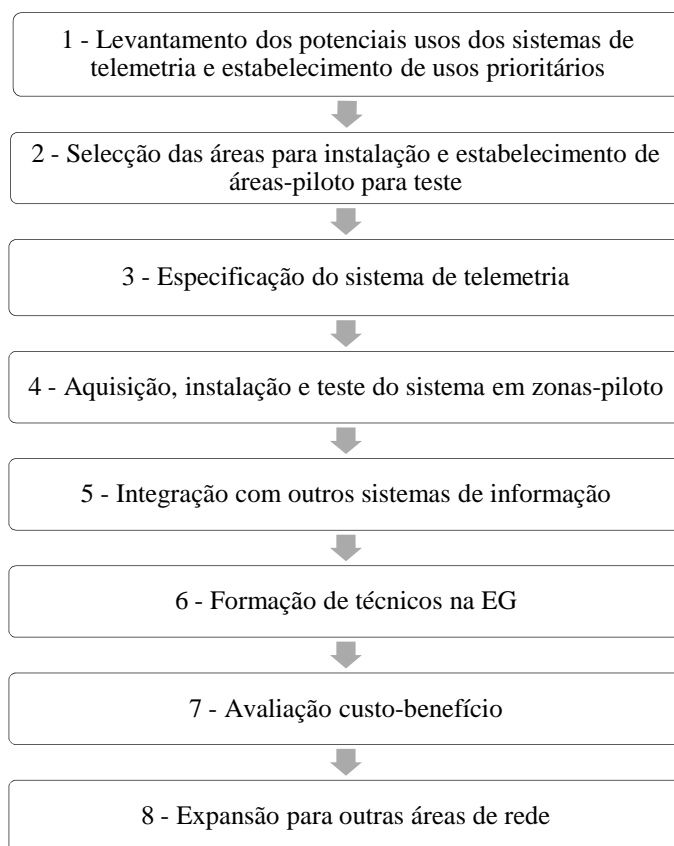


Figura 2.19 – Etapas para a integração dos sistemas de telemetria na EG

A Etapa 1 sobre levantamento dos potenciais usos dos sistemas de telemetria e estabelecimento de usos prioritários deve envolver as várias unidades da entidade que serão utilizadores da informação produzida por este sistema de informação e cujas funções são⁴:

- desenvolvimento de novos negócios empresariais;
- apoio informático;
- planeamento económico-financeiro;
- gestão de clientes;
- planeamento e projecto;

⁴ As funções da entidade gestora foram estabelecidas de acordo com Alegre, H., Hirner, W., Melo Baptista, J. e Parena, R. (2004) *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. IRAR, LNEC, Lisboa, ISBN 972-99354-2-4.

- operação e manutenção.

Apresenta-se em 2.5.5 uma síntese dos principais usos dos sistemas de telemetria.

A Etapa 2 sobre selecção das áreas para instalação deve atender aos seguintes aspectos:

- características sociais dos clientes abastecidos (*e.g.*, frequência de assaltos, usos não autorizados de água, dano de equipamentos);
- representatividade da amostra de clientes abrangidos em termos do perfil de consumos;
- programa de instalação de contadores em prédios novos ou de substituição preventiva de contadores.

O estabelecimento de áreas-piloto permite que os sistemas possam ser instalados e testados de forma faseada.

Na Etapa 3 sobre especificação do sistema de telemetria é importante estabelecer requisitos individuais para cada componente (Figura 2.20). Recomenda-se também a realização de testes preliminares com o objectivo de avaliar a capacidade dos *dataloggers*, a duração das baterias, a disponibilidade de rede e o nível de cobertura de rede.

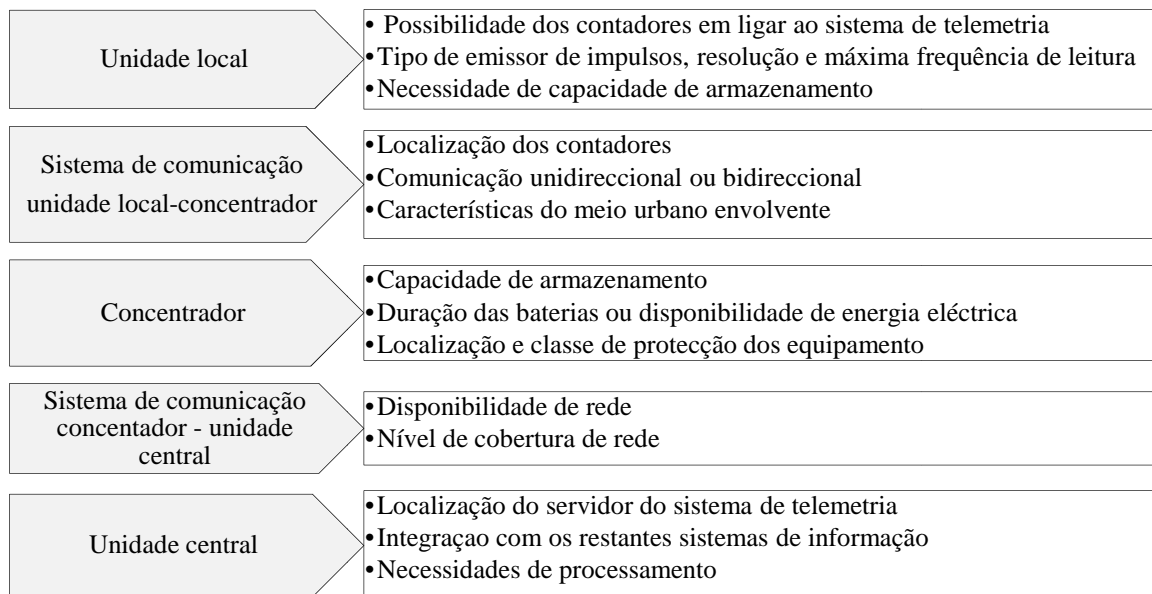


Figura 2.20 – Aspectos a atender na especificação de sistemas de telemetria

Dados que os equipamentos instalados no local de medição estão geralmente em caixas enterradas, pode ocorrer a submersão dos equipamentos pelo que a classe de protecção deve ser IP68 de acordo com a norma EN 60529.

Na Etapa 4 sobre Aquisição, instalação e teste do sistema em zona-piloto devem ser designadas equipas por parte de entidade fornecedora do sistema e por parte da entidade gestora que garantam o acompanhamento desta etapa. Deve igualmente informar-se as outras infra-estruturas que partilham o espaço público sobre a existência de equipamentos de comunicação (e.g., rede de energia eléctrica), assim como a identificar-se todo o equipamento.

Na Etapa 5 sobre Integração com outros sistemas de informação devem ser analisadas as possibilidades de ligação com o sistema de facturação e de gestão de clientes, de telegestão e de manutenção.

A Etapa 6 sobre Formação de técnicos na entidade gestora é fundamental face às características técnicas deste tipo de tecnologia, permitindo a sua correcta instalação e manutenção.

Na Etapa 7 sobre Avaliação custo-benefício dos sistemas de telemetria deve fazer-se um levantamento dos custos e dos potenciais benefícios dos sistemas de telemetria e estimar-se o seu valor. A Figura 2.21 apresenta uma síntese dos principais aspectos a atender numa análise custo-benefício.

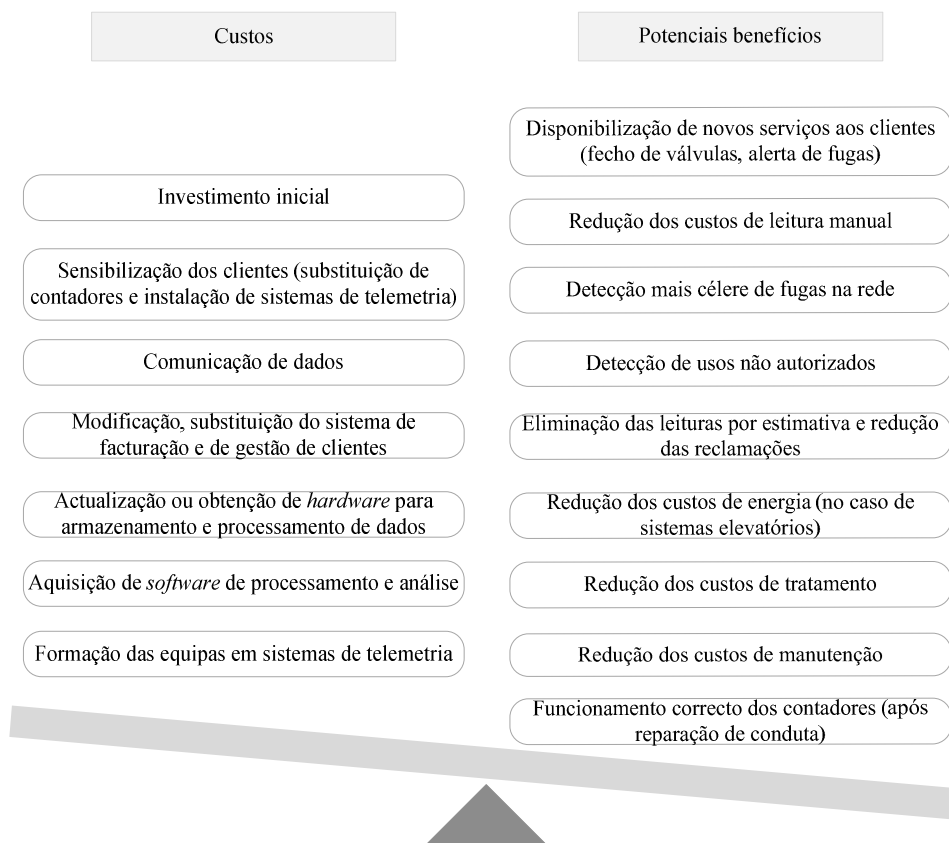


Figura 2.21 – Custos e benefícios dos sistemas de telemetria (adaptado de Oracle, 2007)

Estudos anteriores sobre o consumo de energia (Darby, 2006) revelaram que o facto de os clientes receberem informação detalhada sobre o consumo conduz a uma redução dos usos. Este estudo distinguiu também os clientes, cujo consumo é telemedido, que recebem um *feedback* directo do consumo, através meios como o recebimento de avisos de leituras e a visualização dos consumos, dos clientes que recebem um *feedback* indirecto do consumo, através de meios como facturas com leituras detalhadas acompanhadas do histórico de consumo ou de comparações com o consumo normal na categoria de consumo a que pertence. Verificaram que, nos clientes que recebem um *feedback* directo do consumo, a redução de consumo é de 5-15%, enquanto nos clientes que recebem um *feedback* indirecto, a redução não excede 10%.

Uma forma de reduzir os custos de investimento e de manutenção consiste em conceber sistemas de telemetria que possam ser partilhados pelas entidades gestoras de água, gás e electricidade.

Após consolidação dos sistemas de telemetria existentes pode proceder-se à expansão para outras áreas de rede (Etapa 8).

2.5.5 Levantamento dos principais usos dos sistemas de telemetria

Uma vez instalados os sistemas de telemetria, podem ser disponibilizados novos serviços, quer para a entidade gestora, quer para os clientes abastecidos. Ao nível do cliente individual, a obtenção de dados mais pormenorizados sobre o consumo, a detecção de fugas e o fecho remoto de válvulas constituem serviços de grande interesse (Oracle, 2007). Por vezes, os clientes têm conhecimento sobre um dispositivo domiciliário que perde água, mas a notificação por parte da entidade gestora e a quantificação do custo de água em perdas motivam o cliente a repará-la mais rapidamente. As notificações de perdas de água são particularmente bem recebidas no caso de fugas não visíveis (*i.e.*, que ocorrem nas paredes e nas fundações) que podem danificar bastante as estruturas existentes. A Figura 2.22 sistematiza um conjunto de novos serviços que podem ser disponibilizados através dos sistemas de telemetria, quer para o cliente, quer para a entidade gestora.

Cliente	Entidade gestora
<ul style="list-style-type: none"> • Detecção de fugas • Fecho remoto de válvulas • Dados de consumo pormenorizados com a indicação de medidas para um uso mais eficiente da água 	<ul style="list-style-type: none"> • Detecção de fugas nas condutas • Localização de roturas na rede • Identificação de violações no consumo de água em caso de restrições de consumo • Fecho remoto de válvulas • Verificação do estado do contador • Detecção remota de violação do contador

Figura 2.22 - Novos serviços disponibilizados pelos sistemas de telemetria

A análise de consumos ao nível domiciliário permite estabelecer metodologias para o dimensionamento de contadores e quantificação dos erros de medição (Arregui, 1998). A identificação das diferentes componentes de consumo domiciliário, quer em termos de consumos interiores quer exteriores, é fundamental para a identificação de medidas que promovam o para o uso eficiente da água (Baptista *et al.*, 2001; Loh e Coghlan, 2003). O Quadro 2.7 sistematiza os usos dos dados de consumo ao nível do cliente individual.

Quadro 2.7 – Usos dos dados de consumo ao nível do cliente individual

<i>Usos</i>	<i>Passo de tempo</i>	<i>Potencial utilizador da informação</i>
Identificação e quantificação de componentes de consumo	1 min. ou inferior	Cliente
Dimensionamento de contadores domiciliários	1 min. ou inferior	Entidade gestora
Detecção de fugas	15-60 min.	Cliente
Padrão diário de consumo	15 min.	Cliente
Cenários de consumo	15 min.	Cliente
Comparação com clientes da mesma categoria	diário	Cliente
Histórico de consumo	mensal	Cliente

Os dados de consumo ao nível do arruamento ou ramal, em conjunto com dados de pressão, podem ser utilizados para detectar mais facilmente fugas ou roturas na rede, assim como eventuais usos não autorizados. Em zonas onde o consumo de água esteja condicionado ou determinados usos de água sejam proibidos, o uso de sistemas de telemetria pode ajudar no cumprimento das restrições de consumo impostas. Dado que o número de clientes a este nível de medição é muito reduzido, a análise de consumos permite também tipificar o consumo nocturno para amostras de clientes com características idênticas. Pode constituir, assim, uma alternativa à instalação de sistemas de telemetria ao nível domiciliário, reduzindo os custos de investimento e minimizando o envolvimento dos clientes. O Quadro 2.8 sistematiza os usos dos dados de consumo ao nível do arruamento ou ramal.

Quadro 2.8 – Usos dos dados de consumo ao nível do arruamento ou ramal

<i>Usos</i>	<i>Passo de tempo</i>	<i>Potencial utilizador da informação</i>
Dimensionamento de contadores	1 min. ou inferior	Entidade gestora
Tipificação de consumos nocturnos	1 min. ou inferior	Entidade gestora
Detecção de fugas na rede	15 min.	Entidade gestora/cliente
Detecção de usos não autorizados	diário	Entidade gestora
Cenários de consumo	15 min.	Entidade gestora/cliente

O cruzamento de informação sobre o consumo total medido, ao nível de sectores de rede, com informação sobre os consumos autorizados permite apoiar na sectorização de redes (*e.g.*, definição da localização de medidores de caudal, estabelecimento da dimensão de zonas de medição e controlo, ZMC), prática comum no Reino Unido e com impacte já significativo no nosso país (Alegre *et al.*, 2005; Jankovic-Nisic *et al.*, 2005). Em redes com pressões elevadas e com um volume significativo de perdas reais torna-se fundamental uma gestão correcta das pressões, sem pôr em causa a qualidade de serviço prestada. A disponibilidade de dados de consumo, ao nível dos sectores de rede e domiciliário, permite a realização de balanços hídricos mais frequentes e fiáveis (Lambert e Hirner, 2000). O Quadro 2.9 sistematiza os usos dos dados de consumo ao nível de pequenas áreas de rede ou de ZMC.

Quadro 2.9 – Usos dos dados de consumo ao nível de pequenas áreas de rede ou de ZMC

<i>Usos</i>	<i>Passo de tempo</i>	<i>Potencial utilizador da informação</i>
Dimensionamento de contadores	1 min. ou inferior	Entidade gestora
Detecção de fugas	15 min.	Entidade gestora/cliente
Detecção de usos não autorizados	diário	Entidade gestora
Cenários de consumo	15 min.	Entidade gestora/cliente
Efeito da redução de pressão	diário	Entidade gestora
Dimensionamento de rede	1 min.	Entidade gestora

2.6 Síntese

No que se refere ao consumo urbano de água, foram caracterizadas as diferentes categorias de consumo: doméstico, comércio-indústria, público e perdas e propõe-se um conjunto de níveis (ou de escalas espaciais) a que pode ser feita a telemedição do consumo e que serão considerados no presente trabalho: ZMC, pequenas áreas de rede, arruamento ou ramal e cliente individual.

No âmbito dos sistemas de telemetria, fez-se uma síntese das desvantagens relativas ao sistema tradicional de leitura de consumos e fez-se o levantamento das principais

motivações para a instalação deste novo sistema de informação em termos da facturação e gestão de clientes, exploração da rede e planeamento e expansão de redes. Descreveram-se os principais componentes de um sistema de telemetria. Discutiram-se as principais etapas para a integração deste sistema de informação na entidade gestora e fez-se o levantamento dos principais usos dos sistemas de telemetria.

Verifica-se que este novo sistema de informação pode contribuir de forma significativa para uma melhor gestão dos sistemas de distribuição de água. Trata-se de um sistema de informação que, para além da leitura de consumos, permite monitorizar o estado dos contadores e medidores de caudal, assim como recolher leituras relativas a pressão e a parâmetros de qualidade da água (*e.g.*, pH, temperatura, condutividade, cloro residual). No entanto, a implementação de sistemas de telemetria levanta importantes desafios a uma entidade gestora, nomeadamente ao nível dos seguintes aspectos:

- *Geração de elevados volumes de informação*, obtidos de forma contínua, requer o desenvolvimento de aplicações computacionais que permitam o processamento automatizado e aplicação de métodos de análise para apoio às diversas actividades na entidade gestora.
- Necessidade de *formar pessoal* na instalação e manutenção deste tipo de tecnologia.
- Necessidade de criar uma *equipa responsável pela manipulação e análise de consumo* de água.
- *Ligação dos sistemas de telemetria com os restantes sistemas de informação* existentes na entidade gestora (*e.g.*, sistemas de telegestão, sistemas de facturação e de gestão de clientes).
- *Estabilização das soluções tecnológicas* em função dos usos estabelecidos pela entidade gestora.
- *Flexibilização das soluções tecnológicas existentes*, quer em termos da coexistência de diferentes soluções de telemetria numa entidade gestora, quer em termos das diferentes funcionalidades previstas (*i.e.*, leitura generalizada dos clientes com baixa frequência, para efeitos de facturação versus possibilidade de leituras de detalhe para um subconjunto de clientes, durante o período tempo curto).

Trata-se de um sistema de informação cujos custos de investimento são elevados, os quais poderiam ser significativamente reduzidos, se este fosse partilhado entre as entidades gestoras de água, gás e electricidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Nota introdutória

O presente capítulo tem como objectivo principal apresentar um levantamento do estado da arte sobre as metodologias existentes para análise de consumos de água (subcapítulo 3.2). Apresenta-se também o levantamento de metodologias para avaliação e controlo de perdas de água (subcapítulo 3.3). Apresenta-se uma síntese da revisão bibliográfica e discutem-se as principais necessidades de investigação nestes domínios e as motivações para o desenvolvimento deste trabalho de investigação (subcapítulo 3.4). Previamente a esta revisão, abordaram-se os conceitos relevantes na temática da análise de consumos de água e que foram adoptados no presente trabalho (Capítulo 2).

3.2 Métodos utilizados nas principais etapas da análise do consumo de água

3.2.1 Principais etapas

Como principais etapas da análise de dados de consumo de água identifica-se o processamento de dos dados de consumo, a modelação do consumo do consumo e a caracterização e previsão do consumo. A etapa de processamento de dados, inclui, por exemplo métodos para a detecção de dados anómalos, para a uniformização de dados com diferentes características e para a combinação de dados provenientes de diferentes origens. A etapa de modelação do consumo de água inclui métodos estatísticos que descrevem e sintetizam o comportamento do consumo. A etapa de caracterização e de previsão envolve o levantamento dos principais factores ou de variáveis que influenciam o consumo de água e de métodos para previsão do consumo que incorporem sempre que possível as variáveis explicativas mais significativas.

3.2.2 Processamento de dados de consumo

O processamento do elevado volume de dados de consumo telemedido segue a metodologia que é geral ao processamento de dados no domínio da prospecção de dados (*data mining*) e que se encontra organizado de acordo com as seguintes etapas (Maimon e Rokach, 2005; Han e Kamber, 2006):

- análise descritiva de dados;
- eliminação de dados anómalos;
- transformação de dados;
- combinação de dados;
- redução de dados.

Relativamente à análise descritiva dos dados trata-se de uma etapa onde se calcula um conjunto de estatísticas sumárias que permitem identificar as principais propriedades dos dados. Um dos objectivos da transformação de dados é uniformizar os dados (*e.g.*, normalização do passo de tempo entre registos) para permitir análises conjuntas de dados com características diferentes. Na combinação de dados, operam-se dados de diferentes origens (*e.g.*, diferentes pontos de medição) para obtenção de dados mais agregados ou para dedução de componentes de consumo. Na redução de dados recorre-se a técnicas que permitam reduzir o volume de dados gerado, minimizando a perdas de informação (*e.g.*, técnicas de análise multivariada como a análise em componentes principais).

Um dos passos mais importantes no processamento de dados de consumo (fase que antecede a análise de consumos) é a detecção e eliminação de dados anómalos (*outliers*) Barnett e Lewis (1994) definiram um dado anómalo como sendo “uma observação que parece ser inconsistente com as restantes observações e/ou que apresenta uma baixa probabilidade de ter sido originado a partir da mesma distribuição estatística do que as restantes observações”. A sua inclusão na análise pode levar à estimativa de parâmetros viesados e a resultados incorrectos, pelo que é importante identificá-los previamente à fase de modelação e de análise (Liu *et al.*, 2004).

No caso de dados de consumo em sistemas de distribuição de água, os dados anómalos podem ser devidos a problemas que ocorreram durante o processo de recolha (*i.e.*, na medição, na transmissão ou no registo) ou a situações de funcionamento do sistema fora do padrão normal (*e.g.*, ocorrência roturas, manobras em válvulas). Contudo estes dados não devem ser simplesmente eliminados, pois podem conter informação importante para a identificação destes problemas, pelo que devem ser identificados, classificados e guardados para análise posterior (Ben-Gal, 2005).

Os métodos para a detecção de *outliers* podem ser divididos em métodos univariados e métodos multivariados. Uma outra classificação consiste em dividir em métodos

paramétricos ou não paramétricos (Barnet e Lewis, 1994). Os métodos paramétricos assumem que as observações provêm de uma distribuição teórica conhecida e permitem classificar como anómalas as observações que se desviam das hipóteses do modelo. No caso dos métodos não paramétricos, como alguns *métodos de data-mining*, as observações anómalas são identificadas através de procedimentos baseados em distâncias, permitindo manipular um elevado volume de dados (Williams e Huang, 1997).

Nos métodos univariados, admite-se geralmente que os dados provêm de uma distribuição de probabilidade conhecida, e para além disso a amostra (aleatória) é identicamente distribuída. Estes pressupostos não são geralmente aplicáveis em séries temporais, dado serem processos auto correlacionados e não estacionários. Nestes métodos pretende-se encontrar as observações que estejam na região de rejeição da distribuição (região de *outlier*). Em geral, a média e a variância constituem boas estimativas da localização e da dispersão se não estiverem contaminados por registos anómalos. O uso da mediana e da mediana dos desvios absolutos (MAD) constituem estimativas robustas de localização e de dispersão face à existência de *outliers*. Tuckey (1977) introduziu o conceito do diagrama de extremos e quartis (*Boxplot*) que permite a visualização gráfica de dados anómalos. Seem (2007) aplicou o método *generalized extreme studentized deviate* (GESD), para detectar consumos anormais de energia em edifícios tendo por base dados de consumo médio diário e de consumo máximo. Outro exemplo de método univariado é o controlo estatístico de processos, *Statistical Process Control* (SPC) e encontra-se vocacionado para detectar dados anómalos *online*.

No caso das séries de consumo (*i.e.*, séries temporais) para detectar dados anómalos ao longo do tempo pode adoptar-se o seguinte tipo de abordagem (Ben-Gal, 2005): i) encontrar o modelo de série temporal que melhor traduz o processo de autocorrelação; ii) utilizar este modelo para filtrar dados; iii) aplicar métodos de controlo estatístico de processos para detectar dados anómalos. Os modelos auto regressivos e de médias móveis integradas, *Auto Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA) são muito utilizados para estimação e filtro de processos de autocorrelação (Box e Jenkins, 1976). Quando os resíduos são independentes a seguem aproximadamente a distribuição normal, podem aplicar-se métodos de controlo estatístico de processos para detectar *outliers*.

Os *métodos multivariados*, aplicam-se nos casos em que os dados anómalos são detectados através da interacção entre as diferentes variáveis. Analogamente aos métodos univariados, os métodos multivariados podem ser baseados em distribuições de probabilidade ou em

métodos não paramétricos de *data-mining* que não requerem o conhecimento da distribuição teórica geradora dos dados. Os métodos multivariados para a detecção de dados anómalos têm por base o cálculo de distâncias, sendo a distância de *Mahalanobis* é das mais conhecidas. Os dados mais afastados do centro da distribuição são considerados anómalos. Como exemplo de método multivariado, Palau *et al.* (2004) utilizaram *multivariate statistical process control* (MSPC) baseado na análise em componentes principais para conhecer a estrutura dos consumos ao longo do dia e identificar roturas ao nível do consumo total entrado em ZMC. Williams *et al.* (2002) verificaram o potencial das redes neuronais para detectar dados anómalos no caso de grandes volumes de dados.

Ben-Gal (2005) refere um conjunto de factores que influenciam a eficiência dos métodos para a detecção de dados anómalos:

- normalidade dos dados;
- dimensão do conjunto de dados a analisar;
- tipo de anomalias;
- proporção de dados anómalos num conjunto de dados;
- detecção online ou *off-line* de dados anómalos.

Este autor sugere também que sejam testados vários métodos para identificação de dados anómalos.

3.2.3 Modelação de consumos de água

3.2.3.1 Tipos de abordagem

A modelação do consumo pode ser feita tendo por base dados de consumo ao nível individual ou a um nível mais agregado como seja ao nível de zonas de medição e controlo (ZMC). Em termos de comportamento, as séries de consumo obtidas para estes dois níveis são muito distintas. No primeiro caso, o consumo é intermitente e caracteriza-se por períodos de consumo relativamente curtos (que correspondem aos usos domiciliários), alternados por períodos de consumo nulo. O valor médio é assim, em geral, muito baixo sendo a dispersão dos consumos elevada. No segundo (consumo ao nível de ZMC) o consumo apresenta um comportamento muito mais regular ao longo do tempo, é possível identificar tendências na série e a variabilidade do consumo em torno da média é menor. Estas características conduzem a que a abordagem para modelação do consumo seja diferente consoante o número de clientes abrangido pela medição.

3.2.3.2 Modelação do consumo em ZMC

O conhecimento sobre a variação do consumo ao longo do dia numa ZMC apresenta grandes vantagens na gestão de sistemas, permitindo dar apoio à decisão na operação, manutenção e planeamento dos mesmos sistemas. Coelho (1988) estabeleceu um procedimento para o cálculo de padrões diários de consumo. Estes padrões resultam dos diagramas diários, que têm como abcissas as 24 horas do dia e como ordenadas os consumos, ou factores de carga, obtidos pela razão entre o consumo em dado instante e o consumo médio diário, designando neste caso por padrões adimensionais. Um padrão de consumo pretende ser representativo de um determinado conjunto de dias, como seja a globalidade do histórico, o dia útil, o sábado ou o domingo. No entanto, o simples cálculo do valor médio do consumo em cada instante não dá qualquer indicação sobre a variabilidade dos valores medidos ou da probabilidade de um dado valor ser excedido (Alegre, 1994). Testes efectuados por Coelho (1988) permitiram verificar que as distribuições dos consumos num dado instante do dia tendem a apresentar-se plurimodais. No referido estudo verificou-se que esse efeito desaparecia a todos os registos fossem adimensionalizados pelo respectivo valor médio diário e que a distribuição teórica que melhor se ajustava ao consumo em cada instante era a distribuição Log-normal. Este resultado permitiu calcular os intervalos de predição.

De Marinis *et al.* (2006) e Tricarico *et al.* (2005) verificaram que para um sector com cerca de 1200 habitantes:

- as distribuições de Gumbel e Log-normal são as que melhor representam o consumo máximo;
- a distribuição que melhor se ajusta ao consumo médio é a distribuição Normal;
- a distribuição de *Poisson* é a que melhor caracteriza o consumo nocturno.

Tricarico *et al.* (2005) analisou o efeito da agregação temporal na estimativa do factor de ponta e verificou que, quando se considera um passo de tempo de 60 min. (em vez de 1 min.) há uma subestimação deste parâmetro de cerca de 28% no factor de ponta. No caso do passo de tempo ser de 15 min. (em vez de 1 min.) a subestimação é menor (cerca de 13%). Os autores recomendam que o cálculo dos factores de ponta em ZMC seja feito com base em séries com passo de tempo de 1 min.

3.2.3.3 Modelação do consumo em clientes individuais

Buchberger e Wu (1995) desenvolveram um modelo de consumo ao nível cliente individual (*i.e.*, consumo residencial apenas com usos interiores), designado por processo de eventos rectangulares de *Poisson* (PRP), admitindo a hipótese de que o consumo pode ser descrito por um processo de *Poisson* homogéneo (*i.e.*, em cada hora, o parâmetro λ que representa a chegada de eventos é constante, não variando com o tempo). Este estudo foi motivado pela necessidade de se obter a distribuição do regime de escoamento nos troços terminais de sistemas de distribuição. Estes resultados hidráulicos obtidos podem ser utilizados pelos modelos de qualidade da água para estimar melhor os tempos de percurso nos sistemas de distribuição de água. Por ser aditivo, o modelo de *Poisson* tem a vantagem de permitir modelar o consumo ao nível individual, de um conjunto de clientes ou para um sistema de distribuição de água. A validade desta hipótese depende de duas condições essenciais: i) os usos de água podem ser representados por eventos rectangulares, ii) as chegadas de novos eventos ocorre de acordo com um processo de *Poisson*. Buchberger e Wells (1996a), Garcia (2003) e García *et al.* (2004) comprovaram a primeira condição. No que se refere à segunda condição, existem também evidência que tal se verifica (Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003; Garcia *et al.*, 2003; García *et al.*, 2004).

Buchberger e Wells (1996a) Buchberger *et al.* (2003) verificaram que o consumo doméstico no interior dos alojamentos pode ser representado por eventos rectangulares. Os autores referem que o consumo pode ser convertido em eventos rectangulares desde que se preserve o instante inicial, t , a duração, d , e a intensidade, I de cada evento. Estes autores propõem uma metodologia para obtenção de eventos rectangulares de consumo composta por duas etapas principais (Figura 3.1):

- i) suavização de sinal e obtenção de blocos de eventos;
- ii) separação de eventos.

A etapa de suavização de sinal tem como função simplificar os níveis de intensidade, uma vez que os dados eram recebidos com um passo de tempo de 1 s. Para a separação de eventos duas regras empíricas foram aplicadas: a) dois eventos não podem começar nem acabar ao mesmo tempo (senão trata-se de um único evento e não se consegue separar), b) usos de água com sobreposição de eventos produzem um incremento de intensidade.

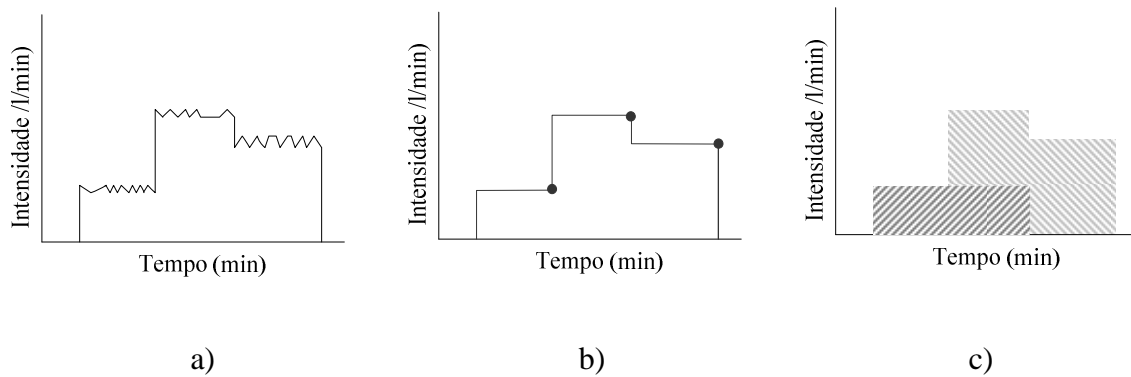


Figura 3.1 - Separação do consumo em eventos rectangulares de consumo: a) registos originais; b) suavização do sinal; c) separação de eventos, adoptado de Buchberger e Wells (1996a).

O modelo PRP não inclui perdas de água, que caso existam devem ser previamente separadas do consumo e incorporadas de nova numa fase posterior à da modelação do consumo (Buchberger *et al.*, 2003). A razão desta separação é que o comportamento estatístico das perdas é muito diferente do comportamento estatístico do consumo doméstico. As perdas de água geram consumos que são contínuos e com pequenas flutuações e os períodos de consumo nulo deixam de existir. Por oposição, os consumos domésticos tem uma natureza intermitente, pontualmente com intensidades muito elevadas, consumos variáveis e períodos de consumo nulo aleatórios. No entanto, nem sempre é fácil distinguir consumos devidos a usos de perdas de água, tal como analisado por Buchberger *et al.* (2003).

No que se refere aos consumos domésticos exteriores, particularmente importantes durante o Verão, dada a sua natureza ser também diferente da dos consumos domésticos interiores, com durações e intensidade significativamente mais elevadas, Lee e Buchberger (1999) recomendam que se faça um modelo PRP específico para estes consumos. O consumo total deve resultar da soma de dois processos PRP. A construção de um modelo PRP conjunto com usos exteriores e interiores não se revelou adequado.

No que se refere às durações e volumes dos eventos de consumo, ao longo do dia, Buchberger e Wells (1996a) e Buchberger *et al.* (2003) obtiveram que a distribuição teórica que melhor se ajustava aos mesmos era a Log-normal, enquanto Garcia (2003) e García *et al.* (2004) concluíram que era a distribuição Exponencial. No que se refere às intensidades dos eventos, Garcia (2003) e García *et al.* (2004) utilizaram a distribuição Weibull, enquanto Buchberger e Wells (1996a) e Buchberger *et al.* (2003) utilizaram a distribuição Log-normal.

Ao nível de arruamentos ou ramais (*i.e.*, número de clientes ≤ 30), Borba (2009) e Borba *et al.* (2009) verificaram que as distribuições que melhor se ajustavam à chegada, duração e intensidade de eventos, durante o período de consumo mínimo nocturno, era a de *Poisson* modificada, a de Pareto e mistura de normais, respectivamente. Garcia *et al.* (2003) concluíram que, durante o período de consumo nocturno, para amostras reduzidas de alojamentos (*i.e.*, ≤ 14 alojamentos) em Valência (Espanha) e em Milford (Estados Unidos) que as distribuições de *Poisson*, Exponencial e Weibull permitem construir um modelo adequado para simular o consumo durante este período do dia. O passo de tempo para aquisição de dados considerado por Borba (2009) foi de 1 min., enquanto nos casos de estudo de Valência e Milford foi de 1 s (Garcia *et al.*, 2003), sendo, muito provavelmente, uma das razões principais para as diferenças de resultados obtidos.

Estes resultados demonstram que o comportamento destes parâmetros (*i.e.*, chegada, intensidade e duração dos eventos) é muito variável e depende de factores como a localização da rede e hábitos de consumo, o período do dia para análise e o passo de tempo utilizado para aquisição de dados.

Zhang e Buchberger (2005) e Zhang *et al.* (2005) combinaram os resultados do modelo *Poisson* para consumo doméstico de água com os princípios da análise de extremos para estimativa do factor de ponta em sistemas de distribuição de água. Os resultados obtidos evidenciaram que:

- as formulações existentes são mais conservativas do que a proposta por estes autores;
- o factor de ponta aumenta bastante no caso dos consumos exteriores aumentarem face aos consumos interiores, o que é consistente com a experiência existente na qual o factor de ponta máximo ocorre durante o Verão, quando os usos exteriores (*e.g.*, regas, lavagens) atingem um peso significativo no consumo total.

O conhecimento sobre a variação espacial e temporal dos consumos é fundamental para a modelação hidráulica e de qualidade da água de sistemas de distribuição de água. Para o dimensionamento de um sistema de distribuição de água é importante conhecer-se de forma correcta as propriedades estatísticas do consumo dos diferentes grupos de clientes em cada nó dada uma dada escala temporal e espacial (Magini *et al.*, 2008). Neste caso, a escala espacial refere-se ao número de clientes. Usualmente, assume-se que, em simulações em período alargado (tipicamente com duração de 24 horas), todos os nós de

consumo seguem o mesmo padrão de consumo, ou seja encontram-se perfeitamente correlacionados no espaço e no tempo (Coelho *et al.*, 2006). O grau de correlação entre consumos fazendo variar o nível de agregação espacial (*i.e.*, n.º de clientes abastecidos) e o nível de agregação temporal tem sido analisado por vários autores (Filion *et al.*, 2006a; Filion *et al.*, 2006b; Moughton *et al.*, 2006; Magini *et al.*, 2008).

Moughton *et al.* (2006) verificaram que o valor médio da correlação entre os consumos de água é praticamente inexistente para níveis de agregação espacial até 10 alojamentos e passos de tempo de 10 min.

Em alternativa ao modelo proposto por Buchberger e Wells (1996a), Alvisi *et al.* (2003) apresentaram outro modelo de consumo residencial tendo por base dados de consumo com um passo de tempo de 1 min. Estes autores verificaram que este método pode ser utilizado para representar séries temporais agregadas temporalmente com passo de tempo de 5 min. a partir de séries temporais de consumo com passo de tempo de 1 min. No que se refere à reconstrução de séries temporais para agrupamentos mais alargados de clientes, este método revelou-se inadequado, pois embora preserve a média, existem outras estatísticas, em particular a variância, que são subestimadas.

Os modelos apresentados até agora requerem um elevado volume de informação sobre consumo. Por exemplo, os parâmetros de consumo em Milford, Ohio (Buchberger *et al.*, 2003), foram obtidos a partir de uma campanha de monitorização com duração de 30 dias em 21 alojamentos com um passo de tempo de 1 s. Por outro lado, Blokker *et al.* (2008) referem que é difícil obter boas correlações entre os parâmetros do modelo *Poisson* e variáveis como seja a dimensão e idade da população e o tipo de dispositivos domiciliários instalados, pelo que estes parâmetros não são facilmente extrapoláveis para outras redes. Blokker *et al.* (2009) apresentaram uma abordagem diferente para modelação do consumo ao nível residencial (Figura 3.2). Simulam as chegadas de eventos (*i.e.*, instantes de chegadas de eventos), a duração e a intensidade tendo por base resultados de inquéritos bastante detalhados sobre os hábitos de consumo, dados sobre dispositivos domiciliários e dados sobre a população obtidos a partir dos últimos censos. Utilizam os dados de medições de consumo apenas para validação dos padrões diários resultantes da simulação. Os resultados obtidos mostraram que os padrões simulados permitem reproduzir adequadamente os padrões de consumo medidos fazendo variar a escala temporal (de 1min a 1 h) e a escala espacial (de 1 alojamento a 43 alojamentos).

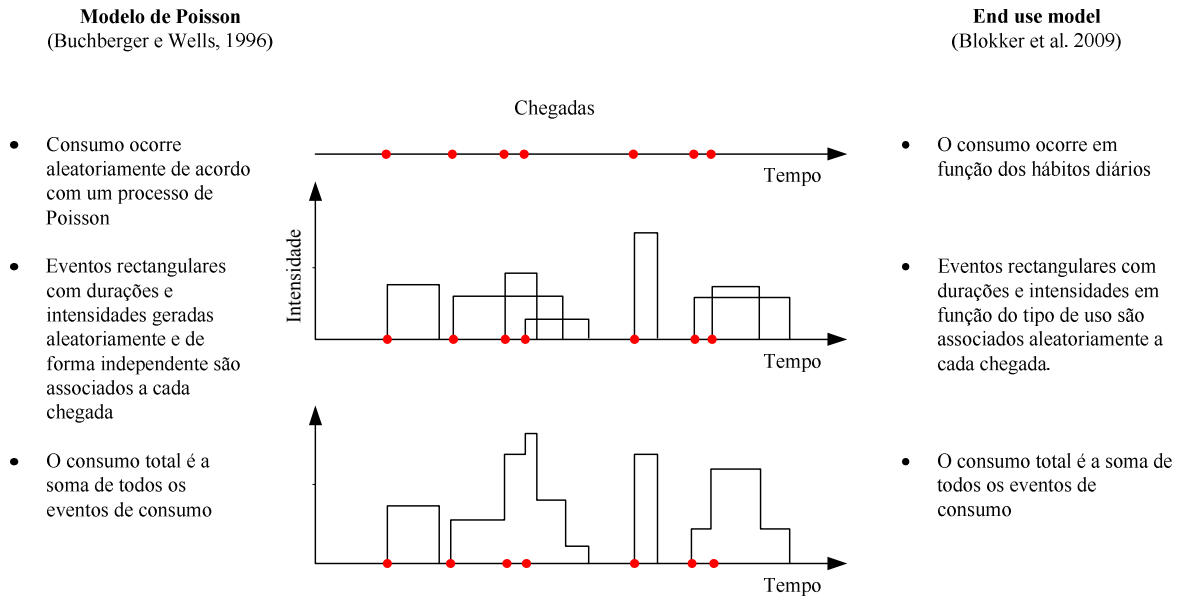


Figura 3.2 – Representação esquemática dos modelos de *Poisson* e *end use model*, adoptado de Blokker *et al.* (2008).

3.2.4 Caracterização e previsão do consumo de água

3.2.4.1 Tipos de abordagens

A caracterização e previsão do consumo de água foram divididas em duas partes. Na primeira parte faz-se um levantamento dos factores ou variáveis que podem influenciar o consumo de água. Estes factores encontram-se categorizados em factores sócio-demográficos, climáticos, relativos à medição, facturação e preço da água, regulamentares e técnicos e psico-sociais. Na segunda parte apresenta-se uma síntese dos métodos de previsão de classificação do consumo de água.

3.2.4.2 Caracterização do consumo de água

Factores sócio-demográficos

O número de habitantes por alojamento é considerado com um dos factores mais influentes no consumo de água em vários estudos, tendo sido verificado que o consumo por habitante diminui com o aumento do número de ocupantes por alojamento (Edwards e Martin, 1995; Warren, 2002).

A idade dos indivíduos que compõem o agregado familiar pode determinar também diferenças em termos dos hábitos de consumo. Famílias com crianças tendem a consumir mais água do que um agregado composto por pessoas reformadas. Os usos de água no exterior da habitação (*e.g.*, piscinas) podem também estar relacionados positivamente com

a presença de crianças (Arbués *et al.*, 2003). Estas relações foram confirmadas por estudos com o de Nauges e Thomas (2000) e de Lyman (1992). Foekema e Englesma (2001), verificaram que pessoas mais idosas utilizam o autoclismo com maior frequência, enquanto os mais jovens tomam banho com maior duração e frequência. Em termos de padrões de consumo, Burnell (2003) verificou que famílias economicamente activas ou com crianças em idade escolar podem reflectir padrões de consumo muito diferentes entre dias úteis e fim-de-semana. Por oposição, famílias economicamente inactivas e sem crianças apresentam padrões de consumo com menor variabilidade ao longo da semana.

O rendimento familiar também influencia positivamente o consumo doméstico (Edwards e Martin, 1995; Warren e Cunningham, 2007; Schleich e Hillenbrand, 2008). Por exemplo, por volta de 1960, as famílias com maior poder económico adquiriram máquinas de lavar roupa, substituindo o hábito de lavar roupa à mão e aumentando o consumo domiciliário de água (White *et al.*, 2003). Loh e Coghlan (2003) e Syme *et al.* (2004) verificaram que existe uma correlação positiva entre o rendimento familiar e os consumos exteriores de água. No entanto, a relação entre o rendimento familiar e o aumento do consumo de água não deve ser generalizada. Actualmente, a aquisição de equipamentos novos, mais eficientes, como os autoclismos, pode determinar uma redução no consumo doméstico. Polebitski e Palmer (2010) verificaram que o rendimento familiar tem pouca influência no consumo nos meses de Inverno, mas tem um impacte significativo nos períodos de Verão. Este facto sugere que o rendimento familiar influencia sobretudo o consumo exterior, havendo uma tendência para o aumento dos usos exteriores no caso de famílias com rendimento superior.

As características étnicas e religiosas da população abastecida podem influenciar também o consumo (Burnell, 2003; Warren e Cunningham, 2007). Smith e Ali (2006) e Burnell (2003) verificaram que os padrões de consumo ao nível de zonas de medição e controlo podem ser muito marcados pelos hábitos religiosos, particularmente no caso das comunidades religiosas judaicas e muçulmanas (*e.g.*, período do Ramadão). Murdock *et al.* (1991) verificaram que a percentagem de população com origem hispânica no estado do Texas (Estados Unidos) constitui um dos factores mais importantes a ter em conta na estimativa da capitação, aumentando o seu valor, a par de outras variáveis como o número de habitantes por alojamento ou o número de dispositivos na habitação.

As férias escolares também podem induzir diferenças significativas no padrão de consumos, quando comparado com o padrão de consumo em época escolar, provocando

um amortecimento no pico de consumo durante a manhã e um aumento do consumo durante o dia (Burnell, 2003).

A dimensão do alojamento influencia positivamente o consumo doméstico (Arbués *et al.*, 2003; Loh e Coghlan, 2003; Van Zyl *et al.*, 2006). No entanto, devido à economia de escala no uso de água, a proporcionalidade entre estas variáveis pode ser limitada (Höglund, 1999).

A área, o valor tributável da propriedade, assim como o imposto autárquico, podem ser utilizados como medidas indirectas do rendimento familiar (Howe e Linaweaver, 1967; Nieswiadomy e Molina, 1989; Edwards e Martin, 1995; Dandy *et al.*, 1997; Barberán *et al.*, 2000; Warren, 2002; Arbués *et al.*, 2003; Van Zyl *et al.*, 2006). Jones e Morris, (1984) estimou o rendimento familiar baseado no nível educacional do chefe de família, na posse de carro próprio, no valor tributável da propriedade e na idade do alojamento. De acordo com Barkatullah (1996), quanto maior for o rendimento familiar e a quanto mais elevado for o valor da propriedade, maior será o consumo de água. Schleich e Hillenbrand (2008) verificaram que quanto maior o rendimento familiar menor é a sensibilidade dos clientes à variação do preço da água (*i.e.*, menor é a elasticidade do preço da água). Van Zyl *et al.* (2006) verificaram que no caso de clientes não domésticos, os parâmetros que mais influenciam o consumo são a área e o valor tributável da propriedade.

A proporção de alojamentos do tipo vivenda pode constituir um indicador indirecto da existência de jardins (Nauges e Thomas, 2000). Loureiro *et al.* (2006) utilizaram como variável indirecta para a quantificação de vivendas o número de edifícios com menos de 2 pisos, informação extraída a partir dos últimos censos (Censos, 2001) ao nível da subsecção estatística⁵. Loureiro *et al.* (2009) verificou que esta variável constitui uma das variáveis sócio-demográficas mais importantes para caracterizar o consumo agregado ao nível de sectores de rede. Warren (2002) verificou que o tipo de propriedade (*e.g.*, vivenda, apartamento), o consumo médio diário e o número de ocupantes no alojamento são as variáveis mais relevantes para a caracterização do consumo durante o período nocturno

⁵ Por subsecção estatística, entende-se a unidade territorial que identifica a mais pequena área homogénea de construção ou não, existente dentro da secção estatística (*i.e.*, unidade territorial correspondente a uma área contínua de uma única freguesia com cerca de 300 alojamentos destinados à habitação). Corresponde ao quarteirão nas áreas urbanas, ao lugar ou parte de um lugar nas áreas rurais, ou a áreas residuais que podem ou não conter alojamentos (isolados) (www.ine.pt).

para um conjunto de entidades gestoras no Reino Unido. Outras variáveis como o grupo sócio-económico, o valor tributável da propriedade e o imposto autárquico são também importantes no caso de algumas entidades gestoras.

Parte da água utilizada em espaços exteriores é utilizada para a rega de espaços verdes ou, no caso de existir piscina, para encher a piscina (Loh e Coghlan, 2003). A água utilizada em espaços exteriores pode ser bastante significativa em termos do consumo doméstico total. Por exemplo, em Perth, na Austrália, o volume total de água gasto em espaços exteriores (*e.g.*, na rega do relvado ou jardim, no enchimento da piscina) representa 56% do volume total doméstico. Arbués *et al.* (2003) fizeram uma síntese das variáveis utilizadas para caracterizar os espaços exteriores: área irrigável por alojamento, dimensão do jardim, sistema de irrigação, existência de piscina. Alguns autores verificaram que a irrigação constitui a componente mais importante dos usos exteriores (Loh e Coghlan, 2003; NTG, 2009).

A distinção entre as residências permanentes e as segundas habitações (aquelas que são utilizadas apenas numa parte do ano) pode ajudar a identificar comunidades onde a sazonalidade tem um grande impacto no consumo de água (Arbués *et al.*, 2003).

O tipo e número de dispositivos podem ser factores mais significativos para estimativa do consumo do que a dimensão do agregado familiar (Russac *et al.*, 1991). Whitcomb (1991) estimou que a capitação (considerando apenas consumo interno) diminui cerca de 6.4 % devido à instalação de duchas eficientes. Similarmente, autoclismos com descarga dupla podem conduzir a uma poupança de água de 64% na água utilizada em autoclismos (Jones, 2002 citado por McDonald *et al.*, 2003). Loh e Coghlan (2003) e Syme *et al.* (2004) verificaram que a utilização de dispositivos de rega mais sofisticados, como os sistemas e rega automática levam a um maior consumo de água.

Factores climáticos

Os factores climáticos podem ser expressos por diferentes variáveis (Arbués *et al.*, 2003; Van Zyl *et al.*, 2006), como seja a temperatura média mensal/anual, a precipitação média mensal/anual, a evaporação média mensal/anual, a precipitação no Verão, a precipitação ocorrida entre Abril – Outubro/Novembro (*Growing season*), a diferença entre evapotranspiração e precipitação e funções compostas (dependentes da temperatura, minutos de sol e velocidade do vento). Estudos anteriores referem que o consumo varia

positivamente com a temperatura (Murdock *et al.*, 1991; Angelos *et al.*, 2000; Warren e Cunningham, 2007).

O consumo em espaços exteriores é naturalmente bastante sensível ao clima, enquanto o consumo interior é geralmente pouco sensível à variação sazonal (Loh e Coghlan, 2003). Estes autores verificaram que alojamentos unifamiliares, com nível sócio-económico elevado, apresentavam um consumo superior durante o Verão, devido sobretudo a um aumento dos usos exteriores. Verificaram que o aumento da utilização de sistemas de rega automática contribuiu de forma significativa para o aumento do consumo devido a usos exteriores. Não foi encontrada uma correlação elevada entre a área irrigável e o consumo exterior. Verificaram que os clientes que possuíam sistemas de rega automática consumiam em média 1058 l/(cliente.dia), enquanto os que não possuíam consumiam em média 537 l/(cliente.dia).

Factores relativos à medição, facturação e preço da água

A medição generalizada dos consumos domésticos, com uma estrutura tarifária apropriada (*e.g.*, tarifa sazonal, diária, horária) e facturação frequente possui um grande potencial para controlo da procura de água, pois os clientes têm uma maior percepção sobre a estrutura tarifária e sobre a relação entre o consumo e o valor da factura da água e tendem a consumir menos (Herrington, 1998; Arbués *et al.*, 2003; McDonald *et al.*, 2003). Em termos da medição de consumos domésticos, o Reino Unido é praticamente o único país na Europa sem medição generalizada (Twort *et al.*, 2000).

A elasticidade do preço da água é definida pelo rácio entre a variação do consumo e a variação do preço. Como variáveis características do preço da água, tem sido utilizado o preço marginal e o médio (Chicoine *et al.*, 1986; Arbués *et al.*, 2003).

O consumo de água é usualmente considerado como sendo pouco elástico face à variação do preço (Arbués *et al.*, 2003). Esta constatação pode ser devida ao facto da água ser um bem essencial, sem substituto, e da factura da água representar tipicamente uma reduzida parcela na despesa mensal do agregado familiar, em particular no caso de famílias com níveis de rendimento mais elevados (Chicoine *et al.*, 1986; Arbués *et al.*, 2003). O impacto da variação do preço da água no consumo depende do tipo de usos: para usos essenciais (*e.g.*, consumo, cozinhar) ou para usos complementares (*e.g.*, lavagem de carros) (Schleich e Hillenbrand, 2008).

Alguns estudos são indicativos de que o consumo exterior é mais sensível à variação do preço da água, enquanto o consumo interior é tipicamente pouco sensível a esta variável (Howe e Linaweaver, 1967; Thomas e Syme, 1988; Arbués *et al.*, 2003). O consumo durante o Inverno é menos sensível a variações no preço (Carver e Boland, 1980; Howe, 1982; Dandy *et al.*, 1997).

Factores regulamentares e técnicos

Alguns autores referem a importância da regulação na alteração de práticas, inflectindo tendências no consumo (Loh e Coghlan, 2003; White *et al.*, 2003). Loh e Coghlan (2003) refere a instalação massiva de autoclismos com descarga dupla em Perth (Austrália), passando de 1% em 1981/82 para 65% em 1998/00, em consequência de uma revisão regulamentar, contribuiu para um decréscimo do peso dos autoclismos de 32% em 1981/82 para apenas 21% em 1998/00 no consumo doméstico. No entanto, o peso no consumo doméstico das máquinas de lavar roupa aumentou de 18% para 27% devido ao facto das famílias que possuem este tipo de equipamento ter aumento naquela período (de 64% para 93%), assim como a capacidade destes dispositivos. Deste modo, a poupança no consumo associada aos autoclismos de descarga dupla igualou o aumento de consumo associado às máquinas de lavar roupa.

Arregui (1998) refere que o consumo diminui com a diminuição da pressão disponível. Warren and Cunningham (2007) referem a importância de corrigir as variáveis de consumo (*e.g.*, capitação) para uma pressão normalizada quando se pretendem fazer análises comparativas entre entidades gestoras.

Factores psico-sociais

Alguns autores exploraram a relação entre variáveis que medem a atitude perante a água (*i.e.*, factores psico-sociais) como bem de consumo e o consumo de água (Murdock *et al.*, 1991; Syme *et al.*, 2004). Syme *et al.* (2004) inquiriram uma amostra de 397 clientes sobre um conjunto de variáveis relacionadas com atitudes para modelar consumos exteriores (*e.g.*, importância do jardim e dos espaços naturais para a qualidade de vida pessoal, interesse em jardinagem, atitude perante o jardim como espaço recreativo, atitudes de conservação). Verificaram que, relativamente ao consumo exterior, os factores psico-sociais considerados são tão importantes como os factores sócio-demográficos (*e.g.*, rendimento familiar, posse de piscina própria) e que as interacções entre estes são mínimas pelo que também deve ser considerados no processo de identificação das principais

variáveis que influenciam o consumo de água. Corral-Verdugo *et al.* (2003) verificaram que as pessoas que associam a água a um bem ilimitado consomem mais água, enquanto aqueles que consideram que a água é um bem a preservar consomem menos água. Este resultado reforça a importância da sensibilização dos clientes para o uso eficiente da água.

3.2.4.3 Métodos de previsão

A previsão do consumo considerando diferentes horizontes temporais constitui uma das áreas de interesse central para uma entidade gestora para a tomada de decisão (Figura 3.3). Alegre e Covas (2010) sintetizaram as características dos vários níveis de decisão:

- nível estratégico tem em vista definir a direcção para onde a organização pretende ir a longo prazo, nos aspectos relevantes para a gestão patrimonial das infra-estruturas;
- nível tático define o caminho a seguir a médio prazo, estabelecendo as prioridades de intervenção e as soluções a adoptar;
- nível operacional corresponde a percorrer esse caminho, ou seja, à programação de curto prazo e à execução das acções previstas.

A previsão de consumo a curto-prazo (nível operacional) é útil para a tomada de decisões relativas à operação diária dos sistemas (*e.g.*, gestão de níveis de reservatórios ou racionalização dos consumos de energia), enquanto a previsão a longo-prazo (nível estratégico) é útil para o planeamento de expansões ou de intervenções de reabilitação na rede. Os consumos não domésticos dependem de factores como o estado da economia local e a estrutura de preços (Mitchell *et al.*, 2000) pelo que a previsão do consumo não doméstico depende da previsão destes componentes. O consumo doméstico depende de um conjunto alargado de factores, no qual se incluem factores como o crescimento da população, a dimensão do agregado familiar, o tipo de alojamento, grupo sócio-económico e emigração/imigração. Estes factores combinados com as alterações climáticas e alterações na estrutura tarifária fazem com que a previsão de consumo doméstico seja complexa (McDonald *et al.*, 2003).




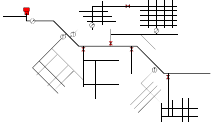
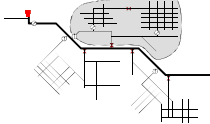
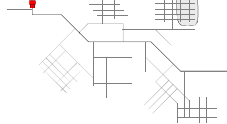






Níveis	Estratégico	Tático	Operacional
Escala	Macro-escala 	Escala intermédia 	Pormenor 
Âmbito	Sistema global 	Subsistemas e componentes críticos 	Grupos de componentes 
Tipo de acção	Define a direcção 	Define o caminho 	Executa 
Responsável	Administrador da infra-estrutura	Gestor da infra-estrutura	Chefe da operação da infra-estrutura
Resultados	Estratégias	Táticas	Programa de acções
Horizonte temporal	Longo prazo (10 a 20 anos) 	Médio prazo (3 a 5 anos) 	Curto prazo (1 a 2 anos) 

Figura 3.3 – Características dos níveis de decisão (Alegre e Covas, 2010)

Um modelo de previsão tem por base um conjunto de variáveis independentes (ou variáveis explicativas) que se relacionam com o consumo de água e que o permitem prever (variável dependente).

A previsão do consumo de água pode requerer a disponibilidade de muita informação e de um elevado número de variáveis para a explicação integral do consumo doméstico, aumentando as hipóteses de colinearidade entre as variáveis explicativas (Clarke *et al.*, 1997). Uma solução estatística para o problema consiste em reduzir o número inicial de variáveis independentes, identificando quais as que se correlacionam entre si (Murdock *et al.*, 1991; Syme *et al.*, 2004). No caso de existir um elevado número inicial de potenciais variáveis explicativas, Murdock *et al.* (1991) e Warren (2002) referem a necessidade de se efectuarem testes para avaliar o grau de correlação entre variáveis, eliminando as que tenham problemas de colinearidade, antes da construção de modelos de regressão (*e.g.*, matriz de correlação, análise de variância (ANOVA), análise em componentes principais). Em análise de regressão, a colinearidade designa a existência de elevada correlação entre

dois ou mais regressores (*i.e.*, variáveis independentes) e esta propriedade pode trazer problemas, quer na fase de estimação dos modelos de regressão, induzindo a problemas de instabilidade numérica e a uma má estimativa dos parâmetros da relação, quer na fase de previsão, limitando a validade da extrapolação (Guimarães e Sarsfield Cabral, 1999; Syme *et al.*, 2004).

Os métodos de previsão podem classificar-se em métodos estatísticos, quando se baseiam no comportamento da variável dependente ao longo do tempo (*e.g.*, séries temporais), ou métodos causais quando têm por base a relação entre a variável dependente e um conjunto de variáveis explicativas. Na previsão de consumos de água têm sido utilizados sobretudo os métodos baseados em séries temporais, modelos de regressão, redes neuronais e reconhecimento de padrões, pelo que a revisão bibliográfica incide sobre estes métodos. Uma descrição sobre os métodos Bayesianos e árvores de decisão pode ser obtida em Maimon e Rokach (2005).

Outro tipo de classificação para os modelos de previsão é a divisão em modelos conceptuais (físicos) e em modelos de caixa preta. A análise de séries temporais e a redes neuronais artificiais (RNA) são exemplos modelos usados métodos de caixa preta (Zhang *et al.*, 2006). Os modelos de séries temporais, baseados no histórico de dados de consumo, podem ser muito úteis para a previsão do consumo a curto-prazo, uma vez que permitem acomodar ciclos diários, semanais e sazonais ao longo do ano (Polebitski e Palmer, 2010). Modelos de séries temporais, como ARMA (auto-regressivo de médias móveis) (Box e Jenkins, 1976) têm sido utilizados para a previsão de consumos diários (Maidment e Miaou, 1986; Zhou *et al.*, 2002). Alguns estudos incorporaram variáveis causais como a temperatura no modelo de série temporal (Quevedo e Cembrano, 1986; Cembrano *et al.*, 1990). No entanto, como os modelos ARMA pertencem à classe dos modelos lineares, têm dificuldade em representar propriedades não lineares, inerentes em séries temporais de consumo. A utilização de séries temporais para a projecção dos consumos levanta três aspectos importantes: i) as séries temporais violam frequentemente as hipóteses estatísticas básicas; ii) as variáveis independentes estão frequentemente inter-correlacionadas; e iii) as variáveis independentes também têm que ser também projectadas com vista a poder prever a variável dependente (Clarke *et al.*, 1997).

A regressão linear simples ou múltipla, constituem métodos de previsão muito utilizados para prever o consumo em função de um conjunto de variáveis independentes (Murdock *et al.*, 1991; Edwards e Martin, 1995; Van Zyl *et al.*, 2006; Warren e Cunningham, 2007).

Este tipo de previsão pode ser particularmente útil para obter estimativas do consumo em zonas sem medição de consumo, com características semelhantes àqueles para as quais se obteve o modelo de previsão. Existe um vasto conjunto de estudos que modelam o consumo em função do preço da água e de um conjunto de variáveis explicativas recorrendo a modelos utilizados na análise económica, designados por modelos econométricos, os quais têm por base modelos de regressão linear (Arbués *et al.*, 2003; Polebitski e Palmer, 2010). Estes modelos são utilizados sobretudo para previsão a longo-prazo. Polebitski e Palmer (2010) teve por base 12 anos de dados sócio-demográficos, clima e consumo medido bimestralmente na cidade de Seattle, Washington e verificou que os modelos de regressão de efeitos fixos e de efeitos aleatórios são os mais adequados para a previsão do consumo.

Zhang *et al.* (2006) verificaram que o modelo de redes neuronais permite prever adequadamente o consumo diário para os dois próximos dias (*i.e.*, a curto-prazo), incorporando as relações não lineares entre o consumo e as variáveis características do clima. De acordo com Greenaway *et al.* (2006) as redes neuronais podem ser utilizadas para previsão a curto e longo-prazo. Utilizam intensivamente o histórico de dados, e classificam elevados volumes de dados num conjunto restrito de informação e a análise de sensibilidade pode ser utilizada em contínuo para avaliar a performance do modelo de previsão. No entanto, requerem um elevado volume de dados para treino da rede, os dados de entrada no modelo devem contemplar todos os factores que influenciam o consumo, e trata-se de modelos do tipo caixa-preta, pelo que é difícil ganhar sensibilidade sobre as relações *input-output*.

Alguns estudos efectuados têm por bases técnicas de reconhecimento de padrões para a previsão de consumos de água (Shvartser *et al.*, 1993; Greenaway *et al.*, 2006). Shvartser *et al.* (1993) combinou o reconhecimento de padrões e análise de séries temporais para prever o consumo horário. Assumiram que variação consumo horário é um processo estocástico com segmentos, do tipo cadeia de Markov e que dentro de cada tipo de segmento, o consumo era descrito por um processo auto-regressivo.

3.3 Análise e controlo de perdas em sistemas de distribuição de água

3.3.1 Perdas de água em sistemas de distribuição de água

Como referido em 2.2.4, existem dois tipos de perdas: i) perdas reais que correspondem às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado; ii) perdas aparentes, que incluem todos os erros sistemáticos associados às medições (ou estimativas) da água produzida e da água consumida, assim como o consumo não-autorizado (por furto ou uso ilícito).

As perdas físicas podem ocorrer em diferentes locais de um sistema de abastecimento de água, com destaque para as condutas adutoras, as condutas de distribuição e os ramais de ligação. Referem-se ao volume anual de perdas através de todo o tipo de fissuras, roturas e extravasamentos e dependem da frequência, do consumo e da duração média de cada fuga (Alegre *et al.*, 2005). As perdas reais podem ser classificadas segundo três componentes:

- i) perdas de base (ou perdas reais mínimas, PRM);
- ii) roturas reportadas/extravasamentos;
- iii) roturas não reportadas e extravasamentos de reservatórios.

De acordo com Lambert e Morrison (1996) considera-se que as perdas de base correspondem a pequenas fugas, cujo consumo individual é inferior 0,5 m³/h. Estas tendem a ocorrer em modo contínuo na rede e, geralmente, não é economicamente viável eliminá-las. Lambert *et al.* (1999) propõe a seguinte expressão empírica para estimar as perdas de base, assumindo uma pressão média de 50 m c.a. e que a relação entre pressão e consumo é linear:

$$PRM ((l/ramal)/dia) = (18L + 0,8N + 25L_p)P \quad (3.1)$$

em que L é o comprimento da rede (km), N o número de ramais (-), L_p o comprimento médio de ramais (m) (medido entre a borda da estrada e o ponto de medição de caudal) e P é a pressão média de operação (kPa). De acordo com estudos posteriores, a Equação (3.1) deve ser aplicável em ZMC com pelo menos 3000 ramais (Liemberger, 2005). Thornton e Lambert (2005) apresentam a Equação (3.1) reformulada para atender a diferentes níveis de pressão e taxas de materiais rígidos na rede. As roturas correspondem a caudais superiores a 0,5 m³/h e têm duração variável.

O Quadro 3.1 apresenta as etapas e métodos preconizados na bibliografia para o controlo de perdas reais e de perdas aparentes (Fanner, 2004; Rizzo *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2005).

Quadro 3.1 – Etapas e métodos para controlo de perdas de água.

<i>Etapas gerais</i>	<i>Perdas reais (Métodos)</i>	<i>Perdas aparentes (Métodos)</i>
1. Avaliação da dimensão do problema (avaliação de perdas)	<ul style="list-style-type: none"> • Balanço hídrico e cálculo de indicadores (abordagem <i>top-down</i>) • Análise de caudais nocturnos (abordagem <i>bottom-up</i>) • Análise de componentes (abordagem <i>bottom-up</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Balanço hídrico e cálculo de indicadores (abordagem <i>top-down</i>)
2. Intervenções para controlo de perdas	<ul style="list-style-type: none"> • Controlo activo de fugas • Reparação de fugas • Selecção, instalação, manutenção, renovação, substituição de condutas e de acessórios • Gestão de pressões 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos erros de medição • Redução do consumo não autorizado • Minimização dos erros de transferência de dados entre o contador e o sistema de facturação • Minimização dos erros decorrentes da análise de dados armazenados

Na primeira etapa é possível identificar as componentes de perdas com a melhor relação custo-benefício. No caso das perdas reais, Fanner (2004) refere outros métodos complementares de diagnóstico (abordagens *bottom-up*): análise de caudais nocturnos e análise de componentes que serão apresentadas em maior pormenor em 3.3.2.

Dado que as intervenções para minimização dos erros de medição e de consumos não contabilizados são independentes dos procedimentos para minimização de perdas reais, é possível implementar estratégias paralelas relativas às perdas reais e às perdas aparentes. No caso das perdas aparentes, a estratégia assenta essencialmente na análise do balanço custo-benefício entre o investimento necessário para as reduzir e os benefícios financeiros daí decorrentes. A IWA preconiza uma estratégia que incida sobre quatro componentes: consumo não autorizado, erros de medição, erros de transferência de dados entre o contador e o sistema de facturação e erros decorrentes da análise de dados armazenados. No caso das perdas reais, Fanner (2004) refere como estratégias a curto prazo o controlo activo e a reparação de fugas. Para médio e longo prazo, este autor refere estratégias que possam influenciar o número de fugas e de roturas que ocorrem em cada ano, como seja a gestão de pressões e a gestão patrimonial de infra-estruturas (incluindo intervenções de reabilitação). Apresenta-se em 3.3.3 uma descrição detalhada das intervenções para controlo de perdas reais.

3.3.2 Metodologias para avaliação da dimensão do problema

Para avaliação das perdas de água (aparentes e reais) é necessário quantificar-se os volumes de água entrada no sistema e de consumo autorizado (facturado e não facturado, medido e não medido). Esta avaliação deve ser feita de modo sistemático e com uma frequência mínima anual atendendo aos seguintes aspectos:

- contabilização rigorosa de todos os volumes de água entrados e saídos no(s) sistema(s) em estudo;
- cálculo do balanço hídrico anual, com base nos registos de consumo existentes;
- verificação do programa de teste e calibração de medidores de caudal.

Apresentou-se no Quadro 2.3 o balanço hídrico e a terminologia utilizada. Uma vez que as medições e estimativas de consumos estão associados a erros e incertezas, estes acumulam-se no cálculo das perdas de água. Dado que não é possível conhecer-se com rigor o erro associado a cada dado, mas conhece-se com mais facilidade a sua ordem de grandeza, a exactidão dos dados pode ser avaliada de acordo com uma classificação em bandas tal como recomendado pela IWA (Alegre *et al.*, 2004). Outra abordagem consiste no cálculo de intervalos de confiança a 95%, admitindo que os erros seguem uma distribuição normal (Lambert, 2002).

Complementarmente à realização dos balanços hídricos, a dimensão do problema pode ser avaliada através do cálculo de indicadores de desempenho, relativos a perdas de água e a água não facturada, sob as vertentes económico-financeira, técnica e ambiental, seguindo as orientações da IWA (Lambert *et al.*, 1999; Alegre *et al.*, 2004; Alegre *et al.*, 2009). Sintetiza-se no Quadro 3.2 os indicadores de desempenho associados às perdas de água recomendados pela IWA.

A ERSAR incorporou no sistema de avaliação da qualidade de serviço prestado aos utilizadores os indicadores de ineficiência de utilização dos recursos hídricos e de água não facturada. De acordo com este sistema de avaliação, valores de ineficiência na utilização dos recursos hídricos inferiores a 4%, para os sistemas em “alta”, e inferiores a 15%, para os sistemas em “baixa” correspondem a uma boa qualidade de serviço. Relativamente à água não facturada, um bom nível de qualidade de serviços, corresponde a valores inferiores a 5%, nos sistemas em “alta”, e a 20%, nos sistemas em “baixa”. Relativamente a estes indicadores, de acordo com o RASARP 2008 (ERSAR, 2009), os sistemas apresentam uma qualidade de serviços mediana, embora exista um número significativo de

entidades gestoras com ineficiências elevadas. No entanto, no caso dos sistemas em “baixa”, a água não facturada diminuiu de 26,1% para 19,9% e a ineficiência dos recursos hídricos diminuiu de 18,6% para 14,1% entre 2004 e 2008, o que reflecte a preocupação crescente das entidades gestoras em minimizar as perdas económicas. Na proposta de indicadores para o novo ciclo de avaliação de desempenho está prevista a inclusão de um indicador de perdas reais (por km de conduta ou por ramal, respectivamente para os sistemas “em alta” e “em baixa”), indicadores mais relevantes do ponto de vista técnico de engenharia.

Quadro 3.2 – Indicadores de desempenho relativos a perdas de água e a água não facturada.

<i>Indicador</i>	<i>Expressão de cálculo</i>	<i>Observações</i>
Perdas de água (m ³ /ramal.ano)	$\frac{\text{Perdas de água (m}^3) \cdot 365}{\text{Duração do período de referência (dia)} \cdot n.^{\circ} \text{ ramais}}$	Indicador recomendado no caso de redes com um mínimo de 20 ramais/km. No caso de não se verificar, recomenda-se que se utilize o indicador expresso em termos de comprimento de condutas (m ³ /km de conduta/dia)
Água não facturada por volume (%)	$\frac{\text{Água facturada (m}^3/\text{ano)}}{\text{Água entrada no sistema (m}^3/\text{ano)}} \cdot 100$	Pode ser calculado num simples balanço hídrico.
Água não facturada por custo	Valor dos componentes de água sem proveito / custos correntes anuais x 100 (para mais detalhes consultar Alegre <i>et al.</i> (2004))	Permite valores individualizados/m ³ para as componentes da água não facturada.
Ineficiência de utilização dos recursos hídricos (%)	$\frac{\text{Perdas reais (m}^3)}{\text{Água entrada no sistema (m}^3)} \cdot 100$	É um indicador ambiental, não apropriado para avaliar a eficiência da gestão técnica dos sistemas de distribuição de água
Perdas reais (l/ramal.dia)	$\frac{\text{Perdas reais (m}^3) \cdot 1000}{\text{Tempo de pressurização do sistema (horas)} \cdot n.^{\circ} \text{ ramais}/24}$	Indicador recomendado no caso de redes com um mínimo de 20 ramais/km. No caso de não se verificar, recomenda-se que se utilize o indicador expresso em termos de comprimento de condutas (l/(km de conduta.dia))
Índice infra-estrutural de fugas (-)	$\frac{\text{Perdas reais (l/ramal/dia)}}{\text{PRM (l/ramal/dia)}}$	Entra em conta com a influência da densidade de ramais, com a localização dos contadores e com a pressão de serviço nas perdas reais. Não cumpre os requisitos estabelecidos para indicadores de desempenho.
Perdas aparentes (%)	$\frac{\text{Perdas aparentes (m}^3)}{\text{Água entrada no sistema (m}^3)} \cdot 100$	(-)

O balanço hídrico permite avaliar as perdas de água, mas não fornece informação sobre a natureza e localização das perdas reais (*e.g.*, roturas detectáveis, que podem ser detectadas e reparadas, e perdas de base que podem ser reduzidas através das gestão de pressões e da renovação da infra-estrutura). Não fornece igualmente informação sobre as perdas nos vários elementos da infra-estrutura, importante para a definição de uma estratégia de

controlo de perdas. Por estas razões, é recomendável que, sempre que possível, o cálculo do balanço hídrico seja complementado com os outros dois métodos recomendados para o cálculo de perdas reais:

- análise de componentes (*i.e.*, estimativa do volume de água perdido nos vários tipos de fugas nos vários elementos do sistema);
- análise de caudais nocturnos (envolve a medição dos caudais nocturnos em sectores de rede, a estimativa do consumo nocturno e a estimativa das fugas não reportadas e das perdas de base).

Um modelo de análise de componentes desagrega o volume de perdas reais segundo as várias componentes, para cada elemento da infra-estrutura, tendo por base um conjunto de factores. Quando calibrado pode ser útil na avaliação de estratégias alternativas para o controlo de perdas reais.

A metodologia para análise de caudais nocturnos consiste basicamente na realização de um balanço hídrico durante o período nocturno, quando o consumo de água é mínimo e a componente de perdas é máxima. A medição dos consumos nocturnos constitui um método muito utilizado no Reino Unido para estimar perdas de água, onde apenas 10% dos consumos domiciliários são medidos (Walski *et al.*, 2001). A medição de caudais nocturnos em ZMC de dimensão moderada constitui um método efectivo para detectar roturas não reportadas. Em ZMC de grande dimensão, roturas individuais, em particular em ramais, têm um impacte relativamente reduzido, e são difíceis de identificar tendo por base as medições de consumo nocturno (Garcia *et al.*, 2003).

De acordo com Figura 3.4, as perdas totais consistem em roturas reportadas, roturas não reportadas e perdas de base ao longo da rede de distribuição de água. As roturas são definidas como eventos isolados e significativos com duração finita, onde as perdas excedem o valor-limite de 500 l/h a 50 m c.a. de pressão. Caudais mais reduzidos são considerados como fazendo parte das perdas-base e dependem da condição infra-estrutural da rede e da pressão. Para uma rede com uma condição infra-estrutural média e para uma pressão média de 50 m c.a., o valor proposto é de 40 l/(km.h) para as condutas e de 4 l/(ramal.h) para os ramais da rede de distribuição de água. O consumo nocturno constitui a componente do consumo total nocturno devido a usos autorizados e é composto por três tipos de clientes: consumos excepcionais (> 500 l/h), clientes domésticos e clientes não

domésticos. Somando estas componentes de consumo com as perdas-base e comparando com o consumo total nocturno, obtêm-se as roturas não reportadas.

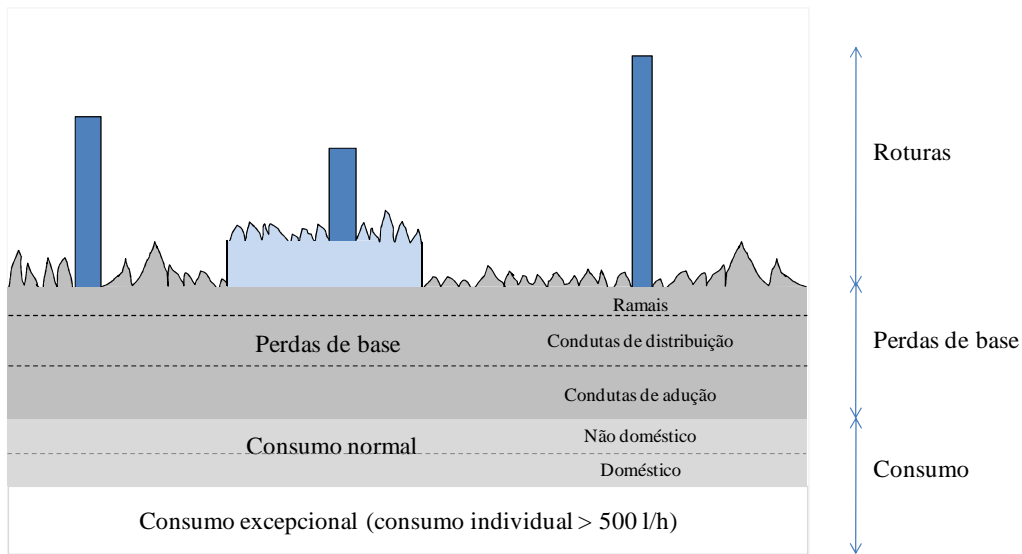


Figura 3.4– Componentes do consumo nocturno, adaptado de UK Water Industry (1994a).

Estudos anteriores estimaram um valor típico de 1,7 l/(cliente.dia) para o consumo doméstico nocturno (UK Water Industry, 1994b). Os resultados obtidos indicam que a ocorrência de consumos domésticos elevados, de reduzida frequência (*e.g.*, máquinas de lavar roupa e loiça) podem ter uma grande influência no consumo doméstico nocturno.

É necessário conhecer-se o consumo nocturno, devido a usos de água efectivos, para que este possa ser deduzido ao consumo total no período nocturno. Alternativamente, existem equipamentos que, aliados a uma elevada frequência de aquisição e a métodos de análise estatística apoiam na desagregação do consumo total nocturno em perdas (*Core flow*) e em consumo nocturno (Primayer, 2009). No entanto, a variabilidade do consumo dificulta em muitos casos e eficiência destes equipamentos.

As perdas durante o período nocturno são devidas a usos contínuos (*e.g.*, uma torneira que ficou mal fechada), perdas domiciliárias (*e.g.*, uma válvula de autoclismo que não fecha bem), perdas nas redes prediais (*e.g.*, perdas em ramais de ligação enterrado) e perdas na rede. Estas duas últimas componentes mantêm-se tipicamente constante ao longo do tempo, se não houver flutuações significativas de pressão, nem se registar uma mudança da condição física do sistema (*e.g.*, uma rotura), enquanto as duas primeiras pode ser mais variáveis. Uma vez obtido o nível de perdas pode estimar-se o consumo durante o período nocturno. A aplicação desta metodologia em áreas com características sócio-demográficas homogéneas permite estimar o consumo doméstico nocturno. Esta abordagem permite,

segundo os autores, uma melhor estimativa do consumo nocturno, por oposição a valores generalistas disponíveis na bibliografia (WRC, 1994; WRC *et al.*, 1994; Warren, 2002). Uma alternativa consiste em utilizar modelos estocásticos para determinar o consumo de água durante o período nocturno (Garcia *et al.*, 2003; Garcia *et al.*, 2006).

3.3.3 Intervenções para controlo de perdas de água

Em países como o Japão e o Reino Unido, onde os sistemas se encontram tradicionalmente sectorizados em ZMC, constitui prática corrente o recurso à gestão de pressões para a minimização de perdas reais. No entanto, em muitos países, como Portugal, o uso desta medida pelas entidades gestoras é ainda marginal. A falta de conhecimento sobre o real efeito da pressão nas perdas reais e sobre o funcionamento das válvulas reguladoras de pressão, inexistência de metodologias que permitam avaliar o seu efeito, o reduzido número de entidades gestoras com ZMC estabilizadas, o receio em comprometer os níveis de serviço, quer em situação normal de funcionamento (*e.g.*, rega, enchimento de reservatórios), quer em situação de emergência (*e.g.*, combate a incêndio) ou reduzir o consumo autorizado facturado têm constituído alguns dos obstáculos. O PNUEA apresenta a redução de pressões como umas das medidas para a promoção do uso eficiente da água em sistemas de distribuição de água (Baptista *et al.*, 2001).

De acordo com Thornton e Lambert (2005), a redução do excesso de pressão e do impacto dos transitórios hidráulicos, para além de reduzir o consumo associado a fugas, permite também reduzir o número de roturas (reportadas e não reportadas), assim como a frequência de intervenções e os respectivos custos de reparação. Estes autores referem ainda que esta medida pode também contribuir para a redução das perdas aparentes, em particular da componente de consumo ilegal e de consumo autorizado não facturado, onde se verificam, por vezes, consumos excessivos e dos erros por submedição de caudais muito reduzidos. Relativamente a este último aspecto, no caso das válvulas que regulam o enchimento de reservatórios domiciliários, a redução de pressão permite melhorar o seu funcionamento, minimizando a ocorrência de caudais muito reduzidos que não são medidos pelos contadores.

Estudos anteriores demonstraram que, em sistemas de distribuição de água, a influência da pressão nas fugas é significativa e em geral superior à relação entre pressão P e caudal Q de acordo com a lei do orifício (*i.e.*, Q varia com $P^{0.5}$).

A equação geral que regula a variação do caudal, Q , através de um orifício é a seguinte:

$$Q = C_d A (2gP)^{0,5} \quad (3.2)$$

em que C_d é o coeficiente de vazão (-), A é a secção do orifício (m^2), g é a aceleração da gravidade (m/s^2) e P é a pressão (m c.a.). Contudo, nalguns tipos de fugas C_d e A podem ser ambos dependentes da pressão. Este é o conceito básico de áreas de vazão fixas e variáveis, FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharges*), apresentado por May (1994).

A equação recomendada para estimar a relação entre a pressão e o consumo devido a fugas é a seguinte:

$$\frac{C_{f1}}{C_{f0}} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_I} \quad (3.3)$$

em que C_{f0} e P_0 são, respectivamente, o consumo devido a fugas (m^3/s) e a pressão antes da variação de pressão (m c.a.), C_{f1} e P_1 são, respectivamente, o consumo devido a fugas (m^3/s) e a pressão após a variação de pressão (m c.a.) e N_I é o expoente (da variação) da pressão (-). O valor de N_I pode variar desde 0,5, para fugas com área fixa, a 1,5 ou mais, para fugas com área variável, onde a área efectiva ($C_d A$) varia com a pressão May (1994). Isto significa que uma redução de 10% na pressão média para um sistema com N_I de 1,5 conduz a uma redução de 15% no consumo devido a fugas.

Em geral fugas de grande dimensão apresentam valores de N_I perto de 0,5. Contudo, pequenas fugas (fugas de base) em juntas e singularidades e grandes fugas em materiais flexíveis (*e.g.*, plástico) apresentam valores de 1,5 ou superior. Deste modo, enquanto em ZMC de pequena dimensão, N_I pode variar entre 0,5 e 2,5, para ZMC de grande dimensão, com uma mistura de vários materiais é tipicamente próximo de 1 (Thornton, 2003). Testes feitos para estimar N_I onde todas as fugas detectáveis foram reparadas ou temporariamente isoladas, ficando os sistemas apenas com as fugas não detectáveis (“fugas de base”), conduziram a valores próximos de 1,5 para este coeficiente (Thornton e Lambert, 2005).

O expoente N_I é geralmente estimado durante o período de consumo mínimo onde o consumo devido a fugas e a pressão média na ZMC são medidos para diferentes reduções de pressão. Na falta de dados experimentais, Thornton e Lambert (2005) apresentam fórmulas empíricas para estimar N_I em função do Índice infra-estrutural de fugas (ILI), da percentagem de condutas em material flexível na rede, do tipo de secção da fuga (*i.e.*, circular ou longitudinal), do número de Reynolds e da temperatura.

A redução de pressão pode influenciar, para além da componente de perdas reais, o consumo de água e a frequência de roturas (Garzon-Contreras e Thornton, 2006; Van Zyl e Clayton, 2006; Lambert, 2010). O consumo localizado a jusante de reservatórios não vai ser influenciado por variações de pressão na rede.

Para avaliar o efeito da variação de pressão no consumo, Lambert (2010) sugere que se analise separadamente o consumo devido a usos interiores do consumo devido a exteriores, uma vez que o expoente da pressão pode ser mais reduzido no caso dos usos interiores do que no caso dos usos exteriores.

Várias componentes do consumo residencial são independentes da pressão, como sejam os usos relacionados com máquinas de lavar roupa e loiça. Para redes domiciliárias cujo abastecimento depende directamente da rede, usos de água em duchas e torneiras podem ser dependentes da pressão (Lambert, 2010). Adoptando o mesmo tipo de lei (*cf.* equação (3.3)) e considerando o expoente N_2 (*i.e.*, expoente da pressão caso de se pretender modelar a relação entre o consumo autorizado e a pressão), Bartlet (2004) obteve, para uma residência de estudantes em Joanesburgo, que a pressão influencia o consumo de acordo com um expoente N_2 de 0,2. No caso do uso de água para rega, obtiveram-se valores N_2 próximos do expoente da pressão para descargas em orifícios ($N_2=0,5$) (Van Zyl e Clayton, 2006). Lambert (2010) refere que, a partir de dados limitados de testes realizados na Austrália, para usos domésticos exteriores de aspersores e mangueiras $N_2=0,5$, de mangueiras flexíveis com múltiplos orifícios $N_2=0,75$ e de piscinas $N_2=0,0$, sugerindo como valor médio para usos exteriores $N_2=0,45$ e para usos interiores $N_2=0,04$ ($N_2=0,0$ no caso dos usos interiores dependerem de um reservatório domiciliário).

No caso da frequência de roturas, estudos existentes indicam que esta variável é significativamente influenciada pela redução de pressão, que contribui para uma redução significativa desta variável, assim como dos custos de reparação (Thornton e Lambert, 2005; Trow, 2010).

Previamente à implementação de um programa de gestão de pressões deve ser feita uma avaliação prévia em termos dos seguintes aspectos:

- identificação das potenciais zonas e de pontos de instalação de equipamentos de redução de pressão;
- análise de consumos para identificar os diferentes tipos de consumidores e quais as situações de consumo mais condicionantes para a redução de pressão;

- medições de caudal e de pressão (esta última na entrada da ZMC, no ponto de cota média e nos nós críticos da rede);
- modelação hidráulica das ZMC e do efeito de diferentes tipos de válvulas reguladores de pressão
- selecção de tipo de válvulas mais adequado;
- análise custo-benefício (esta análise deve incluir também os custos de monitorização e de manutenção do sistema de medição e controlo).

Os métodos mais usuais para redução de pressão são:

- zonamento das redes de distribuição;
- controlo da altura de elevação das bombas, utilizando bombas com velocidade variável;
- utilização de válvulas de regulação de pressão (*e.g.*, pressão de saída fixa, pressão de saída modelada pelo tempo, pressão de saída modelada pelo caudal, pressão de saída modelada por pressão num ponto crítico da rede).

3.4 Síntese e conclusões

No presente capítulo fez-se o levantamento bibliográfico no domínio da análise do consumo de água, que incidiu sobre os métodos utilizados nas diferentes fases da análise e sobre os métodos para a avaliação e controlo de perdas de água.

Relativamente aos métodos para análise do consumo de água, reviu-se o estado dos conhecimentos respeitantes aos métodos para processamento de dados de consumo, em particular para a detecção de dados anómalos, para a modelação e para a caracterização e previsão do consumo de água. A modelação de dados de consumo foi subdividida segundo o nível a que é feita a medição: agregado (*e.g.*, zona de medição e controlo) ou individual. Na caracterização do consumo, fez-se o levantamento dos factores que influenciam o consumo doméstico, os quais se subdividiram nas seguintes categorias: sócio-demográficos, climáticos, relativos à medição, facturação e preço da água, regulamentares e técnicos e psico-sociais.

No que se refere ao processamento de dados de consumo e face ao elevado volume de dados gerado pelos sistemas de telemetria, é importante sistematizar procedimentos que permitam uma análise consistente dos dados. Neste sentido, é importante explorar melhor a

aplicabilidade dos métodos de processamento de dados na área do *data-mining*, nomeadamente para a detecção de dados anómalos e para a redução de dados.

Relativamente à modelação do consumo de água, é importante explorar e adaptar os métodos existentes para análise do cliente individual para prever o consumo em conjuntos mais agregados de clientes do mesmo tipo. Esta necessidade é devida ao facto de não ser viável dispor de medições pormenorizadas em todos os pontos de consumo, pelo que a modelação pode fornecer estimativas do consumo médio e do comportamento médio num dado ponto da rede, a partir de dados de consumo em clientes individuais.

O consumo (doméstico) pode depender de um conjunto alargado de factores, como sejam hábitos de consumo, características climáticas e da rede, que podem variar de zona para zona e consoante a época do ano. Apesar de se reconhecer que as dependências encontradas para estudos concretos não são directamente extrapoláveis, na prática têm vindo a ser aplicados em Portugal resultados de estudos realizados noutros países, dada a inexistência de estudos equivalentes que melhor caracterizem a realidade portuguesa. Características como o tipo de habitações, os hábitos de consumo, o clima e a existência ou não de reservatórios domiciliários justificam por si só que o consumo de água seja previsivelmente diferente. Os estudos existentes incidem essencialmente sobre os factores que influenciam o consumo doméstico, pelo que é importante avaliar também os factores que influenciam outras componentes do consumo urbano, como comércio-indústria, colectivo e público.

No que se refere aos métodos de previsão do consumo, estes incorporam ainda pouca informação relativa aos factores que influenciam o consumo de águas, dificultando a extrapolação do consumo para zonas sem medição com características semelhantes. Outro aspecto importante prende-se também com a reduzida utilização efectiva de modelos de previsão pelas entidades gestoras. A complexidade de algumas abordagens existentes, a capacidade de previsão dos modelos existentes e a necessidade de dispor de um histórico de dados de consumo fiável são alguns dos factores condicionantes.

Na análise e controlo de perdas de água, apesar de já existir um conjunto de abordagens consolidadas, verifica-se que têm por base um conjunto de parâmetros empíricos, (*e.g.*, expoente da pressão da lei de variação das perdas com a pressão, consumo doméstico e não doméstico nocturno) cujas estimativas assentam em leis empíricas que não são extrapoláveis. Estes parâmetros dependem de factores característicos da rede, das

características sócio-demográficas dos clientes e variam muitas vezes entre entidades gestoras. Verifica-se, assim, que com o potencial dos sistemas de telemetria, é necessário realizar estudos de consumo em zonas de rede que permitam estimar *in situ* o valor destes parâmetros.

Assim, o presente trabalho tem como objectivo propor uma metodologia de análise do consumo de água, para sistematizar um conjunto de procedimentos que permita extrair conhecimento útil para a gestão eficiente dos sistemas de distribuição de água. Esta tem por base as etapas da análise do consumo descritas na revisão bibliográfica: o processamento de dados de consumo, a modelação do consumo e a caracterização e previsão do consumo.

4 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA

4.1 Nota introdutória

A utilização crescente de sistemas de telemetria para monitorização do consumo, em sistemas de distribuição de água, pode conduzir à geração de elevado volume de dados associados a diferentes níveis de medição (*e.g.*, cliente individual, zona de rede), obtidos a partir da medição com diversos tipos de equipamentos (*e.g.*, contadores, medidores de caudal) e adquiridos com diferentes parametrizações (*e.g.*, passo de tempo, resolução, valor instantâneo ou médio). Por outro lado, as necessidades de dados de consumo e os métodos de análise podem ser distintos consoante o uso a dar à informação (*e.g.*, identificação de componentes do consumo domiciliário, estimativa de perdas reais numa ZMC). Tipicamente, a utilização da informação sobre consumo de água para uma melhor gestão dos sistemas de distribuição de água, por exemplo, para o planeamento de expansões de rede ou para a análise e controlo de perdas de água, é mais exigente em termos de dados do que o registo de consumo para efeitos de facturação. Enquanto esta última se baseia em leituras com passo de tempo mensal, as primeiras requerem dados com passo de tempo da ordem dos minutos.

A metodologia geral para análise do consumo de água é composta por quatro módulos de aplicação sequencial que envolvem:

- i) o planeamento e implementação da monitorização do consumo de água;
- ii) o processamento de dados de consumo de água;
- iii) a produção de informação de caracterização do consumo de água;
- iv) a classificação e previsão do consumo de água.

A metodologia encontra-se orientada em função dos objectivos de análise (*e.g.*, tipificação de consumos, análise de perdas) e do nível de medição de consumo (*i.e.*, individual, arruamento/ramal, pequena área de rede, ZMC). Pode ser aplicada tanto nos casos em que já existe um histórico de dados de consumo telemétricos, como nos casos em que é ainda necessário definir as áreas para monitorização dos dados de consumo, especificar o sistema de telemetria e recolher os dados.

O estabelecimento da metodologia envolveu o desenvolvimento de procedimentos de cálculo inovadores e a aplicação de técnicas utilizadas no domínio da prospecção de dados

(*data mining*), como sejam a análise de *clusters*, a análise em componentes principais e as árvores de decisão (Maimon e Rokach, 2005; Han e Kamber, 2006).

Esta metodologia, de âmbito geral, pode ser aplicada a dados de natureza semelhante provenientes de outras infra-estruturas (*e.g.*, águas residuais, electricidade e gás), sendo expectável que também aí apresente o mesmo potencial para ganhos de conhecimento significativos.

A metodologia proposta descreve-se na sua generalidade em 4.2. Cada um dos módulos em que foi estruturada é descrito com pormenor, segundo as várias etapas que os compõem, em 4.3. Apresenta-se uma síntese do capítulo em 4.4. Os métodos estatísticos utilizados no âmbito da metodologia proposta e referidos ao longo do capítulo são descritos no Anexo 1.

4.2 Metodologia geral

A metodologia geral proposta é aplicada neste trabalho ao consumo doméstico, principal componente do consumo urbano. No entanto, pode ser utilizada para obter um melhor conhecimento sobre outras componentes do consumo urbano, como sejam o consumo comercial, industrial, o consumo público e as perdas de água.

A metodologia encontra-se subdividida em quatro módulos que devem ser aplicados de forma sequencial de acordo com a Figura 4.1.

O Módulo 1 garante que os dados de consumo, obtidos a partir de sistemas de telemetria, permitem gerar informação fiável e adequada às aplicações estabelecidas pela entidade gestora.

O Módulo 2 é dedicado ao processamento de dados de consumo provenientes de múltiplas origens e, muitas vezes heterogéneas, preparando os dados para as fases de produção de informação de caracterização, classificação e previsão.

O Módulo 3 destina-se à análise e produção de informação para caracterização do consumo de água, tendo por base os dados de consumo obtidos no Módulo 2 em diferentes níveis de medição (*i.e.*, cliente individual, arruamento ou ramal, pequenas áreas de rede, ZMC).

O Módulo 4 tem como objectivo a previsão do consumo de água para zonas que não disponham de medição do consumo, a partir de zonas com características semelhantes (*i.e.*, previsão no domínio do espaço), e a previsão do consumo para um determinado horizonte temporal (*i.e.*, previsão no domínio do tempo). No âmbito desta tese explorou-se apenas a componente de previsão no domínio do espaço. Esta previsão é importante uma vez que,

apesar da crescente utilização dos sistemas de telemetria, não é possível dispor de leituras de consumo em todos os pontos de uma rede (em simultâneo e com suficiente pormenor), sendo necessário prever os consumos de alguns pontos com base na leitura de outros.

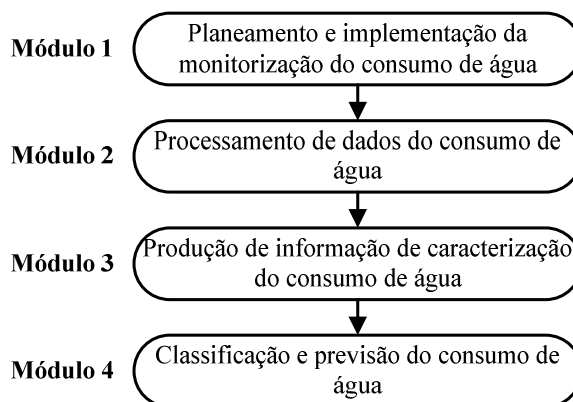


Figura 4.1 – Metodologia geral da análise de consumo de água

Com esta metodologia, os dados de consumo, provenientes dos vários níveis de medição e com características diferentes, podem ser combinados para uma análise conjunta.

Cada módulo encontra-se estruturado num conjunto de etapas, tal como se apresenta na Figura 4.2. Uma vez concluído cada módulo, é obtido um conjunto de resultados (dados de *output*) que podem ser utilizados como dados de entrada no módulo seguinte (dados de *input*) ou constituir resultados para o cumprimento de objectivos específicos, terminando a análise no respectivo módulo.

A metodologia proposta pode ser utilizada para produzir novo conhecimento sobre o consumo de água (*e.g.*, construção de novos modelos de previsão e de classificação) ou para atingir objectivos específicos (*e.g.*, cálculo de variáveis de consumo e de padrões de consumo), através da sua aplicação parcial.

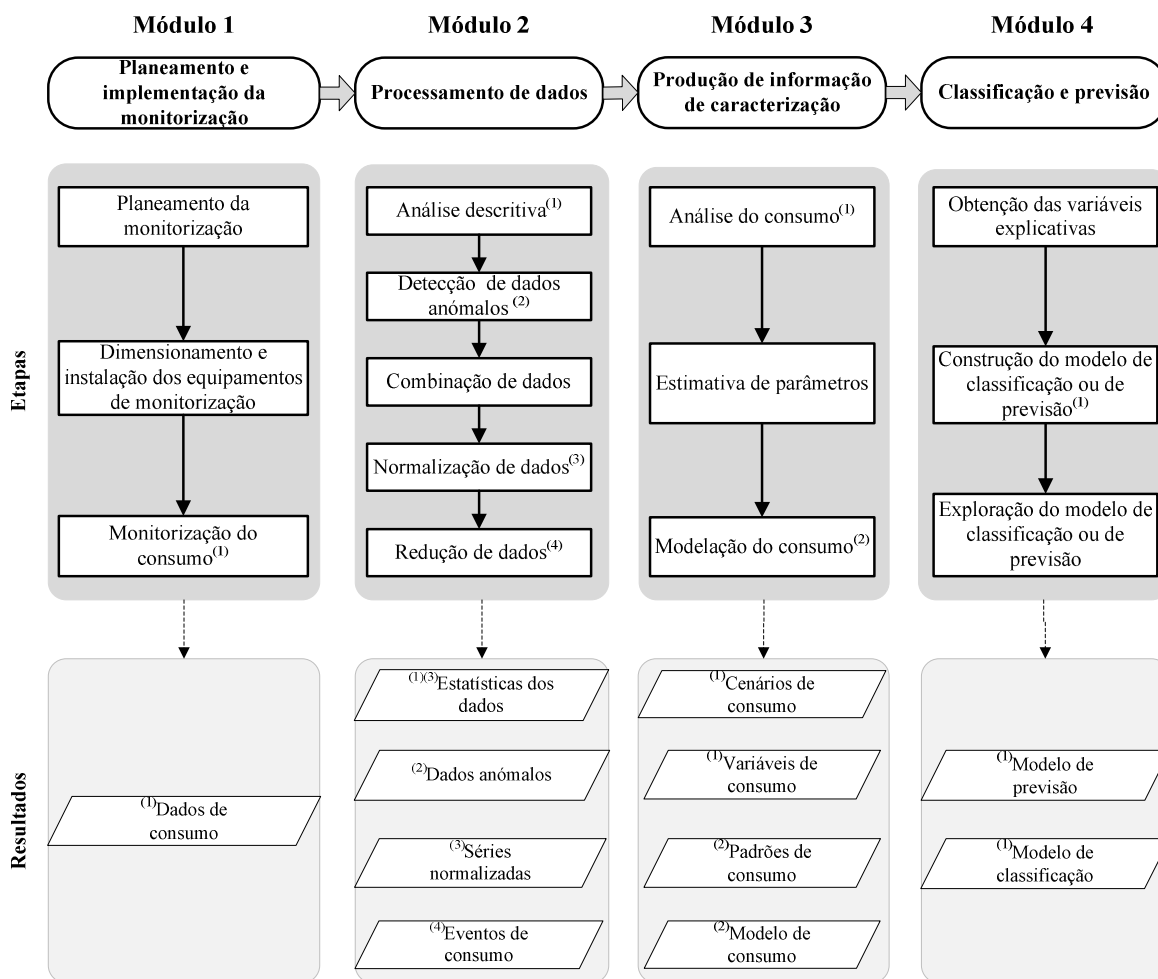


Figura 4.2 – Etapas de cada módulo da metodologia geral da análise de consumos de água

A Figura 4.3 pormenoriza as três etapas que integram o **Módulo 1**. Na primeira etapa de planeamento devem ser estabelecidos os objectivos da análise do consumo de água, assim como o âmbito em que esta é efectuada, aqui designado pelo conjunto de dimensões de análise (*e.g.*, zona de análise, componente de consumo a analisar, histórico de dados). A definição prévia dos objectivos condiciona a selecção das zonas de análise, as necessidades de monitorização e o processo de análise de consumo de água. A selecção das zonas de análise (que podem envolver a combinação de vários níveis de medição) deve atender a um conjunto de critérios (*e.g.*, características dos clientes e da rede, topografia, consumo facturado) que garantam que estas são adequadas aos objectivos propostos.

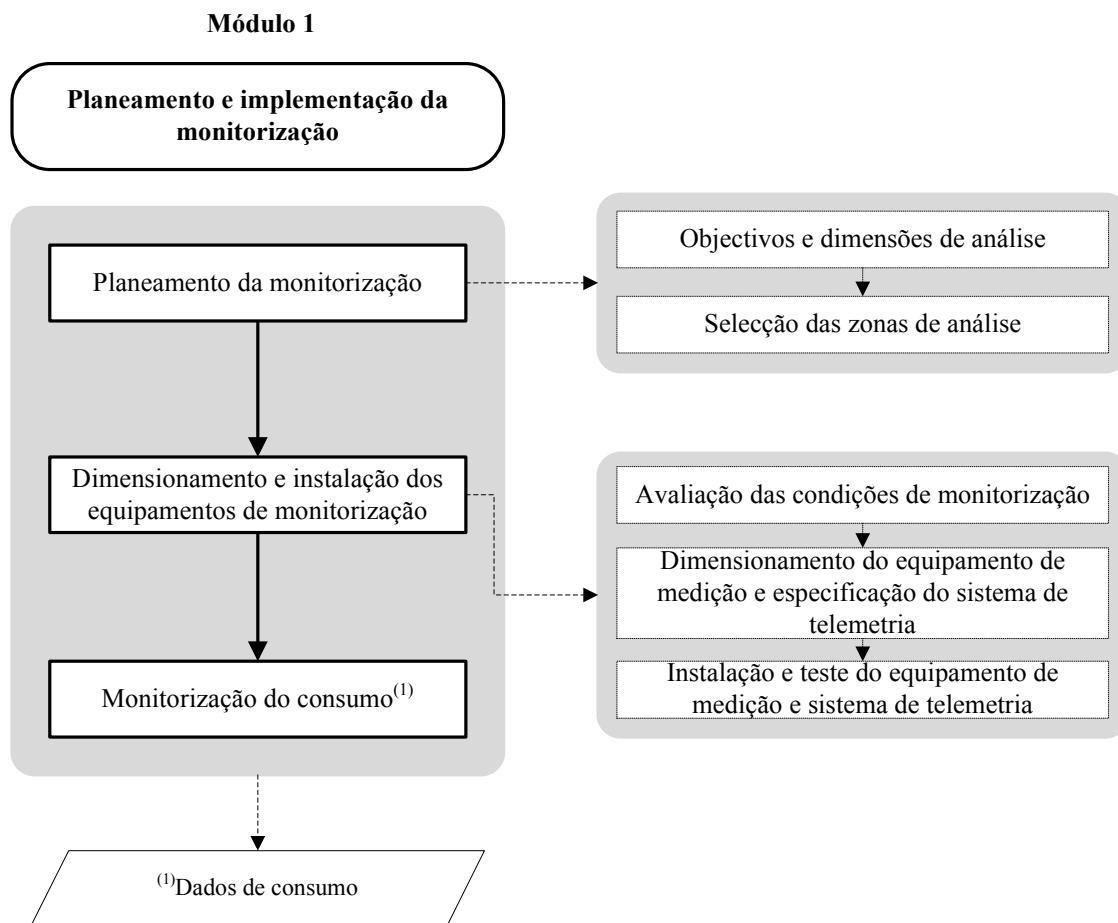


Figura 4.3 – Etapas do Módulo 1

A segunda etapa do Módulo 1, dedicada ao dimensionamento e instalação dos equipamentos de monitorização (*i.e.*, medidor de caudal ou contador e sistema de telemetria), tem como objectivo garantir que estes permitem recolher dados de consumo de água apropriados aos objectivos da análise. Muitas vezes desconhece-se a gama de valores de consumo que ocorre num determinado ponto de medição e não se dispõe de valores de referência noutros pontos de medição com características semelhantes. Adicionalmente, a monitorização do consumo de água, através de sistemas de telemetria, para usos de engenharia é em geral mais exigente, em termos do próprio equipamento e da recolha e processamento de dados, e menos usual do que para efeitos de facturação. Deste modo, a realização de testes prévios (*i.e.*, campanhas preliminares), para avaliação das condições de monitorização, permite apoiar na definição da melhor solução para monitorização, quer em termos do contador ou medidor de caudal, quer em termos do sistema de telemetria. No caso de já existirem dados de consumo, a etapa de dimensionamento e instalação de equipamento de monitorização tem como finalidade verificar se as características dos equipamentos existentes cumprem os requisitos necessários aos objectivos da análise ou se

é necessário efectuar alterações (*e.g.*, substituição de equipamentos, configuração de parâmetros de leitura)

A terceira e última etapa do Módulo 1 consiste na exploração do sistema de monitorização implementado. A monitorização do consumo pode ser permanente ou temporária, através da realização de campanhas com duração variável. A monitorização temporária pode ser utilizada para medir o consumo em áreas de rede, onde não é possível ou necessário fazer a medição permanente; para testar o funcionamento de medidores de caudal e de sistemas de telemetria ou ainda para testar o efeito de certos parâmetros no consumo (*e.g.*, pressão), criando-se, neste caso, cenários de funcionamento específicos durante a(s) campanha(s). O Módulo 1 permite assim obter o histórico de consumo para o(s) nível (eis) de medição pretendidos. Nos casos em que já existe um histórico de dados, pode utilizar-se os procedimentos deste módulo para fazer uma avaliação crítica do sistema de monitorização do consumo de água (*i.e.*, adequabilidade das zonas de análise, adequabilidade das características dos equipamentos de monitorização e da forma como o sistema é explorado para cumprimentos dos objectivos propostos).

No **Módulo 2** pretende-se processar elevados volumes de dados de consumo de água de forma a garantir que estes sejam fiáveis e utilizáveis como dados de entrada nos módulos seguintes (Figura 4.4). Os dados de consumo podem estar incompletos (*i.e.*, apresentarem períodos com falhas de dados); podem conter dados anómalos, devidos a problemas no processo de medição ou a situações de funcionamento anormal da rede; ou podem ainda apresentar incoerências (*e.g.*, o código do contador ou cliente a que se refere a medição de consumo pode estar errado). Este módulo de análise permite também uniformizar os dados de consumo telemedido provenientes de múltiplas origens que apresentam características diversas (*e.g.*, dados de consumo em ZMC obtidos a partir de medidores de caudal electromagnéticos, com passo de tempo de 10 min. e registo do valor instantâneo, e dados de consumo de grandes consumidores obtidos a partir de contadores *woltman* com passo de tempo de 15 min. e registo do valor acumulado).

O processamento de elevados volumes de dados constitui também uma das fases preliminares das abordagens consagradas de *data mining* (Maimon e Rokach, 2005; Han e Kamber, 2006) que incorporam um conjunto de métodos de análise que têm sido explorados em áreas muito diversas como a análise financeira, análise informática, estudo de marketing, pesquisa de redes sociais e *Web*, entre outros, com o objectivo de gerar informação e conhecimento. No *data mining*, o processamento de dados envolve tarefas

relacionadas com a análise descritiva dos dados (*i.e.*, análise das características gerais dos dados), a eliminação de dados anómalos, a combinação de dados provenientes de múltiplas origens, a normalização de dados (*i.e.*, os dados são transformados para variarem numa dada escala) e a redução de dados (*i.e.*, compactação para permitir poupar espaço de armazenamento, mas mantendo a integridade dos dados originais nos aspectos que são relevantes para as utilizações previstas), designando-se estas três últimas etapas por transformação de dados (Maimon e Rokach, 2005; Han e Kamber, 2006). As etapas do Módulo 2 encontram-se estruturadas de acordo com estes conceitos (Figura 4.4).

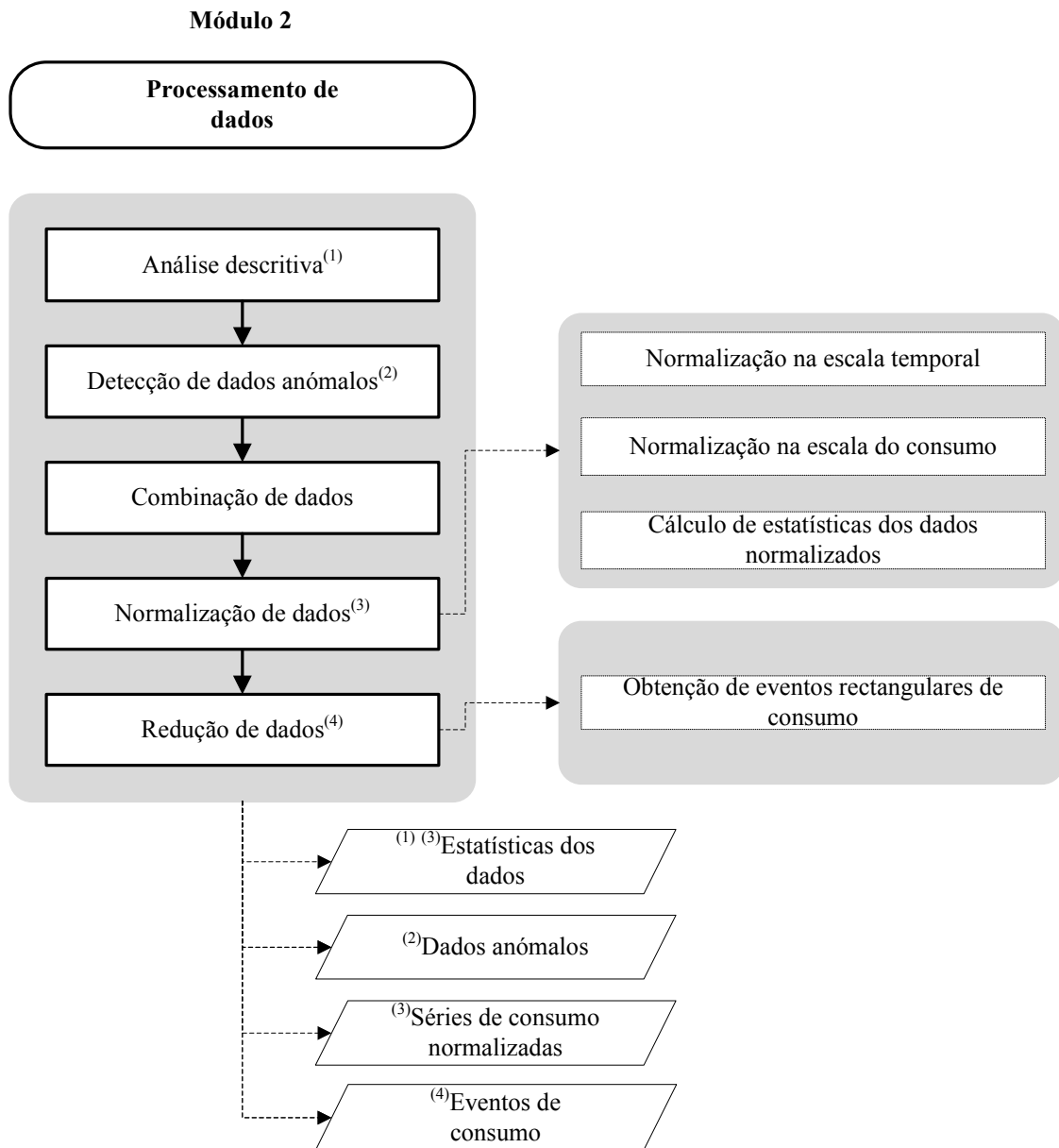


Figura 4.4 – Etapas do Módulo 2

A etapa de análise descritiva tem como objectivo identificar as principais propriedades dos dados e realçar potenciais dados anómalos ou menos fiáveis. A análise dos histogramas permite avaliar o volume de água consumido para cada gama de caudais. A análise conjunta destes histogramas com a curva de erros do contador ou medidor de caudal permite avaliar a exactidão destes equipamentos, assim como identificar eventuais problemas de subdimensionamento ou sobredimensionamento dos mesmos (Arregui, 1998). É também nesta etapa que se deve procurar detectar e quantificar eventuais retornos de caudal ou problemas no sistema de telemetria. Esta etapa tem também como objectivo produzir um conjunto de estatísticas relativas aos dados de consumo originais (Figura 4.4), pois as etapas seguintes (*i.e.*, combinação, normalização e redução de dados) acarretam sempre algumas perdas de informação face às séries originais. É importante guardar os dados mais relevantes sobre as séries originais, por exemplo, valores máximos (importante para o dimensionamento da rede) e mínimos (importante para a estimativas de perdas reais através da análise de consumos mínimos).

A etapa de detecção de dados anómalos tem como objectivo estabelecer e aplicar métodos para detectar dados inconsistentes relativamente às restantes observações, classificá-los, eliminá-los da série de consumos e armazená-los para tratamento posterior (Figura 4.4). A análise específica destes dados anómalos para prospecção de conhecimento não foi tratada no âmbito deste estudo.

A etapa de combinação de dados tem como objectivo compatibilizar dados de consumo de várias origens (*e.g.*, dedução do consumo dos grandes consumidores ao consumo total entrado numa ZMC) para análise posterior.

A etapa de normalização de dados envolve operações que visam uniformizar os dados na escala temporal e na escala do consumo para que os resultados da análise possam ser comparados entre diferentes zonas de monitorização. A normalização na escala temporal é necessária nos casos em que o passo de tempo é diferente do requerido para análise, podendo envolver também o preenchimento de falhas (*i.e.*, valores em falta). A normalização na escala do consumo consiste em adimensionalizar o consumo instantâneo, dividindo-o pelo respectivo consumo médio diário, com o objectivo de separar o comportamento diário do efeito devido à escala do respectivo consumo médio. A normalização procura ainda eliminar o efeito da dimensão de cada zona de medição. As séries de consumo normalizadas são armazenadas e utilizadas como dados de entrada no Módulo 3 (Figura 4.4). Inclui-se, também, nesta etapa o cálculo de estatísticas de consumo

normalizado que serão também utilizadas no Módulo 3 (*e.g.*, as estatísticas do consumo médio e o desvio-padrão horário, para cada mês do ano, são utilizadas para identificação de cenários sazonais). A normalização de dados é particularmente recomendada para o processamento de dados de consumo em ZMC em que, para a produção de padrões de consumo, trabalhos anteriores recomendam que o passo de tempo seja de 15 min. (Coelho, 1988; Coelho *et al.*, 2006).

A etapa de redução de dados tem como objectivo compactar o volume de dados inicial, para facilitar o armazenamento, minimizando a perda de informação referente aos dados originais. A redução de dados pode ser feita através da aplicação de técnicas estatísticas de análise exploratória de dados, como sejam a análise em componentes principais ou o desenvolvimento de técnicas de processamento específicas. No caso da análise em componentes principais, um conjunto inicial de atributos é substituído por um conjunto mais agregado de novos atributos independentes entre si (Rencher, 2002). Como exemplo de técnica de processamento específica, refere-se o caso da medição de consumo ao nível do cliente individual, em que a decomposição em eventos rectangulares, caracterizados pela taxa de chegada, duração e intensidade permite compactar significativamente os dados iniciais, caracterizados a este nível de medição por muito instantes com consumo nulo.

A Figura 4.5 descreve as etapas do **Módulo 3** relativo à produção de informação de caracterização do consumo de água. Pretende-se neste módulo caracterizar o consumo de água, através do estabelecimento de cenários e da análise de variáveis de consumo, assim como obter modelos de consumo, com base em distribuições teóricas que descrevam o comportamento não determinístico do consumo.

Na etapa de análise do consumo de água, identificam-se os tipos de comportamentos típicos ao longo do dia, da semana ou da época do ano, designados neste trabalho por cenários de consumo. A análise conjunta de dados de consumo resultantes de vários cenários de consumo pode dificultar a identificação da distribuição que melhor descreve um dado comportamento, pelo que os vários cenários devem ser analisados de forma separada. Com a identificação de cenários de consumo é também possível melhorar operação diária da rede (*e.g.*, gestão de volumes de água armazenados e de energia de bombeamento). O cálculo e análise de variáveis de consumo permite tipificar o consumo e fornecer valores de referência (*e.g.*, factores de ponta, consumo mínimo médio, consumo médio diário para dia útil) importantes para usos como o planeamento, o dimensionamento de redes e a análise de perdas de água.

Na etapa de estimativa de parâmetros, a identificação da distribuição estatística que melhor descreve uma dada característica do consumo, como por exemplo a duração dos eventos de consumo, requer a estimativa dos parâmetros dessa distribuição estatística e a realização de testes para avaliar a qualidade do ajustamento.

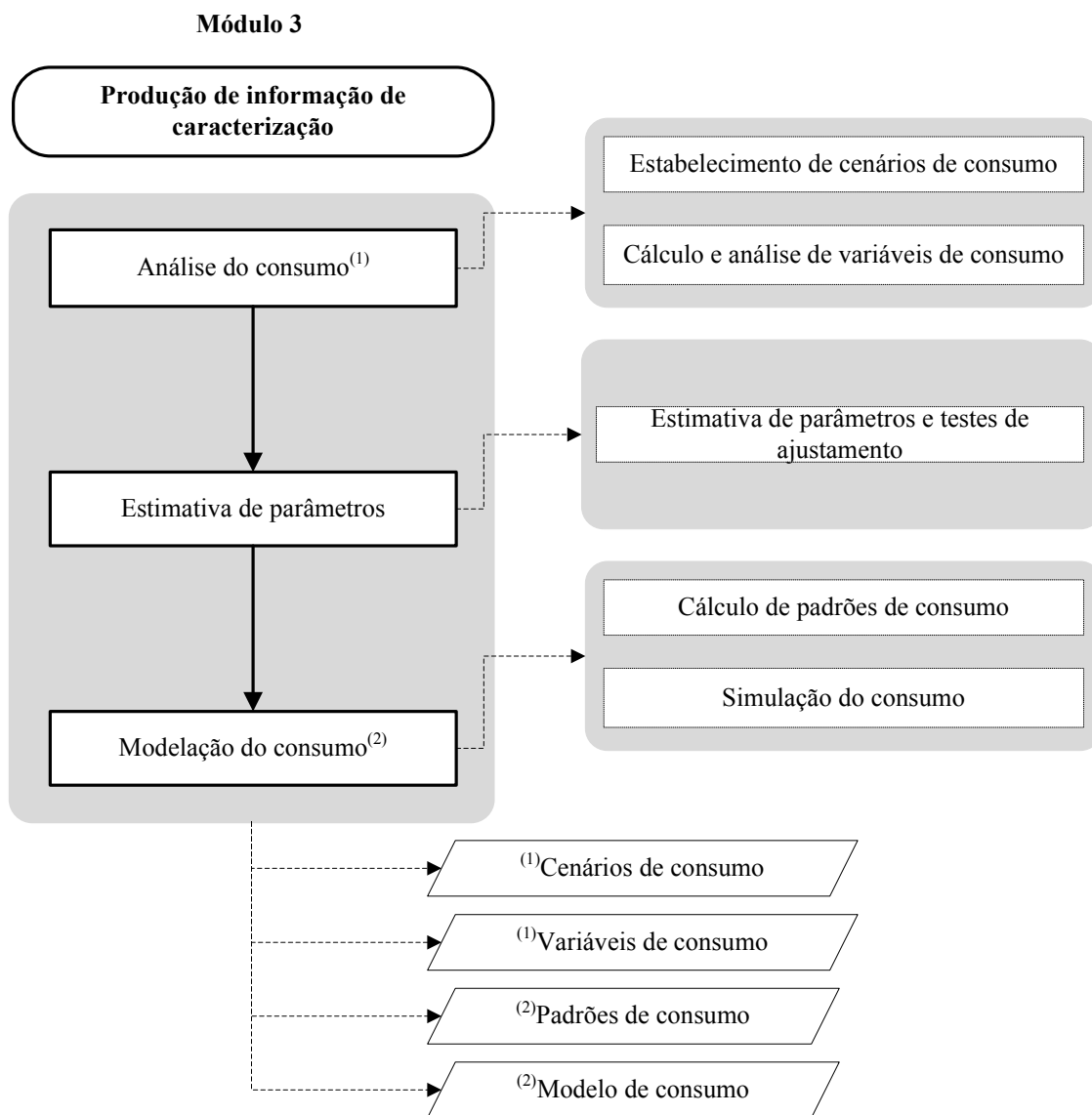


Figura 4.5 – Etapas do Módulo 3

A etapa de modelação do consumo tem como objectivo caracterizar de modo sintético o consumo, através do cálculo de padrões de consumo e da construção de modelos para simulação do consumo de água. Os padrões de consumo permitem tipificar o comportamento médio diário para um dado cenário de consumo (Coelho, 1988; Coelho *et al.*, 2006). Estes padrões são particularmente úteis para ganho de conhecimento sobre o comportamento do consumo em ZMC, em pequenas áreas de rede e de grandes consumidores. Os padrões de consumo, associados a intervalos de predição (utilizados para

prever a distribuição de uma dada estatística de consumo como a média), são particularmente úteis para a operação diária da rede (*e.g.*, gestão de volumes de água, gestão de energia de bombeamento, análise de perdas reais). A simulação do consumo de água (de natureza não determinística) permite inferir sobre o seu valor num determinado ponto da rede. Por exemplo, a avaliação da qualidade da água em troços terminais de rede pode beneficiar bastante de uma melhor estimativa do comportamento médio diário fornecido a partir de modelos de simulação, pois, em geral, assume-se que este é idêntico nos vários pontos de uma rede. Mediante condições particulares, um modelo de simulação do consumo pode ser utilizado para extrapolar o consumo para níveis de medição que envolvam um maior número de clientes do que aquele que foi usado para a construção do modelo. Por exemplo, uma vez obtido um modelo que descreve o consumo doméstico durante o período de consumo mínimo diário, ao nível de um arruamento, pode-se estimar o consumo nesse período a um nível mais agregado, como seja a ZMC. A simulação do consumo é uma ferramenta bastante importante para inferência, uma vez que não é viável dispor de sistemas de telemetria em todos os pontos de um sistema de distribuição. A simulação do consumo envolve a construção de um modelo, que tem por base as distribuições estatísticas ajustadas na etapa de estimativa de parâmetros, a simulação propriamente dita e a validação do modelo onde se comparam os resultados da simulação com dados reais.

A Figura 4.6 descreve as etapas do **Módulo 4**, dedicado à classificação e previsão do consumo de água. A primeira etapa relativa à obtenção de variáveis explicativas tem como objectivo obter um conjunto-síntese de variáveis características da rede, dos clientes e de consumo facturado e de sócio-demografia da população abastecida, que serão relacionadas com o consumo na etapa de construção do modelo de classificação ou de previsão. Esta etapa envolve a recolha de dados tipicamente dispersos e com características muito diversas, a sua combinação para que este tipo de dados se refira à mesma unidade de análise e a redução de variáveis. Esta última justifica-se pelo facto do número de variáveis construídas poder ser elevado e de poder haver redundância entre algumas delas (*i.e.*, as variáveis serem dependentes entre si). A aplicação de técnicas de análise exploratória de dados, como a análise em componentes principais, permite obter um conjunto mais reduzido de variáveis, independentes entre si, e que resultam da combinação linear das variáveis inicialmente construídas.

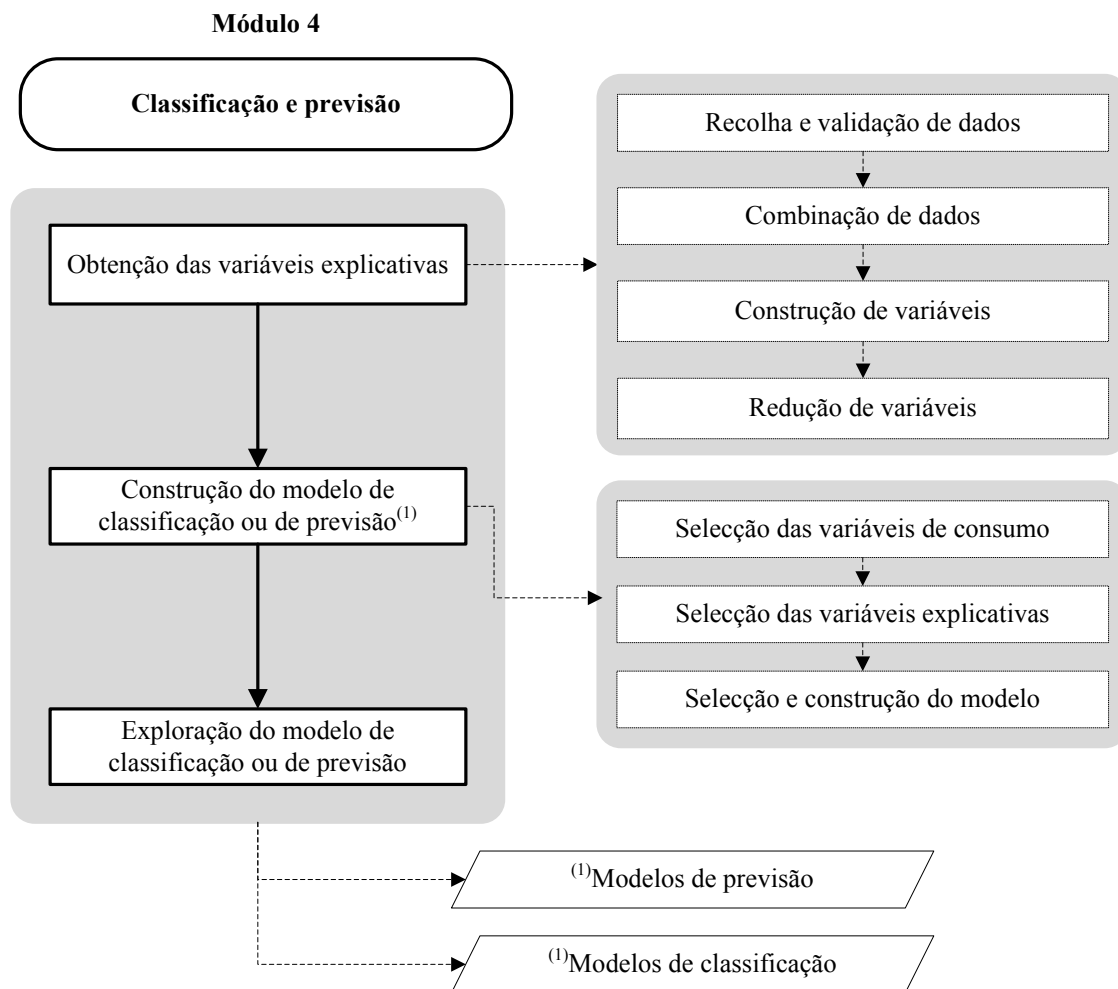


Figura 4.6 – Etapas do módulo 4

A etapa de construção do modelo de classificação ou de previsão tem como objectivo obter um modelo que permita prever as características do consumo (*e.g.*, padrão de consumo, factor de ponta, consumo mínimo médio) para zonas sem telemedição, a partir de dados de consumo de um conjunto de zonas do mesmo tipo (*i.e.*, de igual dimensão e com características semelhantes em termos do tipo de clientes, das características da rede e do funcionamento hidráulico). Os modelos de previsão podem ser também utilizados para prever o consumo em zonas de maior dimensão, mas com o mesmo tipo de clientes, de rede e de funcionamento hidráulico (*e.g.*, previsão do consumo doméstico no período de consumo mínimo numa ZMC a partir de dados de consumo telemedido ao nível do arruamento).

De acordo com conceitos estabelecidos no *data mining* (Han e Kamber, 2006; Tan *et al.*, 2006), e que foram adoptados neste trabalho, os modelos de classificação são particularmente adequados quando se pretende prever variáveis categorizadas (*e.g.*, tipo de

padrão de consumo) e os modelos de previsão quando se pretende prever variáveis quantitativas (*e.g.*, consumo médio, factor de ponta). Previamente à selecção e construção do modelo de classificação ou de previsão devem ser definidas as variáveis de consumo (*i.e.*, variáveis dependentes) e seleccionadas as variáveis explicativas (*i.e.*, variáveis independentes ou predictoras). Para a identificação das variáveis que influenciam o consumo pode recorrer-se a múltiplas técnicas, como a análise de variância, a análise de *clusters* ou as árvores de decisão. Como exemplos de modelos de modelos de classificação, aplicáveis à análise do consumo de água, refira-se as árvores de decisão e as redes neuronais, e de modelos de previsão refere-se a regressão linear simples ou múltipla e a regressão não linear.

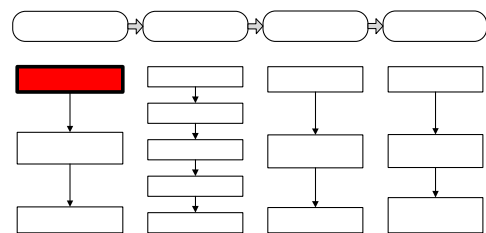
A etapa de exploração do modelo de classificação ou de previsão tem como objectivo utilizar os modelos, obtidos a partir de um conjunto de dados conhecidos, para prever o consumo em novas zonas sem telemedição, assim como avaliar a sua adequabilidade para previsão. Deste módulo resultam, assim, modelos de classificação ou de previsão validados.

4.3 Descrição da metodologia

4.3.1 Planeamento e implementação da monitorização do consumo de água

4.3.1.1 Planeamento da monitorização

A etapa de planeamento da monitorização do Módulo 1 envolve a realização de duas tarefas – o estabelecimento dos objectivos e das dimensões de análise do consumo de água e a selecção das zonas de análise – que se passam a descrever nos parágrafos seguintes.



Objectivos de análise

Para a aplicação da metodologia geral apresentada em 4.2 é necessário estabelecer em primeiro lugar os objectivos da análise. Apresenta-se uma síntese destes objectivos, assim como o nível de agregação de clientes a que geralmente é feita cada análise no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Objectivos gerais da análise do consumo de água

Objectivos	Nível de análise				
	Sistema	ZMC	Pequenas áreas de rede	Arruamento ou ramal	Cliente individual
• Planeamento de expansões de rede	x				
• Reabilitação da rede		x			
• Dimensionamento da rede pública e de órgãos acessórios		x			
• Estabelecimento de ZMC		x			
• Verificação do equipamento de medição de caudal	x	x	x	x	x
• Gestão de volumes armazenados	x	x			
• Gestão de energia	x	x			
• Avaliação de perdas na rede pública		x	x		
• Avaliação de perdas reais na rede pública		x	x		
• Previsão do consumo doméstico nocturno em zonas de rede				x	
• Definição do período de consumo mínimo para realização de testes de rede		x	x		
• Alertas sobre consumos atípicos na rede pública (e.g., roturas)		x	x		
• Alertas sobre consumos atípicos em grandes consumidores					x
• Efeito da redução de pressão nas perdas reais e no consumo		x	x		
• Efeito da redução de pressão no consumo		x	x		
• Caracterização de componentes do consumo domiciliário					x

Por exemplo, o planeamento de expansões de rede requer normalmente uma análise do consumo de água ao nível do sistema e pode beneficiar da obtenção de modelos de previsão ou de classificação, a partir da metodologia proposta, para prever o consumo em novas áreas de rede.

Relativamente ao tipo de utilização da metodologia, a produção de novo conhecimento para previsão do consumo obriga a uma utilização intensiva dos vários módulos da metodologia. Para este tipo de utilização, onde se pretende consolidar os modelos de previsão ou de classificação obtidos neste trabalho ou obter novos modelos, é em geral necessário dispor de dados de consumo e de contexto (e.g., dados de infra-estrutura, sócio-demográficos) relativos a um conjunto de zonas de análise que desejavelmente deve ser o mais alargado, para que o modelo seja o mais abrangente possível. Assim, esta utilização pode ser também a mais pesada do ponto de vista da necessidade de dados. A utilização parcial da metodologia para usos como a detecção de dados anómalos, obtenção do consumo total autorizado numa dada zona, cálculo de padrões de consumo e cálculo de variáveis de consumo ou a simulação do consumo envolve essencialmente a aplicação dos Módulos 1 a 3 a uma única zona de análise ou a múltiplas zonas de análise.

Dimensões de análise

Para além do objectivo, é também necessário estabelecer o âmbito de análise, de acordo com várias dimensões – a componente do consumo, a dimensão geográfica e a dimensão temporal – tal como se esquematiza no Quadro 4.2.

No que se refere à componente de consumo a analisar, pode ser objectivo analisar o consumo total (inclui o consumo autorizado e as perdas de água) ou cada uma das componentes de forma isolada. A sua definição é importante para o levantamento dos locais onde é necessário instalar sistemas de telemetria, para o dimensionamento dos equipamentos de medição, caso não existam ainda ou não sejam compatíveis com sistemas telemetria, assim como para a especificação das características destes sistemas (*e.g.*, tipos de sistemas de comunicação, capacidade do *datalogger*). Exemplificando, se o objectivo for a estimativa de perdas de água (*i.e.*, reais e aparentes) numa dada zona, pode ser necessária a telemedição simultânea do consumo total entrado e do consumo individual de cada cliente.

Quadro 4.2 – Dimensões da análise do consumo de água

<i>Dimensão de análise</i>	<i>Aspectos a atender</i>
Componente de consumo	<input type="checkbox"/> Consumo total (devido a usos e a perdas de água) <input type="checkbox"/> Consumo autorizado <input type="checkbox"/> Perdas aparentes <input type="checkbox"/> Perdas reais
Dimensão geográfica	<input type="checkbox"/> Cliente individual <input type="checkbox"/> Arruamento ou ramal <input type="checkbox"/> Pequenas áreas de rede <input type="checkbox"/> ZMC <input type="checkbox"/> Subsistema <input type="checkbox"/> Sistema
Dimensão temporal	<input type="checkbox"/> Dimensão mínima do histórico (1 - 15 dias, 15 dias-3 meses, 3 -12 meses, plurinual) <input type="checkbox"/> Passo de tempo máximo entre registos (\leq 1 min., 15 min., horário, diário)

Relativamente à dimensão geográfica, que se traduz no tipo de zona de análise, pode ir desde o sistema inteiro até ao cliente individual, passando pela ZMC, a pequena área de rede, o arruamento ou o ramal. A análise do consumo ao nível do cliente individual, do arruamento ou ramal, onde o número de clientes é reduzido, pode ser bastante pormenorizada, permitindo mesmo a sua desagregação nos diferentes tipos de usos (*e.g.*, a identificação de duchas, banhos, descarga de autoclismos), o que não é possível a níveis de análise mais agregados. No entanto, para alguns tipos de análise, como a análise de consumos nocturnos, é suficiente a instalação do contador ou medidor de caudal e do sistema de telemetria ao nível do arruamento ou ramal, evitando a eventual necessidade de

substituição dos contadores domiciliários e envolvimento dos clientes, assim como a minimizando dos custos de investimento e de manutenção em sistemas de telemetria.

- Por exemplo, para a análise do consumo doméstico nocturno, é suficiente a telemedição do consumo ao nível do arruamento ou ramal, pois o número de usos é muito reduzido a este nível, permitindo uma recolha de dados com pormenor suficiente (*e.g.*, a este nível é possível separar as perdas de água - domiciliárias, prediais e na rede pública - do consumo doméstico devido ao uso de dispositivos domiciliários no período nocturno).

Zonas de análise ao nível de uma pequena área de rede ou ZMC são muito utilizadas para objectivos que visem uma melhor gestão operacional do sistema (*e.g.*, redução de perdas de água, minimização dos custos de energia, redução de pressão). Para tal, pode ser necessária a telemedição simultânea a diferentes níveis (*e.g.*, individual e da ZMC), como no caso da estimativa de perdas de água. A metodologia pode ser utilizada para analisar uma ou várias zonas de análise em simultâneo. O Quadro 4.3 apresenta valores indicativos da dimensão da zona a que pode ser feita a análise do consumo, em termos do número de habitantes, do número de clientes, do comprimento de rede e do número de ramais (ver 2.3).

Quadro 4.3 – Dimensão típica dos vários tipos de zonas de análise

<i>Zona de análise</i>	<i>Nº de clientes</i>	<i>N.º de habitantes</i>	<i>Comprimento de rede (m)</i>	<i>Número de ramais</i>
Cliente individual	1	~ 3	n.a.	n.a.
Arruamento ou ramal	≤ 30	≤ 100	≤ 500	≤ 30
Pequena área de rede	30-500	100-1000	500-5000	30-200
ZMC	500-5000	1000-10000	5000-50000	200-2000
Subsistema ou sistema	> 5000	> 10000	> 50000	> 2000

No que se refere à dimensão temporal, se já existirem dados deve verificar-se se estes, assim como o(s) contador(es) ou medidor(es) de caudal, o sistema de telemetria e as condições de monitorização cumprem os requisitos estabelecidos de acordo com os objectivos da análise. Caso tal situação não se verifique, uma alternativa pode passar por uma reavaliação dos objectivos da análise e das zonas disponíveis para análise, assim como do sistema de monitorização existente. Caso não exista um histórico de dados, há que definir as zonas de análise, dimensionar e instalar os equipamentos de monitorização e monitorizar o consumo de acordo com os requisitos descritos neste trabalho.

Deve atender-se também à dimensão mínima do histórico que varia em função dos objectivos da análise.

- ❑ Por exemplo, a realização de testes na rede para detectar roturas (*e.g.*, *step tests*) envolve em geral a medição do consumo total numa zona de rede durante o período nocturno (1 dia), enquanto para a gestão dos volumes armazenados ao longo do ano é importante identificar se o efeito de sazonalidade é significativo, obrigando a esquemas de operação distintos, pelo que é necessário dispor de um histórico mais longo (~ 1 ano).

A dimensão do histórico depende também do tipo de monitorização que se pretende fazer (*i.e.*, *temporária* ou *permanente*). Esta decisão influencia características específicas dos equipamentos (*e.g.*, a alimentação dos equipamentos através da corrente eléctrica é geralmente preferível no caso da recolha de dados ser permanente), a forma de recolha dos dados (*e.g.*, a recolha remota é geralmente preferível da recolha de dados ser permanente), assim como as necessidades de armazenamento e de processamento de dados.

A selecção do passo de tempo máximo deve resultar de um compromisso entre os objectivos da análise e as capacidades do sistema de telemetria. Outro aspecto importante prende-se com a necessidade de adquirir sistemas de telemetria que sejam flexíveis em termos do volume de dados a recolher e armazenar, ou seja, que possam ser utilizados para aquisição de dados mais agregados na escala temporal, mas que tenham a possibilidade de recolher dados mais pormenorizados (em geral durante períodos relativamente curtos) para usos específicos.

- ❑ Por exemplo, para calcular as perdas de água (*i.e.*, reais e aparentes) numa zona de rede é suficiente dispor de dados diários do consumo total entrado e do consumo total autorizado, mas se for necessário separar as perdas reais das perdas aparentes são necessários dados instantâneos para obter o consumo mínimo na zona, e assim estimar a componente de perdas reais, que se deduz às perdas totais, obtendo-as perdas aparentes.

Para os objectivos definidos no Quadro 4.1, as principais dimensões de análise são apresentadas no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Objectivos gerais e dimensões da análise do consumo de água

<i>Objectivos</i>	<i>Componente de consumo a analisar</i>	<i>Dimensão temporal</i>	
		<i>Dimensão mínima do histórico</i>	<i>Passo de tempo máximo</i>
• Planeamento de expansões de rede	Consumo total	plurianual	horário
• Reabilitação da rede	Consumo total	plurianual	15 min.
• Dimensionamento da rede pública e de órgãos acessórios	Consumo total	anual	15 min.
• Estabelecimento de ZMC	Consumo total	3 – 12 meses	15 min.
• Verificação do equipamento de medição de caudal	Consumo total	15 dias – 3 meses	15 min.
• Gestão de volumes armazenados	Consumo total	3 – 12 meses	15 min.
• Gestão de energia	Consumo total	3 – 12 meses	15 min.
• Avaliação de perdas na rede pública	Perdas aparentes e perdas reais	1 - 15 dias	diário
• Avaliação de perdas reais na rede pública	Perdas reais	1 - 15 dias	15 min.
• Previsão do consumo doméstico nocturno em zonas de rede	Consumo autorizado	3 – 12 meses	1 min.
• Definição do período de consumo mínimo para realização de testes de rede	Consumo total	15 dias – 3 meses	horário
• Alertas sobre consumos atípicos na rede pública (<i>e.g.</i> , roturas)	Consumo total	3 – 12 meses	15 min.
• Alertas sobre consumos atípicos em grandes consumidores	Consumo autorizado	3 – 12 meses	15 min.
• Efeito da redução de pressão nas perdas reais	Perdas reais	1 - 15 dias	15 min.
• Efeito da redução de pressão no consumo	Consumo autorizado	3 – 12 meses	15 min.
• Caracterização de componentes do consumo domiciliário	Consumo autorizado	3 – 12 meses	1 min.

Na presente tese, a metodologia proposta é aplicada a quatro casos de estudo com objectivos e dimensões de análise diferentes. O Quadro 4.5 apresenta os objectivos da análise, assim como os níveis a que é feita a telemedição do consumo e o número de pontos de medição consideradas para cada caso de estudo.

Quadro 4.5 - Objectivos e níveis de medição para os casos de estudo abordados na tese

Objectivos	Caso de estudo	Nível de medição			
		Domiciliário (1 cliente)	Arruamento ou ramal (≤30 clientes)	Pequenas áreas (30-500 clientes)	ZMC (500 – 5000 clientes)
Caracterização de grandes consumidores	1 (Cap. 6)	<input checked="" type="checkbox"/> (21)			
Previsão do consumo doméstico nocturno	2 (Cap. 7)		<input checked="" type="checkbox"/> (8)		
Avaliação do efeito da pressão no consumo autorizado e nas perdas reais	3 (Cap.8)	<input checked="" type="checkbox"/> (394)		<input checked="" type="checkbox"/> (3)	
Previsão do consumo em ZMC	4 (Cap. 9)	<input checked="" type="checkbox"/> (21)			<input checked="" type="checkbox"/> (22)

Nota: para cada nível de medição considerado, apresenta-se entre parêntesis o número de pontos de consumo telemedidos.

O Quadro 4.6 descreve as dimensões de análise para cada caso de estudo considerado na tese.

Quadro 4.6 – Dimensões de análise para os casos de estudo abordados na tese.

Dimensão de análise	Descrição	Caso 1 (Domiciliário)	Caso 2 (Arruamento ou ramal)	Caso 3 (Pequenas áreas)	Caso 4 (ZMC)
Componente de consumo	Consumo total	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Consumo autorizado			<input checked="" type="checkbox"/>	
	Perdas aparentes			<input checked="" type="checkbox"/>	
	Perdas reais			<input checked="" type="checkbox"/>	
Dimensão geográfica	Cliente individual	<input checked="" type="checkbox"/>			
	Arruamento ou ramal		<input checked="" type="checkbox"/>		
	Pequenas áreas de rede			<input checked="" type="checkbox"/>	
	ZMC				<input checked="" type="checkbox"/>
Dimensão temporal	Dimensão mínima do histórico (meses)	3 – 12	3 – 12	3 – 12	3 – 12
	Passo de tempo máx. entre registos	15 min.	1 min.	15 min.	15 min.

Seleccção das zonas de análise

A selecção das zonas de análise deve atender a um conjunto de critérios que se apresentam no Quadro 4.7. No que se refere às características dos clientes, para a análise ao nível do cliente individual, do arruamento ou do ramal é possível seleccionar zonas com clientes pertencentes exclusivamente a uma categoria de consumo (*e.g.*, doméstico). À medida que o nível de análise agrega um maior número de clientes, como seja a ZMC, é necessário

estabelecer-se critérios que permitam avaliar a predominância de certas categorias de consumo.

- Por exemplo, para se obter um modelo de classificação de padrões de consumo em ZMC, a partir das características sócio-demográficas da população residente, é necessário que predomine o consumo doméstico nestas zonas. Para tal, pode estabelecer-se que o consumo facturado anualmente na categoria de consumo doméstico predomine face ao consumo nas restantes categorias (*e.g.*, consumo facturado anualmente na categoria de consumo doméstico > 70% do consumo total facturado anualmente).

Quadro 4.7 – Aspectos a atender na selecção das zonas de análise

<i>Categoria</i>	<i>Aspectos a atender</i>
Características dos clientes	<input type="checkbox"/> Categorias de consumo compatíveis com os objectivos da análise <input type="checkbox"/> Representativos de zonas de maior dimensão onde se inserem <input type="checkbox"/> Grandes consumidores individualmente telemedidos
Consumo facturado e perdas comerciais	<input type="checkbox"/> Peso do consumo em cada categoria compatível com os objectivos da análise <input type="checkbox"/> Perdas comerciais inferiores a 40%
Características da rede	<input type="checkbox"/> Estado de conservação da rede compatível com objectivos da análise <input type="checkbox"/> Pontos de consumo com reservatórios domiciliários individualmente telemedidos
Topografia da zona	<input type="checkbox"/> Desnível topográfico compatível com objectivos da análise
Operação da rede	<input type="checkbox"/> Funcionamento estável <input type="checkbox"/> Isolável através da medição do caudal entrado e saído ou do uso de válvulas de seccionamento

Para a selecção de zonas de análise de dimensão reduzida (*e.g.*, arruamento ou ramal, pequena área de rede) é importante que sejam representativas de zonas de rede de maior dimensão (*e.g.*, ZMC). Este pressuposto permite que determinados resultados da análise possam ser extrapolados para zonas de maior dimensão com características idênticas.

- Nesta tese propõe-se um procedimento para a selecção de arruamentos ou ramais com características sócio-demográficas e de consumo semelhantes às da ZMC onde se inserem, que se apresenta em 5.2.1.

Com excepção da análise ao nível individual, deve verificar-se sempre se existem grandes consumidores e efectuar separadamente a sua telemedição, para que o seu consumo possa ser deduzido ao consumo total na zona de análise. A existência de grandes consumidores pode enviesar a análise do consumo numa dada zona, dado que se caracterizam por consumos médios bastante elevados e comportamentos muitas vezes distintos dos restantes clientes na zona de análise.

Relativamente ao consumo facturado e perdas comerciais, o peso de cada categoria de consumo no consumo total facturado deve atender ao tipo de consumo autorizado em

análise (*e.g.*, doméstico, não doméstico). Perdas comerciais elevadas representam um elevado desconhecimento sobre uma parte do consumo total medido numa zona e pode dificultar a estimativa das diferentes componentes de consumo (*i.e.*, consumo autorizado, perdas aparentes, perdas reais), pelo que se estabelece neste trabalho que sejam inferiores a 40% do volume de água total facturado.

As características físicas e topologia da rede (*e.g.*, condutas, ramais, válvulas) devem ser conhecidas, assim como o seu estado de conservação. Consoante o objectivo, podem seleccionar-se zonas de análise com diferentes estados de conservação⁶.

- ❑ Por exemplo, o estudo do efeito da redução da pressão nas perdas reais é facilitado em zonas de análise com elevado nível de perdas reais. No entanto, se o objectivo for a análise do consumo doméstico nocturno ao nível do arruamento ou ramal, devem seleccionar-se zonas de redes em bom estado de conservação, minimizando as perdas reais na rede pública.

Outro aspecto importante prende-se com a necessidade de identificar e analisar separadamente os pontos de consumo com reservatório domiciliário. O padrão de consumo destes clientes pode ser muito distinto dos clientes com abastecimento directo a partir da rede, pelo facto de poderem traduzir sobretudo os ciclos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios e não directamente os usos de água.

Relativamente à topografia da zona de análise deve permitir condições de abastecimento relativamente semelhantes nos vários pontos de consumo. Aliás, este é também um dos pressupostos subjacentes à criação de zonas de gestão de pressão (ZGP) (Ulanicki *et al.*, 2000; Alegre *et al.*, 2005).

- ❑ Por exemplo para avaliar o efeito da variação de pressão no consumo total autorizado numa dada zona é importante que as condições de abastecimento (*i.e.*, pressão) sejam semelhantes entre os vários pontos de consumo⁷.

Durante a monitorização do consumo, as zonas de análise devem poder ser isoláveis de forma a terem uma única entrada de caudal e o estado (aberto ou fechado) das válvulas de seccionamento deve poder ser mantido. Quando esta configuração não é possível, deve avaliar-se a possibilidade de monitorizar em termos de caudal e de pressão todas as entradas e saídas de caudal. As condições de abastecimento devem manter-se constantes

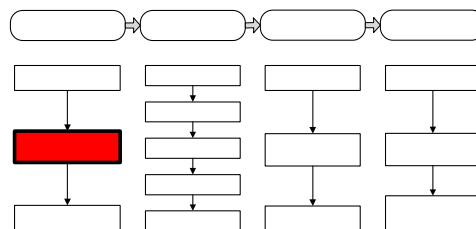
⁶ Como recomendação, Lambert *et al.* (2000) refere que em redes em bom estado (com bom desempenho) o indicador de perdas reais não excede 100 l/ramal/dia.

⁷ Como indicação, considera-se que o desnível topográfico numa pequena área de rede não deve exceder 15 m.

durante as campanhas de monitorização (e.g., evitar alterar os circuitos de abastecimento ou a dimensão da zona de análise).

4.3.1.2 Dimensionamento e instalação dos equipamentos de monitorização

A etapa de dimensionamento e instalação dos equipamentos de monitorização do Módulo 1 inclui três tarefas que se passa a descrever com pormenor: (i) avaliação das condições de monitorização; (ii) dimensionamento do equipamento de medição e especificação de sistemas de telemetria; e (iii) instalação e teste do equipamento de medição e do sistema de telemetria.



Avaliação das condições de monitorização

A avaliação das condições de monitorização envolve o levantamento dos condicionais locais nas zonas de análise, assim como a eventual realização de campanhas preliminares de teste com o objectivo de conhecer melhor a gama de valores de consumo que podem ocorrer, importante para a selecção e o dimensionamento do contador ou medidor de caudal e para o estabelecimento de requisitos dos sistemas de telemetria (e.g., nível de cobertura de rede, duração das baterias, características do *datalogger*).

O Quadro 4.8 apresenta uma síntese dos aspectos a atender no levantamento das condições locais em termos do(s) local(is) de medição e da(s) zona(s) em análise.

Quadro 4.8 – Aspectos a atender no levantamento das condições locais.

<i>Categoria</i>	<i>Aspectos a atender</i>
Local de medição	<input type="checkbox"/> Características dos equipamentos de medição existentes <input type="checkbox"/> Condições de acessibilidade e de segurança e risco de submersão <input type="checkbox"/> Disponibilidade de energia eléctrica <input type="checkbox"/> Nível de cobertura de rede
Zona de análise	<input type="checkbox"/> Número de clientes e de contadores na zona <input type="checkbox"/> Localização e estado das válvulas <input type="checkbox"/> Localização de marcos ou bocas-de-incêndio, assim como o tipo de utilização <input type="checkbox"/> Extensão de rede a ser coberta pelo sistema de telemetria

No que se refere ao local de medição, os contadores domiciliários podem localizar-se no interior da habitação ou no exterior desta (e.g., em cada piso de um prédio, em bateria na cave do prédio, no muro da vivenda), enquanto que, se instalados na rede pública, se podem localizar sob o passeio ou o pavimento rodoviário. A localização destes

equipamentos é determinante para o planeamento do tipo de obra a realizar para a sua instalação (caso seja necessário), assim como para a avaliação das condições de acessibilidade, de segurança e o risco de inundação (aspecto importante para a definição da classe de protecção dos equipamentos). A localização influencia também a definição de aspectos mais ligados às características do sistema de telemetria.

- ❑ Por exemplo, pode ser importante verificar a disponibilidade de energia eléctrica para alimentação de *dataloggers* (também designado neste trabalho por concentrador), que em caso de indisponibilidade têm de ser alimentados através de baterias (solução em geral com maiores limitações).
- ❑ Outro exemplo diz respeito ao tipo de sistema de comunicação entre o equipamento de medição e o *datalogger*. No caso de contadores domiciliários localizados em bateria, pode utilizar-se a comunicação por cabo, dado as distâncias entre o equipamento de medição e o *datalogger* serem curtas; no caso dos contadores domiciliários instalados por piso, pode ser preferível outro sistema de comunicação, como seja por rádio. Outro aspecto importante é também a avaliação do nível de cobertura de rede, pois muitas vezes a localização do *datalogger* em caves ou caixas enterradas dificulta o envio de dados.

Relativamente à(s) zona(s) de análise deve fazer-se o levantamento do número de clientes, do número de contadores, assim como da existência de abastecimento domiciliário de água com origens próprias. As válvulas instaladas na zona de análise devem ser identificadas e o seu estado deve ser confirmado e registado. Recomenda-se a aplicação de igual procedimento para todos os marcos e bocas-de-incêndio, de forma a garantir que a monitorização do consumo decorre em condições controladas. Aspectos como a extensão de rede, a sua topografia e a existência de obstruções físicas são importantes para a especificação do sistema de telemetria e também devem ser levantados nesta fase.

Dimensionamento do equipamento de medição e especificação de sistemas de telemetria

Para a selecção e dimensionamento dos contadores e medidores de caudal e especificação das características dos vários componentes de um sistema de telemetria (*i.e.*, emissor de impulsos, *datalogger*, sistemas de comunicação e unidade central) deve atender-se a um conjunto de aspectos que garantam que os dados recolhidos cumprem os objectivos da análise do consumo de água (Quadro 4.9)

Quadro 4.9 – Aspectos a atender na selecção dos equipamentos de medição e do sistema de telemetria.

<i>Categoria</i>	<i>Aspectos a atender</i>
Contador	<input type="checkbox"/> Exactidão na gama de caudais que ocorre <input type="checkbox"/> Perda de carga e desgaste mecânico a caudais máximos <input type="checkbox"/> Caudal mínimo para detecção de fugas <input type="checkbox"/> Tipos de emissores de impulsos com que é compatível <input type="checkbox"/> Ruído de funcionamento <input type="checkbox"/> Sentido do escoamento (unidireccional ou bidireccional)
Emissor de impulsos	<input type="checkbox"/> Resolução de leitura <input type="checkbox"/> Sentido do escoamento que detecta <input type="checkbox"/> Necessidade de alimentação eléctrica externa <input type="checkbox"/> Classe de protecção
<i>Datalogger</i> (concentrador)	<input type="checkbox"/> Passo de tempo entre registos <input type="checkbox"/> Alimentação eléctrica externa (ou duração da bateria) <input type="checkbox"/> Capacidade de armazenamento <input type="checkbox"/> N.º de canais analógicos e digitais <input type="checkbox"/> Classe de protecção
Sistemas de comunicação	<input type="checkbox"/> Tipos de sistemas de comunicação <input type="checkbox"/> Direcção da comunicação <input type="checkbox"/> Dados a enviar e parâmetros de configuração a receber <input type="checkbox"/> Periodicidade no envio de dados
Unidade central	<input type="checkbox"/> Capacidade de armazenamento e de processamento

Especificação do contador ou medidor de caudal e do emissor de impulsos

O dimensionamento do contador ou medidor de caudal envolve a selecção do tipo de equipamento mais adequado e a especificação das suas características técnicas (*e.g.*, diâmetro nominal, características metrológicas, caudal de arranque, compatibilidade com sistemas de telemetria) de acordo com o nível a que é feita a medição.

O tipo de contador ou de medidor de caudal depende de aspectos técnicos como o nível de medição a que vai ser instalado (*i.e.*, clientes individual, arruamento ou ramal, pequena área de rede, ZMC ou sistema), o sentido do escoamento (no caso de haver inversão do escoamento, o medidor deve ser bidireccional) e o custo. Tipicamente, os contadores mecânicos (*e.g.*, volumétrico, de velocidade, combinado) são sobretudo utilizados ao nível individual, enquanto os medidores de caudal de tipo electromagnético, são mais usados para medição em zonas de rede, pois tornam-se mais baratos para este níveis de medição, a exactidão da medição é elevada e não possuem partes móveis, pelo que a necessidade de manutenção é em geral menor do que no caso dos contadores mecânicos (Farley e Trow, 2003; Arregui *et al.*, 2006).

O diâmetro nominal e as características metrológicas do medidor devem ser seleccionados de forma a permitir medir com exactidão a gama de caudais que ocorre, minimizando a perda de carga localizada e o seu desgaste mecânico. Para a estimativa dos consumos que ocorrem a um dado nível de medição pode recorrer-se a dados fornecidos por modelos de

simulação hidráulica (ao nível de zonas de rede), a dados obtidos a partir de campanhas temporárias, a dados de zonas ou de clientes com características semelhantes ou a dados provenientes de formulações teóricas que permitam estimar o consumo máximo (*e.g.*, Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de Agosto) e o consumo mínimo (Lambert, 1994; Warren, 2002). O cálculo do consumo máximo deve incluir (caso seja aplicável) consumos excepcionais que possam ocorrer. O cálculo do consumo mínimo deve atender aos seguintes aspectos:

- ❑ consumo mínimo nocturno ao nível de medição;
- ❑ consumo mínimo após ter havido reparações na rede e eliminação de fugas ou roturas na rede;
- ❑ consumo mínimo em sub-zonas (pequenas áreas de rede ou ZMC) decorrente da realização de testes de rede (*e.g.*, *step tests*).

O eventual ruído do funcionamento destes equipamentos é particularmente crítico no caso dos contadores domiciliários.

Actualmente, os contadores e os medidores de caudal encontram-se pré-equipados para ligação a sistemas de telemetria, possibilitando a leitura automática do consumo (acumulado ou instantâneo) através de emissores que são acoplados a estes equipamentos. Os contadores e os medidores de caudal devem ser compatíveis com emissores que permitam uma frequência e resolução de leitura adequados aos objectivos da análise e sejam estáveis face a interferências electromagnéticas.

- ❑ Por exemplo, para medição pormenorizada do consumo do cliente individual, o equipamento de medição deve ser compatível com um emissor que garanta uma resolução elevada, de forma a poder ler adequadamente o consumo mínimo (*e.g.*, para medição do consumo numa pequena área de rede pode ser suficiente um emissor com resolução de 10 l/impulso, mas ao nível do cliente individual a resolução deve ser igual ou superior a 1 l/impulso).

Os emissores do tipo óptico ou indutivo permitem geralmente uma maior resolução que os emissores do tipo *Reed*, embora os ópticos necessitem de alimentação eléctrica externa. Outro aspecto importante é a direcção do escoamento, pois emissores do tipo *Reed* (por oposição aos emissores ópticos e indutivos) não permitem detectar o sentido do escoamento e são também mais sensíveis a interferência electromagnéticas. O grau de protecção contra contacto accidental, penetração de corpos estranhos e contra a água (EN 60529: 1992) deve ser estabelecido de acordo com as condições ambientais onde os

emissores e os *dataloggers* vão ser instalados, sendo importante avaliar, entre outros aspectos se há risco de submersão.

Especificação do datalogger (concentrador)

O *datalogger* (também designado por concentrador) permite recolher e armazenar dados de consumo (através de canais digitais) e dados de pressão (através de canais analógicos). Para a maior parte dos usos da análise do consumo de água, pode seleccionar-se um *datalogger* que adquira dados com um passo de tempo entre registos constante e configurável de acordo com os objectivos da análise (*e.g.*, 1 min., 15 min., 1 h.).

Para usos específicos como a identificação de componentes do consumo domiciliário (*e.g.*, uso de torneira, autoclismos, banhos), onde é importante conhecer-se os instantes inicial e final de um dado uso, podem utilizar-se *dataloggers* que permitam a aquisição por tempo entre impulsos e que apenas registam dados quando há consumo, por oposição à aquisição de dados com um passo de tempo fixo.

O passo de tempo entre registos condiciona a capacidade de armazenamento e a duração das baterias (ou o consumo de energia eléctrica). A capacidade de armazenamento, por sua vez, depende também da forma como os dados são recolhidos – remotamente ou localmente. No caso da recolha ser remota, o envio de dados pode ser feito diariamente, mas no caso da recolha ser local deve estabelecer uma periodicidade de recolha de dados compatível com a disponibilidade da equipa para recolha de dados (*e.g.*, quinzenal, mensal). Na aquisição remota, recomenda-se que os *dataloggers* contemplem uma capacidade adicional para armazenar dados em caso de falha no sistema de comunicações. Apesar de actualmente ser possível utilizar as baterias de forma eficiente, a alimentação dos *dataloggers* através da corrente eléctrica, quando viável, permite uma solução de aquisição de dados mais fiável e com menor manutenção. Deste modo, recomenda-se que em estudos onde se pretenda adquirir dados de consumo pormenorizados (*i.e.*, passo de tempo entre registos igual ou inferior a 1 min.) com *dataloggers* com bateria, se façam testes durante a avaliação das condições de monitorização para avaliar a sua duração máxima, assim como a periodicidade de recarregamento.

Especificação do sistema de comunicação e unidade central

Tal como referido em 2.5.3, há que estabelecer o sistema de comunicação entre cada unidade local (*i.e.*, contador e emissor de impulsos) e o concentrador e entre este último e a unidade central de armazenamento. Ao nível de medição individual, pode recorrer-se a um

sistema de comunicação sem fios (*e.g.*, rádio) entre a unidade local e o concentrador se os contadores domiciliários se encontrarem dispersos. No caso destes se encontrarem dispostos em bateria ou da medição ser feita ao nível de zonas de rede (arruamento, ramal, pequena área de rede, ZMC), estando o concentrador próximo do medidor, podem utilizar-se sistemas de comunicação por cabo. Para além do envio dos dados de consumo e de pressão, podem enviar-se também dados que apoiam no diagnóstico sobre o estado do sistema de telemetria, como o nível de carga nas baterias e o nível de cobertura da rede. Deste modo, a definição da periodicidade de envio de dados deve atender a aspectos como o número de pontos de medição, o número de parâmetros lidos em cada ponto (*e.g.*, caudal, pressão) e o passo de tempo entre registos.

Deve avaliar-se também se o sistema de comunicação é unidireccional ou bidireccional, tal como apresentado em 2.5.3. No caso de se pretender que seja bidireccional, pode especificar-se o tipo de dados que se pretende obter em tempo real (*e.g.*, consumo, estado do contador, nível de carga nas baterias), assim como as formas de configuração da aquisição de dados remotamente (*e.g.*, passo de tempo entre registos, escalonamento das leituras entre os vários contadores ou medidores de caudal).

No que se refere à unidade central deve, definir-se a capacidade de armazenamento em função dos dados enviados pelos concentradores, assim como modos para o seu processamento dos dados (*e.g.*, conversão, normalização) tornando-os acessíveis para análises de consumo de água.

Instalação do equipamento de medição e do sistema de telemetria

A instalação do equipamento de medição e do sistema de telemetria deve ser acompanhada pela formação dos técnicos responsáveis pela monitorização, para que estes possam assegurar a manutenção e operação dos equipamentos. É importante que todo o equipamento seja identificado e que as restantes entidades que partilham a infra-estrutura de suporte existente (*e.g.*, postes eléctricos ou de telefone) sejam informados da sua instalação.

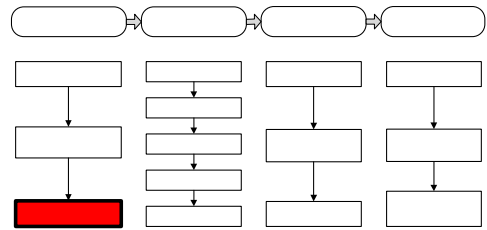
Devem também ser realizados testes para garantir que a monitorização decorre nas condições previstas, nomeadamente:

- comparação das leituras obtidas por telemetria com leituras manuais;

- realização de balanços para aferir o consumo total medido (particularmente importante ao nível de pequenas áreas de rede ou de ZMC);
- avaliação dos níveis de cobertura de rede;
- avaliação do funcionamento de equipamento de controlo existente (*e.g.*, válvulas reductoras de pressão).

4.3.1.3 Monitorização do consumo

A etapa de monitorização do consumo do Módulo 1 descreve um conjunto de aspectos a atender durante a telemedição do consumo.



No sentido de garantir que a monitorização do consumo de água decorre em condições controladas, minimizando a perda de dados, assim como as intervenções na rede ou perturbações aos clientes abastecidos, deve atender-se a um conjunto de aspectos relativos à duração da monitorização, a cenários de funcionamento da rede e operação e à manutenção da rede (Quadro 4.10).

A duração da monitorização do consumo pode ser permanente (*i.e.*, típica em grandes consumidores e em ZMC) ou temporária, podendo neste último caso a duração ser variável consoante o objectivo da análise. A monitorização temporária pode ser utilizada nos casos em que se pretende testar um contador ou um medidor de caudal ou o sistema de telemetria, quando não é possível ou viável dispor de equipamento instalado em permanência num determinado ponto da rede ou quando não é possível manter isoladas determinadas zonas de rede para medição. A monitorização temporária permite também recolher dados com maior pormenor (*e.g.*, passo de tempo entre 1 min. e 15 min.) durante períodos de tempo relativamente curtos, por oposição à monitorização contínua onde se recolhem dados mais agregados no tempo (*e.g.*, passo de tempo diário). Esta última aplicação da monitorização é particularmente útil no caso de clientes individuais telemedidos, onde a recolha pormenorizada de dados em todos os clientes não é viável, mas pode ser importante realizar uma monitorização pontual para aquisição de dados com maior frequência (*e.g.*, detecção de fugas na rede, monitorização do consumo nocturno).

Quadro 4.10 – Aspectos a atender na monitorização do consumo

<i>Categoria</i>	<i>Aspectos a atender</i>
Duração da monitorização	<input type="checkbox"/> Permanente <input type="checkbox"/> Temporária (1 dia- 15 dias, 15 dias-3 meses, 3 meses-1ano)
Características da monitorização	<input type="checkbox"/> Passo de tempo entre registos <input type="checkbox"/> Grandezas a serem medidas
Cenários de funcionamento da rede	<input type="checkbox"/> Duração máxima de cada cenário durante a monitorização <input type="checkbox"/> Parâmetro de variação <input type="checkbox"/> Esquema de regulação do equipamento de controlo
Operação e manutenção da rede	<input type="checkbox"/> Histórico de intervenções <input type="checkbox"/> Equipa responsável pela operação e manutenção da rede

No que se refere às características da monitorização, é importante estabelecer-se o passo de tempo entre registos e as grandezas a serem medidas (*e.g.*, pressão, consumo).

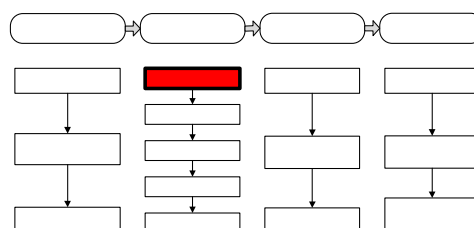
Em termos de cenários de funcionamento da rede, a monitorização do consumo pode ter também como objectivo avaliar o efeito de determinado parâmetro de controlo (*e.g.*, pressão) no consumo, mantendo constantes as restantes características da rede (*e.g.*, dimensão, condutas, ramais, estado das válvulas de seccionamento). Neste sentido, há que estabelecer a duração máxima de cada cenário, o valor do parâmetro de controlo em cada cenário e o tipo de regulação do equipamento de controlo. Por exemplo, o valor de pressão à entrada de uma zona de rede pode ser estabelecido através da regulação de uma válvula reguladora de pressão a jusante.

No que se refere à operação e manutenção da rede, é fundamental criar procedimentos que permitam actualizar ou criar um histórico de intervenções na rede (*e.g.*, reparação de roturas, alterações nos circuitos de abastecimento), assim como designar uma equipa responsável pela operação e manutenção e que mantém informado os analistas de consumo de água sobre todas as alterações que possam ocorrer.

4.3.2 Processamento de dados de consumo de água

4.3.2.1 Análise descritiva de dados

Descreve-se neste subcapítulo a etapa de análise descritiva de dados do Módulo 2.



A primeira etapa do processamento de dados tem como objectivo principal caracterizá-los, através do cálculo de um conjunto de estatísticas e parâmetros e da identificação de potenciais dados anómalos ou menos fiáveis.

O Quadro 4.11 apresenta um conjunto de parâmetros e de estatísticas calculáveis quer para a totalidade da série em estudo, quer para cada dia do histórico de dados. Com estes parâmetros é possível avaliar a disponibilidade de dados para análise, assim como fazer uma análise prévia da distribuição de estatísticas como os consumos médio, máximo e mínimo, para uma dada zona ou para um conjunto de zonas de análise.

Estas estatísticas relativas à série original são armazenadas para análise posterior, dado que as etapas seguintes, de detecção de dados anómalos e de normalização, transformam os dados, levando à perda de parte da informação original.

- Por exemplo, a normalização num passo temporal de 15 min. de uma série adquirida com um passo de tempo de 1 min. pode conduzir a um amortecimento dos valores extremos (*i.e.*, consumo mínimo e máximo), que são importantes para o dimensionamento das redes, no caso do consumo máximo, e análise de perdas reais, no caso do consumo mínimo. Caso o impacte seja significativo, o cálculo de variáveis como o factor de ponta instantâneo e o consumo mínimo médio, na etapa de análise do consumo (Módulo 3), deve ter por base os valores de consumo mínimo e máximo instantâneos obtidos a partir da série original e não os que se obtêm a partir da série normalizada.

Quadro 4.11 – Parâmetros e estatísticas relativas à série original

<i>Parâmetro/ estatística</i>	<i>Para a totalidade da série ou para os dados diários</i>
N.º total de registos	<input type="checkbox"/>
Tempo inicial	<input type="checkbox"/>
Tempo final	<input type="checkbox"/>
N.º total de dias sem registos	<input type="checkbox"/>
N.º total de registos com consumo nulo	<input type="checkbox"/>
Disponibilidade de registos ⁽¹⁾	<input type="checkbox"/>
Média	<input type="checkbox"/>
Mediana	<input type="checkbox"/>
1º quartil	<input type="checkbox"/>
3º quartil	<input type="checkbox"/>
Mínimo	<input type="checkbox"/>
Máximo	<input type="checkbox"/>
Instante de consumo mínimo	<input type="checkbox"/>
Instante de consumo máximo	<input type="checkbox"/>
Desvio-padrão	<input type="checkbox"/>
Coefficiente de variação	<input type="checkbox"/>
Coefficiente de assimetria	<input type="checkbox"/>
Mediana dos desvios absolutos em relação à mediana (MAD)	<input type="checkbox"/>

Nota: ⁽¹⁾ a disponibilidade de registos é obtida pela razão entre o número de registos recolhidos e o número total de passos de tempo decorridos no período em análise.

É também nesta etapa que pode ser avaliada a exactidão do contador ou medidor de caudal. Para tal, é necessário obter-se o histograma do consumo (Figura 4.7a), que permite avaliar o volume de água consumido para cada gama de caudais a partir do histórico de dados, e conhecer-se a curva de erros do equipamento (Figura 4.7b).

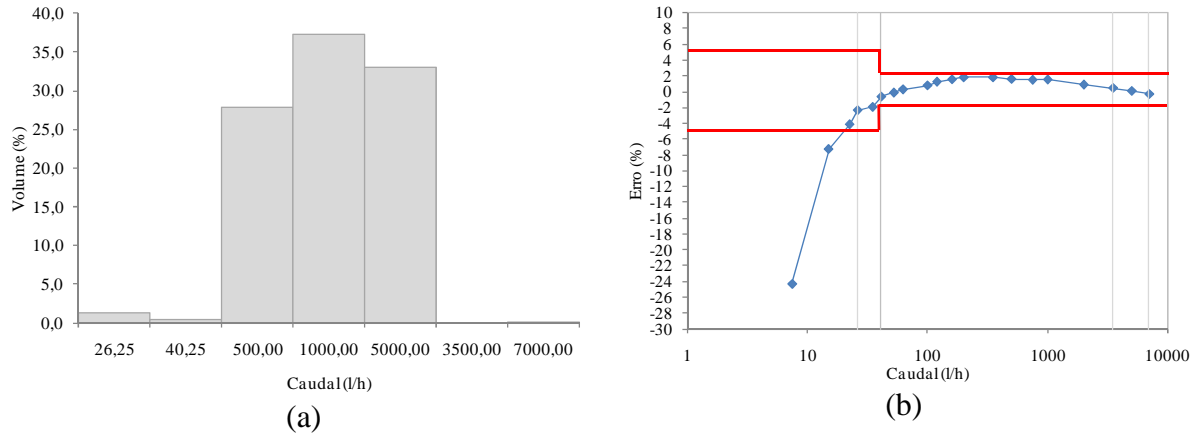
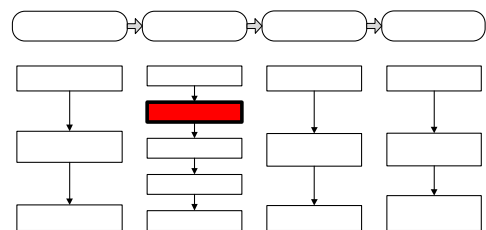


Figura 4.7 – Elementos para o cálculo da exactidão do contador: a) histograma de consumo, b) curva de erros do contador

A exactidão do contador ou medidor pode ser obtida ponderando o erro associado a cada gama de caudal com a fracção de volume consumido na respectiva gama, tal como sugerido por Arregui (1998). Este autor recomenda também que o passo de tempo entre registos seja muito reduzido e que a resolução seja elevada para não distorcer o consumo. Por exemplo, para obtenção do histograma de consumo ao nível domiciliário, recomenda que a resolução seja de 0,1 l/impulso e que o passo de tempo entre registos seja de 10 s.

4.3.2.2 Detecção de dados anómalos

Descreve-se neste subcapítulo a etapa de detecção de dados anómalos do Módulo 2.



Um dado anómalo é uma observação que é inconsistente com as restantes observações e que se suspeita ter sido causada por acontecimentos diferentes daqueles que originaram as restantes observações (cf. 3.2.2). No caso do consumo de água, os dados anómalos podem ser provocados por:

- problemas no processo de medição e recolha (*i.e.*, na parametrização dos equipamentos, na transmissão ou no registo);

- situações de funcionamento do sistema fora do padrão normal (*e.g.*, ocorrência de uma rotura, ocorrência de uma solicitação de consumo extraordinária, abertura de válvulas de sector) .

No âmbito do processamento de dados, pretende-se utilizar ou desenvolver métodos que apoiem a detecção de dados anómalos que possam enviesar a análise do consumo de água. Uma vez detectados, estes dados são removidos da série de consumo original. Não constitui objectivo desta etapa, nem é contemplada neste trabalho, a obtenção de conhecimento a partir de dados anómalos.

Numa primeira fase de detecção de dados anómalos, deve recorrer-se à observação visual da série original de dados, assim como às estatísticas calculadas na etapa de análise descritiva dos dados (*cf.* descrição em 4.3.2.1), para detectar dados que são atípicos face ao restante histórico.

Complementarmente, pode recorrer-se a gráficos específicos (*e.g.*, diagramas de extremos e de quartis) para uma identificação preliminar de possíveis dados anómalos, com base nos dados da série original ou nas respectivas estatísticas calculadas. Ainda nesta fase, a comparação dos dados da série original com as características metrológicas do contador ou medidor de caudal, assim como com valores de referência (*e.g.*, valores de dimensionamento) pode também ajudar a detectar dados anómalos.

No presente trabalho, estes procedimentos são designados por técnicas preliminares para a detecção de dados anómalos, aplicadas aos vários níveis de análise considerados (Quadro 4.12).

Numa segunda fase, para a selecção de métodos específicos para detecção de dados anómalos de consumo de água deve atender-se a um conjunto de aspectos que a seguir se descrevem:

- normalidade dos dados – embora gráficos como os diagramas de extremos e quartis sejam particularmente adequados quando existe um histórico relativamente longo e os dados seguem uma distribuição normal, tal é pouco frequente;
- tendência dos dados – as séries de consumo apresentam muitas vezes tendências, devido a efeitos como a sazonalidade, pelo que o método de detecção deve ser robusto relativamente a estes efeitos;

- tipo de dados anómalos – a eficiência do método pode depender do tipo de dados anómalos a detectar, pelo se deve, sempre que possível testar mais do que um método, pois podem fornecer resultados que são complementares;
- dimensão da zona de análise - em sectores de rede ou ZMC, a variabilidade do consumo em torno da média é menor do que ao nível do cliente individual ou arruamento, pelo que podem ser aplicáveis técnicas baseadas na análise de diferenças relativamente a um dado comportamento típico (e.g., uso de filtros, análise de *clusters*, análise em componentes principais).

No âmbito deste trabalho apresentam-se técnicas específicas baseadas na utilização de filtros para a detecção de dados anómalos em pequenas áreas de rede e ZMC (Quadro 4.12) e que se encontram descritas em 5.2.2.

Em certos casos, os dados anómalos podem ser devidos a consumos atípicos em clientes específicos, como alguns grandes consumidores. A aplicação destas técnicas pressupõe que, no caso de existirem grandes consumidores telemedidos na zona de análise, o seu consumo seja previamente deduzido do consumo total na zona de análise.

Quadro 4.12 – Métodos de detecção de dados anómalos aplicados a cada caso de estudo

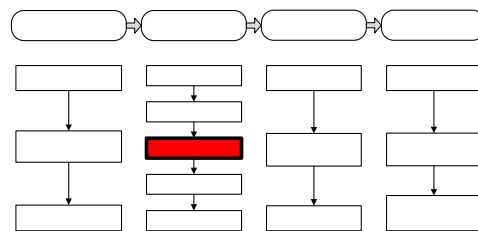
<i>Método de detecção de dados anómalos</i>	<i>Caso de estudo</i>			
	<i>Caso 1 Domiciliário</i>	<i>Caso 2 Arruamento ou ramal</i>	<i>Caso 3 Pequenas áreas</i>	<i>Caso 4 ZMC</i>
Técnicas preliminares	☒	☒	☒	☒
Técnicas específicas			☒	☒

A decisão de eliminar dados anómalos de consumo deve resultar da análise dos vários métodos disponíveis, que muitas vezes fornecem informações complementares. Deve também utilizar-se, sempre que disponível, informação de suporte, como seja o histórico de intervenções na rede, para apoio na decisão de eliminação de dados.

Ao serem eliminados da série de consumos original, os períodos de consumo anómalo devem ser classificados e armazenados para análise posterior. Como campos descritivos a guardar sobre cada período de consumo anómalo recomenda-se: duração; instante inicial e final; consumo mínimo, médio e máximo.

4.3.2.3 Combinação de dados

Descreve-se neste subcapítulo a etapa de combinação de dados do Módulo 2.



A combinação de dados de diferentes origens (desde o cliente individual à ZMC) é muito frequentemente necessária para obter a série que representa a componente específica do consumo que se pretende estudar (*e.g.*, consumo total, consumo autorizado doméstico e não doméstico, perdas reais).

Para a combinação de dados, é necessário que haja consistência nas unidades de medida entre as várias séries de consumo. Estas devem ser também síncronas entre si, um requisito dificultado quando os dados provêm de sistemas de medição distintos, sendo quase inevitável a assincronia dos respectivos relógios (podendo ainda verificar-se desacertos de calendário ou parametrizações erradas relativamente ao horário de Verão / horário de Inverno).

Para além da verificação destes pressupostos, é necessário que as várias séries utilizem o mesmo passo de tempo e que a variável registada em cada instante seja do mesmo tipo (*e.g.*, valor médio, valor instantâneo). Caso tais condições não se verifiquem, é necessário efectuar previamente a normalização dos dados na escala temporal (*cf.* 4.3.2.4). Por outro lado, é necessário identificar os períodos de tempo comuns a todas as séries a combinar. A existência de falhas nos registos pode condicionar a obtenção de um período comum significativo.

- Por exemplo neste trabalho, a combinação de dados é feita para os casos de estudo 3 e 4 (Quadro 4.13). O caso de estudo 3 tem como objectivo obter o consumo total autorizado doméstico e não doméstico (a partir da telemedição do consumo em clientes individuais), assim como as perdas aparentes e reais (por dedução do consumo total autorizado ao consumo total entrado em pequenas áreas de rede). No caso de estudo 4, a combinação de dados é efectuada com o objectivo de deduzir os dados de consumo telemedido de grandes consumidores ao consumo total medido nas ZMC a que pertencem.

Quadro 4.13 – Combinação de dados de consumo nos casos de estudo abordados na tese

Níveis de medição	Caso de estudo			
	Caso 1 Domiciliário	Caso 2 Arruamento ou ramal	Caso 3 Pequenas áreas	Caso 4 ZMC
Individual	☒		☒	☒
Arruamento		☒		
Pequenas áreas de rede			☒	
ZMC				☒

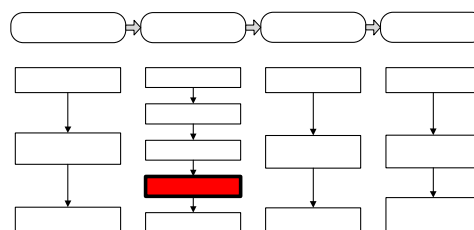
Em muitos casos, não é possível obter as perdas de água por balanço do consumo telemedido a diferentes níveis (tal como se faz neste trabalho no caso de estudo 3) dada a falta de dados, pelo que é necessário recorrer a métodos para a sua estimativa, sempre que possível.

- ☐ Por exemplo, a simulação do consumo (ao nível individual, do ramal ou arruamento) no Módulo3, pressupõe que os eventos rectangulares de consumo que se obtém na etapa de redução de dados do Módulo 2 se refiram apenas à componente de consumo domiciliário devido a usos de água e não a perdas, pois correspondem a eventos com características muito diferentes entre si (*i.e.*, em termos da sua duração e intensidade) e devem ser analisados separadamente.

Deste modo, é também nesta etapa que se estimam e deduzem eventuais perdas de água que possam ocorrer a um dado nível de medição. Descreve-se um procedimento desenvolvido para estimar perdas de água em ramais ou arruamentos em 5.2.3.

4.3.2.4 Normalização de dados

A etapa de normalização dos dados do Módulo 2 inclui duas tarefas que se passam a descrever com pormenor: (i) normalização na escala temporal; e (ii) normalização na escala do consumo.



Normalização na escala temporal

A normalização de dados de consumo na escala temporal consiste em transformar a série para um passo de tempo regular, Δt , previamente definido (*e.g.*, $\Delta t=15$ min.). Este tipo de normalização distingue-se da normalização na escala do consumo, adiante descrita, em que se dá uma mudança de escala nos valores da variável – por exemplo, para uma escala adimensional (de média igual a 1) (Han e Kamber, 2006)

As diferentes soluções de telemetria existentes numa entidade gestora fazem com que sejam gerados dados de consumo com características muito diferentes na escala temporal

(*i.e.*, diferentes passos de tempo entre registos, tipos de variável registada em cada passo de tempo, instantes de tempo a que se refere o registo obtido, *etc.*). Esta heterogeneidade inviabiliza a combinação directa dos dados para análise, assim como a aplicação de procedimentos que requerem uma sistematização dos dados (*e.g.*, cálculo de variáveis de consumo, cálculo de padrões de consumo).

Em cada instante, os valores registados podem ser do tipo instantâneo, médio ou acumulado. Por exemplo, no caso de medidores de caudal de rede, os dados de consumo registados em cada passo de tempo referem-se muitas vezes a valores instantâneos, enquanto no caso dos contadores podem corresponder a volumes acumulados.

No caso da variável de consumo corresponder ao valor médio ou acumulado, o registo pode referir-se a um período anterior, posterior ou a um período que inclua o próprio instante de registo.

Assim, a normalização deve ter em atenção estes diferentes tipos de registo, para garantir que são devidamente uniformizados.

Outro aspecto importante é facto de o passo de tempo entre registos poder ser regular (*i.e.*, constante) ou irregular (*i.e.*, variável, como acontece com os registos gerados por um emissor de impulsos dependente do escoamento de um determinado volume). A aquisição de dados com passo de tempo irregular pode permitir reduzir os dados armazenados, no caso de o consumo ser caracterizado por muitos períodos com consumo nulo, pois apenas ocorre registo de dados quando há consumo. A desvantagem deste modo de aquisição de dados é a inerente dificuldade na identificação de falhas de dados, aquando do seu processamento, pois um período sem registo, mesmo de longa duração, pode ser genuíno. Nestes casos, é importante uma análise cuidada dos parâmetros de configuração do sistema de telemetria e do consumo, para poder estabelecer o período máximo sem registos a partir do qual se considera haver falha de dados.

Descreve-se em 5.2.4 o procedimento adoptado para normalizar dados de consumo na escala temporal. Este tipo de normalização pode reduzir significativamente o volume de dados a armazenar para análise, no caso do passo de tempo entre registos ser reduzido (*e.g.*, 1 s, 1 min., 5 min.). No processamento de dados de consumo em pequenas áreas de rede, ZMC ou grandes consumidores com comportamento regular, recomenda-se que o passo de tempo para normalização seja de 15 min. Este é também o passo de tempo

recomendado para o cálculo de padrões de consumo em ZMC (Coelho, 1988; Coelho *et al.*, 2006).

- Por exemplo, a normalização na escala temporal é feita neste trabalho nos casos de estudo 1, 3 e 4 (Quadro 4.14). No caso de estudo 2, não é necessário fazer a normalização dos dados. Uma agregação no tempo, para um passo de tempo de 15 min., dificultaria a separação dos dados de consumo em eventos, motivo pelo qual os dados neste caso de estudo são recolhidos com um passo de tempo de 1 min.

Quadro 4.14 – Normalização de dados de consumo nos casos de estudo abordados na tese

Nível de medição	Caso de estudo			
	Caso 1 Domiciliário	Caso 2 Arruamento ou ramal	Caso 3 Pequenas áreas	Caso 4 ZMC
Individual	<input checked="" type="checkbox"/> Normalização na escala temporal ($\Delta t=15$ min.) e do consumo		<input checked="" type="checkbox"/> Normalização na escala temporal ($\Delta t=15$ min.)	<input checked="" type="checkbox"/> Normalização na escala temporal ($\Delta t=15$ min.)
Arruamento ou ramal		Não foi feita normalização		
Pequenas áreas de rede			<input checked="" type="checkbox"/> Normalização na escala temporal ($\Delta t=15$ min.)	
ZMC				<input checked="" type="checkbox"/> Normalização na escala temporal ($\Delta t=15$ min.) e do consumo

Durante a leitura, registo, transmissão e armazenamento de dados podem ocorrer problemas que causam falhas nos dados, isto é, ausência de registos. Neste contexto, importa diferenciar os conceitos de falha de registo e de consumo nulo no tratamento de dados. A Figura 4.8 ilustra estes dois tipos de ocorrências. Um valor zero é, para todos os efeitos, um valor de consumo⁸.

As falhas nas séries de consumo são evidentemente indesejáveis em qualquer procedimento posterior de análise, razão porque são habitualmente adoptadas técnicas para a redução dos seus efeitos.

⁸ No entanto, as características metrológicas do medidor (*i.e.*, caudal mínimo, caudal de arranque) e do sistema de telemetria (*e.g.*, resolução do emissor de impulsos) devem permitir a medição fiável dos consumos mínimos que ocorrem, pois, caso contrário, podem ser registados valores de consumo mínimo nulos que resultam de limitações no sistema de monitorização e não devido a ausência efectiva de consumo num dado instante. É também frequente encontrar sistemas de telemetria parametrizados no sentido de poupar memória, e que consideram que quando ocorrem consumos abaixo de um determinado valor, estes são irrelevantes e não são registados.

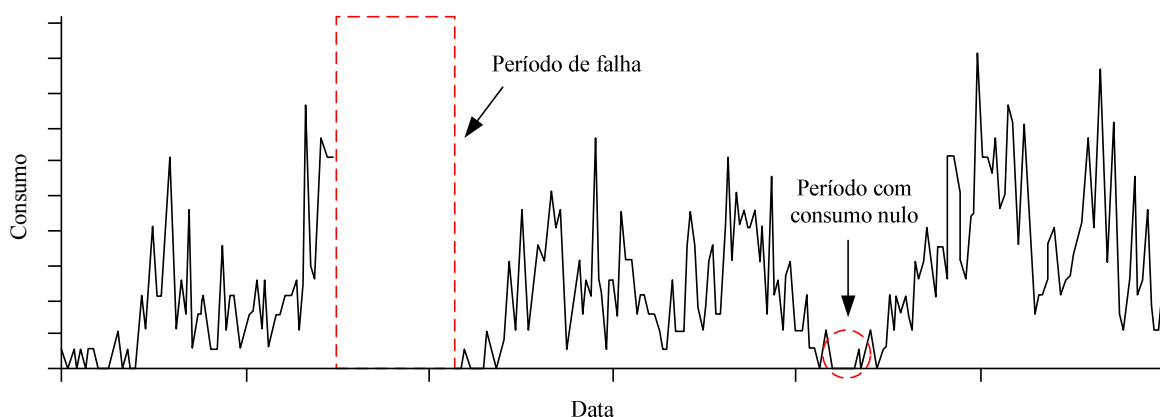


Figura 4.8 - Exemplo de série de consumo com períodos de falha e com períodos de consumo nulo

A técnica mais simples consiste em preencher o passo sem registo com valores obtidos por interpolação linear. Esta técnica não pode ser utilizada senão para falhas de duração inferior a uma dada duração-limite pré-estabelecida, d_{lim} . Falhas de dados com duração superior d_{lim} não são interpoladas, pois o desconhecimento sobre a verdadeira distribuição do consumo ao longo do tempo pode levar enviesamento da série, efeito particularmente indesejável quando se combinam séries de consumo com o objectivo de estimar perdas de água, por exemplo.

No caso da série de consumos ser regular pode-se predefinir a duração máxima em função do passo de tempo entre registos.

- ❑ Por exemplo, para séries com passo de tempo não superior a 5 min., a duração máxima será de 30 min., e para séries com passo de tempo superior a 5 min., a duração máxima será de 1 h.

No caso das séries de consumo serem irregulares, o facto de não se saber quando é que ocorre o próximo registo pode dificultar a identificação de uma falha. Recomenda-se uma análise cuidada da série, de forma a estabelecer o intervalo de tempo entre registos a partir do qual se considera estar-se na presença de uma falha.

Uma vez normalizados os dados, pode calcular-se também os mesmos parâmetros e estatísticas que se recomendam relativamente à série original (Quadro 4.11).

A partir dos dados normalizados, pode calcular-se estatísticas agregadas, como sejam o consumo médio horário e o desvio-padrão horário para um conjunto de dias da semana, ou mês do ano.

- ❑ Por exemplo, neste trabalho a identificação de cenários de consumo, na etapa de análise do consumo (Módulo 3), tem por base as estatísticas média e desvio-padrão horário obtidas a partir dos dados normalizados.

Normalização na escala do consumo

A normalização na escala do consumo tem como objectivo permitir distinguir o comportamento diário do efeito que é devido à escala do respectivo consumo médio. Procura também eliminar o efeito devido à dimensão de cada zona de medição, possibilitando uma análise comparativa entre zonas de diferentes dimensões.

Neste trabalho, a normalização na escala do consumo consiste em adimensionalizar o consumo instantâneo, dividindo-o pelo respectivo consumo médio diário. No caso de dias com poucos registos (*i.e.*, menos de 75% dos registos esperados) não é feita a normalização na escala do consumo, devido ao número de registos ser insuficiente. Testes efectuados por Coelho (1988) mostraram que as distribuições do consumo num dado instante do dia tendem a ser plurimodais, devidas, por exemplo, a diferentes tipos de clientes e de usos de água, e a alterações nos hábitos de consumo. No referido estudo, verificou-se também que este efeito desaparece se previamente se adimensionalizarem todos os registos, dividindo-os pelo valor do consumo médio diário do respectivo dia.

Este tipo de normalização é particularmente útil para o cálculo de padrões de consumo de acordo com o procedimento proposto por Coelho (1988) em que os dados normalizados na escala temporal e do consumo são agrupados em amostras transversais segundo o passo de tempo a que pertencem, tal como se exemplifica no Quadro 4.15.

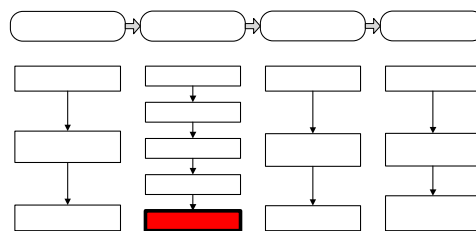
Quadro 4.15– Exemplo de amostras transversais de consumo numa série temporal de consumo

<i>Passo de tempo</i> <i>Data</i>	0:00	0:15	0:30	...	23:15	23:30	23:45	Média
01-01-2006	0,600	0,615	0,624	...	0,790	0,682	0,768	1,0
02-01-2006	0,661	0,612	0,612	...	0,711	0,665	0,711	1,0
03-01-2006	0,708	0,648	0,517	...	0,803	0,791	0,846	1,0
04-01-2006	0,720	0,659	0,556	...	0,818	0,630	0,680	1,0
05-01-2006	0,709	0,607	0,554	...	0,686	0,617	0,931	1,0
06-01-2006	0,718	0,706	0,570	...	0,721	0,688	0,831	1,0
07-01-2006	0,519	0,495	0,585	...	0,767	0,712	0,712	1,0
08-01-2006	0,682	0,800	0,651	...	0,755	0,639	0,642	1,0
09-01-2006	0,696	0,649	0,504	...	0,785	0,712	0,686	1,0

Nota: Cada passo de tempo é designado pelo instante de tempo inicial a que pertence, ou seja, o passo de tempo 0:00 refere-se ao passo de tempo entre 0:00 e 0:15.

4.3.2.5 Redução de dados

Descreve-se neste subcapítulo a etapa de redução de dados do Módulo 2.



Um dos principais problemas associados à recolha de dados operacionais, como os dados de consumo de água, consiste no crescimento muito rápido das bases de dados criadas. Um sistema de telemedição de uma entidade gestora de média dimensão pode registar dados de múltiplas grandezas em algumas dezenas de pontos de medição, com passos de poucos minutos. Tal produz volumes de dados consideráveis, que se acumulam a uma velocidade muito superior à capacidade humana de os tratar e analisar. É quase imperativo utilizar procedimentos expeditos que permitam compactá-los, não só para reduzir o problema físico do armazenamento, mas igualmente para gerar um pré-tratamento que facilite a sua posterior utilização.

A última etapa de processamento de dados tem assim como objectivo compactar o volume de dados contidos na série original, facilitando o armazenamento mas minimizando as perdas de informação relativamente aos dados originais. A redução de dados pode ser motivada pela ocorrência dos seguintes casos:

- i) dados recolhidos com um passo de tempo muito reduzido (*e.g.*, da ordem dos minutos ou mesmo dos segundos) onde é necessário substituir os dados originais por uma representação mais compacta, cujos parâmetros resultantes facilitam a produção de conhecimento (*e.g.*, caracterização dos diferentes usos domésticos) sem perda de informação relativa à série original;
- ii) dados recolhidos em vários pontos de medição onde é necessário fazer um agrupamento destes pontos, reduzindo o número de pontos para análise.

No âmbito deste trabalho são explorados métodos para a redução de dados no primeiro caso.

A separação do consumo domiciliário em eventos rectangulares de consumo constitui um tipo de procedimento para a redução de dados na primeira situação (Buchberger *et al.*, 2003), enquanto técnicas como a análise de *clusters* pode ser aplicada na segunda situação para agregar pontos de medição com características semelhantes (Han e Kamber, 2006).

Na separação do consumo em eventos rectangulares, o consumo de cada cliente doméstico é caracterizado por períodos de consumo de duração e intensidade variável, nos quais pode ocorrer a sobreposição de vários usos, e por períodos de consumo nulo (admitindo que não há perdas domiciliárias). Deste modo, a aquisição de dados com um passo de tempo de 1 min. ou inferior pode gerar um elevado volume de dados a este nível de medição, sendo muitos dos valores nulos.

Com base em estudos anteriores (Buchberger e Wells, 1996a; Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003; García *et al.*, 2004), a separação do consumo em eventos rectangulares (*i.e.*, a discriminação do consumo nos vários usos de dispositivos domiciliários), com uma duração e intensidade aleatória, reduz significativamente o volume de dados a armazenar. O consumo passa a ser representado por eventos rectangulares⁹, com um instante inicial t_1 , um instante final t_2 , uma intensidade positiva $I(t) > 0$ para $t_1 \leq t \leq t_2$ e uma duração $d = t_2 - t_1$, que permitem posteriormente reconstruir a série original sem perda de informação, tal como se apresenta na Figura 4.9.

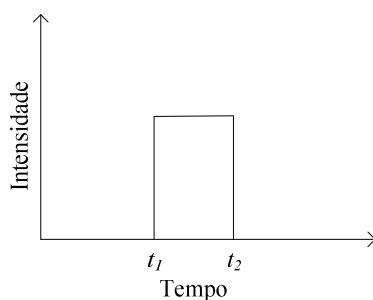


Figura 4.9 – Evento rectangular de consumo.

Possibilita também a geração de informação sobre o consumo, tal como a caracterização das componentes de consumo doméstico (duches, banhos, lavagens de roupa e de loiça, entre outros), e a geração de séries sintéticas de consumo que reproduzem o consumo real.

Neste trabalho, propõe-se em 5.2.5 um procedimento novo para separação do consumo em eventos rectangulares, no período de consumo mínimo nocturno, com base em dados adquiridos com um passo de tempo de tempo de 1 min. ao nível do arruamento ou ramal. Este procedimento tem por base a hipótese adicional que, a este nível de medição e durante o período de consumo mínimo nocturno, a ocorrência de eventos é reduzida, não havendo a

⁹ Assim designado por se admite que cada uso tem uma intensidade que é aproximadamente constante ao longo do tempo.

sobreposição de mais de dois eventos. Distingue-se das abordagens anteriores que têm por base dados em clientes individuais (adquiridos com um passo de tempo de 1 s) para descrever o consumo ao longo do dia em eventos rectangulares de consumo. Estas abordagens existentes admitem também que, ao longo do dia, pode ocorrer a sobreposição de um maior número de eventos (Buchberger e Wells, 1996a; Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003; García *et al.*, 2004).

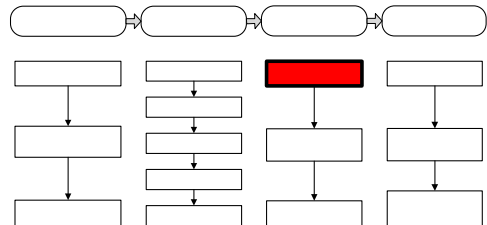
O procedimento que se propõe também pode ser utilizado para descrever o consumo ao longo dia em clientes individuais desde que possa ser admitida a hipótese de não ocorrer a sobreposição de mais de dois eventos num dado instante ou terá de ser adaptado para suportar um maior número de sobreposições.

Este procedimento é aplicado apenas no Caso de estudo 2 (*cf.* descrição no Capítulo 7) com o objectivo de separar o consumo no arruamento ou ramal, durante o período de consumo mínimo nocturno, em eventos rectangulares de consumo para posterior simulação do mesmo.

4.3.3 Produção de informação de caracterização do consumo de água

4.3.3.1 Análise do consumo

A etapa de análise do consumo do Módulo 3 inclui duas tarefas que se passam a descrever com pormenor: (i) estabelecimento de cenários de consumo; e (ii) cálculo de variáveis de consumo.



Estabelecimento de cenários de consumo

A identificação dos períodos de tempo com características semelhantes e daqueles que são distintos entre si é importante para o planeamento, o dimensionamento e a operação diária de uma rede.

- Por exemplo, para o planeamento e dimensionamento de uma expansão de rede é importante saber se o consumo nos últimos 3 anos é diferente do consumo nos 10 anos e, caso haja diferença, se é devido a uma alteração no consumo ao longo de todo o ano ou se apenas nos meses de Verão. Outro exemplo é a necessidade de identificar o período de consumo mínimo nocturno para a realização de testes de rede.

Desta forma, a análise de cenários de consumo, para além de ser uma etapa da metodologia, produz também informação importante para a gestão da rede. Em termos de

metodologia da análise de consumo de água, esta etapa deve ser feita, em geral, antes de etapas como o cálculo de variáveis, o cálculo de padrões e a simulação do consumo, porque análise conjunta dos vários cenários de consumo pode enviesar os resultados da análise.

A ocorrência de um novo cenário de consumo pressupõe diferenças quer em termos do consumo médio, quer em termos do comportamento. Estas diferenças de comportamento podem ser devidas a alterações nos hábitos de consumo entre dias da semana (*e.g.*, entre dia útil, sábado e domingo) e ao longo do ano (*e.g.*, entre os meses de Inverno e de Verão). Neste último caso, factores como a rega de espaços verdes, o uso de piscinas ou o facto de corresponder a uma zona de férias onde a população residente pode aumentar significativamente no Verão contribuem para que haja um acentuado efeito de sazonalidade e o comportamento se altere bastante face ao resto do ano.

Deste modo, numa série de consumo pode pretender identificar-se os seguintes cenários:

- cenário inter-anual – avalia se há diferenças entre anos;
- cenário sazonal – avalia se há diferenças entre meses do ano;
- cenário diário – avalia se há diferenças entre dias da semana;
- cenário de período do dia – avalia se há diferenças entre períodos do dia.

Verifica-se que existem poucas abordagens sistematizadas que permitam a análise de cenários de consumo de água. No consumo de energia, algumas das existentes recorrem a métodos como a análise de *clusters* ou métodos de reconhecimento de padrões como as redes neuronais (Seem, 2005).

Neste trabalho, propõe-se um procedimento novo que tem por base estatísticas sobre o consumo horário e que utiliza a análise de *clusters* para identificar cenários de consumo (*cf.* descrição em 5.2.6). Os conceitos teóricos da análise de *clusters* encontram-se descritos no Anexo 1. Trata-se de um método estatístico não paramétrico (*i.e.*, não é necessário conhecer a distribuição que descreve o consumo), pelo que é menos restritivo que outros métodos estatísticos como o da análise de variância. O procedimento é aplicável a qualquer zona de análise (*i.e.*, cliente individual, arruamento ou ramal, pequena área de rede, ZMC).

Neste trabalho, dado que as séries em análise não excedem mais de um ano de registos, o procedimento é desenvolvido para identificar os cenários de consumo sazonal, diário e de período de dia. A dimensão mínima do histórico para a identificação de cenários sazonais é

de 12 meses, para cenários diários é de 3 meses e para cenários de período do dia é de 1 mês.

Cálculo de variáveis de consumo

As variáveis de consumo (*i.e.*, consumo total, consumo autorizado, perdas de água) permitem obter valores referência importantes para o planeamento, o dimensionamento e a exploração da rede e realizar análises comparativas entre diferentes zonas de análise. Neste trabalho, estas variáveis são utilizadas como variáveis dependentes para a construção de modelos de previsão no Módulo 4 da metodologia.

No que se refere ao consumo total (incluindo perdas de água) e ao consumo autorizado (por cliente, categoria de consumo, conjunto de categorias de consumo) sugere-se no Quadro 4.16 um conjunto de variáveis de consumo: factores de ponta, factores de consumo, consumos médios e mínimos e coeficiente de variação.

O cálculo dos factores de ponta (mensal, diário e instantâneo) é feito com base no histórico de dados de consumo, referente a um ou mais anos completos de registos. Tipicamente, estes factores não incluem perdas de água e são estimados atendendo apenas à população abastecida, sendo necessário separar em cenários de consumo sempre que haja população flutuante (nos casos analisados neste trabalho, esta situação não ocorreu). De salientar que nem sempre é possível separar o consumo associado a perdas do consumo devido a usos efectivos de água, dada a incerteza na estimativa das perdas mesmo tendo por base registos nocturnos. Nesta situação, os factores de ponta tal como estão apresentados no Quadro 4.16 incluem também a componente de perdas de água, sendo, em rigor, o produto do factor de ponta pelo factor de perdas. Estas variáveis (factores de ponta) fornecem valores de referência importantes para o dimensionamento de redes e de respectivos componentes, assim como de equipamentos de medição (*i.e.*, contadores, medidores de caudal).

Os factores de consumo (razão entre o consumo num dado instante e o consumo médio), assim como as variáveis de consumo médio e mínimo permitem comparar o consumo entre diferentes dias da semana (*e.g.*, dia útil e fim-de-semana) ou diferentes cenários sazonais (*e.g.*, consumo em dia útil no cenário de inverno e consumo em dia útil no cenário de verão), desde que os dados sejam recolhidos com suficiente pormenor. As variáveis de consumo mínimo e médio durante o período de consumo mínimo nocturno (PCMN)

permitem fornecer indicações importantes sobre perdas de água ou sobre os consumos mínimos nocturnos.

Como medida de dispersão do consumo recomenda-se ainda o cálculo do coeficiente de variação que também consta do referido quadro.

Quadro 4.16 - Variáveis de consumo para o cenário de consumo global.

<i>Variável</i>	<i>Expressão</i>	<i>Significado</i>
Factor de ponta mensal, F_{pm} (-)	$F_{pm} = \frac{C_{mMax}}{\bar{C}_a}$	C_{mMax} – consumo mensal máximo \bar{C}_a – consumo médio anual
Factor de ponta diário, F_{pd} (-)	$F_{pd} = \frac{C_{dMax}}{\bar{C}_a}$	C_{dMax} – consumo diário máximo
Factor de ponta instantâneo, F_p (-)	$F_p = \frac{C_{Max}}{\bar{C}_a}$	C_{Max} – consumo instantâneo máximo
Factor de consumo diário máximo, f_{dMax} (-)	$f_{dMax} = \frac{C_{dMax}}{\bar{C}}$	\bar{C} – consumo médio
Factor de consumo instantâneo máximo, f_{Max} (-)	$f_{Max} = \frac{C_{Max}}{\bar{C}}$	(-)
Factor de consumo máximo no PCMN, $f_{PCMNMax}$ (-)	$f_{PCMNMax} = \frac{C_{PCMNMax}}{\bar{C}_{PCMN}}$	$C_{PCMNMax}$ – consumo máximo no PCMN \bar{C}_{PCMN} – consumo médio no PCMN
Factor de consumo mínimo máximo, f_{minMax} (-)	$f_{minMax} = \frac{C_{minMax}}{\bar{C}_{min}}$	C_{minMax} – consumo mínimo máximo \bar{C}_{min} – consumo mínimo médio
Factor de consumo instantâneo, f (-)	$f = \frac{C}{\bar{C}}$	C – consumo instantâneo
Consumo médio por cliente, \bar{C}' (l/(cliente.dia))	$\bar{C}' = \frac{\bar{C}}{N}$	N – número de clientes
Porcentagem do consumo médio, \bar{C}'' (%)	$\bar{C}'' = \frac{\bar{C}}{\bar{C}_t} \cdot 100$	\bar{C}_t – consumo total na categoria ou consumo total autorizado
Consumo mínimo médio por cliente, \bar{C}'_{min} (l/(ramal.h)) ou por ramal (l/(cliente.h))	$\bar{C}'_{min} = \frac{\bar{C}_{min}}{N}$	N – número de clientes (no caso de consumo autorizado) ou n.º de ramais (no caso do consumo total)
Consumo médio no PCMN por cliente, \bar{C}'_{PCMN} (l/(ramal.h)) ou por ramal (l/(cliente.h))	$\bar{C}'_{PCMN} = \frac{\bar{C}_{PCMN}}{N}$	\bar{C}'_{PCMN} – consumo médio no PCMN
Coefficiente de variação, C_v	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{C}}$	σ - desvio-padrão do consumo

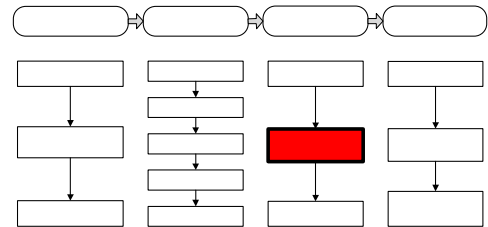
No entanto, estas variáveis não permitem caracterizar o comportamento do consumo ao longo do dia (*i.e.*, para os vários períodos ao longo do dia). Assim, recomenda-se que o cálculo das variáveis de consumo, para os períodos do dia com características semelhantes, seja feito com os dados de consumo adimensionais, a partir das amostras transversais de consumo conforme obtidas na fase de normalização na escala do consumo (*cf.* descrição em 4.3.2.4). Deste modo, este conjunto de variáveis caracteriza apenas o comportamento, separando-o do valor médio do consumo, sendo este último caracterizado pelas variáveis apresentadas no Quadro 4.16. Para a obtenção dos períodos do dia com

características semelhantes recomenda-se que se utilize o procedimento descrito em 5.2.6, que utiliza o método da análise de *clusters* para a obtenção dos cenários de consumo. Deste modo, para cada período do dia, com características semelhantes, recomenda-se o cálculo das seguintes estatísticas: média, quantil 25, quantil 50, quantil75, desvio-padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo e amplitude (diferença entre o valor máximo e o mínimo).

No que se refere às variáveis que caracterizam as perdas de água (*i.e.*, perdas reais e perdas aparentes) recomenda-se a utilização dos indicadores descritos no Quadro 3.2.

4.3.3.2 Estimativa de parâmetros

Descreve-se neste subcapítulo a etapa de estimativa de parâmetros do Módulo 3.



Esta etapa pretende identificar as distribuições estatísticas e os respectivos parâmetros que melhor descrevem determinadas características do consumo, como seja a duração e a intensidade de eventos de consumo. Uma vez estimados os parâmetros das distribuições é possível inferir sobre o consumo de água (*e.g.*, obtenção de intervalos de confiança, geração de séries sintéticas do consumo por simulação).

Para a identificação das distribuições estatísticas e dos respectivos parâmetros que melhor descrevem determinadas características do consumo realizam-se testes de ajustamento, como o teste Qui-quadrado de Pearson e o teste de Kolmogorov-Smirnov. Neste trabalho utiliza-se o teste Qui-quadrado de Pearson, pois é um teste paramétrico, que se descreve em A1.2. Para a realização deste teste, é necessário conhecer os estimadores dos parâmetros de cada distribuição que são calculados com base nas observações. Para as distribuições testadas apresenta-se em A1.1 as expressões para os respectivos estimadores. Para a aplicação deste teste é também necessário agregar os dados em classes de acordo com as regras que se referem em A1.2.

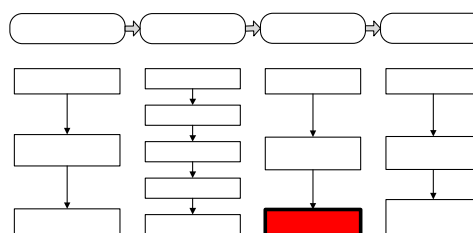
Quando os estimadores dos parâmetros das distribuições não possuem uma expressão explícita, é necessário recorrer a métodos alternativos (*e.g.*, redefinição da função de verosimilhança, algoritmo EM de acordo com Bilmes (1998)).

Quadro 4.17 – Características do consumo a que foram a cada caso de estudo

Características do consumo	Caso de estudo			
	Caso 1 Domiciliário	Caso 2 Arruamento ou ramal	Caso 3 Pequenas áreas	Caso 4 ZMC
Amostras transversais de consumo	☒		☒	☒
Chegada, duração e intensidade dos eventos		☒		

4.3.3.3 Modelação do consumo

A etapa de modelação do consumo do Módulo 3 inclui duas tarefas que se passam a descrever com pormenor: (i) cálculo dos padrões de consumo; e (ii) simulação do consumo.



Cálculo de padrões de consumo

Um padrão de consumo pretende traduzir a sua evolução ao longo do dia. Este pode ser obtido para caracterizar o consumo na globalidade do histórico, numa dada época do ano ou num conjunto de dias (e.g., dias úteis, sábado, domingos) (Figura 4.10). Um padrão distingue-se de um diagrama de série temporal do consumo que representa a sua evolução ao longo do tempo (Figura 4.11). Estes padrões de consumo são úteis para gestão operacional da rede (e.g., gestão de volumes armazenados, pressão, energia de bombeamento, análise de perdas reais), pelo que importa estabelecer um procedimento geral para a sua construção, considerando os diferentes níveis de análise.

A Figura 4.10 apresenta um padrão diário de consumo numa ZMC, para dia útil, estimado de acordo com a abordagem proposta por Coelho (1988). Este padrão tem por base dados de consumo normalizados na escala temporal, num passo de tempo de 15 min.¹⁰, e na escala do consumo (cf. descrição em 4.3.2.4). Os padrões de consumo podem-se apresentar-se na forma adimensional (Figura 4.10), designando-se o consumo em cada instante por factor de carga ou factor de consumo, ou na forma dimensional, multiplicando o factor de consumo em cada instante pelo consumo médio diário no período de análise.

¹⁰ Cada passo de tempo é identificado pelo instante de tempo inicial a que pertence.

Cada instante do padrão, pretende caracterizar a respectiva amostra transversal de consumo (cujo exemplo se apresenta Quadro 4.15) em termos da média e do intervalo de predição¹¹. Assim, tipifica-se o comportamento médio e estima-se o intervalo ao qual futuras observações de consumo deverão pertencer dada uma amostra observada. Os intervalos de predição são calculados admitindo que a distribuição de consumo, em cada instante, segue uma distribuição Log-normal (Coelho, 1988).

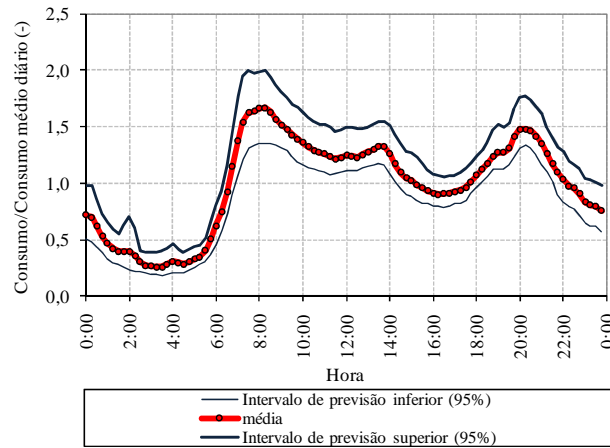


Figura 4.10– Padrão (diário) de consumo adimensional para dia útil

Sabe-se que se uma dada variável X segue uma distribuição Log-normal, a variável $Y=\ln(X)$ segue uma distribuição normal (Chami *et al.*, 2007). Assim, o intervalo de predição para Y , a um nível de confiança de $100 \cdot (1 - \alpha)\%$, pode ser obtido de acordo com a equação (4.1):

$$[\bar{y} - z_{(\alpha/2)} \cdot \sigma_y, \bar{y} + z_{(\alpha/2)} \cdot \sigma_y] \tag{4.1}$$

em que \bar{y} e σ_y são a média e o desvio-padrão amostral dos valores de consumo transformados ($y=\ln(x)$) em cada instante, respectivamente, e $z_{(\alpha/2)}$ um valor tal que $P[Z > z_{(\alpha/2)}] = \alpha/2$. Assim, o intervalo de predição para a variável X dado pela seguinte equação:

$$[e^{\bar{y}-z_{(\alpha/2)} \cdot \sigma_y}, e^{\bar{y}+z_{(\alpha/2)} \cdot \sigma_y}] \tag{4.2}$$

A construção de padrões de consumo para a gestão operacional da rede pressupõe também a identificação prévia dos cenários de consumo (*e.g.*, cenário sazonal, cenário diário). A

¹¹ Os intervalos de predição distinguem-se dos intervalos de confiança, uma vez que prevêm a distribuição de novos valores de consumo e não de estatísticas com a média da população. Um intervalo de predição a 95% significa que, em média 95 de entre 100 novas observações de consumo estão compreendidas dentro dos intervalos construídos.

coexistência de comportamentos muito diferentes pode levar à rejeição da hipótese de base utilizada para o cálculo dos intervalos de predição (segundo a qual o consumo em cada instante segue uma Log-normal), inviabilizando o uso dos intervalos de predição de acordo com a equação (4.2) para estabelecer, por exemplo, alertas sobre consumos atípicos.

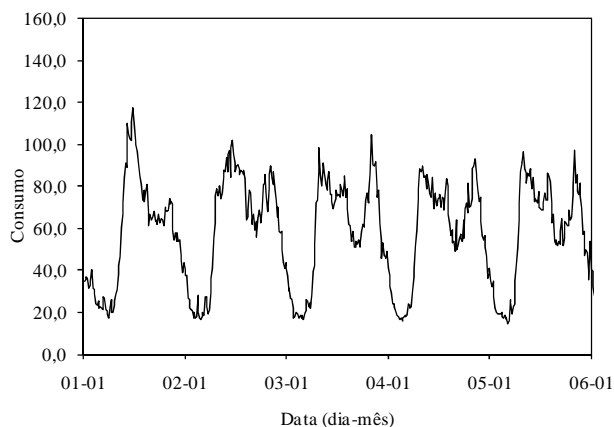


Figura 4.11– Exemplo de diagrama de série temporal numa ZMC

O mesmo tipo de problema pode ocorrer se o consumo total medido numa ZMC incluir também o consumo de grandes consumidores, com comportamento muito diferentes dos restantes clientes. Estes devem ser telemedidos e seu consumo deve ser deduzido ao consumo total antes do cálculo de padrões de consumo.

O procedimento estabelecido por Coelho (1988) foi obtido para uma ZMC com 7500 habitantes com consumo predominantemente doméstico, pelo que se recomenda que para ZMC com uma dimensão muito diferente sejam realizados testes de ajustamento para avaliar se a distribuição Log-normal permite descrever adequadamente a distribuição do consumo em cada instante e se o intervalo de predição pode ser calculado de acordo com a equação (4.2). Recomenda-se o mesmo procedimento para o cálculo de padrões de consumo em pequenas áreas de rede e em grandes consumidores.

Caso tal hipótese não se verifique, deve avaliar-se o ajustamento de outras distribuições teóricas ou calcular-se um intervalo de predição não paramétrico, como seja através de técnicas de reamostragem como o *Bootstrap* (Hesterberg, 1998) que não requer o conhecimento sobre a distribuição teórica. De uma forma mais simples, pode-se exprimir apenas a variabilidade do consumo em cada instante através do cálculo de quartis.

Neste trabalho, são realizados testes de ajustamento para avaliar se em ZMC com um número de habitantes entre 3500 e 9000 habitantes (Caso de estudo 4), em pequenas áreas

de rede (Caso de estudo 3) e em grandes consumidores (Caso de estudo 1) é válida a hipótese apresentada para o cálculo de intervalos de predição.

Ao nível de clientes individuais com comportamento irregular, caracterizado muitas vezes por eventos de consumo isolados (Figura 4.12), como certos grandes consumidores, não é possível estabelecer um padrão de consumo como se propõe neste trabalho. Para este tipo de clientes, pode ser mais informativo conhecer a probabilidade de ocorrência de consumo num dado instante ao longo do dia, $P(A) = N_A/N$, em que N_A é o número de acontecimentos de consumo e N o número total de acontecimentos num dado passo de tempo, obtendo-se um padrão de probabilidade de ocorrência de consumo.

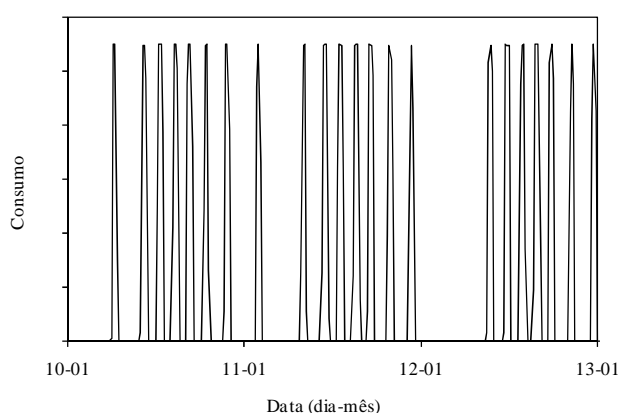


Figura 4.12 – Exemplo de diagrama de série temporal de um grande consumidor

Complementarmente ao padrão, deve obter-se também um conjunto de parâmetros que caracterizam o consumo, como seja o número médio de eventos por dia, a sua intensidade e duração.

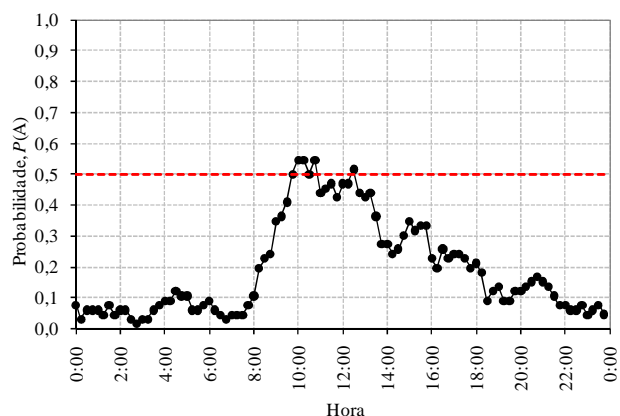


Figura 4.13 – Exemplo de padrão de probabilidade de ocorrência de consumo num grande consumidor

Simulação do consumo

A simulação do consumo de água permite inferir sobre estatísticas com o consumo mínimo e médio diário ou sobre o comportamento médio diário num determinado ponto de uma rede. Este tipo de ferramenta de análise é importante, uma vez que não é viável dispor de medições de consumo em todos os pontos da rede e permite obter estimativas mais fiáveis do consumo neste pontos do que as que se obtêm com base nas abordagens tradicionais.

- Tipicamente admite-se, que o consumo de água num determinado ponto da rede é calculado de forma determinística, quer em termos do consumo médio, quer em termos do padrão de consumo, não se conhecendo o valor real que ocorre em cada instante (Walski *et al.*, 2003; Coelho *et al.*, 2006).

Assim, a partir da análise pormenorizada do consumo, num conjunto reduzido de clientes, efectuada de acordo com 4.3.3.2 (onde se obtiveram as distribuições e respectivos parâmetros que descrevem a taxa de chegadas, a duração e a intensidade dos eventos), é possível inferir sobre o consumo para um conjunto mais alargado de clientes do mesmo tipo.

Para a simulação do consumo deve atender-se aos seguintes pressupostos:

- os consumos no interior das habitações (*e.g.*, descarga de autoclismos, lavagem de roupa e louça) devem ser simulados separadamente dos consumo no exterior das habitações (*e.g.*, rega de espaços verdes, lavagem de veículos), tal como recomendados por Buchberger *et al.* (2003) dado que são eventos com características muito diferentes (*i.e.*, a duração e intensidade deste últimos eventos pode ser muito superior à de eventos interiores);
- a chegada de eventos é independente do número de dispositivos em uso;
- a chegada de eventos, a duração e a intensidade dos eventos são em geral independentes entre si embora, no caso destas últimas variáveis, a hipótese de independência deva ser sempre avaliada, pois o facto existirem dispositivos com funcionamento determinístico (*e.g.*, autoclismos, máquinas de lavar roupa e louça), em que a duração e intensidade são dependentes entre si, pode influenciar a esta hipótese;
- dois eventos não podem começar nem acabar ao mesmo tempo; e
- a sobreposição de eventos de consumo é baixa num cliente individual.

A simulação do consumo envolve três etapas principais, tal como se apresenta na Figura 4.14. No primeiro passo, com base no conhecimento sobre os parâmetros da distribuição que melhor descreve a chegada dos eventos (a partir dos resultados obtidos em 4.3.3.2), gera-se aleatoriamente valores para esta variável no período de análise e obtém-se o tempo início de cada evento.

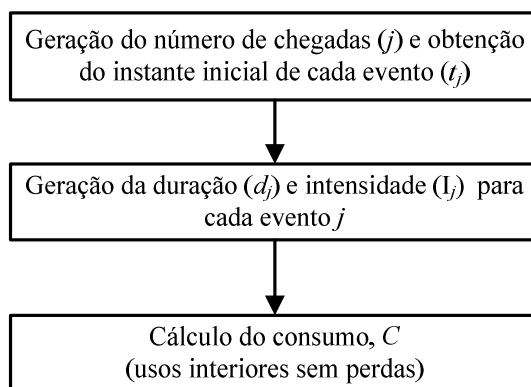


Figura 4.14 – Procedimento para a simulação do consumo no período de análise

No segundo passo, a partir dos parâmetros das distribuições que melhor descrevem a duração e a intensidade dos eventos (obtidos em 4.3.3.2), geram-se também aleatoriamente valores para estas variáveis que caracterizam cada um dos eventos de consumo gerados. No terceiro passo, o consumo total no período de análise resulta da soma do consumo associado a cada um dos eventos neste período. O resultado final deve ser obtido a partir de múltiplas simulações para que este possa ser representativo.

A partir deste conjunto de simulações, podem obter-se estatísticas para comparação com estatísticas dos valores de consumo reais, validando o modelo. De acordo com estudos anteriores, recomenda-se que se utilize, por exemplo, a média, a variância o máximo e proporção de zeros (García *et al.*, 2004; Blokker *et al.*, 2009) para validação do modelo.

Neste trabalho, é proposto um modelo de simulação do consumo para estimar o consumo mínimo doméstico, no período de consumo mínimo nocturno, numa ZMC, a partir das características do consumo ao nível do arruamento ou ramal neste mesmo período. Este modelo é inovador face aos existentes, uma vez que estes últimos têm por base dados de consumo em clientes individuais e pretendem-se simular o comportamento ao longo do dia (Buchberger *et al.*, 2003; García *et al.*, 2004; Blokker *et al.*, 2009). O modelo de simulação encontra-se descrito em 5.2.7.

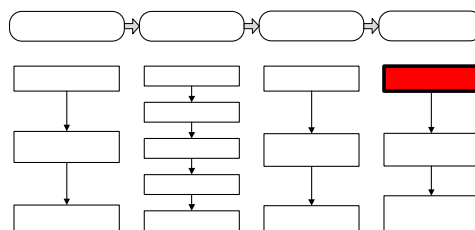
O modelo construído é válido para simular o consumo em períodos de consumo homogéneo (*i.e.*, a taxa de chegada de eventos é constante) e em que a ocorrência de

eventos seja reduzida (*i.e.*, a taxa de chegada de eventos é baixa), como seja no período de consumo nocturno, pelo que não é directamente aplicável para simular o padrão de consumo diário. Para poder simular o comportamento ao longo do dia devem conhecer-se os parâmetros que descrevem a chegada, a duração e a intensidade dos eventos nos vários períodos de consumo homogéneo.

4.3.4 Classificação e previsão do consumo de água

4.3.4.1 Cálculo de variáveis explicativas

A etapa de cálculo de variáveis explicativas Módulo 4 inclui quatro tarefas que se passam a descrever com pormenor: (i) recolha e validação de dados de contexto; (ii) combinação de dados; (iii) cálculo de variáveis explicativas; e (iv) redução de variáveis.



Recolha e validação de dados de contexto

Previamente às etapas de construção e exploração de modelos de classificação e de previsão do consumo, é necessário recolher dados de contexto para obter um conjunto de variáveis explicativas (ou variáveis independentes), que são utilizadas para prever o consumo. As variáveis explicativas podem ser construídas tendo por base dados de contexto relativos a:

- clientes abastecidos (*e.g.*, número de clientes em cada categoria de consumo) e respectivo consumo facturado (*e.g.*, consumo total facturado em cada categoria);
- infra-estrutura (*e.g.*, idade das condutas, número de roturas em ramais);
- funcionamento hidráulico da rede (*e.g.*, pressão);
- sócio-demografia (*e.g.*, idade da população, altura do edificado);
- hábitos de consumo (*e.g.*, número e duração do duches diários para clientes doméstico, período de rega para clientes não domésticos com espaços verdes);
- características da instalações (*e.g.*, número e tipo de autoclismos, tipo de sistema de ar condicionado, área de rega);
- meteorologia (*e.g.*, temperatura e precipitação).

O tipo de dados a recolher deve atender à componente de consumo que se pretende prever.

- ❑ Por exemplo, a previsão pode incidir sobre o consumo autorizado doméstico, a recolha de dados deve incidir principalmente sobre os clientes domésticos abastecidos, o consumo facturado na categoria doméstico, os dados sócio-demográficos e os dados de hábitos de consumo. Se o objectivo é prever o consumo autorizado não doméstico, é fundamental recolher dados sobre as características das instalações. Para a previsão das perdas reais, a recolha de dados deve incidir sobre a infra-estrutura e o funcionamento hidráulico da rede.

O Quadro 4.18 apresenta uma síntese dos dados, seus requisitos e suas origens para a construção das variáveis explicativas. Os dados a recolher devem poder ser associados à zona de análise (*e.g.*, cada ramal ou cliente deve possuir um código que o associa à ZMC em análise). O nível a que a recolha de dados é feita depende da zona de análise (*e.g.*, se a zona de análise se refere à ZMC basta recolher dados de consumo ao nível do ramal, por oposição à análise ao nível do cliente individual onde são necessários dados a este nível).

Quadro 4.18 – Tipo, requisitos e origens dos dados de contexto.

<i>Categoria de dados</i>	<i>Dados</i>	<i>Requisitos</i>	<i>Origens</i>
Clientes e consumo facturado (por cliente ou ramal)	<ul style="list-style-type: none"> • Categoria de consumo • Consumo facturado • Número de clientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo facturado com periodicidade máxima bimestral. • Dimensão mínima do histórico: 1 ano. 	SFGC ¹²
Infra-estrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Ramais • Conduitas • Ordens de serviço 	<ul style="list-style-type: none"> • Geograficamente referenciados. • Conduitas (material, idade, comprimento). • Ramal (tipo, data, comprimento, n.º de clientes). • Ordens de serviço (roturas em ramal, roturas na rede). 	SIG
Funcionamento hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> • Pressão 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos de medição calibrados 	Modelo hidráulico, medições
Sócio-demográficos	<ul style="list-style-type: none"> • População • Habitação 	<ul style="list-style-type: none"> • Geograficamente referenciados. 	Censos, inquérito
Hábitos de consumo	<ul style="list-style-type: none"> • Hábitos diários 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode incluir hábitos de poupança de água e energia 	Inquérito
Características das instalações	<ul style="list-style-type: none"> • Número e tipo de instalações • Duração e consumo de cada utilização 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de associar dados à zona de análise. 	Catálogos de fabricantes, Inquérito
Meteorológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Precipitação 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos de medição calibrados. 	Modelo de previsão, medições

A disponibilidade de dados geograficamente referenciados (*e.g.*, dados de infra-estruturas, dados sócio-demográficos) facilita a realização de operações de combinação de dados

¹² SFGC – sistema de facturação e de gestão de clientes

heterogéneos e provenientes de múltiplas origens. Em dados como os de infra-estrutura é importante conhecer-se as suas propriedades (*e.g.*, comprimento e diâmetro das condutas) e que estas estejam correctamente descritas.

- ❑ Por exemplo, muitas vezes uma entidade gestora dispõe de dados sobre avarias, mas o facto de não estarem correctamente categorizados, inviabiliza a sua separação em avarias em ramais e avarias nas condutas.

Os dados de pressão encontram-se geralmente disponíveis a partir de medições pontuais na rede (com equipamento calibrado) ou a partir de modelos hidráulicos calibrados que fornecem uma estimativa da distribuição de pressões na rede.

Para níveis de análise como as pequenas áreas de rede e as ZMC, os dados sócio-demográficos podem ser obtidos a partir da base geográfica de referenciação de informação do INE, que disponibiliza dados dos Censos ao nível da subsecção estatística (*i.e.*, unidade estatística com cerca de 300 alojamentos). Ao nível de análise do cliente individual, os dados sócio-demográficos podem ser obtidos através da realização de um inquérito. Esta ferramenta de recolha de dados pode ser também utilizada para gerar informação sobre os hábitos de consumo e sobre as características das instalações.

Os dados meteorológicos deverão preferencialmente referir-se a registos reais. Em alternativa, podem usar-se dados baseados em previsões.

- ❑ Por exemplo no Caso de estudo 4 são usados dados de previsão de temperatura e previsão para Oeiras, obtidos a partir do sítio <http://www.windguru.com> (Quadro 4.19).

Quadro 4.19 – Dados de contexto recolhidos em cada caso de estudo

Categoria de dados	<i>Caso de estudo</i>			
	<i>Caso 1 Domiciliário (1 cliente)</i>	<i>Caso 2 Arruamento ou ramal (≤30 clientes)</i>	<i>Caso 3 Pequenas áreas (30-500 clientes)</i>	<i>Caso 4 ZMC (500 – 5000 clientes)</i>
Clientes e consumo facturado	☒	☒		☒
Infra-estrutura		☒	☒	☒
Funcionamento hidráulico			☒	
Sócio-demográfico		☒		☒
Características das instalações				
Meteorologia				☒

Uma vez que os dados a recolher provêm muitas vezes de várias origens e podem estar associados a diferentes datas é importante que sejam acompanhados de elementos descritivos como o sistema de coordenadas, a escala ou/e resolução, as datas de criação e de actualização.

- ❑ Por exemplo, os dados dos censos dependem da data do último recenseamento geral, enquanto os dados de facturação se referem ao período em que foram obtidos os dados de consumo telemedido.

Complementarmente, a recolha de elementos como ortofotomapas e plantas do edificado pode ajudar a visualizar melhor as zonas de análise e a identificar situações incoerentes (*e.g.*, zonas urbanas que tenham sido modificadas após a realização dos Censos).

Combinação de dados

A combinação de dados de contexto é motivada pelo facto de existirem dados referentes a diferentes unidades geográficas (*e.g.*, dados de clientes e de consumo facturado referentes ao ramal, dados sócio-demográficos relativos a subsecções estatísticas, dados de pressão e meteorológicos relativos a um ponto de medição). Deste modo, é necessário exprimir todos os dados de contexto ao mesmo nível a que é feita a análise (*e.g.*, ZMC), identificando o(s) elemento(s) de ligação entre as diferentes bases de dados.

Neste contexto pode ser necessário desenvolver ferramentas de geoprocessamento para cruzamento de dados.

- ❑ Por exemplo, neste trabalho desenvolve-se uma ferramenta de geoprocessamento para obter dados sócio-demográficos em ZMC a partir de dados dos Censos geograficamente referenciados ao nível da subsecção estatística (*cf.* descrição em 5.4).

Cálculo de variáveis explicativas

Uma vez obtidos os dados de contexto, as variáveis explicativas devem ser construídas na forma adimensional, de forma a eliminar o efeito da dimensão de cada zona de análise e possibilitar uma análise comparativa.

Neste trabalho, calcula-se um conjunto de variáveis relativas à infra-estrutura, facturação e sócio-demografia dos clientes abastecidos.

As variáveis de infra-estrutura encontram-se categorizadas em termos de: ramal, conduta, avarias e comportamento hidráulico, tal como se apresenta no Quadro 4.20.

No que se refere ao cálculo da pressão, nos casos em que não exista um modelo hidráulico, deverá identificar-se o ponto de cota média na ZMC e a pressão média neste ponto obtém-

se adicionando à pressão na entrada da ZMC a diferença de cotas entre os dois pontos (entrada e ponto de cota média). Esta aproximação poderá ser válida nos casos em que a rede estudo possua perdas de carga reduzidas. Caso tal condição não se verifique, o ponto de cota média pode ser estimado com base num modelo hidráulico. Neste caso, a cota média é determinada ponderando o valor da cota pelo valor de consumo em cada nó. Uma vez identificado o ponto mais próximo do valor de cota média, obtém-se a pressão média diária e a pressão média durante o período nocturno.

Quadro 4.20 – Variáveis de infra-estrutura

<i>Categoria</i>	<i>Variável (unidades)</i>	<i>Dados</i>
Ramal	Densidade de ramais (n.º de ramais/km) (Taxa de) ramais de rega (%) Comprimento (médio de) ramal (m)	N.º total de ramais N.º de ramais de rega Comprimento de cada ramal
Conduta	Ano de instalação (médio) das condutas - ponderado pelo comprimento (ano) Diâmetro (médio) das condutas - ponderado pelo comprimento (mm) (Taxa de) condutas em ferro (%) (Taxa de) condutas em fibrocimento (%) Taxa de condutas em plástico (%)	Comprimento Ano de instalação Diâmetro Material
Avárias	Avárias nas condutas (n.º/100km/ano) Avárias em ramais (n.º/1000 ramais/ano)	N.º de avárias nas condutas N.º de avárias em ramais
Comportamento hidráulico	Pressão (média) na rede (m c.a.) Pressão (média) no período nocturno (1:00-6:00) (m c.a.)	Histórico de pressão à entrada da rede.

Nota: Nos casos de estudo, as variáveis são designadas de modo abreviado, omitindo o que se encontra entre parêntesis de forma a simplificar o texto e as figuras.

As variáveis relativas ao consumo facturado e à água não facturada (perdas comerciais) são apresentadas no Quadro 4.21. Para o cálculo do consumo doméstico facturado em cada escalão, deve atender-se aos escalões estabelecidos de acordo com a recomendação tarifária da ERSAR (IRAR, 2009).

Neste trabalho, o consumo não doméstico é categorizado em comércio-indústria, público e colectivo, de acordo Almeida *et al.* (2006). No entanto, esta categorização pode ser ajustada em função da classificação de cada entidade gestora, pois a heterogeneidade dos clientes pode levar a que seja necessário criar categorias de consumo específicas.

O consumo comercial está associado às diversas actividades comerciais (*e.g.*, escritórios, armazéns, cafés, restaurantes). Neste trabalho engloba-se também nesta categoria os consumos de indústria, dado que muitas vezes não é fácil fazer a separação entre usos

comerciais e indústrias e geralmente as entidades gestoras também agrupam estas duas categorias.

Quadro 4.21 – Variáveis de facturação

<i>Categoria</i>	<i>Variável (unidades)</i>	<i>Dados</i>
Consumo doméstico	Consumo doméstico (%)	Consumo total facturado Consumo total facturado na categoria doméstico
	Capitação (l/(hab.dia))	Consumo total facturado na categoria doméstico N.º de residentes
	Consumo doméstico por cliente (l/(cliente.dia))	Consumo total facturado na categoria doméstico N.º de clientes doméstico
	Consumo doméstico em cada escalão (%)	Consumo total facturado Consumo facturado em cada escalão
Consumo não doméstico	Consumo não doméstico (%)	Consumo total facturado Consumo total facturado na categoria não doméstico ¹³
	Consumo não doméstico por cliente (l/(cliente.dia))	Consumo total facturado na categoria não doméstico N.º de clientes não domésticos
	Consumo comércio-indústria (%)	Consumo total facturado na categoria comércio-indústria Consumo total facturado
	Consumo público (%)	Consumo total facturado na categoria de consumos público Consumo total facturado
	Consumo colectivo (%)	Consumo total facturado na categoria de consumos colectivo Consumo total facturado
Água não facturada	Água não facturada (m ³ /(ramal.ano))	Consumo total facturado Consumo total medido N.º total de ramais

As variáveis sócio-demográficas (Quadro 4.22) devem ser construídas de acordo com a fonte de informação utilizada para a recolha de dados relativos à população e à habitação (e.g., inquérito, Censos).

No caso de dados provenientes dos Censos propõem-se as seguintes variáveis para caracterizar o edificado, os indivíduos residentes e as famílias. As expressões para o cálculo destas variáveis encontram-se descritas no Anexo 2

¹³ Deduzindo eventuais clientes com consumo telemedido.

Quadro 4.22 – Variáveis sócio-demográficas

<i>Categoria</i>	<i>Variável (%)</i>	<i>Descrição</i>
Edificado	Vetustez 1	Proporção de edifícios construídos antes de 1970
	Vetustez 2	Proporção de edifícios construídos entre 1971 e 1990
	Vetustez 3	Proporção de edifícios construídos entre 1981 e 2001
	Edifícios baixos	Proporção de edifícios com 1-2 pisos
	Edifícios médios	Proporção de edifícios com 3-4 pisos
	Edifícios altos	Proporção de edifícios com 5 pisos ou mais
Indivíduos residentes	Idosos	Proporção de residentes com 65 anos ou mais
	Permanência em casa	Proporção de residentes pensionistas ou reformados e sem actividade económica
	Mobilidade social	Proporção de residentes com curso médio ou superior completo
	Mobilidade económica	Proporção de residentes empregados no sector terciário
	Escolaridade obrigatória	Proporção de residentes com 1º, 2º e 3º ciclos do ensino básico completos
	Indivíduos que trabalham ou estudam no concelho	Proporção de residentes que trabalham ou estudam no concelho
Famílias	Famílias com jovens	Proporção de famílias com pessoas com menos de 15 anos
	Famílias com desempregados	Proporção de famílias com desempregados
	Famílias pequenas	Proporção de famílias com 1-2 pessoas
	Famílias médias	Proporção de famílias com 3-4 pessoas
	Famílias grandes	Proporção de famílias com mais de 5 pessoas
	Famílias com idosos	Proporção de famílias com pessoas com mais de 65 anos

Redução de variáveis

A redução de dados tem como objectivo obter uma representação mais simplificada dos dados iniciais, reduzindo o seu volume e minimizando perdas de informação em relação aos dados originais. Face ao conjunto alargado de variáveis de infra-estrutura, de consumo facturado e sócio-demográficas, e de algumas delas poderem redundantes, recomenda-se a aplicação de técnicas que permitam reduzir a sua dimensão. A redução do número de variáveis é também particularmente importante quando o número de casos de estudo é reduzido face ao número de variáveis explicativas, podendo enviesar os resultados na etapa de previsão.

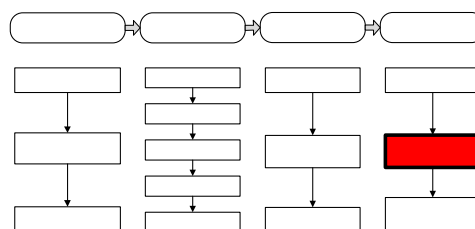
O método recomendado para a redução do número de variáveis é a análise em componentes principais, cujo algoritmo se descreve no Anexo 1. Este método permite obter um conjunto reduzido de novas variáveis, designadas componentes independentes entre si e que resultam de combinações lineares das principais, variáveis iniciais. Este

método permite também revelar associações entre as variáveis iniciais que antes não tinham sido detectadas.

As componentes principais obtidas, também designadas neste trabalho por factores, são utilizadas como dados de entrada nos modelos de classificação e de previsão do consumo de água.

4.3.4.2 Construção do modelo de classificação ou de previsão

A Etapa de construção do modelo de classificação ou de previsão do Módulo 4 inclui três tarefas que se passam a descrever com detalhe: (i) selecção das variáveis de consumo; (ii) selecção das variáveis explicativas; e (iii) selecção e construção do modelo.



Seleção das variáveis de consumo

Consoante o tipo de variável de consumo que se pretende prever - quantitativa ou qualitativa - recomenda-se a utilização de modelos de previsão ou de classificação, respectivamente (Han e Kamber, 2006; Tan *et al.*, 2006). Os modelos de classificação (*e.g.*, árvores de decisão, redes neuronais) são particularmente adequados para prever variáveis qualitativas como um tipo de padrão de consumo (*e.g.*, padrão tipo I, tipo II), onde não há uma ordem implícita na categorização da variável. As variáveis de consumo obtidas em 4.3.3.1 são variáveis quantitativas para as quais a aplicação de modelos de previsão (*e.g.*, regressão linear, regressão linear múltipla) é particularmente adequada.

No caso de se pretender transformar o consumo de água em categorias, como os padrões diários de consumo em ZMC, pode recorrer-se a técnicas de análise exploratória de dados como a análise em componentes principais ou a análise de *clusters*.

Neste trabalho, com o objectivo é identificar os principais tipos de padrões de entre os padrões pertencentes a múltiplas ZMC aplica-se a análise de *clusters*. Pode aplicar-se também o mesmo tipo análise no caso de se pretender categorizar, por exemplo, múltiplas leis de variação das perdas reais com a pressão, obtidas em várias zonas de rede.

Seleccção das variáveis explicativas

A selecção das variáveis explicativas (ou variáveis independentes) pode ser feita atendendo a aspectos como o conhecimento adquirido em estudos anteriores sobre as variáveis que mais influenciam o consumo de água ou o conhecimento sobre as variáveis que podem ser facilmente calculadas por uma entidade gestora. Complementarmente, pode recorrer-se a métodos estatísticos que permitem identificar se uma dada variável ou conjunto de variáveis influenciam o consumo e quais são as mais importantes (*e.g.*, análise de variância, análise de *clusters*, matriz de correlações).

- ❑ Por exemplo, no âmbito deste trabalho aplica-se a análise de *clusters*, cujo método estatístico se descreve em A1.3, para identificar as variáveis que influenciam o consumo durante o período de consumo mínimo no Caso de estudo 2 (Capítulo 7) e aplica-se a análise de variância para avaliar se a pressão influencia as perdas reais e o consumo no Caso de estudo 3 (Capítulo 8).

Seleccção e construção do modelo

Para a classificação do consumo existe um conjunto alargado de métodos (*e.g.*, árvores de decisão, algoritmos genéticos, redes neuronais). A decisão sobre o tipo de método a adoptar deve depender de critérios como a exactidão e o nível de interpretabilidade dos resultados, a capacidade para lidar com elevados volumes de dados e a robustez a eventuais erros no conjunto de dados utilizados para a construção dos modelos (Han e Kamber, 2006; Tan *et al.*, 2006).

- ❑ Por exemplo, neste trabalho, aplica-se o método das árvores de decisão para classificar padrões diários de consumo ao nível de ZMC (Quadro 4.23). O método encontra-se descrito em A1.6. Com este modelo de classificação pode-se prever o comportamento diário para zonas de rede sem dados de consumo telemedido, tendo por base o conhecimento sobre um conjunto de variáveis explicativas nessas zonas. Nas árvores de decisão, o modelo de classificação pode ser bastante simples e facilmente implementável para previsão, por oposição a outros métodos como as redes neuronais, que geralmente também requerem um maior número de casos.

Para previsão do consumo de água, um dos métodos mais utilizados é a regressão linear simples ou múltipla (no caso de existir mais do que uma variável explicativa). O método de regressão linear encontra-se descrito em A1.5.

- ❑ Por exemplo, neste trabalho, os modelos de regressão linear são utilizados para prever o consumo em função de variáveis explicativas a vários níveis de análise (Quadro 4.23).

Quadro 4.23 – Aplicação de métodos de classificação ou de previsão em cada caso de estudo

<i>Modelo de classificação ou de previsão</i>	<i>Caso de estudo</i>			
	<i>Caso 1 Domiciliário (1 cliente)</i>	<i>Caso 2 Arruamento ou ramal (≤30 clientes)</i>	<i>Caso 3 Pequenas áreas (30-500 clientes)</i>	<i>Caso 4 ZMC (500 – 5000 clientes)</i>
Regressão simples		☒		
Regressão linear múltipla				☒
Árvores de decisão				☒

4.3.4.3 Exploração do modelo de classificação ou de previsão

A exploração do modelo de classificação ou de previsão consiste na sua utilização para previsão do consumo em zonas de rede diferentes das que foram utilizadas para a construção dos mesmos. A previsão do consumo em zonas onde existam dados de medição do consumo permite também avaliar a qualidade do modelo obtido e identificar possíveis razões para as diferenças encontradas. Uma vez validado o modelo, este pode ser utilizado para previsão do consumo noutras zonas de rede com características idênticas.

4.4 Síntese

Neste capítulo apresentou-se uma proposta de metodologia de análise do consumo urbano de água, para produzir informação para a gestão dos sistemas de distribuição de água, a partir de dados gerados por sistemas de telemetria.

A metodologia, estruturada em quatro módulos, sistematiza um conjunto de recomendações e procedimentos, muitos deles inovadores, que abrangem as etapas desde a definição dos objectivos da análise até à obtenção de modelos de previsão do consumo de água. Utiliza métodos de análise do domínio do *data mining*, que são pouco explorados na análise do consumo urbano de água (e.g., análise de *clusters*, árvores de decisão), para combinar dados de consumo com dados de contexto e produzir resultados que podem ser utilizados para apoio ao planeamento, dimensionamento, operação e manutenção de redes de distribuição de água. Com esta metodologia é possível tirar maior partido do elevado volume de dados gerado pelos sistemas de telemetria para usos específicos de engenharia.

No que se refere aos diferentes módulos da metodologia apresenta-se seguidamente os principais aspectos inovadores.

Planeamento e implementação da monitorização do consumo de água

- conjunto de recomendações que permitem verificar a adequabilidade do sistema de monitorização e dos dados existentes ou para planear e implementar um novo sistema de monitorização;

Processamento de dados de consumo de água

- procedimento para a detecção de dados anómalos em séries de consumo;
- desenvolvimentos nos métodos existentes para a normalização do consumo do consumo na escala temporal proposto por Coelho (1988) e na obtenção de eventos rectangulares de consumo propostos por Buchberger e Wells (1996a) e por Garcia (2003);

Produção de informação de caracterização do consumo de água

- procedimento para estabelecimento de cenários de consumo;
- conjunto de variáveis para análise do consumo;
- desenvolvimentos no método existente para o cálculo de padrões de consumo proposto por Coelho (1988);
- modelo para simulação do consumo doméstico no período de consumo mínimo nocturno em ZMC a partir de dados de consumo no arruamento ou ramal;

Classificação e previsão do consumo de água

- procedimento para a obtenção de variáveis explicativas a relacionar com o consumo, a partir de dados de contexto;
- procedimento para identificação das variáveis explicativas que influenciam o consumo;
- modelos de previsão e de classificação do consumo de água.

A metodologia tem potencial para ser aplicada para:

- processar dados provenientes de diferentes tipos equipamentos de medição (*e.g.*, contadores, medidores de caudal) e de sistemas de telemetria com características diversas (*e.g.*, resolução e passo de tempo entre registos, tipo de variável registada em cada instante);
 - analisar as diferentes componentes de consumo (*i.e.*, consumo total, consumo autorizado, perdas aparentes e perdas reais) ao nível do cliente individual, arruamento ou ramal, pequenas áreas de rede, ZMC ou sistema;
 - analisar o consumo das diferentes categorias de consumo urbano (comércio-indústria, público, colectivo) para além do consumo doméstico;
 - avaliar o consumo de uma zona de análise individual, comparar o consumo entre diferentes zonas de análise ou construir modelos de previsão com base num conjunto alargado de zonas de análise;

Esta pode ser utilizada para:

- aplicação parcial dos módulos da metodologia para atingir objectivos específicos (*e.g.*, verificar a adequabilidade do sistema de monitorização e dos dados existentes, cálculo de variáveis de consumo, cálculo de padrões de consumo);
- aplicação completa dos módulos da metodologia para obter novos modelos de previsão ou de classificação.

A metodologia, destina-se aos seguintes tipos de utilizadores:

- utilizadores que pretendam desenvolver ou aplicar novos métodos para análise do consumo (*e.g.*, técnicas complementares para detecção de dados anómalos, métodos para classificação do consumo baseados nas redes neuronais);
- utilizadores que pretendam executar as várias etapas da metodologia para atingir objectivos específicos (*e.g.*, recolher e analisar dados de consumo para controlo de perdas de água);
- utilizadores que pretendam apenas utilizar os resultados da aplicação da metodologia aos casos de estudo analisados para objectivos específicos (*e.g.*, extrapolação dos resultados obtidos neste trabalho para apoio à previsão do consumo numa outra zona).

Neste trabalho, a metodologia é aplicada para caracterização dos grandes consumidores (Capítulo 6), previsão do consumo doméstico noturno (Capítulo 7), avaliação do efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais (Capítulo 8) e previsão do consumo em ZMC (Capítulo 9).

O conjunto de técnicas relevantes para a aplicação da metodologia, todas elas implementadas no âmbito desta tese e algumas delas inovadoras é apresentado em 5.2. O módulo de processamento de dados foi operacionalizado computacionalmente e a aplicação PROFILER, apresentada neste trabalho em 5.3, incorpora grande parte dos algoritmos desenvolvidos. No módulo de classificação e previsão, a construção de variáveis sócio-demográficas, a partir de dados dos Censos geograficamente referenciados, foi operacionalizada através de uma aplicação de geoprocessamento, que se apresenta em 5.4.

5 FERRAMENTAS DE APOIO À METODOLOGIA

5.1 Nota introdutória

Complementarmente à metodologia proposta no Capítulo 4, foram desenvolvidos e implementados um conjunto de procedimentos ou algoritmos que permitem realizar algumas tarefas de aplicação sistemática e que, por serem inovadoras são apresentadas neste capítulo.

O Quadro 4.23 descreve a etapa a que se refere cada um dos procedimentos e técnicas, a zona de análise a que é aplicável, assim com o(s) caso(s) de estudo em que são utilizados no âmbito deste trabalho. A normalização dos dados e a identificação de cenários de consumo são procedimentos aplicáveis a qualquer zona de análise, enquanto os restantes procedimentos são aplicáveis a zonas de análise específicas.

Quadro 5.1 – Campo de aplicação dos procedimentos e técnicas desenvolvidas para apoio à metodologia

<i>Procedimento</i>	<i>Etapa da metodologia onde é utilizado</i>	<i>Zona de análise a que é aplicável</i>	<i>Casos de estudo em que foi aplicada</i>
Seleção de zonas de análise	• Planeamento (Módulo 1)	• arruamento ou ramal	• caso de estudo 2
Detecção de consumos anómalos	• Identificação de dados anómalos (Módulo 2)	• pequenas áreas de rede ou ZMC	• casos de estudo 3 e 4
Estimativa de perdas de água	• Combinação de dados (Módulo 2)	• arruamento ou ramal	• caso de estudo 2
Normalização de dados na escala temporal	• Normalização de dados (Módulo 2)	• geral	• casos de estudo 1, 3 e 4
Obtenção de eventos rectangulares de consumo	• Redução de dados (Módulo 2)	• cliente individual, arruamento ou ramal	• caso de estudo 2
Identificação de cenários de consumo	• Análise do consumo (Módulo 3)	• geral	• todos os casos

O presente capítulo descreve também as duas ferramentas de cálculo (aplicações computacionais) desenvolvidas no âmbito desta dissertação para apoio à análise de consumos de água. A primeira aplicação, designada por PROFILER tem como objectivo o apoio ao processamento e à análise de consumos de água. A segunda aplicação tem como objectivo a obtenção de dados sócio-demográficos georreferenciados ao nível de ZMC.

Este capítulo inclui uma descrição dos procedimentos desenvolvidos para apoio à metodologia em 5.2. A aplicação PROFILER e a ferramenta de geoprocessamento são descritas em 5.3 e 5.4, respectivamente.

5.2 Procedimentos para apoio à metodologia

5.2.1 Selecção de zonas de análise ao nível do arruamento

A selecção de sub-zonas em ZMC, como arruamentos ou ramais, deve ser feita de modo a que as características da rede, a topografia da zona e o tipo de clientes abastecidos sejam semelhantes às da ZMC onde se inserem. Esta condição permite que os resultados obtidos no arruamento ou ramal possam ser extrapolados para zonas de maior dimensão com características idênticas. Este procedimento é particularmente adequado para a selecção de zonas onde predomine o consumo doméstico, embora também seja aplicável para a selecção de zonas onde predomine outras categorias de consumo.

Em primeiro lugar, caracteriza-se a ZMC com base num sub-conjunto de variáveis estabelecidas referentes ao consumo facturado e aos clientes abastecidos (Quadro 4.21).

No caso da selecção visar apenas clientes domésticos recomenda-se que a caracterização do consumo facturado na ZMC seja feita com base no consumo facturado anualmente em cada escalão de consumo doméstico (Quadro 4.21). Estas variáveis permitem discriminar adequadamente o consumo e são facilmente calculáveis por uma entidade gestora. Se a selecção visar clientes não domésticos recomenda-se que a caracterização do consumo facturado na ZMC seja feita em termos do consumo por cliente nas categorias de comércio-indústria, público e colectivo (Quadro 4.21).

No que se refere à caracterização dos clientes domésticos abastecidos na ZMC, calcula-se um conjunto de variáveis sócio-demográficas relativas ao edificado, indivíduos residentes e famílias. Em ZMC, as variáveis podem ser obtidas a partir de dados geograficamente referenciados relativos aos Censos (obtidos ao nível da unidade estatística designada por subsecção estatística). A disponibilidade de uma ferramenta de geoprocessamento, como a que se apresenta neste trabalho (*cf.* descrição em 5.4), permite calcular de forma automática as características sócio-demográficas da população abastecida ao nível de uma ZMC, a partir de dados ao nível das subsecções estatísticas que a compõem. A partir de estudos anteriores, que identificaram os factores que influenciam o consumo em ZMC

(Alegre, 1994; Loureiro *et al.*, 2009)(*cf.* Quadro 4.22), selecciona-se o seguinte subconjunto de variáveis sócio-demográficas que se apresentam no Quadro 5.2¹⁴:

Quadro 5.2 – Variáveis sócio-demográficas consideradas para a selecção da subsecção estatística

<i>Categoria</i>	<i>Variável</i>
Edificado	<ul style="list-style-type: none"> • vetustez 1, vetustez 2, vetustez 3(idade do edificado) • edifícios baixos (com 1-2 pisos), edifícios médios (com 3-4 pisos), edifícios altos (com 5 pisos ou mais)
Indivíduos	<ul style="list-style-type: none"> • escolaridade obrigatória • mobilidade social • mobilidade económica • permanência em casa
Famílias	<ul style="list-style-type: none"> • famílias com jovens • famílias com idosos • famílias com desempregados

A selecção da subsecção estatística com características mais semelhantes às da ZMC é feita através da identificação daquela que minimiza a soma do quadrado dos desvios entre os valores das variáveis na subsecção estatística e na ZMC de acordo com a equação seguinte:

$$E(j) = \sum_{i=1}^n (SD_{ZMC_i} - SD_{SSE_i}(j))^2$$

$$j^* = \min (E(j)) \tag{5.1}$$

em que j é o índice da subsecção, $E(j)$ é a soma do quadrado dos desvio na subsecção j , n é o número total de variáveis sócio-demográficas, SD_{ZMC_i} e $SD_{SSE_i}(j)$ são os valores da variável i na ZMC e na subsecção estatística j , respectivamente e j^* é o índice da subsecção que minimiza a soma do quadrado dos desvios.

Nos casos em que o número de clientes na subsecção estatística excede o número máximo de clientes na zona de medição, selecciona-se uma amostra de clientes mais reduzida na subsecção estatística, cujo consumo facturado em cada escalão seja também o mais próximo do que foi calculado na ZMC, recorrendo também à equação (5.1).

Por último, verifica-se se as características da rede e a topografia do local são semelhantes às da restante ZMC, avalia-se a eventual necessidade de instalação de válvulas de

¹⁴ No caso da caracterização de clientes não domésticos na ZMC, esta pode ser feita, por exemplo, com base numa caracterização do tipo de instalação por categoria de consumo (*e.g.*, número e tipo de autoclismos, tipo de sistema de ar condicionado, área de rega).

seccionamento e faz-se o levantamento das condições locais para a instalação do sistema de telemetria.

5.2.2 Detecção de consumos anómalos em pequenas áreas de rede ou ZMC

A identificação automática de dados anómalos de consumo em pequenas áreas de rede ou em ZMC é importante para a gestão operacional da rede. Complementarmente, os dados identificados como anómalos podem conter informação relevante sobre o comportamento da rede (*e.g.*, alterações no estado de válvulas, consumos pouco frequentes devidos a grandes consumidores), ou sobre o sistema de monitorização (*e.g.*, alteração de parâmetros de configuração), pelo que é importante sistematizar métodos que possam ser facilmente implementados para detecção automática de dados anómalos a partir do histórico disponível (Quadro 5.1).

O facto de, ao nível de pequenas áreas de rede ou de ZMC, a variabilidade do consumo instantâneo em torno da média ser menor do que ao nível individual ou do arruamento, permite o desenvolvimento de algoritmos que tenham por base, por exemplo, a análise dos desvios da série de consumo real face a uma série calculada que represente o comportamento típico da série de consumo real.

Para o consumo medido em pequenas áreas de rede ou em ZMC sugere-se a seguinte classificação para um consumo anómalo:

- anómalo Tipo I – variação acentuada e com duração em geral inferior a 1 h (Figura 5.1a);
- anómalo Tipo II – variação acentuada e com duração em geral superior a 1 h (Figura 5.1b);
- anómalo Tipo III – consumo aproximadamente constante e com duração superior a 2 horas (Figura 5.1c).

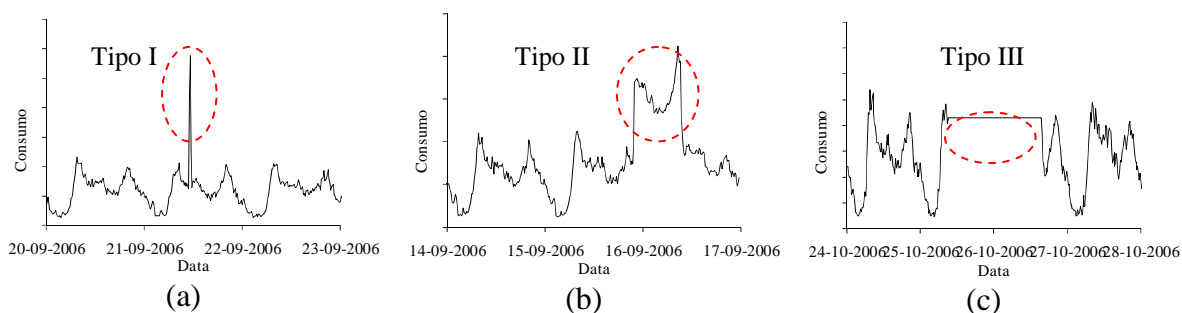


Figura 5.1 – Exemplo de dados de consumos anómalos em pequenas áreas de rede ou ZMC: a) Tipo I, b) Tipo II, c) Tipo III

Um consumo anómalo do Tipo I ou III pode ser indicativo de problemas no processo de medição ou de recolha de dados, como sejam uma resolução inadequada, incorrecta parametrização, problemas de comunicação, *etc.* Por vezes é difícil distinguir um consumo anómalo Tipo I de um consumo efectivo, dado que podem ocorrer consumos elevados em clientes, nomeadamente grandes consumidores, com comportamento bastante irregular e que dificultam a sua distinção de um registo anómalo. Por esta razão é importante que, caso existam grandes consumidores com telemedição, o respectivo consumo destes clientes seja deduzido ao consumo total medido na zona em análise¹⁵. Um consumo anómalo do Tipo II, tipicamente com duração superior, é mais típico de roturas, intervenções na rede ou manobras de equipamentos (*e.g.*, válvulas, bombas).

Detecção de dados anómalos do Tipo I ou II

Deste modo, propõe-se a utilização de filtros para a detecção de dados anómalos do Tipo I e II. Estes filtros, cujo exemplo mais simples consiste em estimar o consumo em cada ponto com base na mediana do valor presente e de valores passados referentes a uma dada janela móvel ao longo da série, são muito utilizados em processamento digital de sinal de imagem, vídeo e som (Menold *et al.*, 1999; Pearson, 2002; Liu *et al.*, 2004). Uma vez obtida a série filtrada, comparam-se as diferenças entre esta e a série de consumo real para detectar dados anómalos (Figura 5.2). Estes algoritmos, com um número de parâmetros de configuração reduzido, permitem acomodar efeitos como a sazonalidade do consumo (*i.e.*, os dados não são independentes), detectar e remover dados, preservando a restante informação.

¹⁵ No caso dos dados de consumo telemedido dos grandes consumidores possuem características diferentes dos dados de consumo total telemedido na zona de rede (*e.g.*, intervalo de tempo entre leituras, tipo de variável lida em cada instante) devem realizar-se, previamente à etapa de detecção de dados anómalos, as etapas de normalização e de combinação de dados.

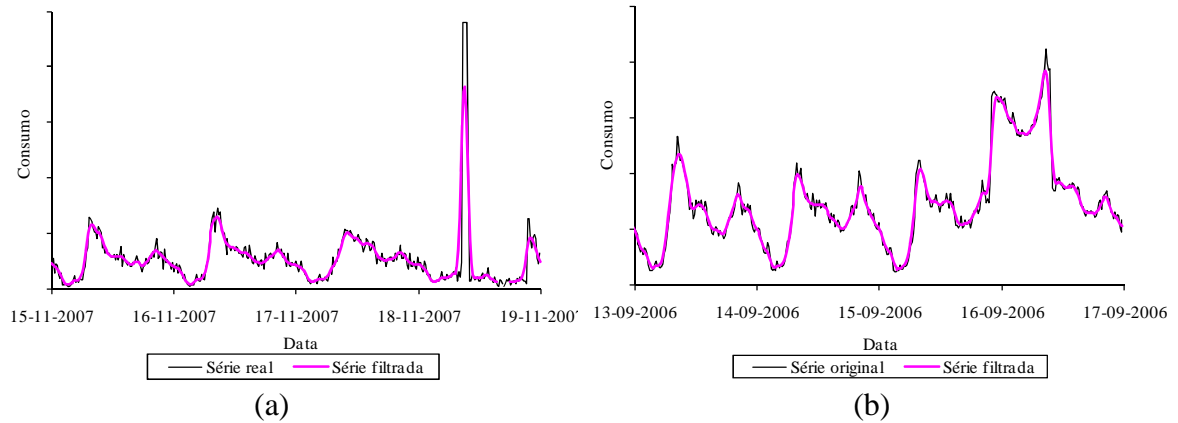


Figura 5.2 – Exemplos de séries reais de consumo e de série filtradas: a) série real com anómalo Tipo I, b) série real com anómalo Tipo II

Estes filtros podem ser utilizados para remover dados anómalos em tempo real (designados por filtros causais) ou para remover dados anómalos *off-line* (designados por filtros não causais) (Menold *et al.*, 1999). No primeiro caso, para cada instante, a janela inclui apenas dados presentes e passados, enquanto no segundo caso inclui também dados futuros.

No presente trabalho, propõe-se um algoritmo para detecção de dados anómalos a partir do histórico de dados existente (*i.e.*, detecção *off-line*), recorrendo a um filtro não causal, designado por filtro gaussiano (Nixon e Aguado, 2008). Este tipo de filtros não causais têm também a vantagem de apresentar um menor desfasamento em relação à série de consumo original do que os filtros causais (Menold *et al.*, 1999).

Em primeiro lugar é necessário configurar-se os parâmetros do filtro e que correspondem ao erro relativo máximo entre o filtro e o consumo real no instante i , ε_{max} , e à dimensão da janela do filtro, W (*i.e.*, período de tempo considerado para o cálculo do valor do filtro num dado instante) (Figura 5.3). Menold *et al.* (1999) apresenta vários métodos para o estabelecimento do erro máximo. Neste trabalho, o erro máximo admissível foi estabelecido atendendo à variabilidade da série de consumo e ao tipo de dados anómalos a detectar.

No que se refere à dimensão da janela do filtro, é importante que esta inclua um número de pontos de consumo suficientes para:

- reproduzir o andamento da série de consumo;
- discriminar consumo anómalos de curta duração.

Menold *et al.* (1999) recomenda que se adopte uma janela com o dobro do número de pontos que caracterizam um evento de consumo de curta duração (*i.e.*, consumo anómalo do Tipo I). Assim, para um consumo anómalo do Tipo I, com uma duração de ~ 1 h, recomenda-se que a janela do filtro seja de duas horas. O número de pontos da janela, N , depende do passo de tempo entre registos e é dado por $N = 2H + 1$, em que H é o número de passos de tempo que caracterizam o evento de consumo anómalo (*e.g.*, para dados de consumo com um passo de tempo de 15 min., tem-se que $H=4$ permite descrever um evento com duração de 1 h, obtendo-se assim $N= 9$). A janela do filtro é simétrica em relação ao ponto de consumo de cálculo.

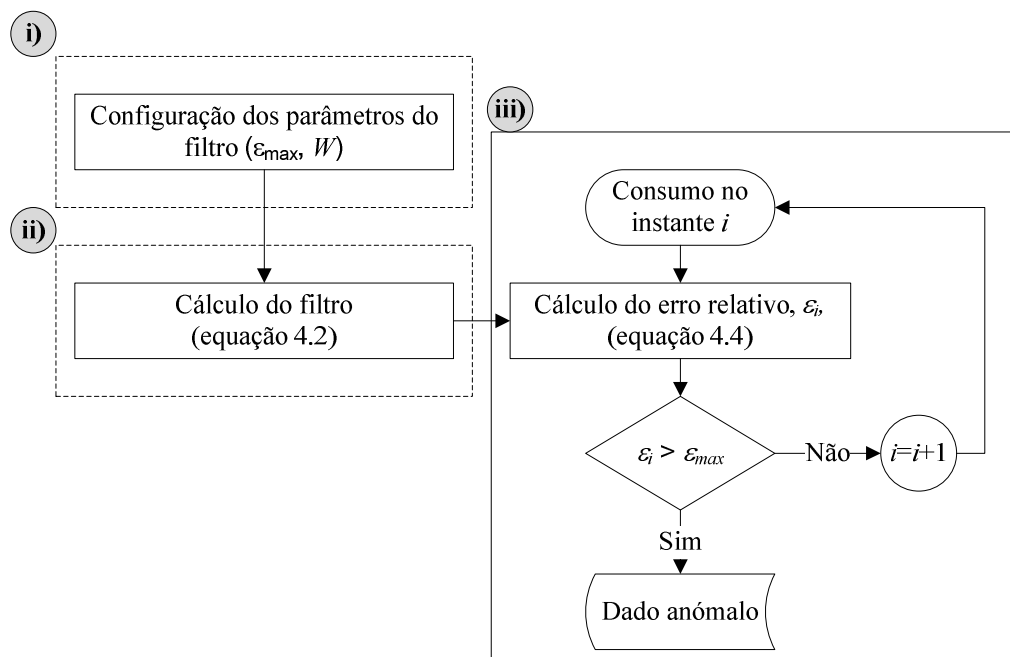


Figura 5.3 – Procedimento para a detecção de dados de consumo anómalos do Tipo I

Após, configuração dos parâmetros do filtro, calcula-se a série de consumo “filtrada” (Figura 5.3), utilizando o filtro gaussiano (filtro linear, não causal) definido pela equação seguinte

$$C_f(t) = \sum_{\tau=-t_1}^{+t_2} w_\tau \cdot C(t + \tau) \quad (5.2)$$

Em que: $C_f(t)$ é o consumo “filtrado” no instante t , $C(t + \tau)$ o valor de consumo real, $|t_1| = |t_2| = H$, ou seja o número de pontos considerados para o cálculo do consumo filtrado, τ é a distância à observação corrente, $w_\tau : \tau = -t_1, \dots, t_2$ são os pesos para o cálculo da média ponderada do consumo no instante t .

Os pesos w_τ são fixados de forma a seguirem uma distribuição normal padrão (*i.e.*, média nula e variância unitária) e cuja soma é igual a 1 de acordo com as seguintes equações (Nixon e Aguado, 2008):

$$w(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot e^{\left(-\frac{\tau^2}{2\sigma^2}\right)}$$

$$w_\tau = \frac{w(\tau)}{\sum_{\tau=-T_1}^{+T_2} w(\tau)} \quad (5.3)$$

A série filtrada reproduz adequadamente o comportamento do consumo real, atenuando os casos em que ocorrem variações acentuadas e de curta duração do consumo (*i.e.*, consumo anómalo Tipo I), tal como se ilustra na Figura 5.2a.

Assim, calcula-se o erro relativo, $\varepsilon_r(t)$, entre a série filtrada e a série de consumos real, em cada instante, de acordo com a seguinte equação:

$$\varepsilon_r(t) = \frac{|C_f(t) - C(t)|}{C_f(t)} \quad (5.4)$$

em que $C_f(t)$ é o consumo filtrado em cada instante. Uma vez obtido o erro relativo em cada instante, $\varepsilon_r(t)$, compara-se o valor obtido com o erro relativo máximo ε_{max} e caso seja superior classifica-se o consumo nesse instante como sendo anómalo, caso contrário procede-se ao cálculo do erro relativo com o próximo valor de consumo real (Figura 5.3).

No caso de dados anómalos do Tipo II, a série filtrada não atenua estes eventos (Figura 5.2b), dificultando a detecção destes dados anómalos através da equação (5.4). Como alternativa, propõe-se que o consumo real seja comparado com a média do consumo filtrado para o mesmo instante, num conjunto das semanas mais próximas, $\bar{C}_f(t)$. Por exemplo, o consumo real à 9:00 de uma segunda-feira pode ser comparado com a média do consumo das duas segundas-feiras anteriores e posteriores e da actual também à 9:00. Assim, propõe-se a seguinte equação para o cálculo de $\bar{C}_f(t)$:

$$\bar{C}_f(t) = \frac{1}{2S+1} \sum_{\tau=-S_1}^{+S_2} C_f(t - \tau\beta) \quad (5.5)$$

sendo $S = |S_1| = |S_2|$ o número de semanas consideradas para o cálculo do consumo médio, em que S_1 é o número de semanas no passado e S_2 é o número de semanas no futuro em relação ao instante de cálculo e β é o número de instantes de tempo que representam uma semana. O valor de S é configurável sendo que o valor por defeito é 2.

No caso de dados anómalos do Tipo II, o erro relativo, $\varepsilon_r(t)$, entre a série filtrada e a série de consumos real, é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$\varepsilon_r(t) = \frac{|\bar{c}_f(t) - c(t)|}{\bar{c}_f(t)} \quad (5.6)$$

Recomenda-se que o utilizador teste mais do que uma configuração de filtro antes de tomar a decisão sobre a eliminação de dados da série original. A decisão de eliminar dados deve ser também suportada por dados de intervenções na rede (*e.g.*, roturas em ramais e condutas), sempre que disponível.

Detecção e eliminação de consumos anómalos do Tipo III

Para a detecção de consumos anómalos do Tipo III, recorre-se a um procedimento diferente que tem por base apenas os dados de consumo reais. Um consumo no instante i é identificado como anómalo do Tipo III se a variância do consumo num conjunto de pontos vizinhos $H/2$, for muito reduzida (*i.e.*, $\sigma^2 \leq 0,01$).

$$\sigma^2(t) = \frac{1}{N} \sum_{\tau=-t_1}^{t_2} (C_\tau - \bar{C})^2 \quad (5.7)$$

Assim, define-se o período de tempo máximo com consumo constante a partir do qual se considera haver anomalia nos registos (*e.g.*, 1 h). O número de pontos de consumo, N , a considerar para o cálculo da variância depende do passo de tempo entre registos e é dado por $N = H + 1$ (*e.g.*, para dados de consumo com um passo de tempo de 15 min., tem-se que $H = 4$ caracteriza o período de tempo máximo com consumo constante de 1 h, obtendo-se $N = 5$, devendo os pontos de consumo serem simétricos em relação ao instante de cálculo).

5.2.3 Estimativa de perdas de água em ramais ou arruamentos

O consumo medido ao nível do arruamento ou do ramal engloba, para além do consumo devido as usos domiciliários (*e.g.*, duches, banhos, lavagem de roupa e loiça), as perdas até aos contadores domiciliários (*i.e.*, perdas em condutas e ramais públicos, perdas na rede predial) e as perdas a jusante destes (*i.e.*, perdas domiciliárias) (Figura 5.4). A estimativa do consumo doméstico deve incluir apenas o consumo devido a usos domiciliários e as perdas a jusante dos contadores domiciliários. O Quadro 5.1 apresenta o campo de aplicação deste procedimento.

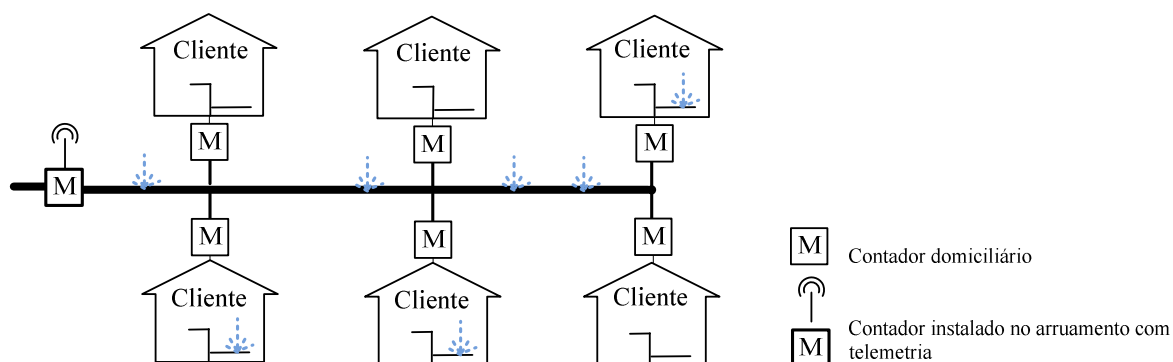


Figura 5.4 – Exemplo de zona de análise ao nível do arruamento

O facto das zonas seleccionadas a este nível englobar um reduzido número de clientes (*i.e.*, tipicamente inferior a 30), um comprimento de rede tipicamente inferior a 500 m e de corresponderem a zonas da rede de distribuição pública em bom estado, permite minimizar a componente de perdas na rede pública.

As perdas de água caracterizam-se, em geral, por consumos de longa duração, com pequenas variações ao longo do tempo e pela ausência de períodos de consumo nulo. Por oposição, os consumos devido a usos domiciliários caracterizam-se por usos intermitentes, com grande variabilidade, alternados pela ocorrência aleatória de períodos com consumo nulo. A sobreposição destes dois tipos de consumos, com comportamento muito diferente entre si, dificulta a análise do consumo devido a usos domiciliários, pelo que as perdas de água devem ser previamente estimadas e separadas.

Arregui (1998) verificou que as perdas domiciliárias podem originar consumos constantes ao longo do tempo, variáveis ou mesmo intermitentes (*e.g.*, uma torneira que fecha mal e que uma vez perde água e outras não), pelo que o seu valor pode ser variável ao longo do período nocturno.

Assim, a identificação das perdas de água pressupõe uma análise prévia do consumo entre 1:00-6:00 para identificar o período de consumo mínimo nocturno em que vai ser feita a análise do consumo doméstico. É também neste período que deve ser feita a identificação das perdas de água. Assim, identifica-se o consumo mínimo em cada dia neste período, que se admite ser devido a perdas de água, e deduz-se este valor ao consumo em cada instante.

Verifica-se que após dedução das perdas de água, ocorrem alguns valores de consumo inferiores a 72 l/h (0,02 l/s), que são muito reduzidos face ao consumo devido a usos de água (*i.e.*, tipicamente superior a 0,1 l/s). Estes valores, constatados também por Garcia

(2003), podem ser devidos ao facto dos instantes em que se registam os impulsos não corresponderem ao instante de início e de fim dos consumos. Assim, com a aquisição de dados com um passo de tempo de 1 min., podem ser gerados impulsos com reduzida intensidade correspondentes ao início ou final de eventos de consumo.

5.2.4 Normalização de dados na escala temporal

A Figura 5.5 apresenta um esquema com as principais etapas do processo de normalização no caso da série original corresponder a uma série de consumos instantâneos. O procedimento adoptado tem por base trabalho desenvolvido por Coelho (1988).

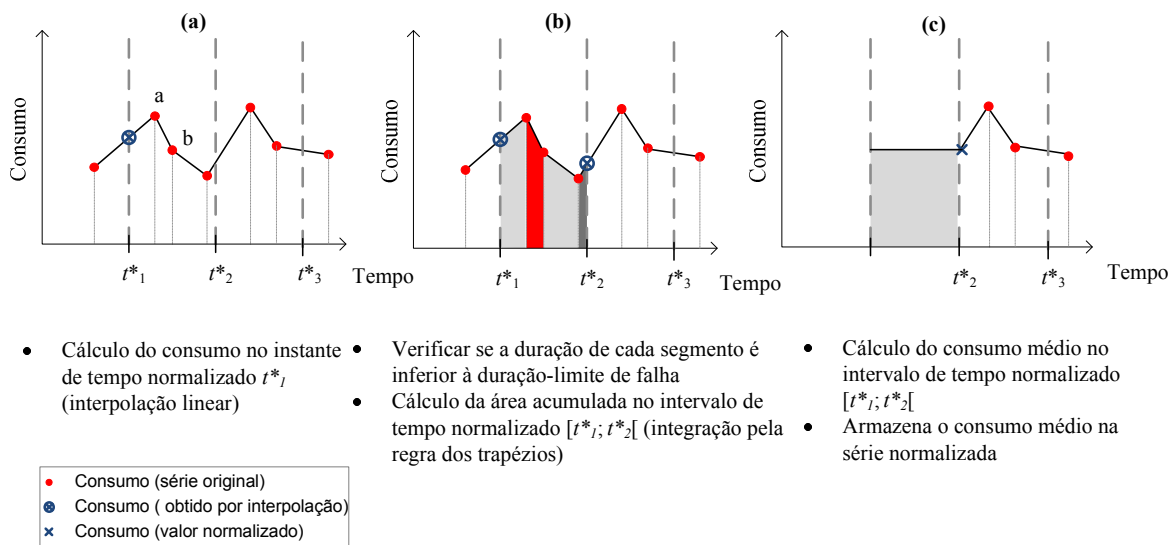


Figura 5.5 – Etapas na normalização da série de consumos instantâneos

As principais etapas consideradas são as seguintes:

1. Obtém-se o consumo no 1º instante de tempo normalizado, t_1^* (Figura 5.5a);
2. Verifica-se se o intervalo de tempo entre instantes de consumo, d , é superior à duração-limite de falha, d_{lim} .

2a. Caso $d \leq d_{lim}$:

- calcula-se a área referente a cada segmento incluído no passo de tempo normalizado, $\Delta t^* = t_2^* - t_1^*$. Para o cálculo da área utilizou-se a regra do trapézio (Figura 5.5b).

$$\int_a^b f(x)dx \approx (b - a)f\left(\frac{a+b}{2}\right) \quad (5.8)$$

- acumulam-se as áreas obtidas no passo de tempo normalizado, Δt^* ;

- calcula-se o consumo médio no passo de tempo normalizado, Δt^* (Figura 5.5a).
- 2b. Caso $d > d_{lim}$:
- Interrompe-se o cálculo das áreas acumuladas;
 - Reinicia-se o algoritmo de normalização.
3. Avança-se para o próximo segmento e repete-se a etapa 2.

A Figura 5.6 apresenta um esquema com as principais etapas do processo de normalização no caso da série original apresentar falhas com duração superior a d_{lim} .

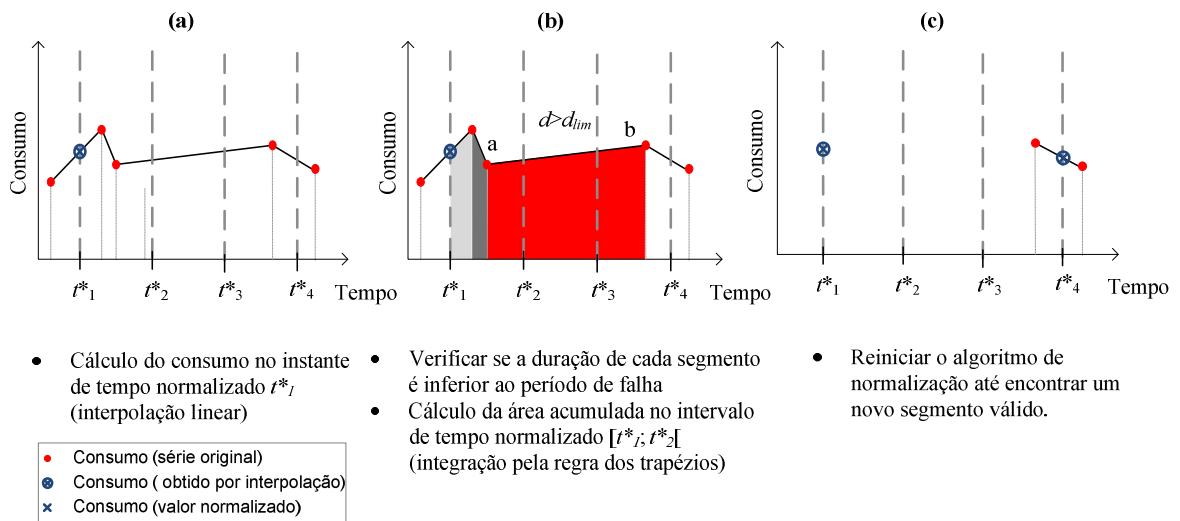


Figura 5.6 – Etapas na normalização da série de consumos instantâneos (série com falhas de dados)

A Figura 5.7 apresenta um esquema com as principais etapas do processo de normalização no caso da série original corresponder a uma série de consumos médios. A única diferença relativamente ao processo de normalização no caso da série de consumos instantâneos prende-se com a regra de interpolação utilizada que neste caso é do rectângulo.

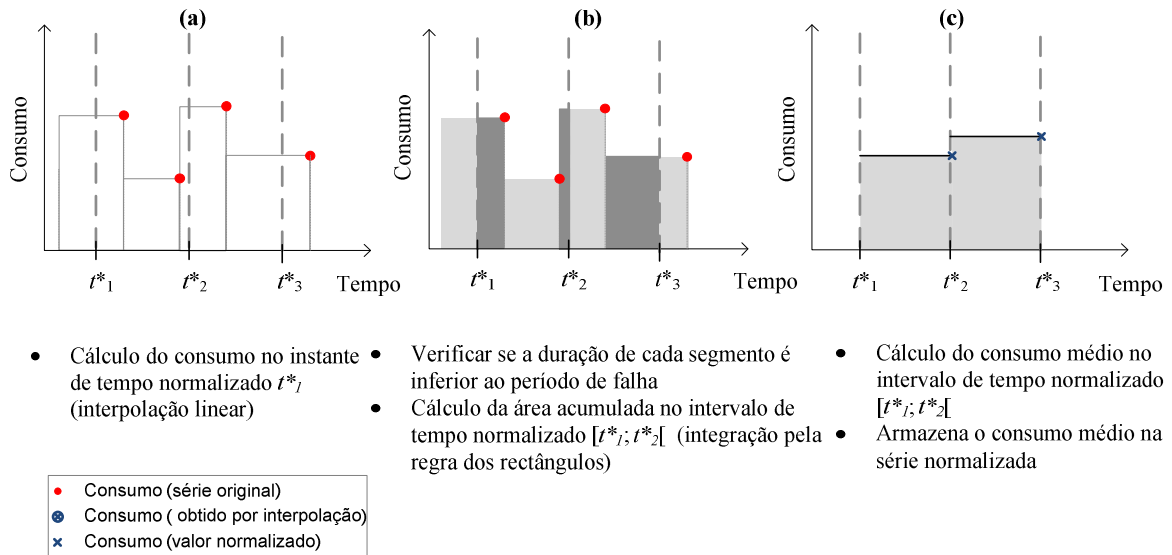


Figura 5.7 – Etapas na normalização da série de consumos médios (ou volumes)

Tal como referido anteriormente, o instante em que é registada a medição do consumo no caso da grandeza registada ser um consumo médio ou um volume pode corresponder ao instante inicial, ao instante final ou ao instante intermédio do intervalo. Este aspecto influencia o valor do segmento na intersecção com o instante de tempo normalizado, que é igual a t_i no caso de a medição ser associada ao instante final, é igual a t_{i-1} , no caso de a medição ser associada ao instante inicial.

5.2.5 Obtenção de eventos rectangulares de consumo

O método para identificação de eventos rectangulares é composto por duas etapas tendo por base fundamentos de natureza empírica, tal como proposto em trabalhos anteriores (Buchberger e Wells, 1996a; Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003; García *et al.*, 2004).

Idealmente, um consumo de água pode ser representado por um evento rectangular, com um tempo de início t_1 , um tempo final t_2 , um intensidade positiva $I(t) > 0$ para $t_1 \leq t \leq t_2$ e uma duração $d = t_2 - t_1$ (Figura 5.8). Importa também neste contexto distinguir impulso de evento rectangular. Um impulso depende da resolução do emissor de impulsos (*e.g.*, 0,1 l/impulso) enquanto um evento rectangular se admite que corresponda ao consumo de um determinado dispositivo domiciliário.

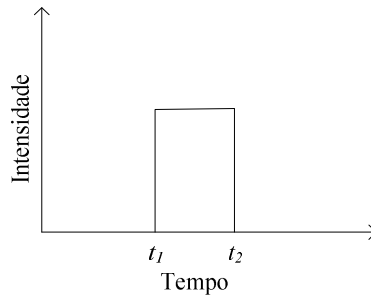


Figura 5.8 – Evento retangular de consumo

Denote-se por i a contagem de instantes e por j a contagem de eventos retangulares. Para a obtenção de blocos de eventos de consumo supõe-se que previamente foram eliminadas as perdas de água e as variações de intensidade são devidas exclusivamente a consumo (Figura 5.9).

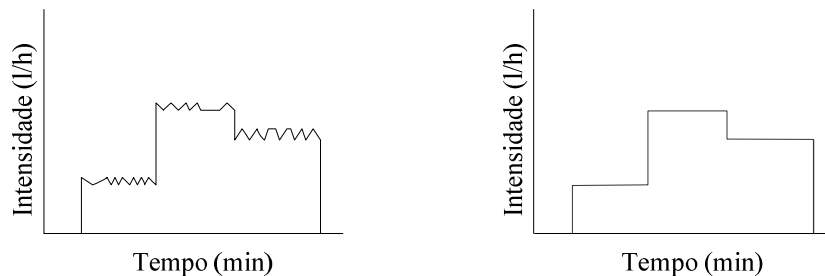


Figura 5.9 – Etapa de obtenção de blocos de eventos

Seja t_i o primeiro instante com consumo não nulo,

- se t_{i+1} tiver consumo nulo, designa-se t_i como sendo um evento isolado e procura-se o próximo evento com consumo não nulo;
- caso contrário, se a diferença entre t_i e t_{i+1} for menor ou igual a 60 l/h (0,017 l/s), ambos os consumos fazem parte do mesmo evento retangular j com início em t_i , com duração $d_j=2$ e com intensidade $I_j = \frac{1}{2}(I_i + I_{i+1})$.

Tendo por base o evento j identificado, tem-se que:

- caso o consumo no instante seguinte seja nulo resulta que j terminou;
- caso contrário, se a diferença entre I_j e a intensidade no instante seguinte for inferior ou igual a 30 l/h (0,0083 l/s), conforme sugerido por Buchberger e Wells (1996a) e Garcia (2003), tem-se que este instante ainda faz parte do evento anterior, que mantém o instante inicial, tem um aumento de uma unidade na duração e intensidade dada pela média acumulada $I_j = \frac{1}{d_j} \sum_{k=1}^{d_j} I_k$;

- caso a diferença seja superior a 30 l/h, considera-se que o evento anterior terminou e toma-se o instante actual como o instante inicial de um possível evento continuado, voltando ao início do ciclo.

Para a obtenção de eventos rectangulares equivalentes, são considerados três pressupostos empíricos ao nível do arruamento ou ramal:

- dois eventos não podem começar ou acabar em simultâneo, pois não é possível separar eventos que estejam nestas condições;
- sobreposição de eventos gera um aumento de intensidade;
- não existe a sobreposição de mais de dois eventos durante o período de consumo mínimo nocturno.

As duas primeiras regras provêm de estudos anteriores (Buchberger e Wells, 1996a; Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003; García *et al.*, 2004) e a terceira regra é considerada válida durante o período nocturno, período caracterizado em geral por uma reduzida frequência de eventos de consumos de curta duração. Para um dia inteiro deve considerar-se a sobreposição de uma maior número de eventos tal como desenvolvido por Garcia (2003) e Garcia *et al.* (2004).

A sobreposição de dois eventos dá origem a três níveis de intensidade, podendo ocorrer duas situações:

- o segundo evento começa antes do primeiro evento terminar e termina após o final deste (Figura 5.10);
- o segundo evento está completamente englobado pelo primeiro evento (Figura 5.11).

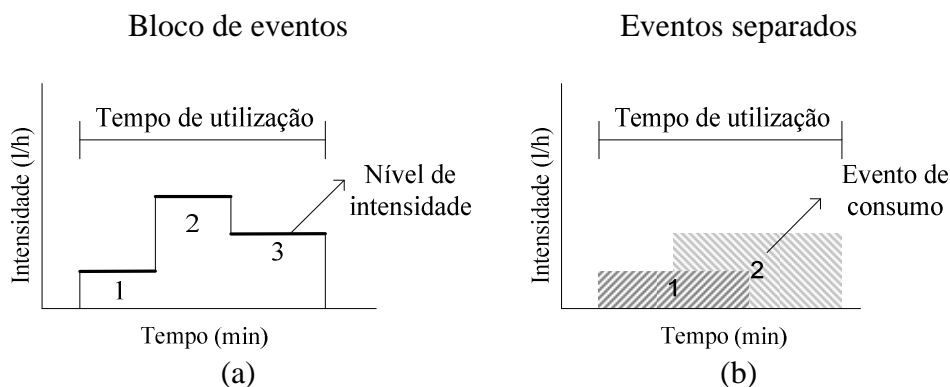


Figura 5.10 – Separação de eventos de consumo com sobreposição parcial do segundo evento

Designa-se por t_i , d_i e I_i , $i=1,2,3$, o instante inicial, a duração e a intensidade do i -ésimo evento antes da separação, respectivamente, e por t_i^* , d_i^* e I_i^* o instante, duração e intensidade do j -ésimo evento após separação.

Se $0,85(I_1 + I_2) \leq I_2 \leq I_1 + I_2$, então a sobreposição do segundo evento é parcial (Figura 5.10) e os três eventos são separados do seguinte modo:

$$\begin{aligned} \bullet \quad & t_1^* = t_1, d_1^* = d_1 + d_2, I_1^* = I_1 + \delta \\ & t_2^* = t_2, d_2^* = d_2 + d_3, I_2^* = I_3 + \delta \end{aligned} \quad (5.9)$$

Em que $\delta = \frac{d_2(I_2 - I_1 - I_3)}{d_1 + 2d_2 + d_3}$

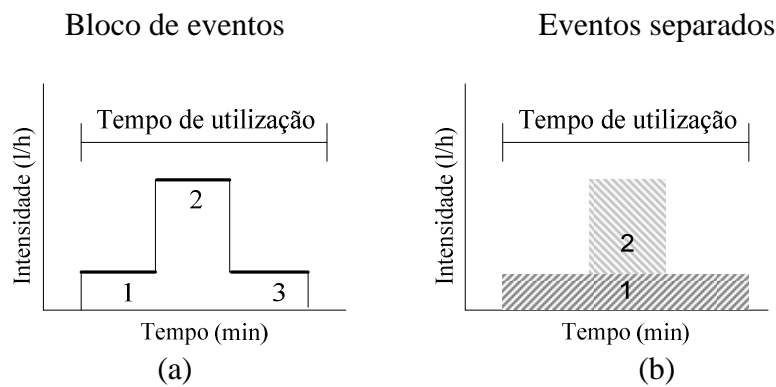


Figura 5.11 – Separação de eventos de consumo com sobreposição total do segundo evento

O facto de se assumir que a intensidade resultante da sobreposição de dois eventos (usos de água) não é exactamente igual à soma das intensidades dos dois eventos separados teve por base o trabalho apresentado por Wells (1994), citado por Garcia (2003). De acordo com este trabalho, o facto da perda de carga variar com o quadrado do caudal, faz com que no caso de usos coincidentes, o consumo não seja exactamente igual à soma dos consumos. Comprovou que este efeito pode provocar um decréscimo de 15% na soma das intensidades.

Se $I_1 \approx I_3$ e $I_2 > I_1, I_3$, então a sobreposição do segundo evento é total (Figura 5.11) e os três níveis de intensidade são separados do seguinte modo:

$$\begin{aligned} \bullet \quad & t_1^* = t_1, d_1^* = d_1 + d_2 + d_3, I_1^* = \frac{I_1 d_1 + I_3 d_3}{d_1 + d_3} \\ & t_2^* = t_2, d_2^* = d_2, I_2^* = I_2 - I_1^* \end{aligned} \quad (5.10)$$

Caso não se verifique nenhuma das condições acima mencionadas, não existe sobreposição de eventos, levando a que os dois primeiros eventos sejam considerados isolados e o

último seja um possível evento para uma futura sobreposição de eventos. Este caso encontra-se ilustrado na Figura 5.12.

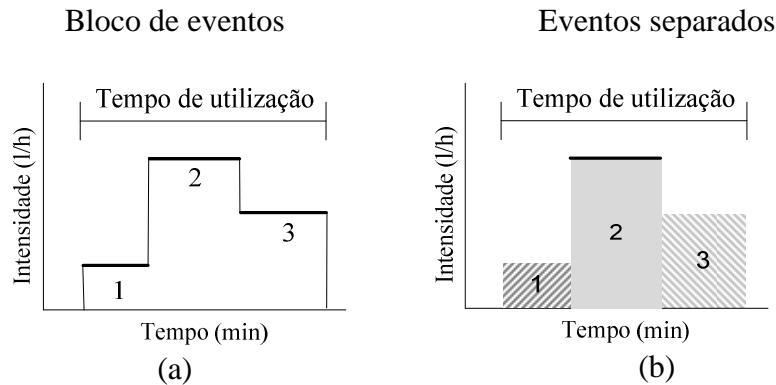


Figura 5.12 – Separação de eventos de consumo no caso de não haver sobreposição

À medida que se considera a sobreposição de um maior número de eventos, o processo de separação torna-se mais complexo (Garcia *et al.*, 2003). Por cada evento que se adiciona, o número de níveis de intensidade aumenta 2 unidade, pelo que para p eventos, o número de níveis de intensidade seria $2p-1$.

Por outro lado, o número de combinações possíveis de eventos seria dado por:

$$\begin{cases} C(p) = 2^{3(p-2)} + C(p - 1), & p \geq 2 \\ C(1) = 1 \end{cases} \quad (5.11)$$

Assim, quando $p=2$ tem-se apenas 2 combinações possíveis, que são apresentadas neste trabalho nas Figuras 5.11 e 5.12, enquanto no caso de $p=3$ aumenta para 10 combinações possíveis e no caso de $p=4$ aumenta para 74 combinações possíveis.

O Quadro 5.3 ilustra um exemplo dos dados que são armazenados após obtenção dos eventos rectangulares de consumo.

Quadro 5.3 – Exemplo de dados armazenados após obtenção dos eventos rectangulares de consumo

<i>Instante inicial</i>	<i>Duração (min)</i>	<i>Intensidade (l/h)</i>	<i>Volume (l)</i>
25-09-2009 4:16	1	78	1,3
25-09-2009 4:19	1	132	2,2
25-09-2009 4:22	2	156	5,2
25-09-2009 4:24	1	408	6,8
26-09-2009 4:04	4	118	7,9
26-09-2009 4:11	1	90	1,5
26-09-2009 4:53	1	162	2,7

Por exemplo, no dia em análise ocorreu um evento de consumo às 4:19 com duração de 1 min. (intensidade de 132 l/h e volume de 2,2 l), seguido de 2 min. sem consumo. Às 4:22 começou um novo evento com duração de 2 min. (intensidade de 156 l/h e volume de 5,2 l).

5.2.6 Identificação de cenários de consumo

O procedimento para obtenção de cenários sazonais, diários e por períodos do dia, tem por base o consumo médio e o desvio-padrão horário obtidos a partir dos dados normalizados na escala temporal em 4.3.2.4. Adopta-se para estudo de cenários de consumo o passo de tempo de 1 h, como recomendação geral, embora este possa ser feito com base num passo de tempo entre registos mais reduzido (*e.g.*, 15 minutos).

Para a identificação dos cenários sazonais, calcula-se, para cada mês, o consumo médio horário, tal como se ilustra no Quadro 5.4. Utiliza-se um procedimento idêntico para a obtenção dos cenários de consumo ao longo da semana, tendo-se calculado, para cada dia da semana, o consumo médio horário (Quadro 5.5). Os dias feriados são separados dos restantes dias da semana.

Quadro 5.4 – Matriz de dados para obtenção dos cenários sazonais de consumo

<i>Mês</i>	<i>Hora</i>	<i>0:00</i>	<i>1:00</i>	<i>2:00</i>	<i>3:00</i>	<i>(...)</i>	<i>23:00</i>
Janeiro		54	42	37	34	(...)	67
Fevereiro		59	45	39	36	(...)	69
Março		59	42	36	34	(...)	72
Abril		65	46	34	34	(...)	71
(...)		(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Setembro		91	59	41	37	(...)	84
Outubro		73	47	36	23	(...)	74
Novembro		60	39	36	28	(...)	80
Dezembro		56	35	38	24	(...)	70

Nota: Cada passo de tempo é designado pelo instante de tempo inicial a que pertence, ou seja, o passo de tempo 0:00 refere-se ao passo de tempo entre 0:00 e 1:00.

No caso da análise de cenários sazonais pretende avaliar-se se a variação diária do consumo horário é diferente entre meses, enquanto na análise de cenários diários, pretende avaliar-se se a variação diária do consumo horário é diferente entre dias da semana.

Quadro 5.5 – Matriz de dados para obtenção dos cenários diários de consumo

<i>Hora</i> <i>Dia da semana</i>	0:00	1:00	2:00	3:00	(...)	23:00
domingo	58	40	45	30	(...)	55
2. ^a feira	55	48	53	38	(...)	63
3. ^a feira	51	46	51	36	(...)	61
4. ^a feira	63	49	54	39	(...)	64
5. ^a feira	94	67	72	57	(...)	82
6. ^a feira	72	60	65	50	(...)	75
sábado	64	38	43	28	(...)	53
feriado	58	46	51	36	(...)	61

Para a identificação dos períodos ao longo do dia com comportamento semelhante, calcula-se o consumo médio horário e o respectivo desvio-padrão (Quadro 5.6). Neste caso, pretende avaliar-se quais são as horas do dia com comportamento semelhante.

Quadro 5.6 – Matriz de dados para obtenção dos cenários de consumo por período do dia

<i>Estadística</i> <i>Hora</i>	0:00	1:00	2:00	3:00	(...)	23:00
média	69	48	37	32	(...)	82
desvio-padrão	16	12	9	7	(...)	11

Tendo por base os dados horários de consumo para cada mês e para cada dia da semana, apresentam-se na Figura 5.13 dois exemplos de variações diárias do consumo horário. No que se refere à variação diária do consumo horário para cada mês (Figura 5.13a), verifica-se, neste caso, que os consumos durante o período nocturno (0:00-6:00) são significativamente mais elevados durante os meses entre Junho e Setembro. Relativamente à variação diária do consumo horário para cada dia da semana (Figura 5.13b), observa-se que os dias úteis têm um comportamento completamente distinto dos dias de fim-de-semana e feriados.

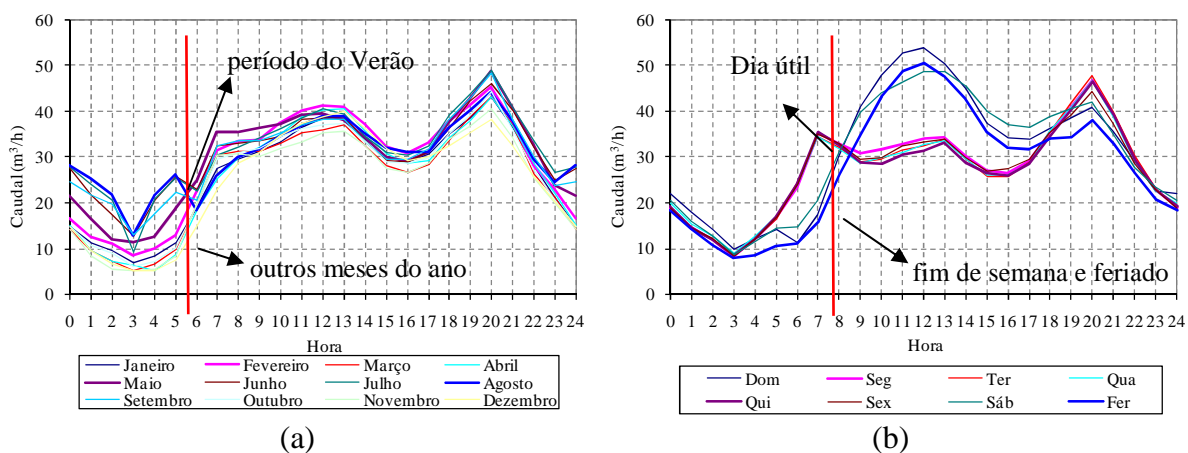


Figura 5.13 – Variação diária do consumo horário numa ZMC para identificação: a) cenário sazonal, b) cenário diário

Para obter os períodos de tempo com comportamento semelhante, recomenda-se o uso da análise de *clusters* e o teste de várias medidas de dissemelhança e de vários métodos hierárquicos aglomerativos (*cf.* descrição no Anexo 1). Nos casos dos diferentes métodos fornecerem resultados diferentes, significa que não existe qualquer estrutura (ou agrupamento) dos dados, ou seja não é possível estabelecer cenários (Branco, 2004). O método hierárquico de *Ward* é dos mais utilizados para obtenção dos agrupamentos, pois tem como característica a minimização da perda de informação resultante da aglutinação dos grupos (Branco, 2004).

Para visualizar os resultados da análise de *clusters*, utilizam-se os dendrogramas, também conhecidos por diagramas de árvore, onde os nós internos representam os *clusters* e a altura dos troncos indicam a distância a que os *clusters* se ligam. Alturas pequenas indicam que a aglutinação é feita entre *clusters* razoavelmente homogêneos.

Os dendrogramas permitem visualizar os sucessivos grupos que se vão formando ao longo do processo hierárquico aglomerativo. No exemplo ilustrado na Figura 5.14a, os meses entre Janeiro e Maio e entre Outubro e Dezembro, encontram-se relativamente perto entre si e mais afastados dos meses entre Junho e Setembro. Para uma distância de corte¹⁶ $d = 25$, obtêm-se dois cenários de consumo em termos mensais. Interpretando a Figura 5.14b de modo idêntico, verifica-se que os dias de semana se encontram muito próximos entre si e muito afastados dos restantes dias da semana. Para uma distância de corte $d = 20$, obtêm-se dois cenários de consumo ao longo da semana.

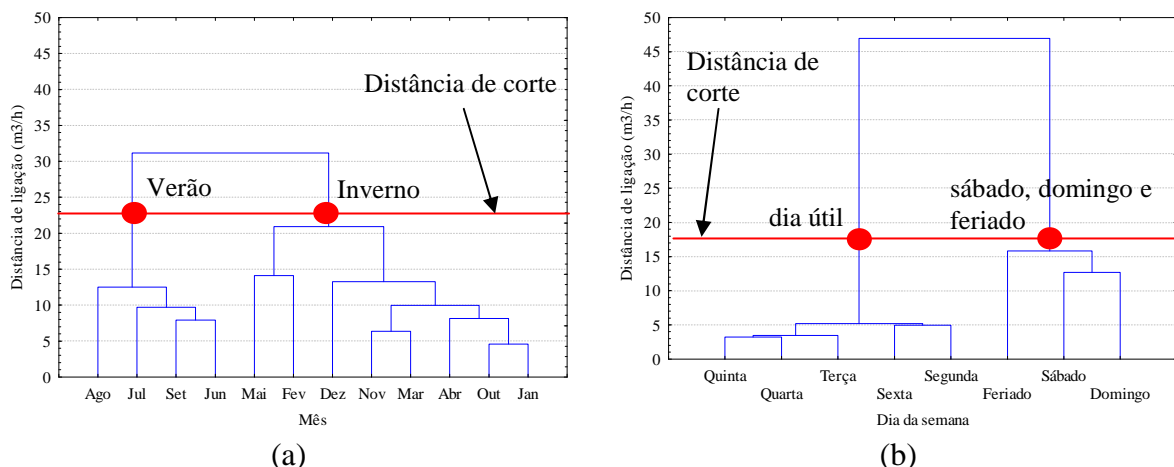


Figura 5.14 – Exemplos de dendrogramas do consumo numa ZMC: a) variável mês do ano, b) variável dia da semana (método de ligação média)

¹⁶ Distância para a qual se decide o número de clusters que há nos dados (para mais detalhes consultar Branco (2004)).

Para além da proximidade entre grupos, para o estabelecimento da distância de corte, no caso da variável mês do ano, recomenda-se que no máximo sejam estabelecidos quatro grupos de meses no caso de zonas com elevado efeito de sazonalidade e dois grupos de meses no caso de zonas com reduzido efeito de sazonalidade. No caso da variável dia da semana, para ZMC com consumo predominantemente doméstico, considera-se que no máximo podem ocorrer três cenários de consumo diários.

A análise de *clusters* permite também identificar os principais períodos do dia com comportamento idêntico. Neste caso, a distância de corte é seleccionada de forma a não se obter mais de 5 grupos de período ao longo do dia. A Figura 5.15 apresenta o dendrograma para a variável hora, em dia útil, para o mesmo exemplo de ZMC apresentado na Figura 5.13.

Assim, para uma distância de corte $d = 8$, obtêm-se três períodos principais ao longo do dia com comportamento semelhante: i) período do jantar (entre as 19:00 e as 22:00); ii) período do dia entre as 6:00 e as 19:00 e iii) período nocturno entre a 0:00 e as 6:00.

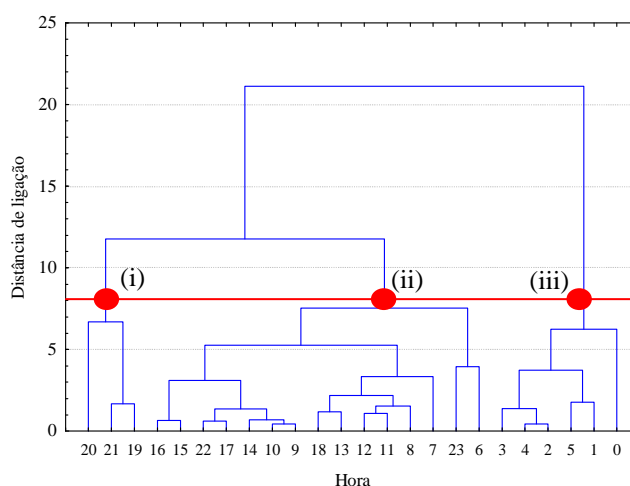


Figura 5.15 – Exemplo de dendrograma do consumo numa ZMC para a variável hora do dia (método de ligação média)

Com base na Figura 5.13, o período do jantar (entre as 19:00 e as 22:00) coincide com o período de maior consumo do dia, sendo o consumo entre as 6:00 e as 19:00 significativo e relativamente homogêneo. Em dia útil, o período de consumo nocturno está compreendido entre a 1:00 e as 6:00, enquanto nos restantes dias da semana apresenta uma maior duração, terminando por volta da 7:00.

5.2.7 Simulação do consumo no período de consumo mínimo noturno

Para a simulação do consumo no período de consumo mínimo noturno em ZMC, a partir de dados neste período do dia ao nível do arruamento, deve proceder-se de acordo com o procedimento descrito em Figura 5.16.

Assim, em cada passo de tempo, Δt , gera-se aleatoriamente a partir de distribuições de probabilidade¹⁷(Knuth, 2002) o número de eventos que ocorreram (designado neste trabalho por chegada de eventos), j . Repete-se este processo até ao instante final da análise, t_f , obtendo-se o número total de chegadas de eventos, n . Em cada passo de tempo, o tempo de início de cada evento, t_j , deve ser fixado para que a simultaneidade de ocorrência de eventos de consumo seja baixa, de acordo com os pressupostos descritos.

No segundo passo, geram-se também aleatoriamente, a partir de distribuições de probabilidade, n valores de duração de eventos, d_j , e n valores de intensidade, I_j .

No terceiro passo, o consumo total de água num dado período de tempo, C , é dado por:

$$C = \sum_{j=1}^n I_j(t_j) d_j(t_j) \quad (4.3)$$

Caso haja dependência entre a duração e a intensidade, a combinação destas variáveis deve atender a essa relação.

Gera-se, assim, um resultado para o consumo médio, mínimo, num dado período, ou para o comportamento diário num cliente individual, por exemplo. Fazendo múltiplas simulações (dias) podem obter-se múltiplos valores do consumo médio, mínimo ou de comportamento diário num cliente. Recomenda-se que o número de simulações seja superior a 1000 para garantir que os resultados sejam representativos.

¹⁷ Para a geração de valores aleatórios a partir de distribuições de probabilidade procede-se do seguinte modo: i) geram-se números aleatórios (*i.e.* valores aleatórios com distribuição uniforme, $U(0, 1)$), ii) obtêm-se os valores aleatórios através da transformação inversa da função de distribuição: $x=F^{-1}(u)$.

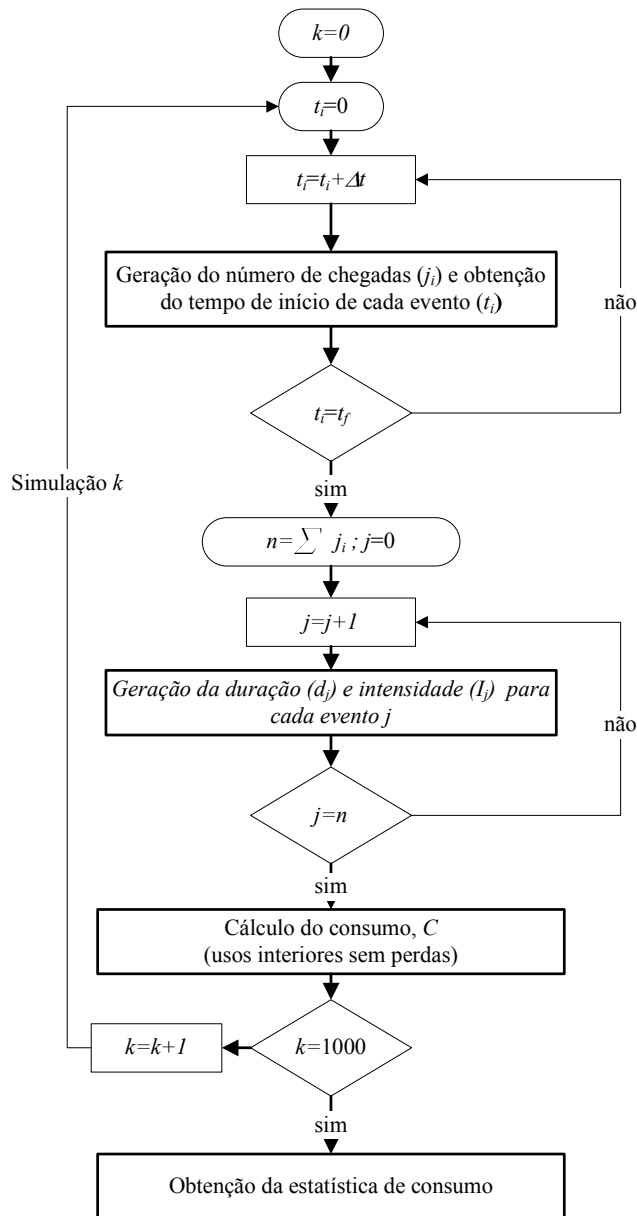


Figura 5.16 – Procedimento para a simulação do consumo em períodos de consumo homogêneo

Para extrapolar o consumo para p conjuntos de clientes do mesmo tipo, seguem-se os mesmos passos que se apresentam na Figura 4.14. No primeiro passo realizam-se p gerações aleatórias das chegadas de eventos durante o período de análise. Em cada passo de tempo, o número total de chegadas, é dado pela soma das chegadas dos eventos nas p gerações. No passo 2, geram-se também aleatoriamente as durações e as intensidades para o número total de chegadas que ocorrem nos p conjuntos de clientes. No terceiro passo, calcula-se o consumo de acordo com a equação (4. 3) e repete-se a simulação.

5.3 Aplicação computacional PROFILER

5.3.1 Estrutura global da aplicação

O desenvolvimento e implementação da aplicação computacional PROFILER foi motivado pela necessidade de processar e analisar grandes volumes de dados de consumo de água, com um passo de tempo entre registos em geral inferior ao horário, a partir dos sistemas de telegestão ou de telemedição. A análise destes dados de consumo é fundamental para melhorar a gestão operacional da rede, em domínios como a estimativa de perdas de água (*e.g.*, combinação de dados de medidores para realização de balanços hídricos ou análise das séries de consumos mínimos), a operação de grupos elevatórios (*e.g.*, análise de padrões diários de consumo), ou o dimensionamento de zonas novas de expansão (*e.g.*, análise do históricos de consumos máximos). Pretende-se com esta aplicação disponibilizar um conjunto de métodos que sirvam de referência ao processamento e análise de dados de consumo.

Esta aplicação viabiliza também a criação de uma base de dados de consumo a nível nacional, que contenha valores de referência (*e.g.*, consumos médios e padrões de consumo em função das características sócio-demográficas da população e das características físicas da infra-estrutura), importantes para o planeamento, o dimensionamento e a exploração de sistemas.

A inexistência de aplicações que permitam manipular e extrair conhecimento a partir do histórico de consumos constituiu a principal motivação para o desenvolvimento do PROFILER. As aplicações existentes visam objectivos distintos, nomeadamente:

- Aplicações integradas em sistemas de telegestão (*Supervisory Control and Data Acquisition*, SCADA) para monitorização e controlo dos equipamentos electromecânicos e que permitem a consulta *on-line* de dados sobre consumo, pressão, nível de água, parâmetros de qualidade da água e estado do equipamento. Algumas destas aplicações integram algoritmos para emissão de alertas baseados na análise do histórico de dados, para apoio à operação diária dos sistemas. No entanto, ainda é frequente encontrar aplicações associadas a sistemas de telegestão onde o acesso e a manipulação de dados para outros usos na entidade gestora são complexos.

- Aplicação com funções muito específicas, como por exemplo a análise de consumos mínimos para a estimativa de perdas de água (Primayer, 2009).

A aplicação computacional PROFILER encontra-se estruturada em três módulos principais associados à importação, à análise e à visualização de resultados. A Figura 5.17 apresenta os procedimentos associados a cada um destes módulos, assim como a sequência de operações desde a entrada de dados (*input*) até à saída de resultados (*i.e.*, dados normalizados, histórico de dados anómalos e estatísticas de consumo) e as diferentes aplicações desta ferramenta no domínio da engenharia (*i.e.*, planeamento, operação e projecto).

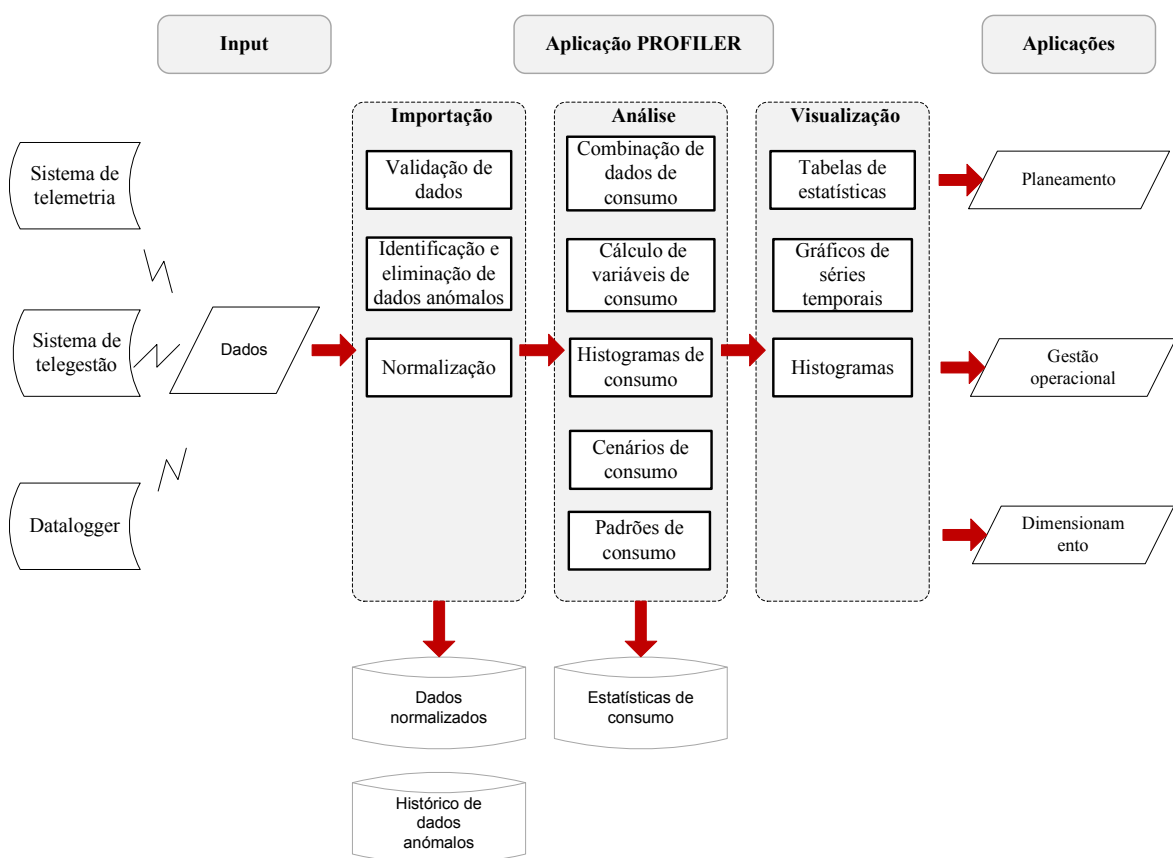


Figura 5.17 - Estrutura da aplicação computacional PROFILER

Esta aplicação processa e analisa dados provenientes de qualquer medição de caudal ao longo do tempo, e é portanto aplicável a registos efectuados a diferentes níveis de medição do consumo, como sejam ao nível individual, do arruamento ou ramal, de áreas de rede, de ZMC ou do sistema. É igualmente aplicável a diferentes categorias de consumo, como sejam doméstico, comércio ou indústria, incluindo também grandes consumidores medidos individualmente.

Os dados de consumo podem ser obtidos a partir de leituras de medidores de caudal, de contadores ou da combinação de leituras de medidores de caudal instalados à entrada de reservatórios e de leituras do nível da água em reservatórios.

Esta aplicação, cujo ambiente de trabalho se apresenta na Figura 5.18, também pode ser utilizada para processar outras grandezas cujos registos se apresentem em séries temporais, como sejam a pressão na rede, o nível da água em reservatórios ou parâmetros de qualidade da água recolhidos *on-line*.

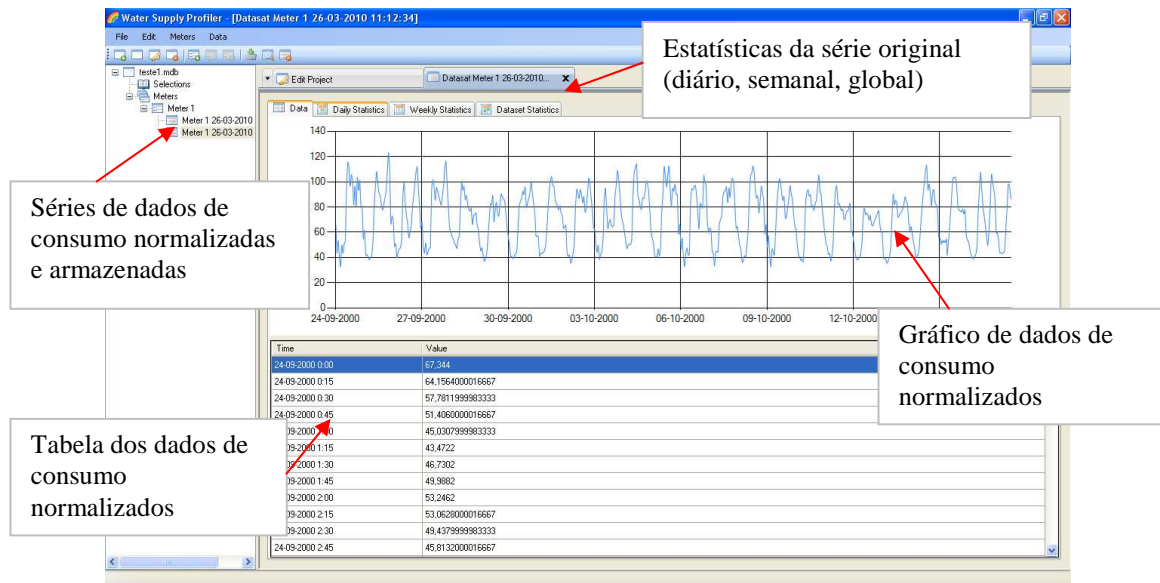


Figura 5.18 – Ambiente de trabalho da aplicação computacional PROFILER

Esta aplicação, cujas versões iniciais foram desenvolvidas em linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*), encontra-se actualmente em fase de reprogramação completa em linguagem C#, com exportação de dados para uma base de dados em Microsoft Access®, permitindo, assim, a manipulação de um maior volume de dados.

5.3.2 Dados para importação

Os dados gerados por equipamentos de medição como medidores de caudal, contadores de água, manómetros ou medidores de nível, e são coligidos e armazenados através de:

- sistemas de telegestão, que recolhem os dados em vários pontos do sistema, centralizando-os com vista ao controlo do funcionamento dos equipamentos electromecânicos;

- sistemas de telemetria, cuja forma de recolha de dados pode ser variada (*e.g.*, localmente, com computador portátil, remotamente utilizando GSM), mas os dados são frequentemente armazenados de forma não centralizada.

Ambos os sistemas produzem dados em ficheiros de texto (ASCII) para tratamento posterior. Estes ficheiros com os dados brutos constituem os ficheiros de *input* para o PROFILER. Os ficheiros de texto são tipicamente formatados por colunas. A formatação é variável, mas é habitual a coluna dos tempos ocupar a primeira posição.

Um ficheiro de dados representa um determinado período de tempo (tipicamente entre algumas semanas e vários meses), e pode conter dados relativos a:

- um ponto de medição, caso em que terá apenas duas colunas (*e.g.*, tempo ou consumo);
- múltiplos pontos de medições, caso em que terá três ou mais colunas (*e.g.*, tempo, consumo no Medidor 1, consumo no Medidor 2), podendo conter várias dezenas de colunas.

A Figura 5.19 apresenta exemplos de diferentes ficheiros de dados para importação, que vão desde o mais simples apenas com um ponto de medição, até sistemas mais complexos com diferentes pontos de medição de caudal e de nível.

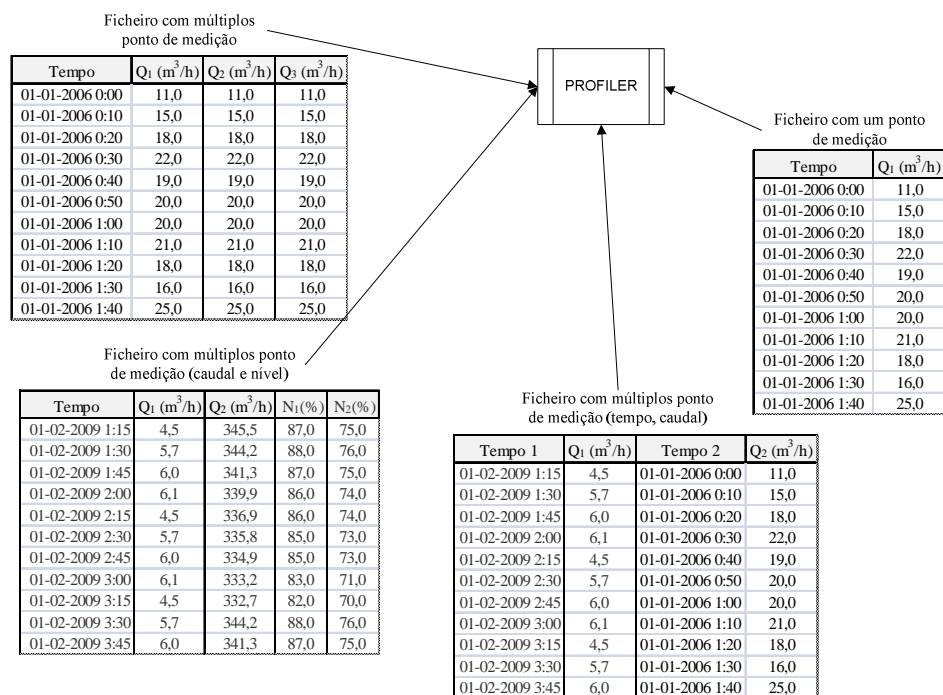


Figura 5.19 – Exemplos de ficheiros de dados de entrada da aplicação PROFILER

No caso do ficheiro com múltiplos pontos de medições, este pode também ser composto por uma coluna de tempo e várias colunas de caudal e de nível. O consumo em cada ponto resulta, neste caso, da operação entre o caudal à entrada de um reservatório e da variação de nível neste. Esta configuração é típica dos sistemas de adução, onde cada reservatório representa um ponto de entrega e a medição de caudal refere-se à entrada de água no reservatório. Ficheiros com uma única coluna de tempo obrigam a que o passo de tempo entre registos de qualquer grandeza seja o mesmo e que os dados estejam sincronizados entre os vários medidores. Caso tal não aconteça pode importar-se um ficheiro com múltiplas colunas de tempo e consumo.

Os ficheiros provenientes de sistemas de telemedição/telegestão são frequentemente do tipo multi-medidor, por oposição, os ficheiros provenientes de *dataloggers* são frequentemente do tipo mono-medidor.

Com a excepção da(s) coluna(s) de tempo(s), cada coluna do ficheiro de dados corresponde a um determinado equipamento de medição real, existente no sistema ou instalação. Esse equipamento é caracterizado por diversas propriedades, como o tipo, a marca e modelo, o diâmetro nominal, o caudal máximo e mínimo. Estes dois últimos parâmetros são essenciais para a validação dos valores registados na coluna em causa, pois permitem (caso o utilizador o pretenda), eliminar automaticamente valores anómalos. O Quadro 5.7 descreve as propriedade requeridas relativas ao equipamento de medição e à(s) série(s) de consumos.

Quadro 5.7 – Dados para importação do medidor de caudal e da série de consumos

<i>Entidade</i>	<i>Propriedades</i>
Medidor/contador	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal máximo, caudal mínimo • Tipo • Diâmetro nominal • Marca modelo
Série de consumos	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de série temporal (regular ou irregular) • Passo de tempo entre registos (no caso de ser regular) • Duração-limite para falha de dados • Tipo de variável lida em cada instante (média, instantâneo) • Expressão para operação entre colunas do ficheiro

Uma série de consumos pode ser regular se o passo de tempo entre registos for constante (*e.g.*, 10 min.) ou irregular se for variável. Este último caso ocorre, por exemplo, quando um registo de consumo está associado à ocorrência de um impulso (*e.g.*, 1 impulso por cada 10 l) e o tempo entre impulsos é variável. Esta propriedade é importante para

identificar as falhas de registos. Se for regular é fácil, mas no caso de ser irregular deve analisar-se os registos de consumo para identificar o tempo máximo entre registos, a partir do qual se considera haver falha. Para a normalização dos dados na escala temporal é importante saber se a leitura em cada instante corresponde ao valor médio ou ao valor instantâneo, de forma a garantir que o consumo médio não é alterado. A série para importação é identificada no ficheiro de dados a partir do nome no cabeçalho da respectiva coluna. Se a série de consumos resultar da operação entre várias colunas no ficheiro de dados, esta deve ser indicada através de uma expressão.

5.3.3 Módulo de importação

A importação de dados compreende três etapas: (i) validação; (ii) identificação e eliminação de dados anómalos; e (iii) normalização. Devido ao mau funcionamento dos equipamentos de medição, transmissão e armazenamento, as séries de consumo apresentam muitas vezes problemas que inviabilizam o seu processamento (*e.g.*, falhas de dados, valores não numéricos, linhas duplicadas na coluna de tempo). O Quadro 5.8 apresenta os testes de validação efectuados, assim como o tipo acção gerada pelo programa em função do tipo de problema¹⁸.

Características como o tipo de equipamento de medição (*e.g.*, contador ou medidor de caudal), a resolução dos emissores, a capacidade de armazenamento, as características dos sistemas de comunicação e os usos estabelecidos para a informação recolhida, fazem com que os vários conjuntos de dados a processar apresentem características diferentes entre si em termos dos seguintes aspectos:

- tipo de variável registado em cada instante (*e.g.*, médio, instantâneo, máximo);
- passo de tempo entre registos regular (*e.g.*, 60 min, 15 min, 1 min, 1s) ou irregular.

Assim, a normalização dos dados na escala temporal consiste em obter leituras de consumo num passo de tempo regular, previamente pré-definido, e idêntico para todas as séries importadas. Esta operação viabiliza a realização, na fase de análise, de operações que envolvam a combinação de várias séries, como seja a dedução de grandes consumidores ao

¹⁸ Os procedimentos para identificação e eliminação de dados anómalos, apresentados em 5.2.2 não se encontram ainda implementados na versão actual do PROFILER.

consumo total numa ZMC e o cálculo de consumos para efeitos de balanços hídricos. Nesta rotina foram implementados todos os procedimentos estabelecidos em 5.2.4 para normalização de preenchimento de falhas.

Quadro 5.8 – Procedimentos implementados no módulo de importação

<i>Módulo/Função</i>	<i>Descrição</i>	<i>Nota</i>
Validação		
Dados da(s) Coluna(s) de tempo	• Campos em branco	Erro
	• Inversão na série temporal	Erro
	• Linhas duplicadas	Erro
	• Dimensão mínima da série para importação	Erro
Dados da(s) Coluna(s) de consumo	• Campos em branco	Aviso
	• Valores não numéricos	Aviso
	• Valores negativos	Aviso
	• Valores acima do caudal máximo e mínimo especificado	Aviso
	• Valores de caudal sempre crescentes	Aviso
Dados da(s) Coluna(s) de tempo e de consumo	• Alteração do passo temporal (no caso de ser um série regular)	Erro
Detecção e eliminação de dados anómalos	• Dados anómalos do tipo I	Métodos descritos em 5.2.2
	• Dados anómalos do Tipo II	
	• Dados anómalos do Tipo III	
Normalização		
Regularidade da série	• Série com passo de tempo regular • Série com passo de tempo irregular	Métodos descritos em 5.2.4
Tipo de variável lida em cada instante	• Valor médio • Valor instantâneo	
Falhas de dados	• Preenchimento de falhas caso a duração da falha seja inferior à duração limite de falha	

5.3.4 Módulo de análise

Para além das funcionalidades relativas à combinação de dados e cálculo de histogramas de consumo, os vários procedimentos descritos no Quadro 5.9 foram implementados em linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*) e encontra-se actualmente em fase de reprogramação completa em linguagem C#.

Quadro 5.9 – Procedimentos do módulo de análise em fase de implementação no PROFILER

<i>Módulo/Função</i>	<i>Módulo da metodologia</i>	<i>Método/Procedimento</i>
Cálculo de variáveis de consumo	Módulo 3 – etapa de análise do consumo	Variáveis descritas em 4.3.3.1
Cálculo de cenários de consumo	Módulo 3 – etapa de análise do consumo	Método descrito em 5.2.6
Cálculo de padrões de consumo	Módulo 3 – etapa de modelação do consumo	Método descrito em 4.3.3.3

5.3.5 Módulo de visualização

Os resultados da importação e análise de dados podem ser visualizados a partir de tabelas de estatísticas, gráficos de séries temporais, histogramas de consumo e padrões de consumo (Figura 5.18).

5.4 Ferramenta de geoprocessamento

A necessidade de dispor de uma ferramenta que permitisse obter de forma automatizada as características sócio-demográficas da população abastecida ao nível de uma ZMC, em qualquer zona do território nacional, motivou o desenvolvimento de uma ferramenta de geoprocessamento. Outro aspecto importante foi também o facto dos dados relativos ao Recenseamento Geral da População e da Habitação de 2001 (INE, 2001) estarem disponíveis numa base geográfica.

Assim, o recurso a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitiu manipular dados alfanuméricos e geográficos de diversas naturezas e formatos (*e.g.*, dados de infra-estrutura, dados sócio-demográficos ou ortofotomapas), bem como realizar operações de análise espacial de agregação e desagregação de unidades territoriais. A ferramenta de geoprocessamento, desenvolvida em ArcGIS 9.0, permite obter de forma automática os dados sócio-demográficos ao nível dos sectores de rede, tendo por base os dados dos Censos e os ramais referenciados geograficamente.

A Figura 5.20 apresenta a metodologia geral que foi seguida para a obtenção dos dados sócio-demográficos ao nível dos sectores.

Na Etapa 1 recolheram-se dados de infra-estrutura para as ZMC em estudo, assim como os dados sócio-demográficos. No que se refere aos dados sócio-demográficos, as unidades estatísticas, objecto de análise, foram o edifício e o alojamento, no IV Recenseamento Geral da Habitação, e a família, o núcleo familiar e o indivíduo, no XIV Recenseamento Geral da População. A informação foi recolhida ao nível de subsecções estatísticas (SSE)¹⁹

¹⁹ Por subsecção estatística, entende-se a unidade territorial que identifica a mais pequena área homogénea de construção ou não, existente dentro da secção estatística (*i.e.*, unidade territorial correspondente a uma área contínua de uma única freguesia com cerca de 300 alojamentos destinados à habitação). Corresponde ao quarteirão nas áreas urbanas, ao lugar ou parte de um lugar nas áreas rurais, ou a áreas residuais que podem ou não conter alojamentos (isolados) (www.ine.pt).

e foi retirada da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI)²⁰, em que cada SSE é caracterizada por um conjunto de 90 descritores. Estes dados poderiam ter sido complementados, nas áreas metropolitanas e Lisboa e Porto, com os dados do INE referentes à tipologia sócio-económica (INE, 2004). Esta informação, fornecida em termos de indicadores, permite, por exemplo, caracterizar o tempo médio das deslocações casa-trabalho e a proporção de alojamentos sazonais. No entanto não foi considerada, pois apenas se encontra disponível para uma parte do país e apresenta-se sob a forma de indicadores, que resumem e classificam as características sócio-demográficas, distinta dos dados de base da BGRI.

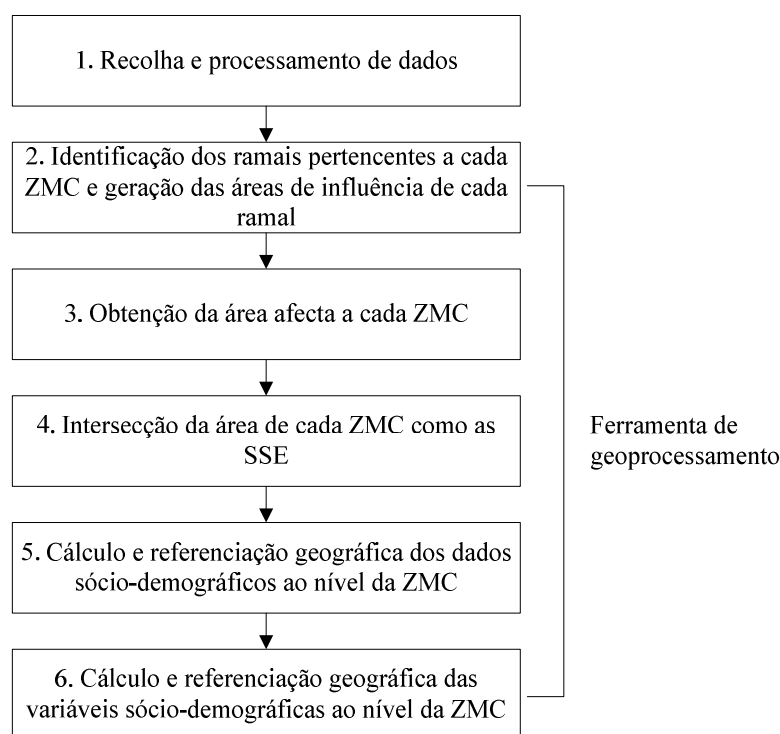


Figura 5.20 – Metodologia para cálculo de variáveis sócio-demográficas ao nível de uma ZMC.

Os dados da infra-estrutura foram disponibilizados em ficheiros de SIG pela entidade gestora. Os ramais constituíram a informação de base sobre a infra-estrutura, pois confinam a área abrangida por cada ZMC. Os ramais devem possuir os seguintes campos

²⁰ Sistema de referenciação geográfica suportado em informação cartográfica ou ortofotocartográfica em formato digital, para todo o território nacional. Permite a divisão de cada unidade administrativa de base, a freguesia, em pequenas áreas estatísticas – secções e subsecções estatísticas (www.ine.pt).

obrigatórios: código do sector a que pertencem; data de criação do ramal, tipo de ramal (*i.e.*, doméstico, industrial).

Complementarmente, recolheram-se dados relativos às condutas, números de polícia, edificado, assim como imagens verticais (*i.e.*, fotografia aérea, ortofotomapa, imagens de satélite). Estes dados identificam zonas não cobertas pela rede de abastecimento (*e.g.*, bairros ilegais) ou cobertas por outro sector de abastecimento, assim como consumidores específicos (*e.g.*, jardins, zonas de residências com piscinas), ou zonas com edificado mais recente (*i.e.*, após 2001).

A grande variabilidade dos dados geográficos, tanto em formato como em tipo, e a possibilidade de existirem dados de diferentes datas ou períodos, obrigou a uma sistematização para uma gestão adequada dos dados usados no trabalho. Deste modo, recolheram-se complementarmente metadados²¹ relativos aos elementos: sistema de coordenadas, escala e/ou resolução de imagens verticais, data de levantamento de campo, data da última actualização, entidade produtora de dados.

Na Etapa 2 identificam-se os ramais pertencentes a cada sector de rede (cada ramal tinha a designação da ZMC a que pertencia). Através da criação de áreas de influência dos ramais, pelo método dos polígonos de Tiessen, obteve-se a área total afectada a cada ZMC (Figura 5.21). Esta delimitação não foi obtida a partir das condutas, porque conduzia a resultados finais menos fiáveis. Por exemplo, as condutas podem ter troços sem ramais e existem condutas em arruamentos que abastecem clientes pertencentes a sectores diferentes de cada lado da rua, dificultando o estabelecimento de procedimentos automáticos capazes de cobrir todas as situações.

²¹ Os metadados de informação geográfica constituem uma descrição textual, de forma normalizada, da informação geográfica. A sua documentação é indispensável para a identificação e avaliação técnica (escala, sistema de referência, qualidade, extensão geográfica e temporal) dos conjuntos de dados geográficos (CDG), assim como aspectos ligados ao acesso a serviços e dados e contactos dos responsáveis (<http://snig.igeo.pt/>).

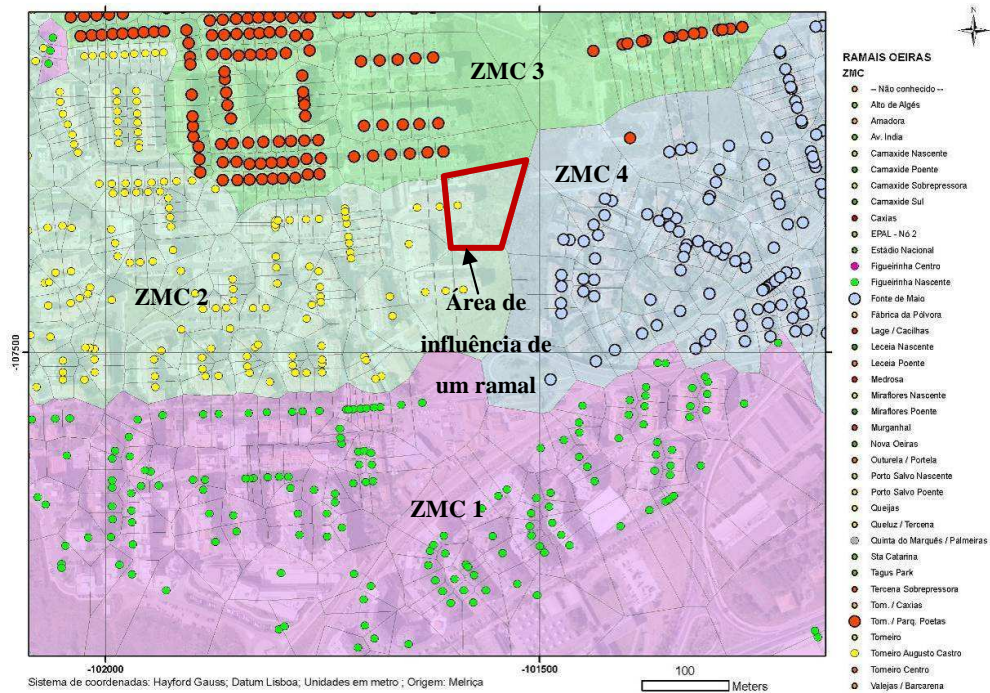


Figura 5.21 – Áreas de influência de cada ramal por ZMC.

Uma questão importante prende-se com a ponderação a aplicar no caso da SSE ser partilhada por mais de uma ZMC, tal com apresenta na Figura 5.22. Neste estudo foi aplicada a ponderação por área, tendo-se admitido que o número de ramais e de clientes se encontra uniformemente distribuído. Os erros introduzidos por este hipótese podem ser mínimos no caso de zonas urbanas, onde a ocupação do território é relativamente homogénea, mas podem ser enormes no caso de zonas mais rurais. Esta hipótese foi adoptada uma vez que não se conhecia o número de clientes por ramal, o que teria permitido ponderar de uma forma mais correcta a subsecções que são partilhadas por mais do que uma ZMC. Deste modo, calculou-se para cada SSE a proporção de área em cada ZMC.

Na Etapa 3 obteve-se a área total afecta a cada ZMC e a delimitação de fronteiras entre ZMC, usando a ferramenta de agregação espacial *Dissolve*.

Na Etapa 4, as áreas de cada sector de rede foram intersectadas com os polígonos das SSE. A Figura 5.22 apresenta um exemplo da distribuição de população em função da proporção de área de SSE em cada ZMC.

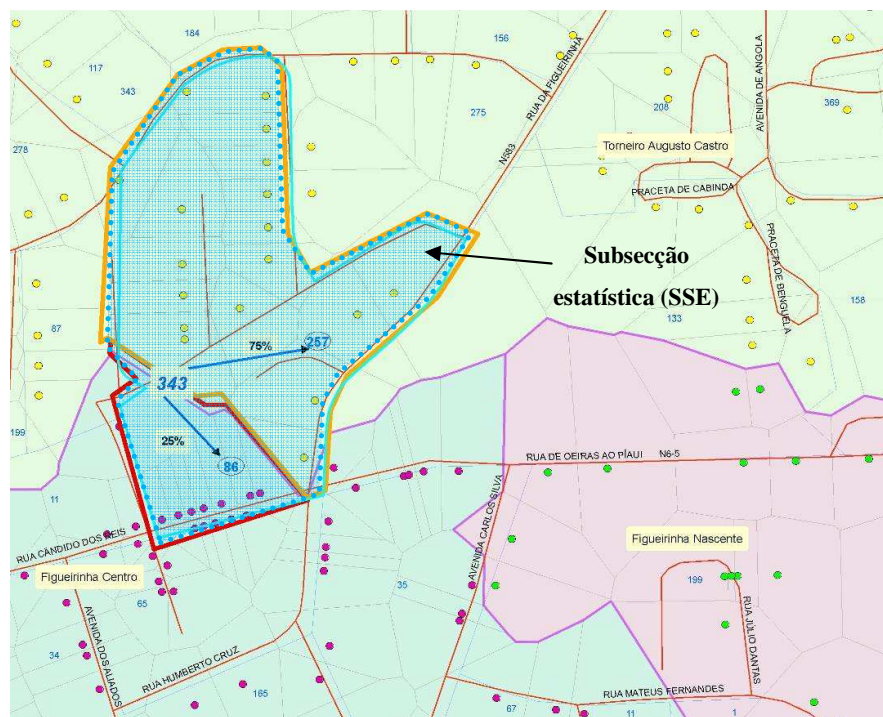


Figura 5.22 – Distribuição da população por ZMC com base numa ponderação por área.

Na Etapa 5 obteve-se o valor total de cada dado sócio-demográfico a partir do ficheiro-síntese para cada ZMC. A partir do conjunto alargado de dados a partir dos últimos Censos (99 dados descritores) seleccionou-se um subconjunto destas (37 dados descritores). Este subconjunto integra, de acordo com a revisão bibliográfica realizada, as variáveis mais importantes para análise de consumos de água. Tendo por base este sub-conjunto de dados, calcularam as variáveis sócio-demográficas que correspondem às variáveis explicativas utilizadas para modelar o consumo de água. Uma descrição das variáveis sócio-demográficas utilizadas no estudo é apresentada em 4.3.4.1 .

Para garantir que os resultados obtidos são fiáveis devem ser verificados os seguintes requisitos:

- referência geográfica completa dos ramais com a indicação da ZMC a que pertencem.
- zonas urbanas predominantemente residenciais (este critério foi verificado através do quociente entre volume de água doméstico facturado e o volume total facturado >70% e do quociente entre edifícios predominantemente ou exclusivamente residenciais e o total de edifícios >85%);

- dados de infra-estrutura e dados sócio-demográficos pertencentes ao mesmo instante temporal (este critério não foi garantido, uma vez que os dados sócio-demográficos referem-se a 2001 e os dados de infra-estrutura são sucessivamente actualizados devido a reabilitações ou expansões de rede, pelo que esta discrepância foi minimizada com recurso à consulta de ortofotomapas e de plantas do edificado que permitiram detectar situações relativas a residentes com abastecimento próprio, habitações ilegais, *etc.*)²².

Na etapa 6 fez-se a referenciação geográfica das variáveis sócio-demográficas em nível de cada ZMC, obtendo-se assim um perfil sócio-demográfico de cada uma.

As etapas 2 a 6 foram operacionalizadas em SIG por um consultor. A aplicação foi utilizada para obtenção das variáveis sócio-demográficas ao nível de ZMC (Capítulo 9) e ao nível de arruamentos e ramais em Oeiras e Amadora (Capítulo 7).

5.5 Síntese

Neste capítulo apresentou-se uma aplicação computacional PROFILER, para apoio ao processamento e análise de consumos de água, assim como uma ferramenta de geoprocessamento para obtenção de dados sócio-demográficos ao nível de ZMC.

A aplicação PROFILER permite ao utilizador a manipulação de um grande volume de dados gerados pelos sistemas de telemetria e a operacionalização de um conjunto de procedimentos, desenvolvidos neste trabalho, que servem de base ao processamento e análise de consumos de água. O cumprimento destes objectivos permite às entidades gestoras obterem um maior conhecimento sobre os consumos de água com base no histórico que dispõem.

Esta aplicação viabiliza a criação de uma base de dados de consumos a nível nacional, capaz de fornecer valores de referência para o planeamento, dimensionamento e exploração de sistemas.

O recurso a instrumentos específicos para obtenção de dados sócio-demográficos é fundamental para a caracterização dos clientes abastecidos, uma vez que os dados que a

²² Outra forma de avaliar se o tecido urbano foi alterado é através da contabilização do número de contratos de clientes após 2001. No entanto, não foi possível obter de forma expedita estes dados a partir do sistema de facturação.

entidade gestora dispõe são geralmente muito limitados e encontram-se frequentemente desactualizados. Ao nível de ZMC, estabeleceu-se uma metodologia, que foi operacionalizada numa ferramenta de geoprocessamento, para caracterização sócio-demográfica a este nível. Esta é aplicável por qualquer entidade gestora, a nível nacional, desde que os ramais estejam geograficamente referenciados. Esta é particularmente adequada em zonas urbanas onde a ocupação urbanística é mais homogénea.

6 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE GRANDES CONSUMIDORES

6.1 Nota introdutória

Os grandes consumidores são geralmente caracterizados por consumos significativamente superiores aos restantes clientes e por comportamentos diários bastante distintos entre si, dependendo de factores como o tipo de actividades, o tipo de equipamentos instalados, o tipo de ocupação e o clima (Vickers, 2001; Cobacho *et al.*, 2005). Os elevados consumos condicionam muitas vezes o funcionamento hidráulico das redes de distribuição de água.

Assim, o conhecimento sobre o consumo associado aos grandes consumidores é importante para a gestão operacional da rede (*e.g.*, gestão de pressões, sectorização de redes), para o estudo das perdas reais de água tendo por base a análise dos caudais nocturnos e para o dimensionamento de contadores e especificação de requisitos dos sistemas de telemetria (*e.g.*, resolução, passo de tempo entre registos). Pelos consumos elevados que alguns apresentam, são clientes que podem também beneficiar bastante da implementação de medidas para o uso eficiente da água, podendo ter um impacte significativo não só no consumo autorizado, mas também no consumo total na rede (Ferreira Camacho, 2009). A análise de consumos nestes clientes é fundamental para a definição dessas medidas e tem beneficiado bastante com a introdução da telemedição individual.

No entanto, há necessidade de consolidar abordagens que permitam a análise sistemática destes clientes. Pretende-se neste caso de estudo aplicar a metodologia proposta para caracterizar um conjunto de grandes consumidores, individualmente telemedidos, e fornecer valores de referência para este tipo de clientes.

A aplicação da metodologia proposta neste trabalho para caracterização do consumo em grandes consumidores é descrita em 6.2. Os resultados obtidos nos vários módulos da metodologia são apresentados em 6.3-6.5. Uma síntese deste capítulo, assim como os resultados mais relevantes, é apresentada em 6.6.

6.2 Aplicação da metodologia proposta

Neste caso de estudo aplicaram-se os três módulos iniciais da metodologia proposta para caracterização do consumo de grandes consumidores (Figura 6.1). Relativamente ao

Módulo 1 da metodologia, uma vez que os SMAS de Oeiras e Amadora já dispunham de um histórico de dados de consumo telemedido num conjunto de grandes consumidores, que são monitorizados em contínuo, fez-se apenas uma breve análise crítica dos clientes telemedidos e foi feita a verificação de que os sistemas de telemetria instalados cumprem os requisitos aplicáveis, com base nos aspectos apresentados em 4.3.1.1 e 4.3.1.2. Foram recolhidos dados de consumo de um conjunto relativamente alargado e variado de clientes (*i.e.*, comércio, escola, indústria, instituições), correspondentes a um ano de registos. Para além dos dados de telemedição, a entidade gestora forneceu também os dados de facturação de cada cliente, referentes ao período entre 2006 e 2007. Estes dados permitiram a validação dos dados de consumo telemedidos.

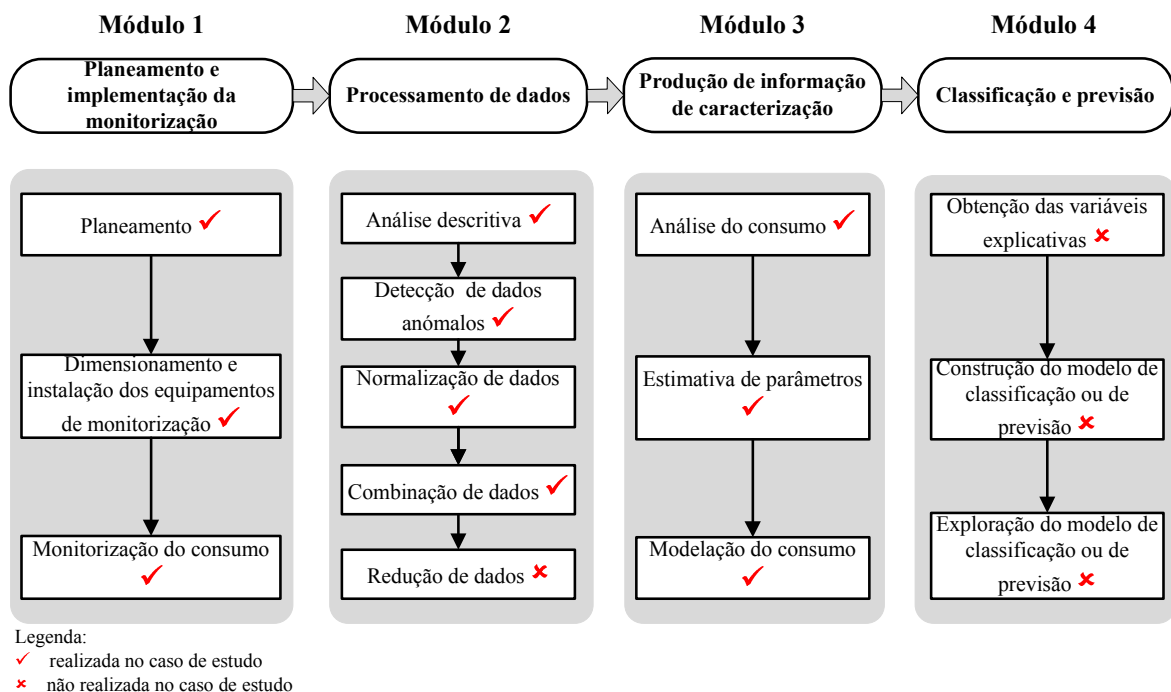


Figura 6.1 – Aplicação da metodologia geral para caracterização de grandes consumidores

No **Módulo 2**, na etapa de análise descritiva de dados obtiveram-se as principais propriedades dos dados, através do cálculo de um conjunto de parâmetros definidos em 4.3.2.1 e fez-se a validação dos dados de telemedição por comparação com os dados de facturação (resultantes da leitura manual dos contadores). Na etapa de deteção de dados anómalos, para além das técnicas preliminares para identificação deste tipo de dados descritas em 4.3.2.2, testaram-se também os métodos propostos neste trabalho para a sua deteção automática (*cf.* descrição em 5.2.2). Na etapa de normalização, os dados de

consumo, recolhidos com diferentes passos de tempo, foram uniformizados para um passo de tempo de 15 min., utilizando a aplicação PROFILER (*cf.* descrição em 5.3).

Uma vez que o objectivo do estudo era a análise do consumo individual de cada cliente não foi necessário fazer a combinação de dados. No âmbito deste estudo também não era aplicável a etapa de redução de dados.

No **Módulo 3**, na etapa de análise do consumo, identificaram-se os cenários sazonais e diários de consumo (este último para o cenário sazonal predominante) de acordo com o procedimento descrito em 5.2.6, que utiliza o métodos estatístico de análise de *clusters* descrito no Anexo 1. O consumo autorizado foi caracterizado através do cálculo do consumo médio diário, consumo mínimo médio, consumo médio no PCMN e dos factores de ponta (*cf.* descrição em 4.3.3.1).

Na etapa de estimativa de parâmetros, com o objectivo de calcular os intervalos de predição associados aos padrões de consumo para os grandes consumidores com comportamento diário regular, avaliou-se a hipótese das amostras transversais de consumo ao longo do dia seguirem a distribuição Log-normal. Na etapa de modelação do consumo obtiveram-se os padrões de consumo consoante as características de consumo de cada cliente e apresentaram-se formas alternativas para a caracterização do comportamento médio diário, no caso de clientes com comportamento diário irregular.

6.3 Planeamento e implementação da monitorização do consumo

6.3.1 Planeamento da monitorização

6.3.1.1 Objectivos e dimensões de análise

Pretende-se com este caso de estudo caracterizar o consumo de um conjunto de grandes consumidores, através da aplicação da metodologia proposta. Esta informação é importante para o fornecimento de valores de referência para o dimensionamento da rede pública e dos seus componentes. Um melhor conhecimento sobre o consumo destes clientes, permite também avaliar melhor o seu impacte no comportamento hidráulico da rede e fazer uma melhor gestão caudais e de pressões na rede.

Em termos de componente de consumo em análise, esta incidiu sobre o consumo autorizado de grandes consumidores, que inclui, para além do consumo devido a usos de

água, as perdas nas redes prediais. Em termos de dimensão geográfica, recolheram-se dados de consumo telemedido ao nível individual. Em termos de dimensão temporal, uma vez que estes clientes se caracterizam por um comportamento variável ao longo do dia, da semana e do ano, o histórico de dados de consumo correspondeu a um ano e foram adquiridos com um passo de tempo de 10 min. ou de 15 min. (passo de tempo considerado suficiente para descrever o comportamento de cada cliente ao longo do dia).

6.3.1.2 Zonas de análise

A análise do consumo de grandes consumidores teve por base um conjunto de 21 clientes abastecidos pelos SMAS de Oeiras e Amadora²³. Os dados destes clientes foram processados de forma anónima e agrupados de acordo com as seguintes categorias:

- comércio (4 hipermercados, 1 centro comercial);
- indústria (2 indústrias farmacêuticas, 1 indústrias tecnológica, 1 indústrias de produção alimentar, 1 oficina);
- escola (2 instalações de ensino secundário, 2 instalação de ensino superior);
- instituições de I&D (4 instituições);
- instituições de apoio social (3 instituições).

Assim, neste trabalho analisaram-se clientes pertencentes às categorias de consumo de comércio, indústria e público (*i.e.*, escolas e instituições). Trata-se de clientes com características muito variadas em termos do número de utilizadores, do tipo de actividades e dos equipamentos instalados. Encontram-se inseridos em oito sectores de rede e representam cerca de 4% do total facturado nestes sectores.

Para a selecção dos grandes consumidores a serem telemedidos deve atender-se ao facto destes se caracterizarem por consumos bastantes mais elevados e com comportamento distinto relativamente aos restantes clientes²⁴. Os valores de consumo por cliente e o peso do consumo de cada cliente no consumo total facturado na respectiva ZMC são

²³ Com o objectivo principal de estimar perdas reais em ZMC através da análise de caudais nocturnos, os SMAS de Oeiras e Amadora iniciaram em 2006 a telemedição dos clientes com maior consumo em zonas de medição e controlo.

²⁴ Os SMAS de Oeiras e Amadora classificam como grande consumidores os clientes cujo consumo mensal seja superior a 250 m³/mês.

apresentados na Figura 6.2. Os resultados evidenciam a variabilidade do consumo para os vários clientes em análise (entre 267 l/(cliente.mês) e 3571 l/(cliente.mês)) e do peso do consumo de cada cliente no consumo total facturado na respectiva ZMC (entre 0,4% e 10,4%). Uma análise mais pormenorizada do consumo (como a que se propõe neste trabalho), que permita identificar outras características como o consumo mínimo e os factores de ponta (como a que se propõe neste trabalho) - importantes para análise de perdas reais, para o dimensionamento e operação da rede - vai permitir estabelecer critérios adicionais para a selecção destes clientes.

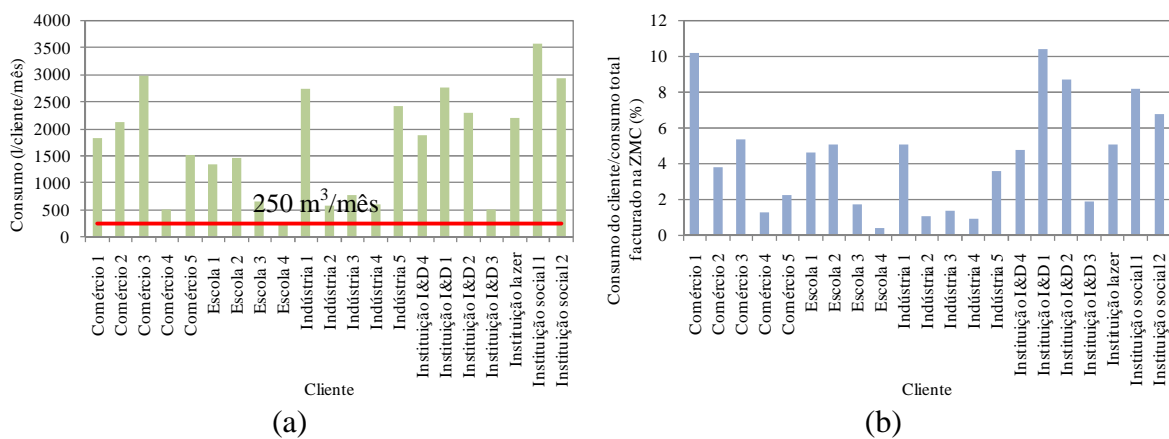


Figura 6.2 – Características dos grandes consumidores seleccionados para análise: a) consumo por cliente, b) peso do consumo de cada cliente no consumo total facturado na ZMC

Considera-se que a análise incidiu sobre um conjunto alargado de clientes, com características de consumo muito variadas. No entanto, neste conjunto não foi possível dispor de dados de consumo telemedido em clientes pertencentes à categoria de consumo público e que inclui usos para rega de zonas verdes, lavagem de arruamentos, *etc.* Este tipo de clientes, em particular a rega de zonas verdes pode apresentar consumo muito significativo durante o período do Verão, cujo comportamento também importa caracterizar em estudos futuros.

6.3.2 Equipamentos de monitorização

Os contadores utilizados neste tipo de consumidores eram sobretudo do tipo *Woltman* de turbina vertical, com diâmetros nominais compreendidos entre 40 e 80 mm. A recolha de dados foi feita remotamente. Dados os consumos significativos destes clientes, quer durante o período nocturno, quer durante o dia é importante que a incerteza associada seja reduzida. Em alguns clientes, onde foi instalado um contador com diâmetro nominal de 40 mm ($Q_{min}=0,3 \text{ m}^3/\text{h}$), verificou-se que durante o período nocturno (entre a 1:00 e as

6:00) grande parte dos valores de consumo eram inferiores a $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$, a que pode estar associada uma incerteza elevada (*i.e.*, muito superior a $\pm 5\%$). Adicionalmente, emissores de impulsos com uma resolução de 100 l/impulso podem levar a que nos períodos de consumo mais reduzido o número de registos de consumo seja reduzido, não permitindo a obter um histórico pormenorizado durante estes períodos do dia, pelo que se recomenda que em clientes deste tipo a resolução seja maior (*e.g.*, 10 l/impulso). No que se refere aos consumos máximos, verificou-se que eram sempre inferiores aos valores de consumo máximo estabelecidos de acordo com as características metrológicas dos contadores (*i.e.*, para diâmetros compreendidos entre 40 mm e 80 mm , o caudal máximo varia entre $60 \text{ m}^3/\text{h}$ e $200 \text{ m}^3/\text{h}$). No entanto, os valores máximos reais são amortecidos porque os passos de tempo adoptados (de 10 e de 15 min.) são superiores aos recomendáveis para análise do consumo máximo (*e.g.*, 1 min.) (Arregui, 1998; Tricarico *et al.*, 2005; Arregui *et al.*, 2006).

6.3.3 Monitorização do consumo

Os clientes em análise foram monitorizados em contínuo, sendo as leituras de consumo médio obtidas, como referido anteriormente, com um passo de tempo de 10 ou de 15 min. Tal como para a rede, é importante que seja criado um histórico de intervenções nos pontos de medição instalados nestes clientes para facilitar a detecção de eventuais problemas (*e.g.*, problemas de pressão, falhas nas leituras de consumo, incorrecta configuração do sistema de telemetria).

6.4 Processamento de dados

6.4.1 Análise descritiva

Para cada cliente, apresenta-se no Quadro 6.1 um conjunto de parâmetros que caracterizam as séries de consumo originais, em termos de tempo inicial e final do histórico, número de dias para análise, disponibilidade de registos (em relação ao número total de registos que seria de esperar com um passo de tempo fixo), número de registos de consumo nulo (em relação ao número de registos do histórico) e valor médio, 1.º quartil e máximo do consumo. A disponibilidade de registos (superior a 85%) indica que houve poucas falhas nos dados de consumo recolhidos. Existem dois clientes – comércio 5 e instituição social 1 - onde o número de registos de consumo nulo é muito elevado ($73,2\%$ e $79,8\%$,

respectivamente). Estes clientes caracterizam-se por períodos de consumo com intensidade e duração aproximadamente constante, mas com frequência de ocorrência irregular, alternados por períodos de consumo nulo (Figura 6.3a). Este comportamento pode ser devido ao facto destes clientes possuírem reservatórios domiciliários ou sistemas hidropneumáticos e do consumo ser condicionado pelo modo de operação destes equipamentos.

Quadro 6.1 – Parâmetros das séries temporais de consumo dos grandes consumidores

<i>Cliente</i>	<i>Tempo inicial</i>	<i>Tempo final</i>	<i>N.º de dias</i>	<i>Disponibilidade de registos (%)</i>	<i>Registos nulos (%)</i>	<i>média (m³/h)</i>	<i>1.º quartil (m³/h)</i>	<i>máximo (m³/h)</i>
Comércio 1	01-01-2007	31-12-2007	364	99,7	1,8	2,5	0,9	25,3
Comércio 2	01-01-2007	04-11-2007	310	84,9	7,3	2,5	1,3	14,3
Comércio 3	01-01-2007	31-12-2007	355	97,2	0,8	4,0	2,4	19,5
Comércio 4	01-01-2006	31-12-2006	355	97,3	2,3	1,5	0,2	5,9
Comércio 5	01-01-2006	31-12-2006	347	95,1	73,2	2,1	0,0	11,8
Escola 1	01-01-2007	31-12-2007	365	100,0	9,8	1,6	0,4	11,3
Escola 2	01-01-2007	31-12-2007	365	100,0	6,3	1,8	0,8	34,8
Escola 3	01-01-2006	31-12-2006	348	95,4	0,6	0,9	0,0	15,3
Escola 4	01-01-2007	31-12-2007	365	99,9	0,2	0,4	0,1	11,5
Indústria 1	01-01-2007	31-12-2007	353	96,7	1,3	3,8	2,1	12,7
Indústria 2	01-01-2007	31-12-2007	365	99,9	40,1	0,8	0,0	14,0
Indústria 3	01-01-2007	31-12-2007	365	100,0	38,1	1,2	0,0	13,7
Indústria 4	01-01-2006	31-12-2006	348	95,3	22,8	0,8	0,0	19,7
Indústria 5	01-01-2006	31-12-2006	346	94,9	21,1	3,3	0,1	22,0
Inst. I&D 1	01-01-2007	31-12-2007	365	100,0	0,0	3,7	2,3	13,8
Inst. I&D 2	01-01-2007	31-12-2007	365	100,0	0,1	3,1	1,7	25,4
Inst. I&D 3	04-01-2007	31-12-2007	362	99,2	10,8	0,2	0,0	4,9
Inst. I&D 4	01-01-2006	31-12-2006	348	95,2	0,1	2,7	1,2	30,1
Inst. lazer	01-01-2006	31-12-2006	347	95,2	1,8	3,0	2,0	9,5
Inst. Social 1	01-01-2006	31-12-2006	349	95,5	79,8	4,9	0,0	28,2
Inst. Social 2	01-01-2006	31-12-2006	347	95,2	19,5	3,8	0,1	28,6

Os valores médios, do 1.º quartil e máximo indicam que o consumo dos clientes em análise pode ser muito variável e distinto entre clientes, tal como se exemplifica na Figura 6.3 para os clientes instituição social 1 e indústria 3. Relativamente ao 1.º quartil, os valores obtidos indicam que existem clientes com consumos mínimos elevados, como sejam as instituições de I&D (excepto a instituição I&D 1) e o comércio 1, 2 e 3. A realização de actividades específicas e a ocorrência de fugas são alguns dos factores que podem contribuir para os elevados valores de consumo mínimo obtidos nestes clientes.

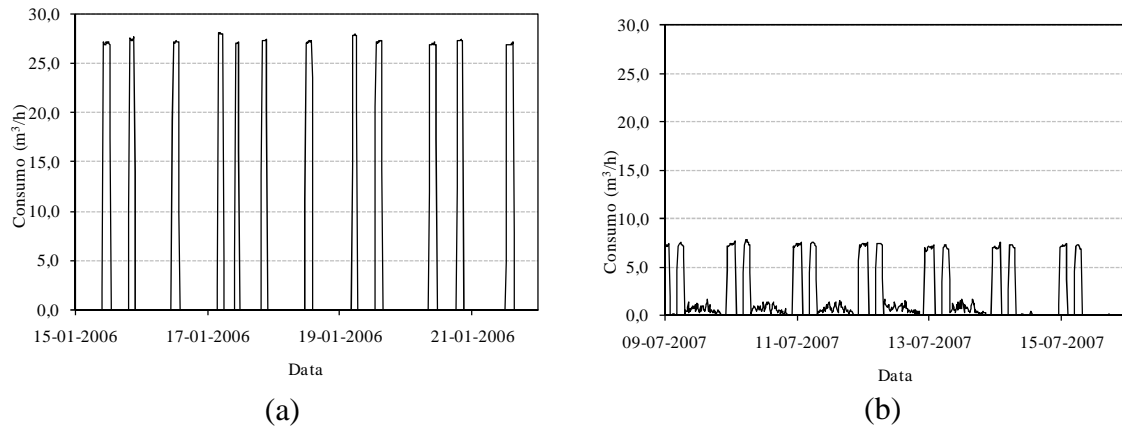


Figura 6.3 – Série de consumo para os clientes: a) instituição social 1, b) indústria 3

A Figura 6.4 ilustra a sua variabilidade do consumo mínimo para três instituições de I&D ao longo do ano, indicando a ocorrência de consumos significativos, mas com comportamentos muito diferentes entre clientes ao longo tempo. Estes resultados preliminares demonstram a importância de se conhecer, para além do consumo médio de cada cliente, o comportamento ao longo do dia, da semana e do ano, já que são as flutuações de consumo e os valores extremos que mais poderão condicionar o funcionamento hidráulico da rede onde se inserem.

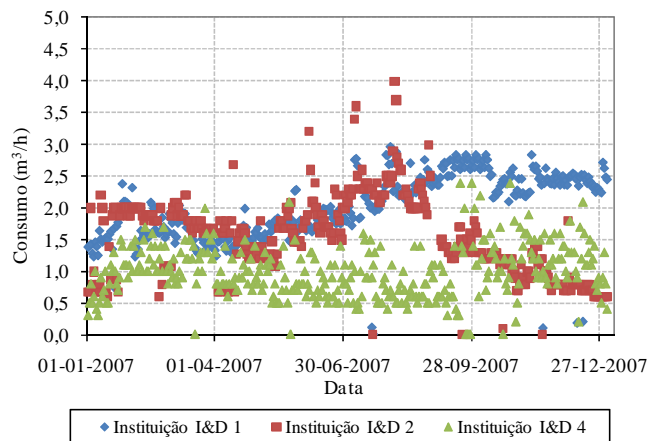


Figura 6.4 – Variação do consumo mínimo ao longo do ano para os clientes da categoria Instituição de I&D

6.4.2 Detecção de dados anómalos

Os principais tipos de dados anómalos detectados foram devidos a problemas de configuração do sistema de telemetria que originaram valores de consumo com uma escala de variação muito diferente do restante histórico.

Identificaram-se também dados de consumo anómalos que podem ser devidos à realização de intervenções nas instalações prediais (e.g., limpeza de reservatórios, reparação de roturas). Exemplos de dados anómalos deste tipo são apresentados na Figura 6.5 para os clientes instituição de lazer e comércio 2. Nestes clientes, observa-se que após um período de consumo nulo, ocorreram consumos elevados, provavelmente para reposição das condições de abastecimento. Em ambos os clientes se verifica também que após o período de consumo elevado o comportamento diário se alterou, possivelmente devido a alterações nas regras de abastecimento de determinados equipamentos. O procedimento desenvolvido neste trabalho para a detecção de dados anómalos do tipo II (variação acentuada do consumo e com duração em geral superior a 1 h) (cf. descrição em 5.2.2) permitiu identificar adequadamente este tipo de dados, que apresenta um comportamento distinto do comportamento típico da série. O facto de se tratar, na maior parte dos casos, de clientes com comportamento irregular dificulta a classificação de consumo anómalo, pelo que é importante dispor de uma histórico relativamente longo para cobrir os vários tipos de usos de água (e.g., um ano de dados).

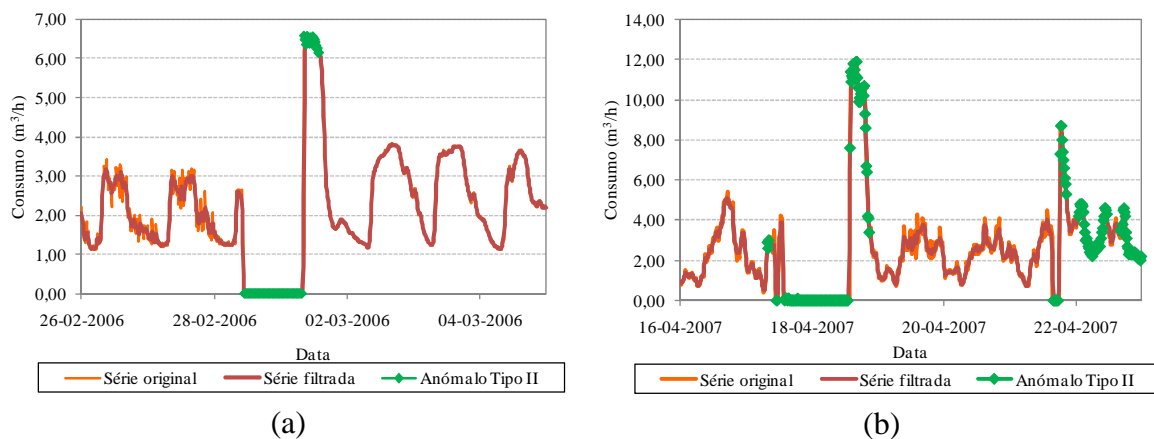


Figura 6.5 – Identificação de dados anómalos: a) instituição de lazer, b) comércio 2.

6.4.3 Normalização de dados

A etapa de normalização, permitiu obter novas séries de consumo médio normalizadas na escala temporal, para um passo de tempo de 15 min. Com o objectivo de caracterizar o comportamento médio diário (por exemplo, através de padrões diários de consumo) obtiveram-se também séries de consumo normalizadas na escala do consumo.

6.5 Produção de informação de caracterização

6.5.1 Análise do consumo

6.5.1.1 Cenários de consumo

A análise de cenários de consumo foi feita em termos de cenários sazonais e de cenários diários. Os cenários sazonais para cada cliente são apresentados na Figura 6.6 onde se observa, por exemplo, que os comércios 4 e 5 apresentam um único cenário ao longo do ano, enquanto o comércio 3 se caracteriza por três cenários distintos: i) entre Janeiro e Março e Novembro e Dezembro, ii) entre Março e Junho, iii) entre Julho e Outubro. Os resultados obtidos indicam que pode haver uma variabilidade significativa no consumo ao longo do ano e que não é possível estabelecer um comportamento típico para as categorias em análise (*i.e.*, comércio, indústria, escola, instituições). Nalguns casos, como o comércio 2 e a instituição de I&D 2 não foi possível dispor de um ano completo de registos devido a problemas no sistema de telemetria.

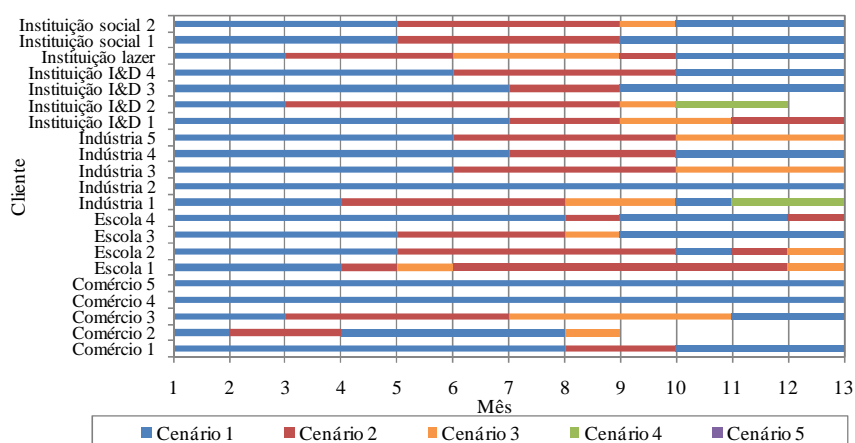


Figura 6.6 – Cenários sazonais de consumo para cada cliente

A distribuição dos cenários de consumo sazonais e diários para o conjunto de clientes em análise é apresentada na Figura 6.7. A maior parte (77%) dos grandes consumidores apresenta dois ou três cenários sazonais de consumo, sendo muito reduzido o número de clientes com mais de três cenários sazonais (menos de 10%) (Figura 6.7a). Verificou-se também que os meses entre Junho e Setembro correspondem, em geral, aos meses de maior consumo do ano. Usos de água, como a rega de espaços verdes, o enchimento de piscina (no caso de algumas instituições sociais), hábitos como as férias, ou a realização de

atividades específicas em determinadas épocas do ano podem contribuir para esta variabilidade ao longo do ano. A identificação dos cenários sazonais neste tipo de clientes é importante, pois as zonas urbanas onde se inserem caracterizam-se por efeitos de sazonalidade reduzidos (não se trata de zonas turísticas) (*cf.* descrição no Capítulo 9). No entanto, estes clientes podem contribuir para que o consumo aumente significativamente durante determinadas épocas do ano, condicionando as necessidades de armazenamento e o funcionamento operacional das redes.

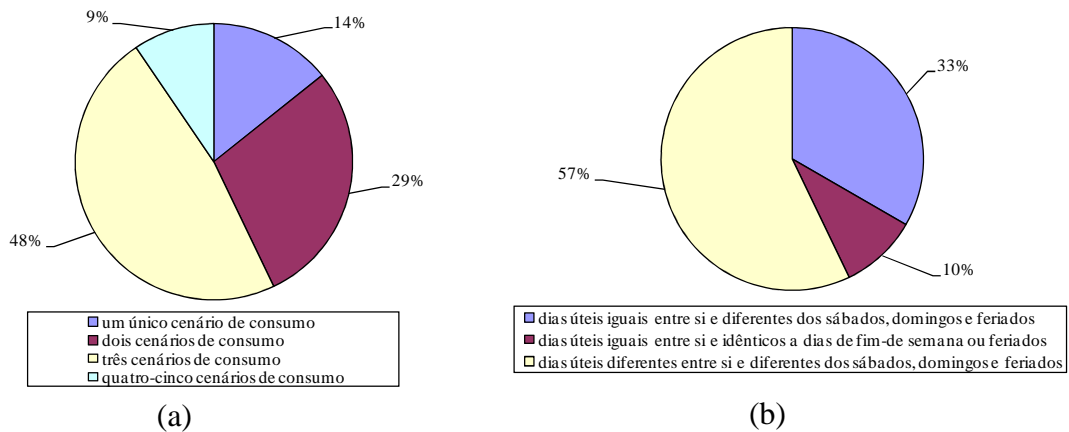


Figura 6.7 – Cenários de consumo: a) sazonais, b) diários

Em termos de cenários diários, observa-se uma maior variabilidade no comportamento. A maior parte dos grandes consumidores em análise (57%) apresenta um comportamento variável ao longo dos dias da semana (Figura 6.7b). Os dias da semana de maior consumo são dias úteis, predominantemente a 3ª feira e a 6ª feira. Este resultado demonstra também que a operação diária da rede pode ser significativamente condicionada pelo comportamento irregular destes clientes, por oposição a outros clientes como os domésticos com um comportamento muito mais regular e tipificável (*cf.* descrição no Capítulo 9), pelo que este tipo de análise de cenários permite conhecer melhor as solicitações de consumo que ocorrem diariamente.

O conhecimento sobre factores como a existência de reservatório domiciliário, o tipo de dispositivos, o tipo de actividade e os hábitos de consumo, não considerados neste estudo, teriam permitido uma melhor caracterização do comportamento destes clientes.

A variação diária do consumo horário do cliente instituição de I&D 4 para cada mês do ano e para cada dia da semana (para o cenário sazonal predominante – entre Janeiro e Maio e entre Outubro e Dezembro) é apresentada na Figura 6.8. Observa-se que nos meses entre Maio e Outubro o consumo aumenta significativamente durante o período nocturno,

comparativamente com os restantes meses do ano (Figura 6.8a). Esta alteração de comportamento pode ser devida à rega de espaços verdes, que ocorre tipicamente durante este período do ano e alerta para a importância da telemedição deste tipo de clientes. A sua análise conjunta com o restante consumo na rede, dificulta a detecção de eventuais fugas ou roturas que possam ocorrer, em particular no período entre Maio e Outubro. No entanto, embora o consumo entre a 0:00 e as 6:00 diminua significativamente durante o resto do ano, continua a ser elevado comparativamente com o consumo médio anual. O valor médio do consumo neste período do dia, nos meses entre Janeiro e Maio e entre Outubro e Novembro, foi de $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo a média anual de $2,7 \text{ m}^3/\text{h}$.

No que se refere à variação diária do consumo horário ao longo da semana (Figura 6.8b), o principal período de consumo em dia útil ocorre entre as 8:00 e as 18:00 e à terça-feira e à quinta-feira o consumo entre as 4:00 e as 6:00 é elevado e diferente dos restantes dias da semana. Nos dias de fim-de-semana e feriados, o comportamento é completamente diferente e é aproximadamente constante, mas significativo, ao longo do dia, realçando mais uma vez a importância de conhecer melhor as componentes de consumo que são responsáveis por consumos mínimos elevados ao longo do período de análise.

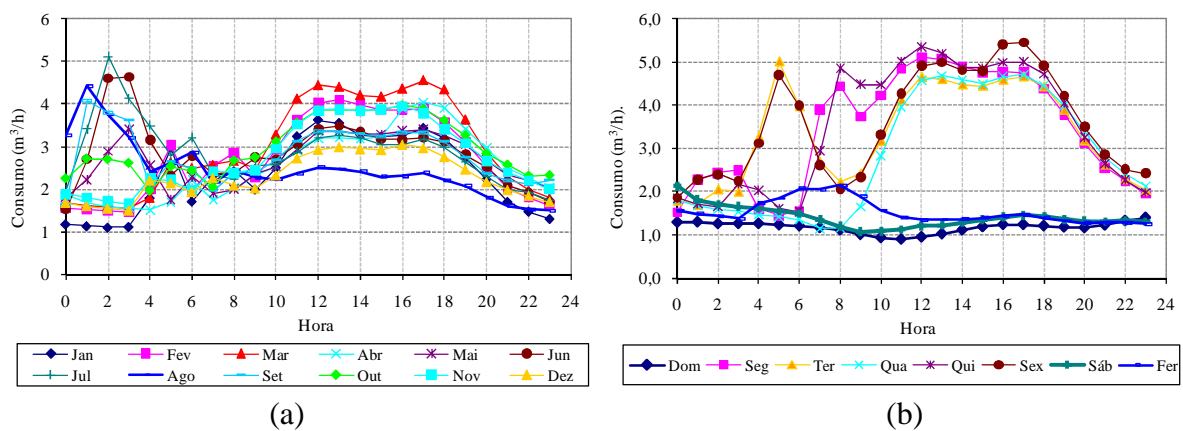


Figura 6.8 – Variação diária do consumo horário do cliente instituição I&D 4 para: a) cada mês do ano, b) cada dia da semana entre os meses de Janeiro e Maio e entre Outubro e Dezembro

O resultado da análise de *clusters*, que se apresenta de forma gráfica através de dendrogramas, permitiu evidenciar os cenários de consumo sazonais e diários obtidos (Figura 6.9). Em termos de cenários sazonais consideraram-se três cenários de consumo com comportamento distinto ao longo do ano: (i) Agosto, (ii) Junho, Julho, Setembro, (iii) Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro, Novembro, Dezembro (Figura 6.9a). O mês de Agosto caracteriza-se por um consumo elevado durante o período nocturno, mas é

aquele em que o consumo médio entre as 8:00 e as 18:00 é o mais baixo, provavelmente devido a coincidir com o mês de menor actividade, em que os funcionários estão de férias. Os cenários sazonais ii) e iii) distinguem-se entre si essencialmente pelo consumo durante o período nocturno, que no cenário ii) é significativamente mais elevado.

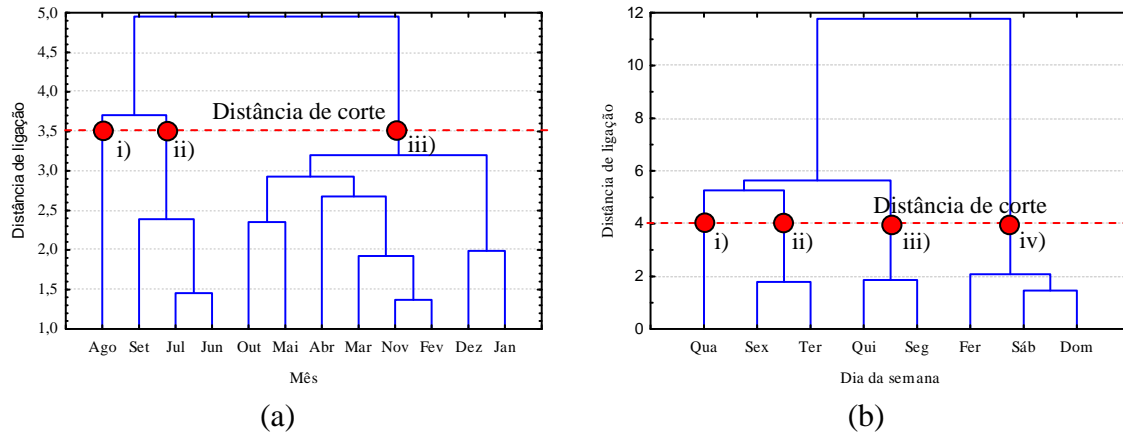


Figura 6.9 – Dendrograma do consumo do cliente Instituição I&D 4 para a variável: a) mês b) dia da semana (método de ligação de Ward)

Para o cenário iii) – cenário sazonal predominante, conclui-se que o comportamento diário era muito variável (Figura 6.8b). De acordo com a Figura 6.9b, obtiveram-se quatro cenários de consumo ao longo da semana: i) quarta-feira, ii) terça-feira, sexta-feira, iii) segunda-feira, quinta-feira, iv) sábado, domingo, feriado.

Os elevados consumos durante o período nocturno podem ser devidos à utilização de equipamentos específicos durante este período do dia, ou a eventuais perdas de água que ocorram nas instalações prediais. Dados os consumos elevados em clientes deste tipo, a obtenção de dados complementares como o tipo de equipamentos (*e.g.*, sistemas de arrefecimento, sistemas de ar-condicionado), a extensão de rede domiciliária enterrada e a dimensão das áreas verdes permitiria também identificar quais os usos mais ineficientes.

6.5.1.2 Variáveis de consumo

Foi efectuada uma caracterização dos clientes através do cálculo de um conjunto de variáveis de consumo estabelecidas de acordo com a metodologia (*cf.* descrição em 4.3.3.1). Os valores médios, mínimos e máximos do consumo por cliente para cada categoria em análise são apresentados na Figura 6.10.

As instituições de I&D e as instituições de apoio social são as que apresentam valores médios mais elevados, 77299 l/(cliente.dia) e 96738 l/(cliente.dia), respectivamente, assim

como menor variabilidade (o coeficiente de variação, dado pela razão entre o desvio-padrão e a média para estas duas categorias, não excede 0,2). Pelos elevados consumos associados, há necessidade de recolher dados adicionais em futuros estudos no sentido de estimar valores de capitação e identificar os principais usos de água neste tipo de clientes, para identificar eventuais ineficiências no uso da água e estabelecer medidas para o uso eficiente da água.

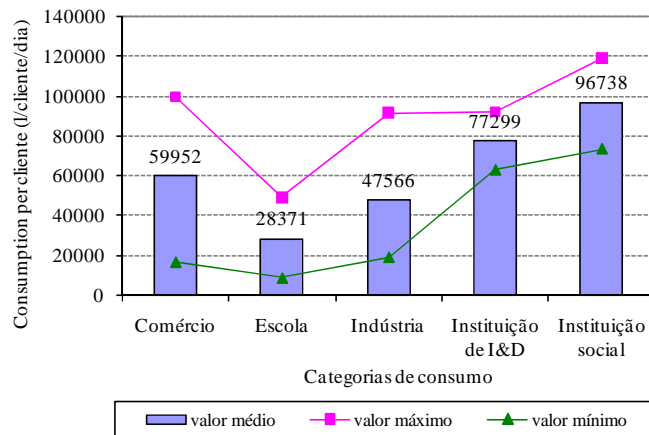


Figura 6.10 – Consumo por cliente por categoria de consumo: valor médio, mínimo e máximo

As escolas são as que apresentam um valor médio de consumo mais baixo, 28371 l/(cliente.dia). No entanto, a variabilidade do consumo nas categorias comércio, escola e indústria é elevada (o coeficiente de variação é superior a 0,5). Trata-se também de categorias que englobam clientes com características muito distintas (diferentes tipos e dimensões de escolas, indústrias com actividades diversas). Um melhor conhecimento sobre o consumo destes clientes (*i.e.*, valores mínimos, médios e máximos) fornece também informação importante para o dimensionamento dos contadores que é em geral limitada.

A variabilidade no consumo diário de cada cliente é também ilustrada na Figura 6.11a. Para além do consumo diário ser significativamente mais elevado que os dos restantes clientes, muitos caracterizam-se também por consumos significativos durante o período nocturno. Para avaliação de perdas reais em ZMC, a partir da análise do consumo nocturno, é importante telemedir e analisar separadamente o consumo destes clientes, de forma a não enviesar a estimativa das perdas de água.

As variáveis de consumo mínimo médio e consumo médio no PCMN²⁵ permitem identificar clientes com consumos importantes durante este período do dia, assim como detectar eventuais fugas ou roturas nestes clientes (Figura 6.11a). Verifica-se que clientes como a indústria 1 e a instituição social 2 apresentam valores de consumo no PCMN muito elevados (> 3500 l/(cliente.h)). No primeiro caso, trata-se de uma indústria onde usos como as lavagens de veículos (autocarros) podem ser muito significativos durante este período do dia (Figura 6.12a); no caso da instituição social 2, os elevados consumos podem ser devidos ao enchimento do reservatório domiciliário. No que se refere ao consumo mínimo médio, para além da indústria 1, os clientes com consumo mais elevado são as instituições de I&D 1 e 2 e a instituição de lazer (Figura 6.12a). Neste conjunto de clientes, o consumo mínimo médio varia entre 1570 l/(cliente.h) e 2010 l/(cliente.h).

Estes valores elevados de consumo durante o período nocturno realçam a necessidade de conhecer melhor os usos de água associados a sistemas de aquecimento e de arrefecimento de água, a sistemas de irrigação, ou a outros equipamentos específicos da actividade de cada cliente, assim como de identificar possíveis fugas ou roturas que existam nas instalações particulares. A realização de auditorias para caracterizar melhor o consumo, em particular nas instituições, para caracterizar melhor o consumo, constitui uma ferramenta essencial para identificar oportunidades para melhorar o uso da água (Ferreira Camacho, 2009).

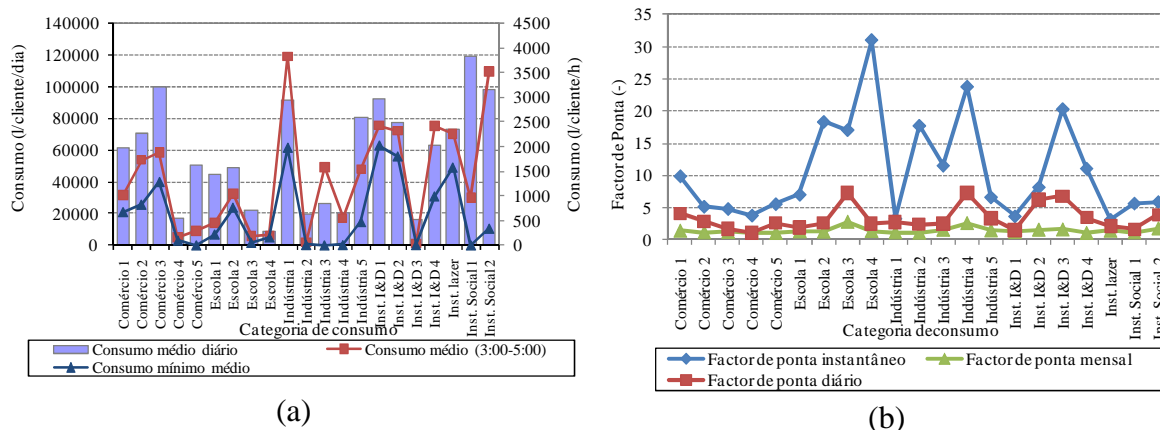


Figura 6.11 – Variáveis de consumo características dos grandes consumidores: a) consumo diário, b) factores de ponta instantâneo, diário e mensal

²⁵ Considerou-se que o período de consumo mínimo nocturno era igual para todos os clientes e que estava compreendido entre as 3:00 e as 5:00 – período considerado pelos SMAS de Oeiras e Amadora para estudo do consumo nocturno.

O factor de ponta mensal varia entre 1.1 e 2.8, indicativo de alguma regularidade no consumo ao longo do ano. O factor de ponta diário varia entre 1.1 e 7.3, sendo o cliente escola 3 ($F_{pm}=2,8$ e $F_{pd}=7,3$) e o cliente indústria 4 ($F_{pm}=2,6$ e $F_{pd}=7,3$) os que apresentam valores mais elevados (Figura 6.11b). Alterações de actividades durante estes meses do ano podem ter contribuído para um aumento do consumo neste período do ano. O factor de ponta instantâneo apresenta uma grande variabilidade, estando compreendido entre 3,19 e 31,0, sendo os clientes pertencentes às categorias escola e indústria os que apresentam factores ponta instantâneos mais elevados. A Figura 6.12b apresenta dois exemplos de clientes com factores de ponta instantâneos elevados: indústria 4 ($F_p=23,8$) e escola 4 ($F_p=31,0$), que podem condicionar o comportamento hidráulico da rede nos períodos de consumo mais elevado.

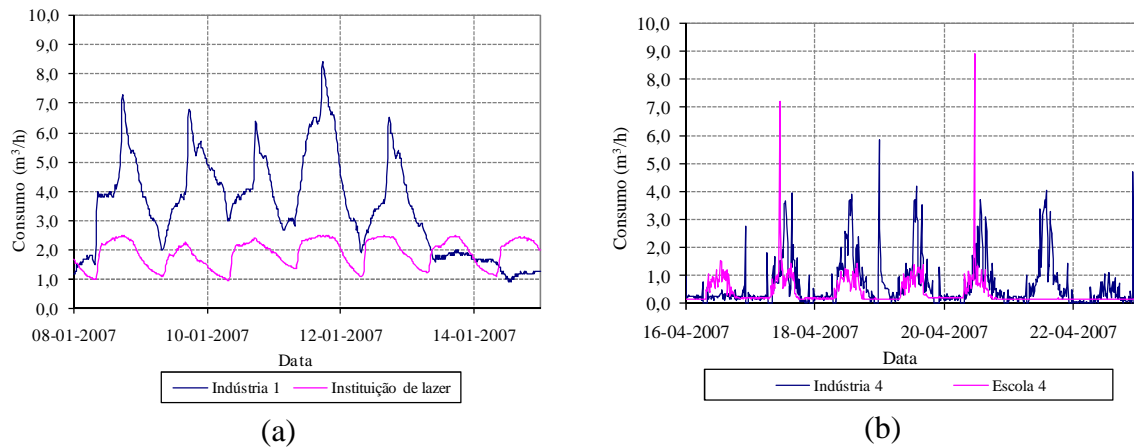


Figura 6.12 – Série de consumo para os clientes a) indústria 1 e instituição de lazer, b) indústria 4 e escola 4

Com base no conjunto de variáveis de consumo apresentadas na Figura 6.11, aplicou-se o método de análise de *clusters* para identificar clientes com características de consumo semelhantes. Considerando apenas dois agrupamentos (por exemplo, para uma distância de corte de 12), obtém-se que a principal diferenciação ocorre entre os clientes referentes a escolas (pertencentes ao grupo i) e os clientes referentes a instituições (pertencentes predominantemente ao grupo ii). De acordo com a Figura 6.11, o grupo i) caracteriza-se por consumo médios diários e por consumos mínimos mais baixos, enquanto o grupo ii) se caracteriza em geral por consumos bastante elevados.

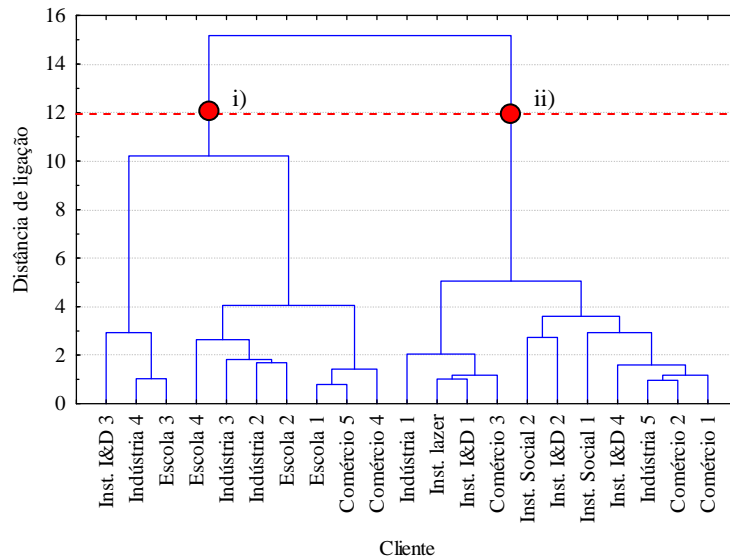


Figura 6.13 – Dendrograma para os clientes em análise (método de Ward)

No caso dos clientes classificados como comércio e indústria, os dois agrupamentos considerados não permitiram obter qualquer diferenciação. Este resultado demonstra também o potencial deste tipo de métodos para identificar comportamentos típicos de grandes consumidores. No entanto, evidencia também a necessidade de alargar o estudo a um maior número de clientes, assim como de incluir outras variáveis como a capitação, o tipo de actividade, a extensão da rede domiciliária enterrada e o tipo de dispositivos com maior impacto nos usos de água. Só deste modo será viável obter informação mais representativa que possa ser extrapolável para outros casos.

6.5.2 Estimativa de parâmetros

No caso de grandes consumidores com comportamento diário regular verificou-se também se era aplicável a abordagem preconizada em 4.3.3.3 para o cálculo de padrões diários de consumo e que consiste em caracterizar cada período do dia pelo respectivo consumo médio e intervalo de predição. Estes padrões de consumo, para além de caracterizarem o comportamento diário, permitem também que a entidade gestora estabeleça níveis de alertas sobre consumos atípicos que possam ocorrer nestes clientes. Assim, para clientes com um consumo diário regular, avaliou-se também se era válida a hipótese admitida em 4.3.3.3 no caso de ZMC, segundo a qual os intervalos de predição são calculados admitindo que a distribuição do consumo em cada quarto de hora do dia pode ser descrita pela distribuição Log-normal.

A Figura 6.14 apresenta exemplos de grandes consumidores com comportamento muito variável entre si, de entre o conjunto de grandes consumidores analisado. O comércio 5 apresenta períodos de consumo isolados com uma frequência de ocorrência variável, mas com duração e intensidade aproximadamente constantes, o que pode ser devido à existência de um reservatório domiciliário (Figura 6.14a). A indústria 2 apresenta um comportamento diário regular com consumo praticamente nulo durante o período noturno. (Figura 6.14b). As Figuras 6.14c,d apresentam exemplos de grandes consumidores – comércio 2 e instituição de I&D 1, com comportamento diário regular, mas com consumos elevados durante o período noturno.

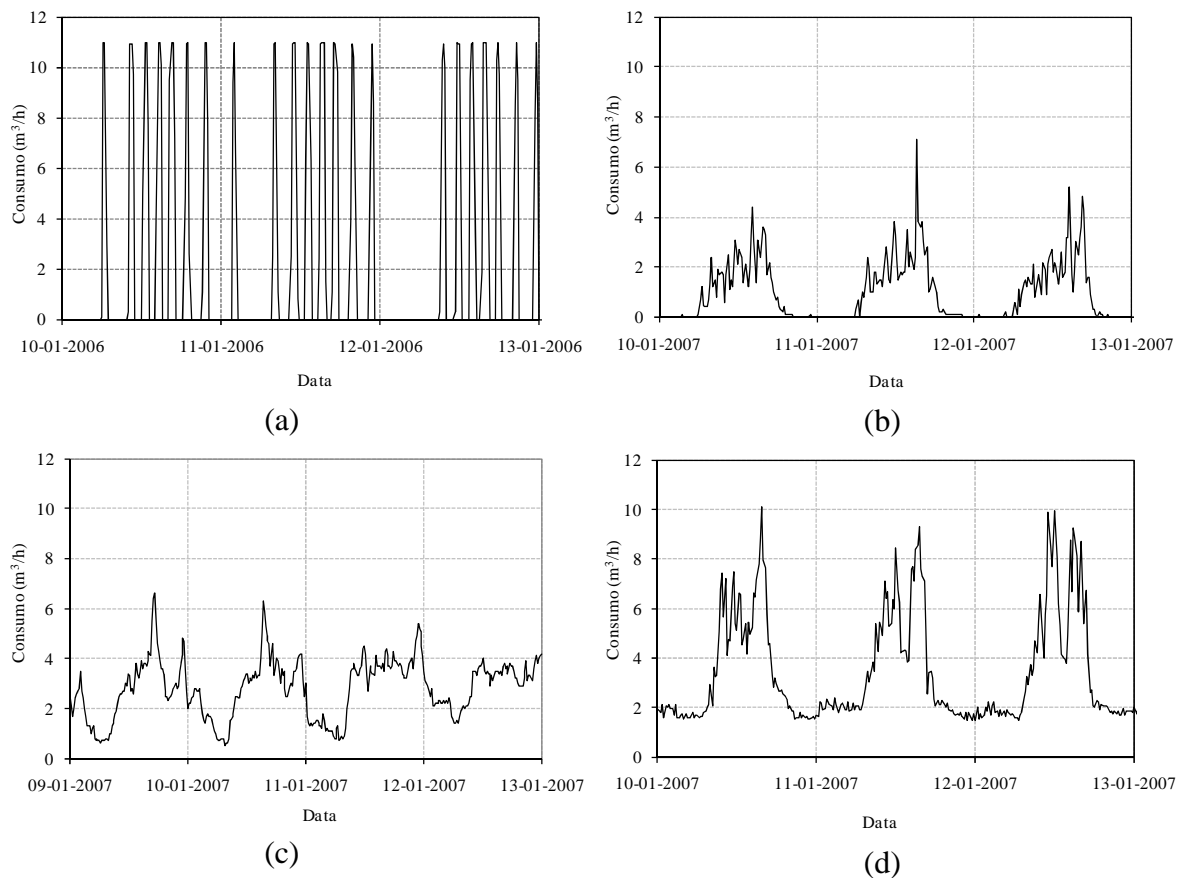


Figura 6.14 – Séries de consumo para os clientes a) comércio 5, b) indústria 2, c) comércio 2 e d) instituição de I&D 1

Foram realizados testes estatísticos para avaliar o ajustamento da distribuição Log-normal a cada amostra transversal de consumo para os clientes indústria 2 e comércio 2, como exemplos de clientes com consumo diário regular. Os testes do Qui-quadrado²⁶, para

²⁶ Os testes do Qui-quadrado foram realizados para um nível de significância de 5% (*i.e.*, a hipótese nula foi rejeitada para valor- $p < 0,05$).

avaliar a qualidade do ajustamento da distribuição Log-normal a cada amostra transversal de consumo (obtidas após normalização na escala do consumo, como descrito em 4.3.2.4) tiveram por base os cenários de consumo predominantes para cada um dos clientes.

No caso da indústria 2, com um único cenário sazonal ao longo do ano (Figura 6.6), realizaram-se testes de ajustamento para os cenários diários obtidos: i) dia útil, ii) fim-de-semana e feriado. No caso do comércio 2, com três cenários sazonais de consumo ao longo do ano (Figura 6.6), realizaram-se testes de ajustamento para o cenário sazonal predominante (Janeiro e entre Abril e Julho) para os seguintes cenários diários obtidos: i) dia útil e sábado, ii) domingo e feriado.

Para o comércio 2, a Figura 6.15 compara os valores observados com os valores estimados e apresenta os resultados do teste de ajustamento do Qui-quadrado para os passos de tempo 4:00 e 9:00. De acordo com o valor- p obtido (valor- $p > 0,05$) não se rejeita a hipótese nula, segundo a qual no passo de tempo 4:00 (Figura 6.15a) e no passo de tempo 9:00 (Figura 6.15b) segue uma distribuição Log-normal. Os testes foram realizados de forma sistemática para as 96 amostras transversais de consumo (*i.e.*, cada amostra correspondia a um passo de tempo de 15 min.).

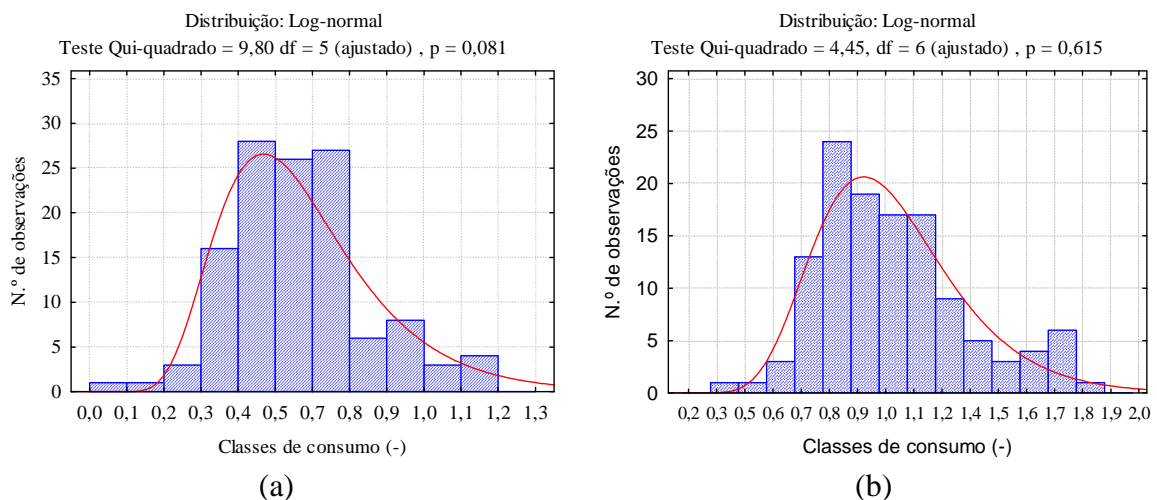


Figura 6.15 - Valores observados, valores estimados de consumo e resultados dos testes de ajustamento para o comércio 2 (para dia útil e sábado): a) 4:00 e b) 9:00

Verificou-se que em 94% das amostras analisadas, no cenário diário de dia útil e sábado, e em 100% das amostras analisadas, no cenário diário de domingo e feriado, a distribuição Log-normal se ajustou adequadamente à distribuição de consumo (valor- $p > 0,05$). Este resultado demonstra que, no caso de grandes consumidores com comportamento diário regular, e consumos significativos durante o período nocturno pode ser aplicável a

abordagem preconizada por Coelho (1988) para o cálculo de padrões diários de consumo (cf. descrição em 4.3.3.3).

No caso da indústria 2, com consumos muito reduzidos entre as 0:00 e as 4:30 e com um período de consumo principal entre 4:45 e 24:00 (Figura 6.14b), a distribuição Log-normal ajustou-se adequadamente em 73% e em 92% das amostras transversais para os cenários de dia útil e de fim-de-semana e feriado, respectivamente. Foi também durante o período nocturno (período com consumo reduzido) que se obteve um maior número de amostras transversais que não seguiam a distribuição Log-normal. Nestes casos, testou-se como alternativa a distribuição Exponencial, verificando-se que não era rejeitada (valor- $p > 0,05$).

Em ambos os clientes conclui-se que, durante o fim-de-semana e feriado, aumentou o número de amostras transversais cuja distribuição do consumo podia ser descrita pela distribuição Log-normal. Ao fim-de-semana e feriado, um comportamento mais regular destes clientes pode ter contribuído para um melhor ajustamento do consumo ao longo do dia àquela distribuição teórica.

Para a indústria 2, a Figura 6.16 compara os valores observados com os valores estimados e apresenta os resultados do teste de ajustamento para os passos de tempo 4:00 e 9:00. Não foi rejeitada a hipótese nula (valor- $p > 0,05$), segundo a qual no passo de tempo 4:00 o consumo segue uma distribuição Exponencial (Figura 6.16a) e no passo de tempo 9:00 segue uma distribuição Log-normal (Figura 6.16b). Assim, para este cliente o cálculo do intervalo de predição em cada passo de tempo deve atender à distribuição teórica que melhor se ajustou.

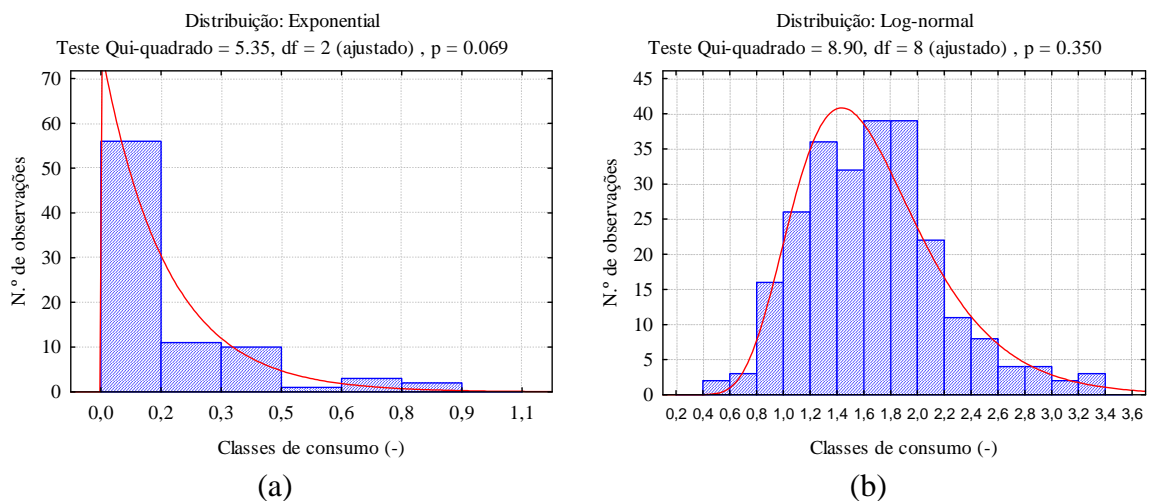


Figura 6.16 – Valores observados, valores estimados de consumo e resultados dos testes de ajustamento para a indústria 2 (para dia útil): a) 4:00 e b) 9:00

6.5.3 Modelação do consumo de água

Pretende-se neste subcapítulo caracterizar o comportamento diário de alguns dos tipos de grandes consumidores analisados.

No caso do comércio 5 (Figura 6.14), caracterizado por eventos de consumo com uma frequência de ocorrência variável, quer ao longo do dia, quer ao longo da semana, não foi possível descrever o consumo em cada instante por uma distribuição conhecida. Por outro lado, no caso de clientes com estas características, em que a frequência de eventos de consumo é variável, mas a sua duração e intensidade é aproximadamente constante, pode ser mais informativo do que o padrão diário estimar a probabilidade de ocorrência de consumo ao longo do dia, $P(A) = N_A/N$, em que N_A é o número de acontecimentos de consumo em cada passo de tempo i e N o número total de acontecimentos (incluindo acontecimentos nulos). Complementarmente à probabilidade de consumo, pode obter-se o número médio de eventos (ou usos) por dia, a intensidade e duração de cada evento.

Por exemplo, o consumo do comércio 5 (Figura 6.14) é caracterizado por uma frequência média de 6 eventos por dia, com intensidade média de 11 m³/h e duração média de 60 min. cada um. A Figura 6.17 apresenta a probabilidade de consumo ao longo do dia para dia útil e sábado, e para domingo e feriado – cenários diários obtidos de acordo com a análise de *clusters*. Em dia útil e sábado, a probabilidade média de consumo é de 0,37 e os períodos de maior probabilidade de consumo ($P(A) > 0.50$), ocorrem predominantemente entre as 9:00 e as 18:30 e entre 20:15 e 21:15, enquanto ao domingo e feriado a probabilidade média de consumo é mais baixa ($P(A) = 0,19$) e o período de maior probabilidade de consumo ocorre durante a manhã ($P(A) > 0.50$)²⁷.

²⁷ O comércio 5 corresponde a um hipermercado, que de acordo com o horário de funcionamento, fecha aos domingos e feriados a partir das 13:00, excepto durante o período do Natal.

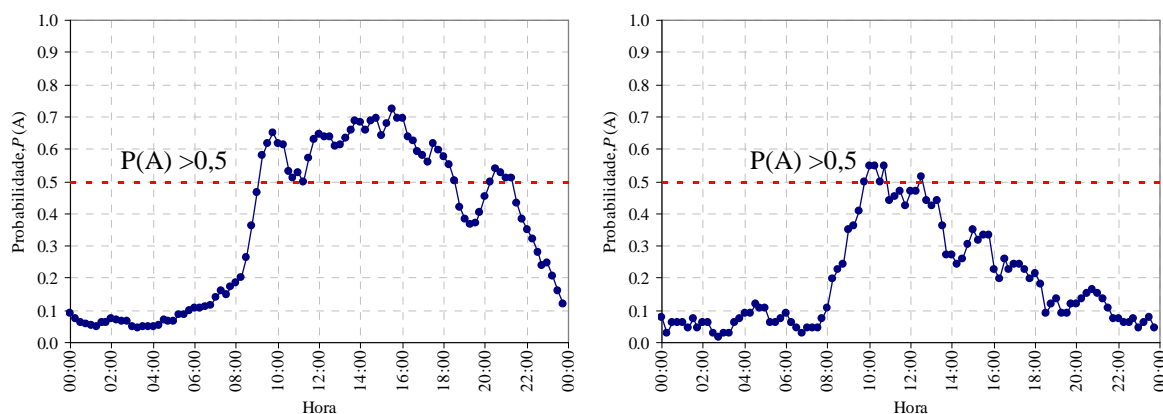


Figura 6.17 – Probabilidade de consumo ao longo do dia para o comércio 5: a) dia útil e sábado, b) domingo e feriado

No caso de grandes consumidores como o comércio 2, em que a distribuição Log-normal foi a que melhor se ajustou às amostras transversais ao longo do dia para os cenários diários em análise, utilizou-se o procedimento descrito em 4.3.3.3 para o cálculo de padrões de consumo. O padrão diário de consumo para dia útil e sábado indica que o principal período de consumo ocorre principalmente entre as 10:00 e as 18:00, sendo o consumo entre as 18:00 e as 24:00 significativamente mais reduzido (Figura 6.18a). Realçam-se também os elevados consumos durante o período noturno (0:00-6:00), com factores de consumo de aproximadamente 0,5.

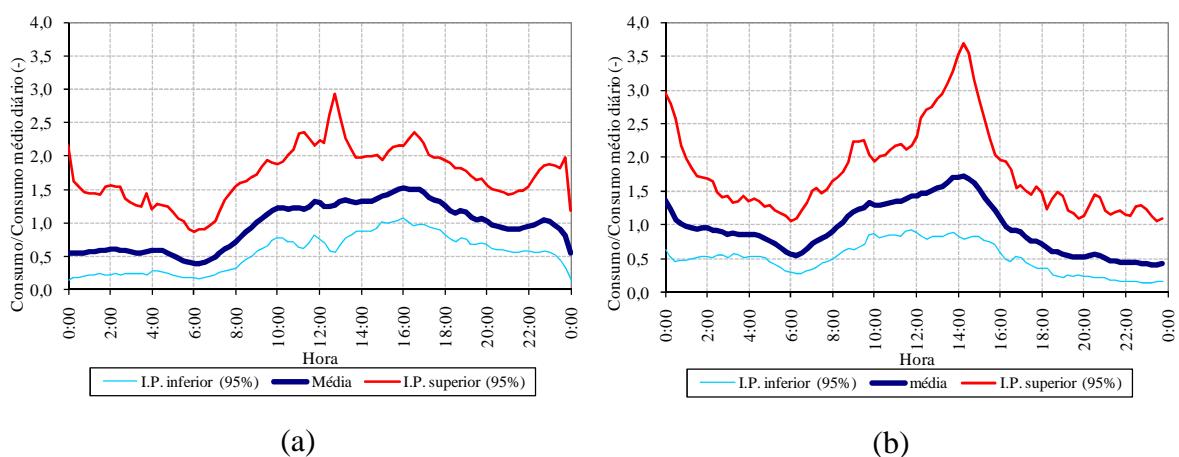


Figura 6.18 – Padrões diário de consumo para o comércio 2 para: dia útil e sábado, b) domingo e feriado

Ao domingo e feriado, o principal período de consumo ocorre entre as 10:00 e as 14:00, dado o horário de funcionamento de cliente (hipermercado) nestes dias (entre as 9:00 e as 13:00). Salienta-se também que os intervalos de predição, relativamente afastados em relação ao consumo médio indicam uma variabilidade significativa do consumo em cada instante, ao longo do dia.

No caso da indústria 2 os intervalos de predição foram calculados de acordo com a distribuição teórica que melhor se ajustava a cada amostra transversal de consumo. Para as amostras transversais em que a distribuição Log-normal se revelou inadequada e a distribuição Exponencial forneceu um bom ajustamento ($\text{valor-}p > 0,05$), os intervalos de predição foram calculados de acordo com (6.1). Admitindo que cada amostra transversal X segue uma distribuição Exponencial, com média $\frac{1}{\lambda}$ e variância $\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2$ e sendo $z_{(\alpha/2)}$ o valor tal que $P[Z > z_{(\alpha/2)}] = \alpha/2$ da distribuição normal, tem-se que o intervalo aproximado de predição $100 \cdot (1 - \alpha)\%$ é dado por:

$$\left[\frac{1}{\lambda} - z_{(\alpha/2)} \cdot \frac{1}{\lambda}, \frac{1}{\lambda} + z_{(\alpha/2)} \cdot \frac{1}{\lambda} \right] \tag{6.1}$$

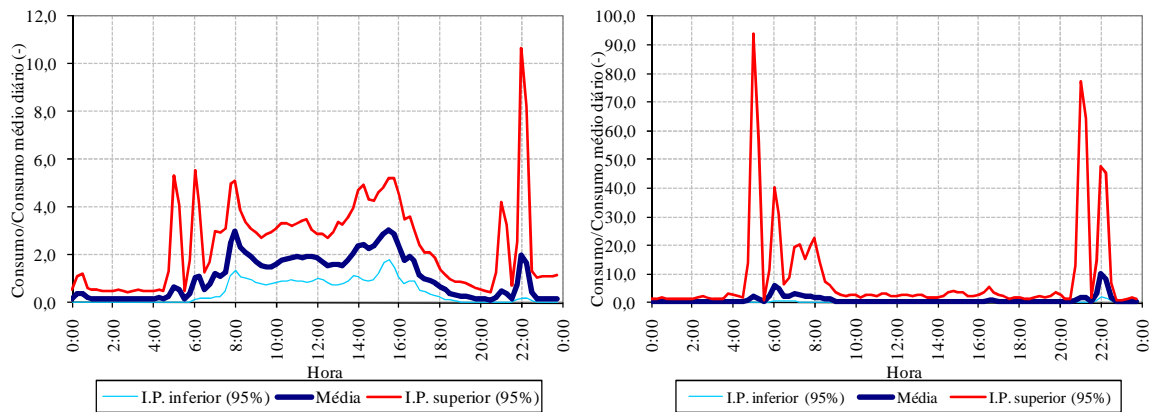


Figura 6.19 – Padrões diário de consumo para o indústria 2 para: dia útil, b) sábado, domingo e feriado

Este cliente caracteriza-se por períodos onde o consumo pode ser significativamente superior ao valor médio, nomeadamente às 5:00, 6:00, 21:00 e 22:00, podendo este tipo de usos ocorrer ao longo de qualquer dia da semana.

6.6 Síntese e conclusões

Neste capítulo aplicou-se a metodologia proposta à análise do consumo de grandes consumidores. A análise teve por base um conjunto de 21 grandes consumidores referentes a comércio, indústrias, escolas e instituições e envolveu a aplicação dos Módulos 1 a 3 da metodologia.

No Módulo 1 da metodologia discutiram-se os principais aspectos relativos às zonas de análise e ao equipamento de monitorização instalado, dado que a selecção dos clientes e dos medidores foi feita pela entidade gestora, previamente à realização deste estudo. Esta

análise crítica permitiu sintetizar um conjunto de aspectos importantes quando se pretende seleccionar grandes consumidores e fazer a sua monitorização.

O Módulo 2 incidiu sobre as etapas de análise descritiva para obter as principais propriedades dos dados, de detecção de dados anómalos e de normalização na escala temporal, para uniformizar o passo de tempo e o tipo de variável registado em cada passo, e do consumo, para cálculo de padrões de consumo.

No Módulo 3, na etapa de análise do consumo, identificaram-se os cenários sazonais e diários e calculou-se um conjunto de variáveis características do consumo para cada um dos clientes. Na etapa de estimativa de parâmetros avaliou-se, no caso de clientes com comportamento diário regular, a hipótese dos intervalos de predição, utilizados para a construção de padrões diários de consumo, poderem ser calculados admitindo que, em cada passo de tempo, a distribuição do consumo pode ser descrita pela distribuição Log-normal. Na etapa de modelação do consumo propuseram-se formas de cálculo de padrões de consumo e diagramas alternativos para descrever o comportamento médio diário de determinados tipos de clientes.

O estudo realizado demonstrou a importância dos sistemas de telemetria na monitorização deste tipo de clientes e a aplicabilidade da metodologia proposta para caracterização do consumo de grandes consumidores, e permitiu a sistematização das principais características dos clientes em termos de cenários de consumo, de variáveis características e de padrões de consumo. No que se refere aos diferentes módulos da metodologia, apresentam-se seguidamente as principais conclusões:

Planeamento e implementação da monitorização do consumo de água

- a identificação de grandes consumidores deve atender a aspectos como o consumo mínimo, o consumo no período nocturno e factores de ponta (que caracterizam o comportamento variável destes clientes e distinto dos restantes), para além do consumo médio diário e do peso no consumo total facturado na zona de rede onde se insere;
- a selecção de medidores ou de contadores e a especificação do sistema de telemetria deve atender às características específicas de cada cliente, dado que a gama de valores de consumo pode ser muito alargada e variável de cliente para

cliente; no sentido de conhecer melhor os consumos associados a cada um dos clientes, recomenda-se que se realizem campanhas preliminares de curta duração (*e.g.*, 15 dias).

Processamento de dados

- os procedimentos desenvolvidos no âmbito deste trabalho para detecção de dados anómalos revelaram-se adequados para a detecção deste tipo de dados em grandes consumidores;

Produção de informação de caracterização

- a análise de cenários evidenciou que os clientes estudados se caracterizam por uma grande variabilidade, sobretudo ao longo dos dias da semana, o que pode ser devido, por exemplo, aos tipos de actividades associadas ou ao tipo de equipamentos instalados (*e.g.*, sistemas de arrefecimento, sistemas de ar condicionado); os resultados obtidos evidenciaram também o potencial da utilização de métodos estatísticos como a análise de *clusters* para identificação de cenários de consumo;
- os clientes com consumo diário mais elevado foram as instituições (valor médio nas instituições de I&D – 77299 l/(cliente.dia) e nas instituições sociais – 96738 l/(cliente.dia)), sendo também aquelas que apresentavam, em geral, consumos mínimos mais elevados (em geral superiores a 1000 l/(cliente.h)); por oposição às escolas que foram os clientes que apresentaram valores de consumo mais reduzidos (valor médio de 28371 l/(cliente.dia)); para poder interpretar melhor as diferenças encontradas recomenda-se que em estudos futuros se calcule o consumo expresso também em termos de capitação tendo em conta o número de utilizadores (*e.g.*, funcionários, alunos, visitantes), o que vai permitir identificar os tipos de utilização e eventuais usos mais ineficientes;
- os clientes do tipo escola ou indústria foram os que apresentaram predominantemente valores mais elevados do factor de ponta instantâneo, podendo atingir valores superiores a 20, pelo que podem condicionar significativamente o consumo total na rede nos períodos de consumo mais elevados;

- os clientes com comportamento diário regular e consumo significativo ao longo do dia podem ser caracterizados por padrões diários de consumo calculados de acordo com a abordagem preconizada neste trabalho para ZMC;
- o comportamento médio diário de clientes caracterizados por eventos de consumo com uma frequência de ocorrência variável ao longo do tempo, como aqueles que possuem reservatório domiciliário, pode ser caracterizado pela probabilidade de consumo ao longo do dia, em alternativa aos padrões diários de consumo.

Os resultados obtidos demonstraram a importância da análise do consumo de grandes consumidores, clientes cujo consumo pode ter um forte impacto no consumo total da rede. No sentido de complementar a caracterização efectuada, o estudo deve ser alargado a um maior número de clientes, incluindo também, por exemplo, as regas (consumo públicos), que podem ter um forte impacto no consumo total, sobretudo durante o período do Verão. Dado que se verificou que o consumo destes clientes era muito variável, é importante recolher, em estudos futuros, dados complementares como o número de funcionários (ou de utilizadores), principais tipos de actividade ao longo do dia e do ano, sistemas de ar-condicionado e outros tipos de equipamentos com consumo importante. O apoio a estes clientes na identificação dos usos de água mais ineficientes e no estabelecimento de medidas que promovam uma maior eficiência e na detecção de fugas ou roturas pode contribuir para um funcionamento mais estável dos sistemas de distribuição de água e proporcionar também novas áreas de prestação de serviços a estes clientes.

7 ANÁLISE DO CONSUMO DOMÉSTICO NOCTURNO

7.1 Nota introdutória

A avaliação de perdas reais em zonas de medição e controlo (ZMC) requer a disponibilidade de dados do consumo mínimo nocturno nestas zonas de rede e a sua desagregação em consumos domésticos, consumos não domésticos, eventuais consumos excepcionais e perdas reais. Tipicamente, estas componentes de consumo nocturno são estimadas a partir de regras propostas por outros investigadores. As metodologias mais utilizadas para a estimativa destas componentes de consumo são de origem britânica, onde têm sido conduzidos estudos experimentais que fundamentam o uso de regras expeditas de estimação dos consumos domiciliários em função de variáveis associadas ao consumo, tais como, por exemplo, o número de pessoas abastecidas e o tipo de alojamento (UK Water Industry, 1994b; Warren, 2002; Warren e Cunningham, 2007). Apesar de se reconhecer que estas regras expeditas não são extrapoláveis, elas têm vindo a ser aplicadas a sistemas de distribuição de água em Portugal, dada a inexistência de estudos equivalentes que melhor caracterizem a realidade Portuguesa (Jacob, 2006). O facto de, no Reino Unido, haver um predomínio de edifícios de habitação unifamiliares e a maioria das habitações estar dotada de reservatórios domiciliários justifica por si só que os consumos mínimos nocturnos sejam previsivelmente muito diferentes.

Neste contexto, as entidades gestoras nacionais debatem-se desde há vários anos com esta limitação de avaliação das componentes de consumo nocturno na implementação de programas de controlo de perdas. A utilização de sistemas de telemetria ao nível domiciliário veio permitir um conhecimento mais pormenorizado sobre os consumos domiciliários, sendo um primeiro passo para ultrapassar a referida limitação.

Este capítulo pretende aplicar a metodologia de análise do consumo de água proposta no Capítulo 4 para previsão do consumo doméstico nocturno em ZMC, a partir de dados de consumo telemedido em arruamentos ou ramais com características semelhantes às da ZMC. Com estes resultados é possível estimar melhor esta componente do consumo nocturno e reduzir a incerteza na estimativa das perdas reais em ZMC.

Este capítulo inclui a descrição sobre como a metodologia geral foi aplicada neste caso de estudo em 7.2. Os resultados obtidos nos vários módulos da metodologia são apresentados em 7.3 a 7.6. Apresenta-se uma síntese do capítulo, assim como as principais conclusões

em 7.7. As campanhas realizadas para apoio a este caso de estudo encontram-se descritas nos Anexos 3 e 4.

7.2 Aplicação da metodologia proposta

A metodologia proposta foi aplicada para previsão do consumo doméstico nocturno em ZMC com base em medições de consumo efectuadas ao nível de arruamentos considerados representativos do comportamento nocturno dessas ZMC. Na Figura 7.1 apresenta-se a sequência de etapas que foi adoptada para a aplicação da metodologia neste caso de estudo.

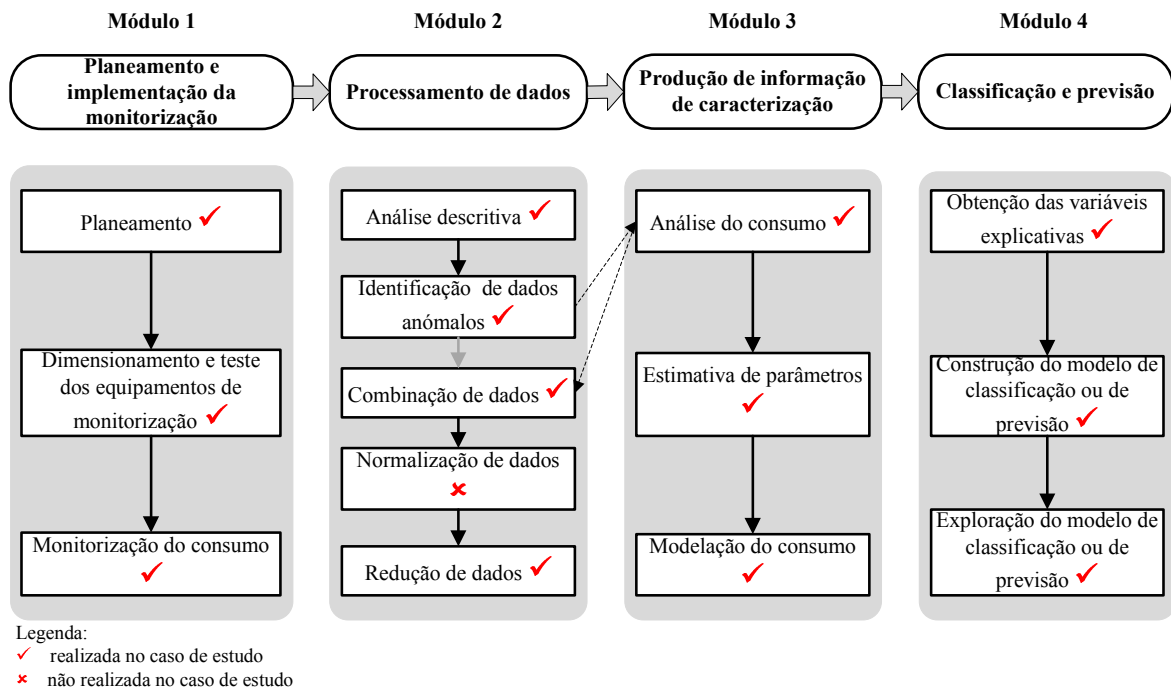


Figura 7.1 – Aplicação da metodologia geral para previsão do consumo doméstico nocturno em ZMC

No **Módulo 1**, para a selecção das zonas de análise recolheram dados de facturação referentes a 2006-2007 e os dados sócio-demográficos a partir do último recenseamento da população e da habitação realizado (Censos, 2001). Na etapa de dimensionamento e teste dos equipamentos de monitorização, realizou-se uma campanha preliminar (*cf.* descrição no Anexo 3) para obter um melhor conhecimento sobre os valores de consumo que ocorriam ao nível do arruamento ou ramal e para teste de diferentes soluções de telemetria (Loureiro *et al.*, 2008).

No **Módulo 2**, a etapa de análise descritiva de dados foi antecedida pela recolha²⁸ e pelo pré-processamento de dados²⁹ que envolveu a eliminação de dados nas seguintes condições: i) períodos com consumo nulo (*i.e.*, períodos com consumo nulo com duração > 6 horas); ii) consumos instantâneos superiores aos valores de dimensionamento; iii) registos de tempo repetidos com valores de consumo diferentes; iv) falha de dados num dos canais e; v) acerto entre horários de Verão/horários de Inverno.

A detecção de dados anómalos de consumo durante o período nocturno (período de análise) foi efectuada utilizando as técnicas preliminares descritas em 4.3.2.2, com base em estatísticas como a média, o valor mínimo e o quantil 90.

A combinação de dados consistiu essencialmente em estimar e deduzir as perdas de água, com base no procedimento descrito em 5.2.3. Uma vez que a análise incidiu sobre um período do dia em particular, foi necessário identificar, previamente à estimativa das perdas, o período de consumo mínimo nocturno em cada zona de estudo através da análise de cenários, que em geral é realizada no início do Módulo 3. Para a identificação deste período utilizou-se o procedimento apresentado em 5.2.6, que utiliza a análise de *clusters* para identificar períodos do dia com comportamento semelhante, tendo por base o consumo médio e o desvio-padrão horário entre 1:00-6:00. O período de consumo mínimo foi estabelecido de forma a identificar a hora ou grupos de horas consecutivas em que o consumo tivesse um comportamento idêntico e fosse o mais baixo do período nocturno. A aplicação da análise de *clusters* foi feita utilizando o *software* STATISTICA®. Verificou-se também se o período de consumo mínimo variava ao longo da semana.

A normalização de dados não foi realizada neste caso de estudo, uma vez que uma agregação no tempo dos dados, recolhidos com um passo de tempo de 1 min., levaria à perda de informação sobre os dados originais e dificultaria a separação do consumo em eventos. Na redução de dados, para obtenção de eventos rectangulares de consumo, foi

²⁸ A recolha de dados foi efectuada de acordo com as etapas seguintes: i) acesso ao sítio www.contar.pt/amr para descarregar os dados de consumo e de pressão com formato XML para cada dia ; ii) armazenamento dos dados no computador local; iii) utilização do software ms-Log Viewer SE da Contar, Lda. para consulta dos dados armazenados e; iv) exportação dos dados de consumo e de pressão em ficheiros com formato CSV.

²⁹ Motivado pelo facto dos dados apresentarem problemas decorrentes de períodos de funcionamento anómalo do sistema de telemetria, como seja, parametrização inadequada dos *dataloggers*, mau funcionamento de sensores de pressão, falha de baterias e problemas no sistema de comunicação.

implementado computacionalmente o procedimento descrito em 5.2.5 utilizando a linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) (Borba, 2009).

No **Módulo 3**, na etapa de análise do consumo, obteve-se um conjunto de variáveis características do período de consumo mínimo nocturno ao nível do arruamento ou ramal (Quadro 7.1).

Quadro 7.1 – Variáveis de consumo consideradas no estudo

<i>Categoria</i>	<i>Variável</i>
Consumo devido a usos domiciliários	<ul style="list-style-type: none"> • Média do consumo por cliente • Variância do consumo
Consumo devido a perdas de água	<ul style="list-style-type: none"> • Média do consumo por cliente
Chegada de eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo, 1º, 2º e 3º quartil, máximo, média, desvio-padrão
Duração dos eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo, 1º, 2º e 3º quartil, máximo, média, desvio-padrão
Intensidade dos eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo, 1º, 2º e 3º quartil, máximo, média, desvio-padrão
Volume dos eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo, 1º, 2º e 3º quartil, máximo, média, desvio-padrão

Na etapa de estimativa de parâmetros utilizaram-se as distribuições sugeridas na bibliografia por Buchberger *et al.*, (2003) e García *et al.*, (2004) para obter os parâmetros das distribuições que descrevem a chegada de eventos (distribuição de *Poisson*), a duração de eventos (distribuições Log-normal, Exponencial) e a intensidade dos eventos (distribuições Log-normal, Weibull); nos casos em que os resultados dos testes do Qui-quadrado não foram satisfatórios testaram-se distribuições alternativas³⁰. Na etapa de modelação do consumo foi implementado computacionalmente o procedimento para simulação do consumo no período de consumo mínimo nocturno (*cf.* descrição em 5.2.7) no *software* estatístico *R*. Utilizou-se a biblioteca de funções “VGAM”, “gamlss” e “mixtools” (Young *et al.*, 2009; Stasinopoulos e Rigby, 2010; Yee, 2010) para gerar valores para a chegada, duração e intensidade dos eventos, respectivamente, a partir dos parâmetros das distribuições obtidos na etapa anterior. Decorrente das múltiplas simulações, obtiveram-se as estatísticas de consumo para zonas de análise de maior dimensão (*e.g.*, ZMC).

No **Módulo 4**, uma vez que a componente de consumo em análise é o consumo doméstico (inclui o consumo devido a usos domiciliários e as perdas domiciliárias), construiu-se o conjunto de variáveis explicativas relativas à sócio-demografia e ao consumo facturado

³⁰ Os testes do Qui-quadrado foram realizados para um nível de significância de 1% (*i.e.*, a hipótese nula foi rejeitada para valor- $p < 0,01$).

doméstico apresentado no Quadro 7.2. No que se refere às variáveis sócio-demográficas, considerou-se um sub-conjunto das que foram propostas no Quadro 4.22, pois o número de zonas neste caso de estudo era reduzido. As variáveis foram seleccionadas atendendo a estudos anteriores que referem que a idade dos indivíduos e que a composição das famílias, podem influenciar os hábitos de consumo durante o período nocturno (Blokker *et al.*, 2009). No que se refere às variáveis características do edificado, as variáveis relacionadas com a idade do edificado e a altura do edificado (medida indirecta do tipo de alojamento – em prédio ou vivenda) podem fornecer indicação sobre as características da rede predial e domiciliária e dos dispositivos domiciliários, importantes para a caracterização do consumo neste período do dia Warren (2002).

Quadro 7.2 – Variáveis explicativas consideradas no estudo

<i>Categoria</i>	<i>Variável</i>
Edificado	<ul style="list-style-type: none"> • Vetustez 1 (edifícios construídos antes de 1970) • Vetustez 2-3 (edifícios construídos entre 1971 e 2001) • Edifícios baixos (edifícios com 1-2 pisos) • Edifícios médios-altos (edifícios com mais de 3 pisos)
Indivíduos	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilidade social
Famílias	<ul style="list-style-type: none"> • Famílias com idosos
Facturação	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo doméstico facturado por escalão (1.º, 2.º, 3.º e 4.º)

As variáveis sócio-demográficas foram obtidas através da aplicação de geoprocessamento, desenvolvida neste trabalho (*cf.* descrição em 5.2.1). Para além das variáveis sócio-demográficas, considerou-se também o consumo facturado em cada escalão de consumo doméstico, pois pode ser facilmente calculado pela entidade gestora. Os dados de facturação referem-se ao período entre Agosto de 2006 e Abril de 2007 (época do ano em análise neste trabalho), pois não foi possível dispor de dados de facturação mais recentes. Para identificar as variáveis que influenciavam o consumo durante o período de consumo mínimo nocturno, verificou-se, em primeiro lugar, se havia diferenças significativas entre consumo para as várias zonas de estudo. Em seguida, verificou-se se as variáveis explicativas apresentadas no Quadro 7.2 se relacionavam com o consumo. Dado que o número de casos de estudo era reduzido não foi possível aplicar técnicas, como a regressão linear múltipla, que teriam permitido modelar o consumo em função das variáveis explicativas mais significativas. Como alternativa, fez-se apenas uma análise descritiva, com base no método de análise de *clusters*, para avaliar, em primeiro lugar, se havia diferenças no consumo para as várias zonas de estudo e, em segundo lugar, se os agrupamentos de consumo obtidos poderiam ser explicados pelas variáveis explicativas

consideradas. A análise de *clusters* foi realizada com as variáveis estandardizadas, dados que as variáveis eram medidas em unidades diferentes.

Construiu-se um modelo para previsão do consumo doméstico no período de consumo mínimo nocturno em funções do número de clientes e utilizou-se o modelo para previsão do consumo em novas ZMC.

7.3 Planeamento e implementação da monitorização do consumo

7.3.1 Planeamento da monitorização

7.3.1.1 Objectivos e dimensões de análise

Este caso de estudo teve como objectivo prever o consumo doméstico nocturno em ZMC, a partir de dados de consumo telemedido ao nível do arruamento ou ramal. Em termos da componente de consumo em análise, esta refere-se ao consumo medido a jusante do contador domiciliário (consumo autorizado) e que inclui o consumo devido a usos domiciliários e as perdas domiciliárias.

Em termos da dimensão geográfica, optou-se por medir o consumo e fazer a análise do consumo ao nível do arruamento ou ramal. Com este número reduzido de clientes é possível efectuar uma análise pormenorizada do consumo e, no pressuposto de que o consumo nocturno destes clientes é representativo do comportamento médio do sector de rede, é possível extrapolar o consumo para uma dimensão geográfica mais agregada, como seja a ZMC. A medição a este nível permite uma solução de monitorização mais simples, uma vez que:

- não é necessário proceder à eventual substituição de contadores domiciliários, para ligação a sistemas de telemetria (nem o envolvimento dos clientes);
- o sistema de telemetria é muito menos complexo, quer em termos de capacidade de armazenamento, quer em termos de sistemas de comunicação entre cada unidade local e o concentrador.

No entanto, a medição a este nível tem a desvantagem de medir, para além do consumo a jusante de cada contador domiciliário, eventuais perdas que ocorram na rede de distribuição pública (*i.e.*, conduta, ramais) e predial pelo que o comprimento de rede pública deve ser o mais curto possível e deve estar em bom estado de conservação, factores que contribuem para a minimização desta componente.

Em termos de dimensão temporal, o histórico de dados devia ter uma dimensão mínima de 3 meses para que se pudesse aplicar a metodologia proposta e o passo de tempo entre registos era de 1 min. para que fosse possível separar o consumo em eventos rectangulares de consumo.

7.3.1.2 Zonas de análise

As zonas de estudo seleccionadas inserem-se em oito ZMC pertencentes aos concelhos de Oeiras e de Amadora (Figura 7.2). O número total de clientes domésticos nestas ZMC varia entre 847 e 4930 (Quadro 7.3). Nestas ZMC, predomina o consumo no 1.º e no 2.º escalão (*i.e.*, o consumo total no 1.º e 2.º escalão representa 76% a 100% do consumo total).

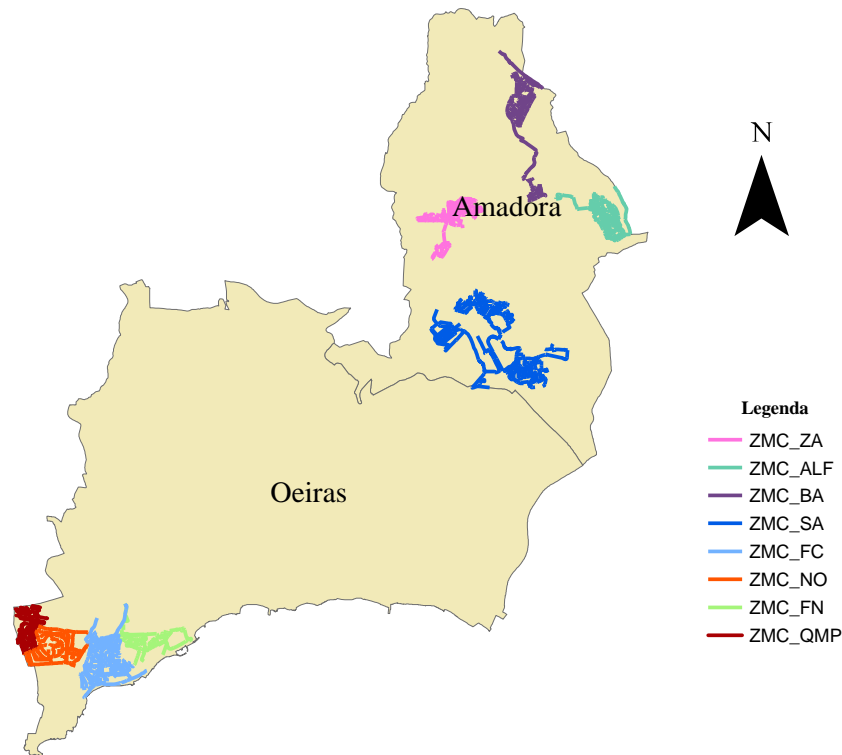


Figura 7.2 – Localização das ZMC a que pertencem as zonas de estudo

Apenas em duas ZMC (*i.e.*, FC e NO), o consumo total no 3.º e 4.º escalão atinge cerca de 20% do consumo total. Verifica-se que é também nestas zonas que o consumo doméstico por cliente é mais elevado ($> 300 \text{ l}/(\text{cliente}.\text{dia})$). Nestas ZMC predominam vivendas, (que podem alojar famílias de maior dimensão), com espaços verdes e com algumas piscinas, podendo o consumo de água aumentar significativamente no período do Verão. O Quadro 7.3 apresenta também o valor de consumo mínimo medido na ZMC, considerando o passo de tempo de 15 min.

Quadro 7.3 – Características das ZMC a que pertencem as zonas de estudo

ZMC	Nº. clientes	Consumo mínimo medido	Consumo doméstico por cliente	Consumo 1º escalão	Consumo 2º escalão	Consumo 3º escalão	Consumo 4º escalão
(-)	(-)	l/h	(l/(cliente.dia))	(%)	(%)	(%)	(%)
ALF	4918	11000	281,4	57,3	42,3	0,2	0,2
ZA	4278	7300	233,2	67,2	31,4	1	0,4
BA	1925	5040	270,5	57,6	40,3	1,4	0,8
FC	2175	7540	311,6	48	34,4	7,2	10,4
FN	3172	3680	236,1	73,9	25,1	0,5	0,6
NO	847	12590	415,1	37,5	38,4	11,6	12,5
QMP	3505	8710	282,4	57,7	39,9	1,5	1
SA	4930	8690	297,1	54,2	42,8	1,5	1,5

Nota: Para o cálculo do consumo doméstico em cada escalão consideraram-se as categorias em termos de consumo bimestral: a) 1º escalão - até 10 m³; b) 2º escalão - entre 10-30 m³; c) 3º escalão - entre 30- 50 m³; d) 4º escalão - acima de 50 m³.

As zonas de estudo seleccionadas apresentam um comportamento idêntico (em termos de consumo por escalão) ao dos sectores de rede onde se inserem (*cf.* Figura 7.3), onde se verifica que o consumo por escalão e o consumo por cliente é semelhante aos valores obtidos ao nível da ZMC (Quadro 7.3). A semelhança de características sócio-demográficas e de consumo facturado entre os arruamentos em estudo e as ZMC onde se inserem permitiu a extrapolação dos resultados do modelo de previsão de consumo nocturno da zona de estudo para a ZMC.

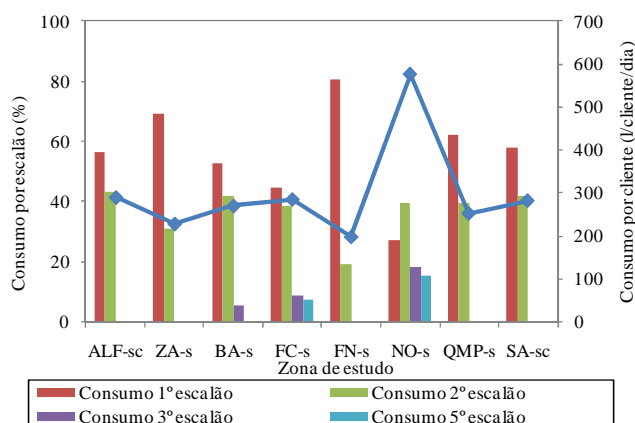


Figura 7.3 – Consumo por escalão e consumo doméstico por cliente em cada zona de estudo

A Figura 7.4 ilustra a subsecção estatística onde a zona de estudo NO-s se insere, assim como a localização do arruamento (com 28 clientes) a que refere, seleccionados de acordo com os critérios apresentados em 5.2.1.

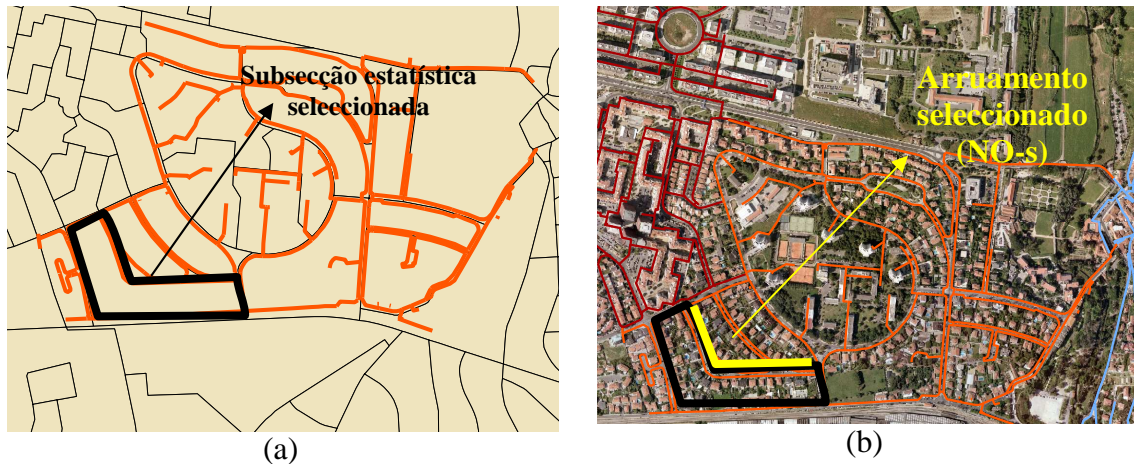


Figura 7.4 – Selecção do arruamento na ZMC NO: a) subsecção estatística seleccionada, b) arruamento seleccionado (zona de estudo NO-s)

A medição do consumo total em duas zonas de estudo (*i.e.*, ALF-sc e SA-sc) foi efectuada ao nível do ramal domiciliário e nas restantes zonas de estudo foi feita ao nível do arruamento (Quadro 7.4). Deste modo, o número de clientes era reduzido e não diferia muito entre zonas de estudo podendo englobar zonas com baixa densidade de clientes por ramal, como NO-s, e zonas com elevada densidade de clientes por ramal como ALF-sc.

O comprimento de condutas, nas zonas em que a medição era feita ao nível do arruamento, era variável mas inferior a 500 m. A zona de estudo NO-s era a que apresentava um maior comprimento de conduta (*i.e.*, 429 m). Nesta zona, a componente de perdas na rede pública, em condutas e ramais, podia ser mais elevada comparativamente com as restantes zonas em estudo, pelo que se realizaram testes no âmbito deste trabalho para quantificar com maior rigor esta componente de consumo (*cf.* descrição no Anexo 4).

Quadro 7.4 - Localização do contador, n.º de clientes e n.º de ramais por zona de estudo.

Zona de estudo	Localização do contador	N.º Clientes	N.º ramais	Comprimento de conduta (m)
ALF-sc	ramal	21	1	(1)
ZA-s	arruamento	31	4	59
BA-s	arruamento	28	17	252
FC-s	arruamento	23	15	271
FN-s	arruamento	32	2	33
NO-s	arruamento	28	24	429
QMP-s	arruamento	33	2	11
SA-sc	ramal	20	1	(1)

Legenda: (1) não aplicável.

A selecção das zonas de estudo atendeu também ao estado de conservação da rede. De forma a minimizar a componente de perdas reais a montante dos contadores domiciliários,

seleccionaram-se zonas de rede em bom estado de conservação. Durante a monitorização, os SMAS de Oeiras e Amadora asseguraram um funcionamento estável da rede nestas zonas de estudo. Na Figura 7.5 ilustra-se o tipo de edificado em três zonas de estudo. As zonas de estudo BA-s, FC-s e NO-s caracterizavam-se por vivendas com espaços ajardinados. Os contadores domiciliários nestas zonas localizavam-se nos muros das propriedades. As restantes zonas de estudo correspondiam a prédios e os contadores localizavam-se no interior dos edifícios ao nível de cada piso.

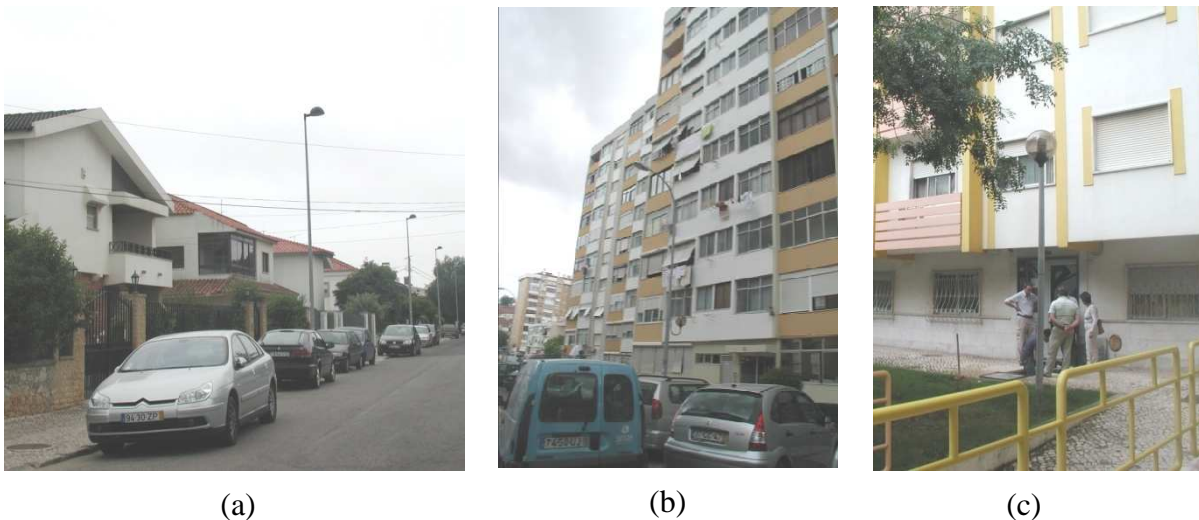


Figura 7.5 – Edificado das zonas de estudo: a) NO-s, b) ALF-sc, c) SA-sc

Considera-se, assim, que as zonas de estudo seleccionadas cumprem os requisitos necessários para análise do consumo doméstico nocturno ao nível do arruamento ou do ramal.

7.3.2 Dimensionamento e instalação dos equipamentos de monitorização

7.3.2.1 Medidor de caudal

O dimensionamento do medidor de caudal a instalar nas oito zonas de estudo (ao nível do arruamento ou ramal) envolveu a estimativa dos consumos mínimo e máximo ao longo do dia que ocorriam em cada zona.

Para a estimativa do consumo mínimo, consideraram-se as perdas domiciliárias, as perdas na rede predial e as perdas na rede pública, pois o consumo durante o período nocturno caracteriza-se por períodos de consumo alternados com períodos com consumo muito reduzido ou nulo. A este nível de medição, é possível diferenciar o consumo devido ao uso de dispositivos domiciliários (*e.g.*, torneiras, chuveiros, autoclismos), que variam entre

360-900 l/h (Pedroso, 2000), do consumo devido a perdas físicas de água (*e.g.*, fugas nos autoclismos), cujos valores de consumo podem ser muito reduzidos. Uma vez que na maior parte das zonas de estudo (à excepção das zonas ALF-sc e SA-sc), o contador foi instalado no arruamento (passeio), as perdas podem incluir, para além das perdas domiciliárias (que ocorrem a jusante de cada contador domiciliário), as perdas na rede predial e pública.

As perdas em cada componente (*i.e.*, conduta, ramal, ramal de ligação e rede predial, rede domiciliária) foram estimadas de acordo com o conceito BABE (*Burst and background estimates*) (Lambert, 1994), considerando que as redes abrangidas pelo estudo se encontravam em bom estado de conservação e com pressões médias de funcionamento da ordem dos 50 m c.a. Nas zonas de estudo ALF-sc e SA-sc, em que o contador foi instalado à entrada do prédio, desprezaram-se as perdas a montante dos contadores domiciliários. Apresenta-se no Quadro 7.5 uma estimativa das perdas reais em cada componente e para cada zona de estudo.

Quadro 7.5 – Perdas (reais) de base e consumo máximo por zona de estudo

Zona de estudo	Perdas reais de base (l/h)					Consumo máximo (l/h) ⁽³⁾
	Rede de distribuição ⁽¹⁾	Ramais ⁽¹⁾	Ramais de ligação e rede predial ⁽¹⁾	Domiciliário ⁽¹⁾	Total	
ALF-sc	(2)	(2)	0,17	5,25	5,42	10800
ZA-s	1,18	5,00	0,66	7,75	14,59	14400
BA-s	5,04	21,25	2,81	7,00	36,10	13700
FC-s	5,43	18,75	2,48	5,75	32,40	11500
FN-s	0,66	2,50	0,33	8,00	11,49	14400
NO-s	8,57	30,00	3,96	7,00	49,53	13700
QMP-s	0,22	2,50	0,33	8,25	11,30	15500
SA-sc	(2)	(2)	0,17	5,00	5,17	10800

Nota ⁽¹⁾ Para a estimativa das perdas em cada componente consideram-se os seguintes valores de acordo com Morrison (2007) para uma rede em bom estado de conservação e para um pressão média de 50 m c.a: perdas na rede de distribuição – 0,02 l/(m.h), perdas nos ramais – 1,25 l/(ramal.h), perdas nos ramais de ligação e rede predial – 0,033 l/(m.h), perdas domiciliárias – 0,25 l/(cliente.h).

⁽²⁾ não aplicável.

⁽³⁾ Para o cálculo do consumo máximo admitiu-se um número médio de 10 dispositivos por alojamento.

As perdas reais variam entre 5,4 e 49,5 l/h, valores que são muito inferiores aos do consumo instantâneo devido ao uso de dispositivos domésticos (da ordem dos 360 l/h a 900 l/h). Estes valores encontram-se próximos dos valores de consumo mínimo obtidos durante a campanha preliminar, que na zona de estudo FN-s variavam entre 4-52 l/h (Anexo 3), pelo que se considera que o método adoptado é adequado para a estimativa do consumo mínimo. Deste modo, o caudal mínimo do contador deve ser estabelecido de

forma a medir com elevada exactidão valores de consumo de ~ 5 l/h. Por outro lado, a resolução do emissor deve ser tal que permita fornecer um registo pormenorizado das perdas de água (*i.e.*, resolução ≤ 1 impulso/l).

A estimativa do consumo máximo foi feita de acordo com as disposições regulamentares para redes prediais (Decreto Regulamentar n.º23/95). No Quadro 7.5 verifica-se que o consumo máximo se situa entre 10800 l/h e 15500l/h para os casos de estudo analisados. De acordo com a campanha preliminar (Anexo 3), verifica-se que o consumo máximo não excedeu 4500 l/h, valor este que é significativamente inferior aos valores de dimensionamento obtidos. Um dos aspectos que podem contribuir para esta diferença pode ser o facto de a campanha ter tido uma duração muito curta (inferior a 1 mês), pelo que pode não ser representativa dos consumos máximos que ocorrem ao longo do ano.

Como solução de contador, optou-se pelo contador conjugado Sensus Meitwin DN50 para medição do consumo total em cada zona de estudo (Quadro 7.6). Este tipo de contador tem a vantagem de cobrir, em geral, uma gama mais alargada de consumos em comparação com a solução de um único contador volumétrico. Permite o cumprimento dos objectivos do estudo, sem pôr em causa a integridade dos contadores e o abastecimento dos clientes abrangidos. O caudal mínimo é 12,7 l/h, de acordo com a Directiva 2004/22/CE e com a Norma NP EN 14154-1: 2008, sendo que as características operacionais (*i.e.*, dados do fabricante) referem um caudal mínimo de 6 l/h. Estas características permitem um ganho significativo de exactidão nos consumos mínimos em relação ao contador volumétrico instalado na campanha preliminar (Janz MSV3525) (*cf.* descrição no Anexo 3). O contador conjugado escolhido é composto por uma válvula que faz a transição entre o contador secundário (equivalente a um contador volumétrico DN20) e o contador primário (equivalente a um contador *Woltman* DN50). De acordo com as especificações técnicas, quando há um aumento do caudal a abertura da válvula ocorre para 2300 l/h e quando há um decréscimo do caudal o fecho da válvula ocorre para 1200 l/h (Quadro 7.6).

Este tipo de contador tem a desvantagem de ser significativamente mais caro do que os contadores volumétricos tradicionais. Comparando com um contador volumétrico DN30 ($Q_{\min}=60$ l/h, $Q_t=90$ l/h, $Q_n=6000$ l/h, $Q_{\max}=12000$ l/h), que permite fazer face a caudais mais elevados do que o contador volumétrico instalado na campanha preliminar, o custo do contador conjugado é cerca de oito vezes mais caro. Arregui *et al.* (2006) refere também que os contadores conjugados requerem mais manutenção do que os outros tipos de

contadores e que a probabilidade de avaria da válvula de transição entre o contador secundário e primário é elevada, conduzindo a erros de medição significativos.

Quadro 7.6 – Características do equipamento de medição e de telemetria

<i>Equipamento</i>	<i>Marca/Modelo</i>	<i>Principais características</i>
Contador conjugado	Sensus Meitwin	<ul style="list-style-type: none"> • $Q_{min}=12,7$ l/h, $Q_f=37,5$ l/h, $Q_n=50$ m³/h, $Q_{max}=90$ m³/h • Abertura completa da válvula com o aumento do consumo – 2,3 m³/h • Fechamento completo da válvula com a diminuição do consumo – 1,2 m³/h • Contador primário <i>Woltman</i> (DN50) • Contador secundário volumétrico (DN20)
Emissor de impulsos	Sensus/OPTO OD07-24V	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: óptico • Resolução no contador primário: 1l/impulso • Resolução no contador secundário:0,1 l/impulso
<i>Datalogger</i>	Contar/ MS-log Water	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de armazenamento: 512 KB (até 72000 registos partilhados) • 2 canais (analógico/digital) • Alimentação: 1 bateria interna de lítio e uma bateria externa recarregável • Classe de protecção – IP68
Sistema de comunicação	Flow systems	<ul style="list-style-type: none"> • Contador-<i>datalogger</i> – cabo • <i>Datalogger</i>- unidade de recolha – cabo/GSM

7.3.2.2 Sistema de telemetria

A especificação do sistema de telemetria foi feita em termos do emissor de impulso, do *datalogger* e dos sistemas de comunicação (Quadro 7.6).

Em termos de emissor de impulsos, adoptaram-se emissores ópticos para ambos os contadores (*i.e.*, contador primário e contador secundário). Com estes emissores, foi possível obter uma resolução adequada face aos objectivos do estudo, quer no contador primário (1 impulso/ l), quer no contador secundário (1 impulso/0,1 l). Se tivessem sido adoptados emissores de impulso *Reed*, a resolução seria bastante mais baixa (*i.e.*, contador primário – 1 impulso/100 l, contador secundário – 1 impulso/ 10 l). O emissor óptico, embora significativamente mais caro que os emissores *Reed* e indutivos (*i.e.*, custo de um sensor óptico é ~6 vezes superior ao custo dos emissores *Reed* e indutivo) permite leituras mais fiáveis que o emissor *Reed* e permite também a leitura de escoamento em sentido contrário, caso seja necessário. No entanto, quer estes emissores de impulsos, quer o sensor de pressão foram alimentados externamente pela bateria do *datalogger*, influenciando a duração desta. A comunicação entre a unidade local e o *datalogger* foi feita por cabo.

Os *dataloggers* instalados usavam dois canais (analógico/digital) e permitiam que a leitura dos consumos em cada sentido fosse registada no mesmo canal. Por ponto de medição,

utilizou-se um *datalogger* para leitura de consumos no contador primário e no contador secundário (dois canais digitais) e um outro *datalogger* para leitura da pressão (um canal analógico). Face ao elevado volume de dados a recolher, verificou-se que a duração da bateria interna era muito curta, pelo que houve que ligar o *datalogger* a uma alimentação externa. Na impossibilidade de utilizar a corrente eléctrica recorreu-se a baterias externas recarregáveis. O intervalo entre recarregamentos era de cerca de um mês. Os recarregamentos periódicos foram feitos pela entidade gestora. Foram instalados *dataloggers* para aquisição de dados por tempo fixo e não por tempo entre eventos. Os *dataloggers* com aquisição de dados por tempo entre impulsos embora permitam uma melhor descrição dos consumos reais que ocorriam, dado que se conhecia o tempo que decorreu entre impulsos, por oposição à aquisição de dados por tempo fixo apresentavam as seguintes desvantagens:

- os *dataloggers* que adquirem dados por tempo entre impulsos eram compatíveis apenas com emissores *Reed* ou indutivos;
- o volume de informação gerado pela aquisição por tempo entre impulsos é cerca de quatro vezes superior à aquisição por tempo fixo, pelo que para além da necessidade de maior capacidade de armazenamento, a duração das baterias é menor e menos controlável e os custos de comunicação, no caso da solução remota, são significativamente superiores;

A solução composta por emissores ópticos com *dataloggers* com aquisição de dados por tempo fixo permite a aquisição de dados com pormenor suficiente para o cumprimento dos objectivos do estudo. No entanto, se o objectivo do estudo fosse a análise do consumo máximo, a solução de *datalogger* com aquisição de dados por tempo poderia ser preferível, pois conduzia a resultados mais fiáveis. De acordo com os resultados da campanha preliminar, os consumos máximos obtidos com um passo de tempo fixo de 1 min. são em médias 40% inferiores aos valores obtidos com aquisição por tempo entre impulsos (*cf.* descrição no Anexo 3).

A comunicação entre o *datalogger* e a unidade central foi feita por GSM. Apesar de permitirem a recolha de dados no próprio *datalogger* e disporem de uma capacidade de armazenamento para 15 dias, optou-se por aceder aos dados remotamente. Esta via evita a afectação de pessoal para a recolha periódica de dados, permite um controlo diário dos dados, assim como a detecção de falhas de comunicação e de bateria e a configuração

remota de parâmetros. A unidade central residia na Contar Lda. e o acesso aos dados era feito através do sítio www.contar.pt/amr (Figura 7.6).

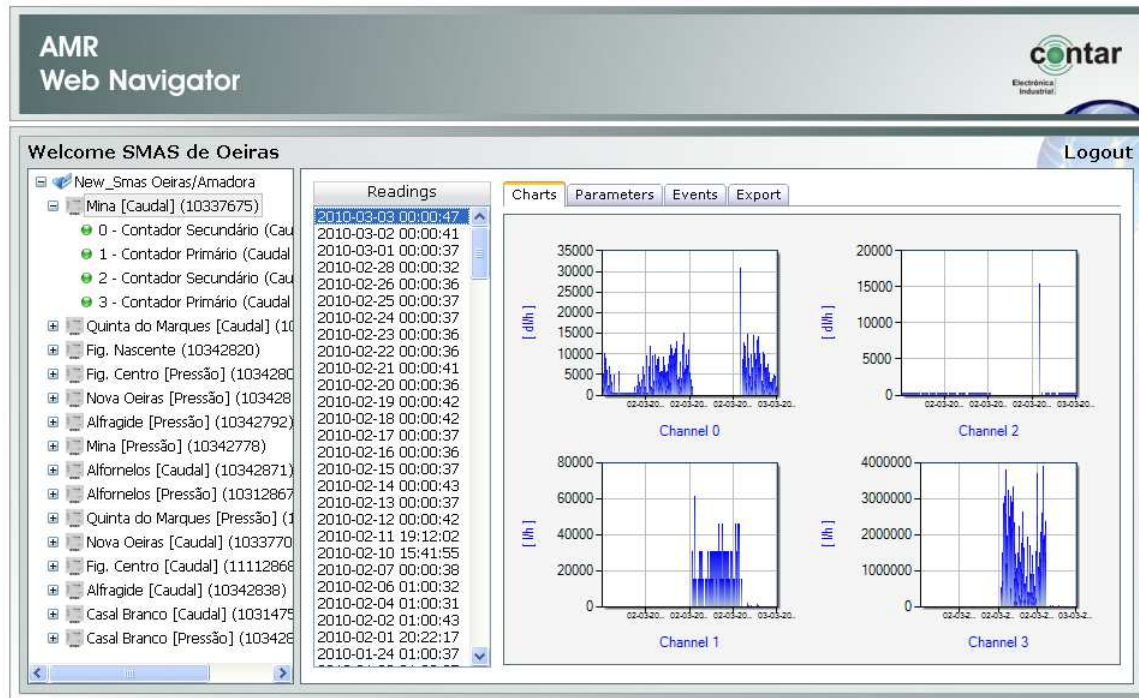


Figura 7.6 – Sítio para acesso *online* aos dados de consumo ao nível arruamento/ramal

7.3.3 Monitorização do consumo

Para a monitorização do consumo em cada zona, realizou-se uma campanha temporária durante cerca de 9 meses (*i.e.*, desde Agosto/Setembro de 2009 até Abril de 2010) – período de tempo considerado suficiente para análise do consumo nocturno. A análise incidiu sobre o período com consumo mais estável do ano, embora em trabalhos futuros a análise possa ser alargada também ao período do Verão (*i.e.*, entre Maio e Agosto). Em cada passo de tempo (*i.e.*, 1 min.) era lido o consumo médio, tendo-se medido também a pressão para monitorização das condições de abastecimento. Durante este período de monitorização, as válvulas que isolavam as zonas de análise foram mantidas fechadas e as intervenções pontuais que ocorreram foram devidamente registadas.

7.4 Processamento de dados

7.4.1 Análise descritiva de dados

Análise do histórico disponível

No que se refere à disponibilidade de dados (razão entre o número de registos efectivamente recolhidos com passo de tempo de 1 min. e o número total de passos de tempo decorridos no período em análise), verifica-se que apenas na zona de estudo ALF-sc era da ordem de 50%, enquanto as zonas de estudo FC-s e FN-s eram as que apresentam um histórico mais completo no período em análise (Quadro 7.7). Na zona de estudo ALF-sc, os problemas devidos a falta da rede e de bateria eram muito frequentes, causando falhas no registo e transmissão de dados. Nas zonas de estudo ZA-s, BA-s, FN-s, NO-s e SA-sc, o número de dias com menos de 75% dos registos (*i.e.*, <1080 registos) era superior a 30 dias, indicativo também de problemas com a medição, a transmissão e o registo de dados nestas zonas.

Quadro 7.7 – Dados disponíveis para análise para cada zona de estudo

	<i>Instante inicial</i>	<i>Instante final</i>	<i>N.º registos</i>	<i>Dados disponíveis (%)</i>	<i>Nº dias com menos de 75% de dados</i>
ALF-sc	22-09-2009 10:54	21-04-2010 9:26	187548	53,7	23
ZA-s	20-08-2009 1:32	30-04-2010 23:59	285239	69,6	59
BA-s	13-08-2009 3:00	30-04-2010 23:59	373187	75,9	63
FC-s	28-08-2009 6:12	30-04-2010 23:59	294259	83,0	2
FN-s	19-08-2009 7:36	23-04-2010 7:05	355587	86,7	34
NO-s	13-08-2009 4:23	29-04-2010 0:58	291113	64,7	54
QMP-s	20-09-2009 17:19	30-04-2010 23:59	233916	71,7	5
SA-sc	13-08-2009 3:52	30-04-2010 23:59	373686	68,5	83

Assim, em todas as zonas foi possível dispor de um histórico superior a 3 meses, que caracteriza o período entre Agosto de 2009 e Abril de 2010, e que se considera suficiente para fazer a análise. Em nenhuma das zonas de estudo se obtiveram dados no período entre Maio e Julho – período onde o consumo nocturno pode alterar devido à ocorrência de regas e de alterações nos hábitos de consumo.

Características do consumo

Relativamente às características do consumo para a globalidade do histórico (*i.e.*, Agosto/Setembro de 2009 até Abril de 2010) e para o período nocturno (*i.e.*, entre 1:00-6:00), verifica-se que os consumos são em média muito reduzidos. A mediana do consumo varia entre 18 l/h e 186 l/h nas várias zonas de estudo (Figura 7.7a). Os consumos máximos

variam entre 3300 l/h e 9900 l/h, sendo inferiores aos valores de dimensionamento estimados de acordo com o Quadro 7.5 (em particular no caso da zonas de estudo BA-s, FC-s, QMP-s e SA-sc). O período de análise não contempla o ano todo, em particular apenas abrange uma parte do Verão. Este período corresponde, em muitas zonas, ao período onde os consumos máximos podem ser mais elevados, devido ao aumento dos usos domésticos devido a regas.

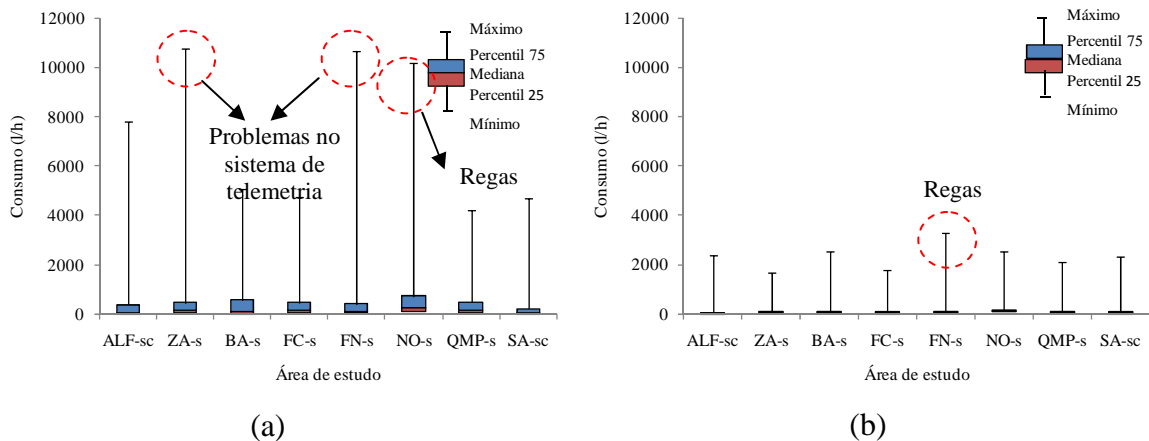


Figura 7.7 – Diagrama de extremos e quantis do consumo para cada zona de estudo: a) série completa, b) período nocturno

No entanto, os valores elevados de consumo máximo em NO-s podem ser devidos a regas, pois trata-se de uma zona de vivendas com jardins. Em ZA-s e FN-s, os valores máximos de consumo são muito elevados e correspondem a períodos onde se registaram problemas no sistema de telemetria (Figura 7.7a). No período de consumo nocturno (1:00-6:00), a mediana do consumo varia entre 6 l/h e 18 l/h e que os consumos máximos variam entre 1600 l/h e 3200 l/h (Figura 7.7b), sendo na zona FN-s onde o consumo máximo é mais elevado. Esta zona, caracterizada por prédios com 5 pisos tinha também um pequeno jardim público, cujo período de rega ocorria tipicamente entre 5:00-6:00. O consumo nestas zonas caracterizava-se por uma acentuada dispersão do consumo em torno da média. Este comportamento é típico de zonas terminais da rede, onde muitas vezes se registam problemas de qualidade da água (*e.g.*, baixas concentrações de cloro residual) devido às baixas velocidades médias que aí têm lugar.

A distribuição do consumo medido no contador secundário e no contador primário, ao longo do dia e durante o período nocturno, para as várias zonas de estudo, é apresentada na Figura 7.8. Verifica-se que ao longo do dia, com excepção da zona de estudo NO-s, o contador secundário é responsável pela medição de mais de 80% do consumo. Nas zonas de vivendas (*i.e.*, BA-s, FC-s e NO-s) o peso do consumo no contador primário é mais elevado e varia entre 16,6% e 25,7%. A existência de alojamentos de maior dimensão, de

famílias com maior número de elementos e de espaços verdes com rega que podem conduzir a consumos mais elevados nestas zonas. Durante o período nocturno, a percentagem de consumo no contador secundário é superior a 87%, excepto em FN-s onde é de apenas 61% (provavelmente devido às regas que ocorrerem neste período do dia).

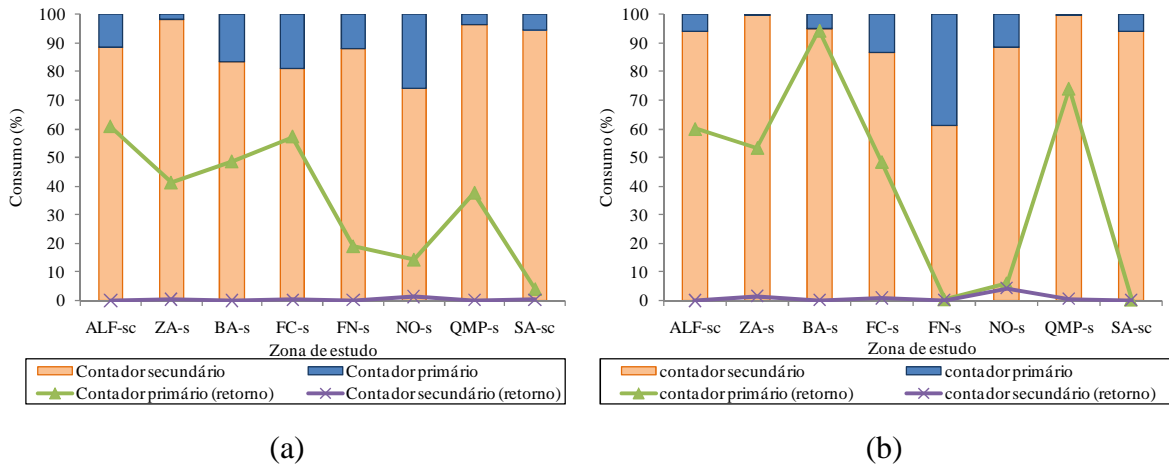


Figura 7.8 – Distribuição do consumo no contador primário e secundário: a) ao longo do dia, b) período nocturno. Dado que o tipo de emissores de impulsos (óptico) utilizado permite detectar o sentido do escoamento, analisou-se também se havia escoamento inverso ou retorno, para além de escoamento em sentido directo (Figura 7.8). Em ambos os períodos de análise, concluiu-se que o peso do retorno de consumo no contador secundário é desprezável, enquanto no contador primário é significativo, nomeadamente nas zonas de estudo de ALF-sc, FC-s e QMP-s. As zonas de estudo com menor retorno no contador primário são FN-s e NO-s.

Este comportamento pode ser devido ao funcionamento da válvula que faz a transição entre o contador secundário e o contador primário. Antes de abrir ou fechar completamente, a válvula pode ter um funcionamento intermitente e originar a leitura de impulsos que indicam retorno de consumo. Foi realizado um ensaio a um contador conjugado em conjunto com a empresa Bruno-Janzen que permitiu visualizar este comportamento. Adicionalmente, verificou-se que podiam ocorrer registos de retorno de consumo sem haver consumo no sentido directo, o que dificultava a dedução do retorno. Assim, uma vez que durante o período nocturno predomina o consumo no contador secundário, onde o retorno neste contador é desprezável, não se considerou para análise o consumo medido no retorno em ambos os contadores durante este período.

Verifica-se que a maior parte do consumo (>80%) ocorre para valores inferiores a 2300 l/h (valor a partir do qual a válvula abre completamente quando há aumento de consumo)

(Figura 7.9). É na zona NO-s que o peso do consumo apresenta valores superiores a 2300 l/h é mais elevado (~20%)³¹.

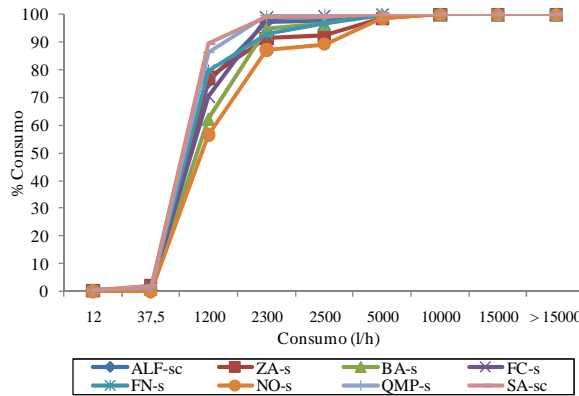


Figura 7.9 – Curvas de consumo para as várias zonas de estudo

Verifica-se também que a percentagem de consumo entre 1200 l/h e 2300 l/h é significativa e varia entre 10-30%. Deste modo, recomenda-se a realização de testes adicionais que permitam avaliar melhor o funcionamento dos contadores nesta gama de valores, assim como o modo leitura de impulsos com o emissor instalado.

Comportamento da série de consumo

O cálculo de estatísticas como o consumo médio diário, e o consumo no período de consumo nocturno (1:00-6:00) permitiu identificar-se tendências de consumo, dados anómalos e perdas de água. Na zona de estudo NO-s (Figura 7.10a) observa-se que entre 19-08-2009 e 24-10-2009, os consumos médios são mais elevados do que durante o resto do período. Este comportamento pode ser devido a regas que ocorrem neste período do ano. No entanto, verifica-se que estes usos de água não ocorrem durante o período nocturno, dado que o consumo médio é aproximadamente constante ao longo do período de monitorização.

³¹ Na zona ZA-s parte dos consumos que ocorrem acima de 2,3 m³/h devem-se a um período onde houve problemas de parametrização no sistema de telemetria, gerando valores elevados anómalos.

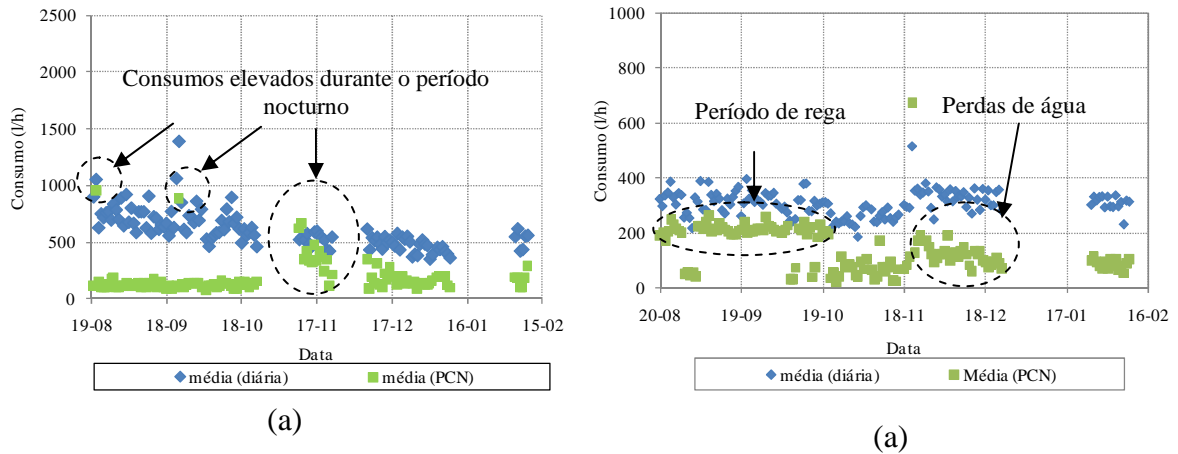


Figura 7.10 – Estatísticas descritivas para as zonas de estudo: a) NO-s e b) FN-s

No caso da zona de estudo FN-s (Figura 7.10b), o período de rega é aproximadamente idêntico ao da zona de estudo NO-s. No entanto, o decréscimo significativo do consumo durante o período nocturno a partir de 20-10-2009, permite indicar que as regas ocorrem predominantemente durante esta fase. Em ambas as zonas ocorreram intervalos de tempo mais ou menos longos de falhas de dados, indicativos de problemas no sistema de telemetria. Na zona de estudo FN-s observou-se também um intervalo de tempo entre 18-11-2009 e 18-12-2009 com consumo mais elevados durante o período nocturno, indicativo de possíveis perdas de água.

7.4.2 Detecção de dados anómalos

Detectaram-se dois tipos de dados anómalos nos dados recolhidos devidos: i) problemas no processo de medição e recolha de dados; e ii) situações de consumo fora do normal, como sejam a ocorrência de fugas.

Por exemplo, na zona de estudo NO-s verificou-se a ocorrência pontual de consumos significativamente elevados durante o período nocturno (Figura 7.11). Esta alteração é típica de situações de consumo fora do normal, por exemplo, a uma torneira de rega que ficou aberta durante a noite.

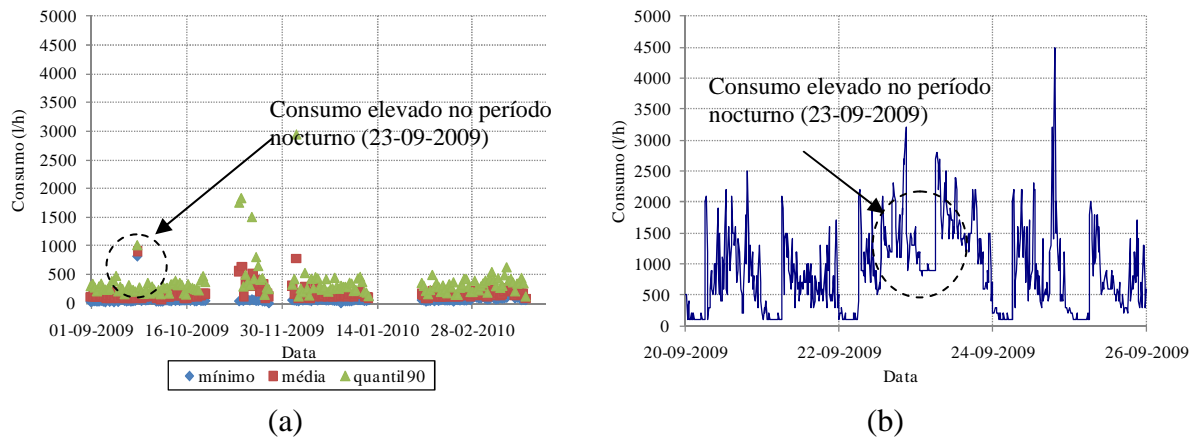


Figura 7.11 – Detecção de dados de consumo anómalos na zona de estudo NO-s: a) estatísticas no período noturno, b) diagrama de consumo

Na zona de estudo ZA-s, ocorreu um período com consumo muito elevado, entre 29-01-2009 e 06-02-2009, comparativamente com o que se verificou durante o resto do período de monitorização (Figura 7.12). Este período de consumo anómalo foi devido a um problema de configuração do sistema de telemetria, que ocorreu após o sistema de telemetria ter estado sem funcionar por falta de bateria.

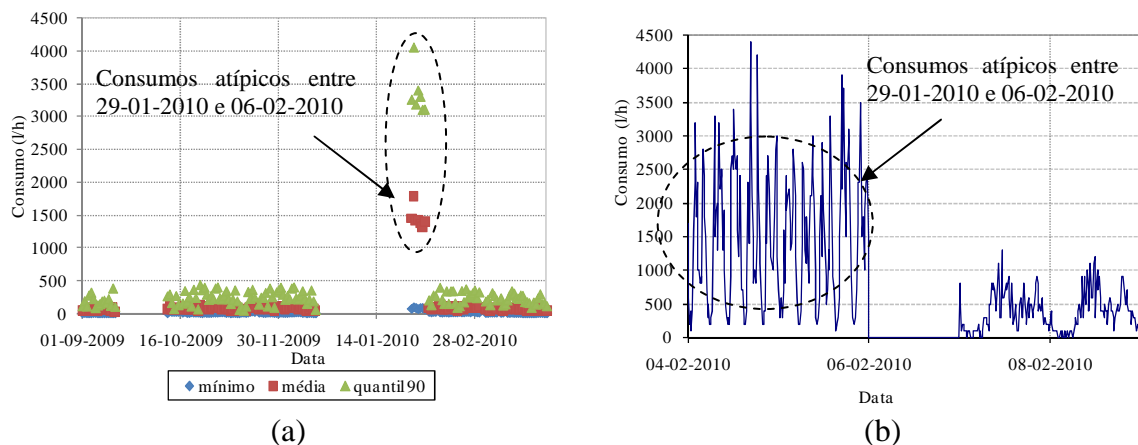


Figura 7.12 – Detecção de dados de consumo anómalos na zona de estudo ZA-s: a) estatísticas no período noturno, b) diagrama de consumo

7.4.3 Combinação de dados

Identificação do período de consumo mínimo

Uma vez que neste caso de estudo, a análise incidiu sobre um período do dia específico, foi necessário identificar previamente à estimativa das perdas de água e à separação do consumo em eventos rectangulares o período de consumo mínimo nocturno para cada zona de estudo. Tipicamente, a definição de cenários de consumo é feita na etapa de análise do consumo no Módulo 3.

Como exemplo de variação do consumo médio horário entre 1:00 e 6:00, apresenta-se na Figura 7.13a a zona de estudo FN-s. Os consumos médios elevados no período entre 5:00-6:00 correspondem à rega do espaço ajardinado. Outro exemplo é a zona de estudo NO-s, que se caracteriza por consumos elevados durante todo o período nocturno, sendo que os dias de maior consumo ocorrem à 4ª e 6ª feira (Figura 7.13a).

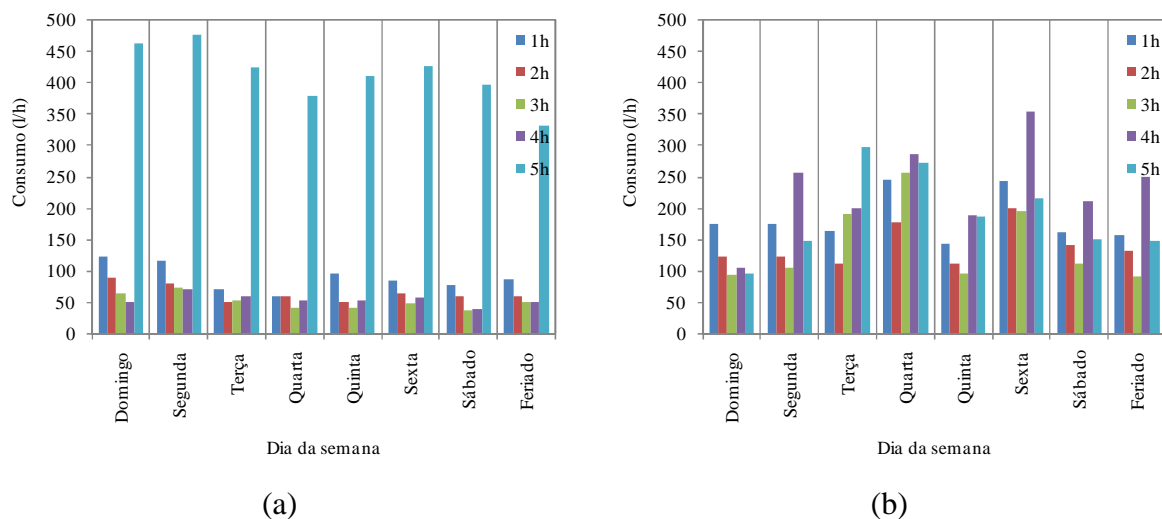


Figura 7.13 - Consumo médio horário entre 1:00-6:00 ao longo da semana: a) FN-s, b) NO-s

Relativamente à existência de cenários diários de consumo durante o período de consumo mínimo, verificou-se, por aplicação da análise de *clusters* que não havia evidências que demonstrassem ser possível estabelecer grupos de dias com igual comportamento no período de consumo mínimo, para as oito zonas de estudo. O tipo de agrupamento dos dias da semana variava consoante o método hierárquico aglomerativo e a distância de ligação escolhida, o que de acordo com Branco (2004), indica que não existiam diferenças significativas entre dias da semana.

Face a este resultado, identificou-se o período de consumo mínimo considerando todos os dias da semana. A Figura 7.14 apresenta os dendrogramas resultantes da análise de *clusters* para as zonas de estudo FN-s e NO-s. Para a zona de estudo FN-s observa-se que o período de consumo mínimo ocorreu no intervalo entre 3:00-5:00, enquanto na zona de estudo NO-s foi no intervalo 3:00-4:00. Estes correspondem aos períodos do dia com comportamento semelhante e onde o consumo é o mais baixo do período nocturno.

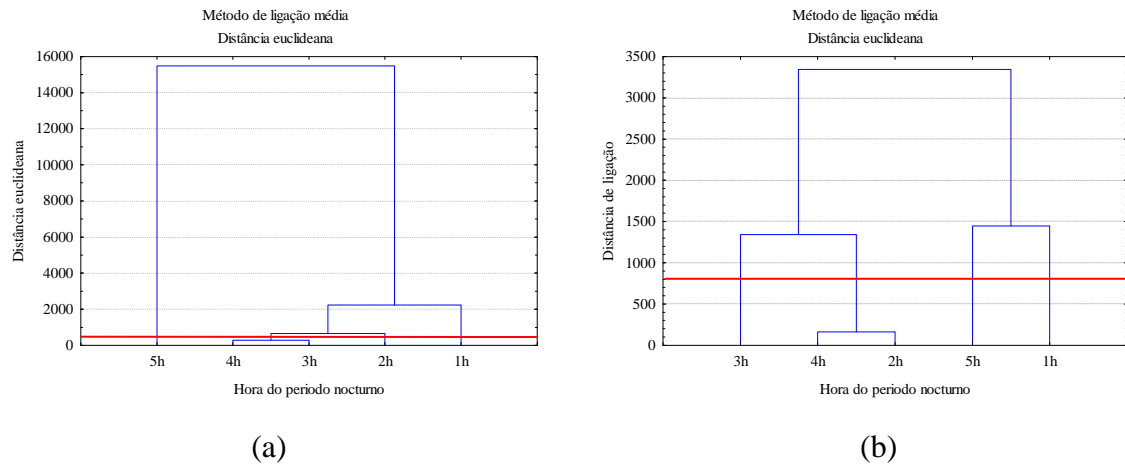


Figura 7.14 – Dendrograma para a variável hora do dia: a) FN-s b) NO-s (método de ligação de Ward)

O período de consumo mínimo para cada zona de estudo é apresentado na Figura 7.15. Este encontra-se compreendido no período entre 2:00-5:00, sendo variável de zona para zona e apresenta, em geral, uma duração de 2 horas, excepto em ZA-s (com duração de 3 horas, entre 2:00-5:00) e em NO-s (com duração de 1 h entre 3:00-4:00).

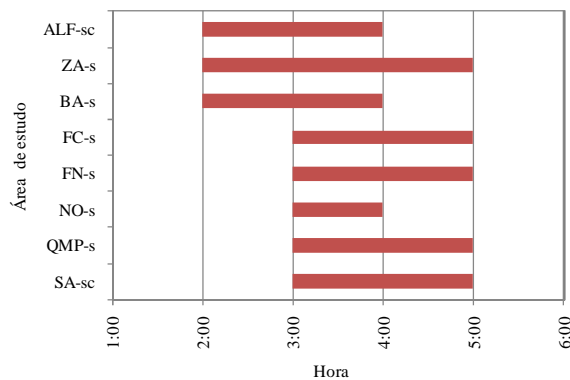


Figura 7.15 – Período de consumo mínimo nocturno para cada zona de estudo

Estes resultados ilustram a importância do estabelecimento de uma metodologia para identificação do período de consumo mínimo nocturno. O método apresentado distingue-se das abordagens anteriores para a estimativa do consumo doméstico no período nocturno (Warren, 2002), onde este era fixo e independente da zona de estudo.

Estimativa de perdas de água

A combinação de dados teve como objectivo estimar as perdas de água para que pudessem ser deduzidas ao consumo total telemedido no período de consumo mínimo nocturno. As perdas de água podem ser devidas a perdas que ocorrem a montante dos contadores

domiciliários - na rede pública e predial, e a perdas domiciliárias que ocorrem a jusante de cada contador domiciliário.

As perdas de água correspondem no caso das zonas de estudo ALF-sc e SA-sc (com contador instalado no ramal de ligação ao prédio) a perdas nos ramais de ligação, na rede predial e nas redes domiciliárias. Nas restantes zonas, as perdas incluem também as perdas em ramais e na rede de distribuição.

O Quadro 7.8 apresenta as perdas de água estimadas com base no procedimento descrito em 5.2.3, assim como os valores de consumo por cliente com perdas e sem perdas para cada zona de estudo. Verifica-se que, com excepção do ALF-sc e NO-s, as perdas variam entre 0,51 l/(cliente.h) e 0,75 l/(cliente.h), sendo o valor médio de 0,64 l/(cliente.h), independentemente da tipologia do alojamento e do comprimento de conduta. Em termos relativos, as perdas representam entre 9,8% e 74,2% do consumo total medido, sendo a zona NO-s aquela onde o peso das perdas é mais elevado. A zona NO-s é a que apresenta maior comprimento de conduta (~400 m), maior número de ramais (24) e é composta por vivendas onde o comprimento do ramal de ligação (enterrado) pode ser também elevado. Estes factores podem contribuir para que o valor de perdas nesta zona seja bastante superior aos valores obtidos nas restantes zonas.

Quadro 7.8 – Características do consumo no período de consumo mínimo

Zona	Tipologia	Comprimento	Período de consumo mínimo nocturno				
			Consumo médio (com perdas)	Perdas		Consumo médio (sem perdas)	
(-)	(-)	(m)	(l/(cliente.h))	(l/(cliente.h))	(l/(ramal.dia))	(%)	(l/(cliente.h))
ALF-sc	Prédio	n.a.	1,93	0,19	95,37	9,80	1,74
ZA-s	Prédio	59	1,85	0,72	133,42	38,85	1,13
BA-s	Vivenda	252	2,24	0,71	28,25	31,92	1,52
FC-s	Vivenda	271	1,45	0,63	23,22	43,38	0,82
FN-s	Prédio	33	1,54	0,75	288,45	48,75	0,79
NO-s	Vivenda	429	3,72	2,76	77,36	74,21	0,96
QMP-s	Prédio	11	1,38	0,51	202,22	36,90	0,87
SA-sc	Prédio	n.a.	1,30	0,55	265,01	38,80	0,76

A Figura 7.16 apresenta a variação do consumo mínimo e médio durante o período de consumo mínimo nocturno, para as zonas de estudo ZA-s e NO-s, ao longo do período de monitorização. Verifica-se que o consumo mínimo é variável ao longo dos dias, que a ocorrência de dias com consumo mínimo nulo é reduzida e que as perdas na zona NO-s são

significativamente mais elevadas. Admitindo que o consumo mínimo é devido essencialmente a perdas (reais) de água, a sua variabilidade pode ser devida ao facto de poder haver sobreposição de perdas provenientes de vários componentes e de algumas perdas domiciliárias poderem ser intermitentes, como seja o caso de uma torneira que umas vezes fecha mal e outras vezes não.

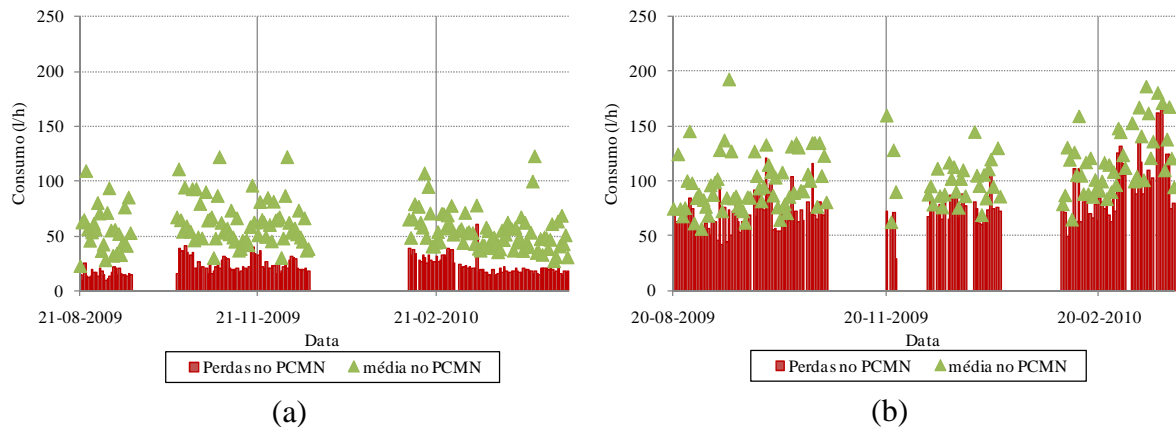


Figura 7.16 – Consumos mínimos e médios no período de consumo mínimo: a) ZA-s, NO-s

Os resultados da campanha realizada para diferenciar a componente de perdas a jusante de cada contador domiciliário das perdas que ocorrem a montante e que são devidas a perdas na rede pública (*i.e.*, perdas na condutas e perdas em ramais) e predial nas zonas NO-s e ZA-s (Anexo 4) demonstraram que:

- em NO-s, o valor das perdas físicas na conduta e nos ramais foi de 13,2 l/h, valor que é inferior ao valor de 38,6 l/h estimado de acordo com o BABE³² (Lambert, 1994; Morrison *et al.*, 2007), neste caso e considerando a rede em bom estado (com uma pressão média de 50 m c.a.), o que indica que a rede em análise se encontra em bom estado de conservação;
- em NO-s, o valor médio de perdas a jusante de cada contador domiciliário foi de 3,7 l/h, valor que é muito superior ao valor estimado de acordo com o BABE de 0,58 l/h para perdas na rede privada e domiciliária neste caso;
- em ZA-s, as perdas físicas (24 l/h) eram superiores aos valores estimados de acordo com o BABE para esta zona (6,2 l/h), considerando que a rede se encontrava em

³² Para uma infra-estrutura em boas condições e para uma pressão média de 50 m c.a. tem-se que as perdas de base em l/h podem ser estimadas de acordo com $0,02 \times \text{metros de conduta} + 1,25 \times \text{n.º de ramais} + 0,033 \times \text{comprimento de conduta privada (ramal de ligação ao prédio e rede predial)} + 0,25 \times \text{n.º de clientes}$.

boas condições de conservação, indicativo de um troço de rede com perdas elevadas;

- em ZA-s, as perdas na rede predial e domiciliária eram desprezáveis.

Deste modo, para estimar as perdas a jusante de cada contador domiciliário, adoptou-se neste trabalho, o valor médio de perdas nas zonas ALF-sc e SA-se (0,4 l/cliente.h) – zonas de prédios com vários pisos, pois estas foram as únicas zonas em que a medição do consumo foi feita ao nível do ramal. Nas restantes zonas, o consumo adicional devido a perdas nas condutas e ramais pode influenciar a estimativa de perdas domiciliárias. No caso de zonas como NO-s, caracterizadas por habitações do tipo vivenda, onde os ramais de ligação (enterrados) com maior comprimento ou em pior estado de conservação podem contribuir para o aumento das perdas reais a jusante dos contadores domiciliários, é necessário alargar o estudo a um maior número de áreas deste tipo de forma a consolidar os resultados obtidos. Assim, considerou-se que as perdas domiciliárias são constantes (0,4 l/(cliente.h)) e independentes da zona de estudo em análise.

7.4.4 Obtenção de eventos rectangulares de consumo

Análise das características dos eventos

Os eventos de consumo foram decompostos segundo as suas características (*i.e.*, instante de chegada, intensidade, duração e volume).

Apresentam-se os histogramas de duração e de intensidade dos eventos rectangulares de consumo para cada zona de estudo na Figura 7.17. Na globalidade das zonas de estudo, verifica-se que mais de 88% dos eventos de consumo têm uma duração igual ou inferior a 2 min. e mais de 73% dos eventos tem uma intensidade igual ou inferior a 400 l/h. Estas características demonstram que, durante o período de consumo mínimo, ocorrem sobretudo eventos de consumo devido ao uso de torneiras da casa de banho e de autoclismos (Vieira *et al.*, 2007; Blokker *et al.*, 2009).

A proporção de eventos com duração superior a 4 min. não excede 2%, sendo a zona ALF-sc onde o valor é máximo, e a proporção de eventos com intensidade superior entre 400 l/h e 800 l/h não excede 25%, sendo as zonas BA-s e ALF-sc onde os valores de intensidade são mais elevados. Usos com estes valores de intensidade podem corresponder a banhos, duches ou lavagens de máquinas da roupa e loiça sendo que aqueles que apresentam uma

duração superior a 4 min. correspondem geralmente aos banhos e duches (Vieira *et al.*, 2007; Blokker *et al.*, 2009).

Verifica-se, assim, que durante este período do dia, ocorrem sobretudo eventos devido ao uso de dois tipos de dispositivos – torneiras da casa de banho e autoclismos, sendo que estes últimos têm uma natureza determinística, ou seja existe uma dependência entre a duração e a intensidade. Se o peso do consumo associado a estes dispositivos for elevado, deve avaliar-se se é válida a hipótese de independência entre duração e intensidade que é geralmente admitida para a simulação do consumo ao longo do dia (Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003)

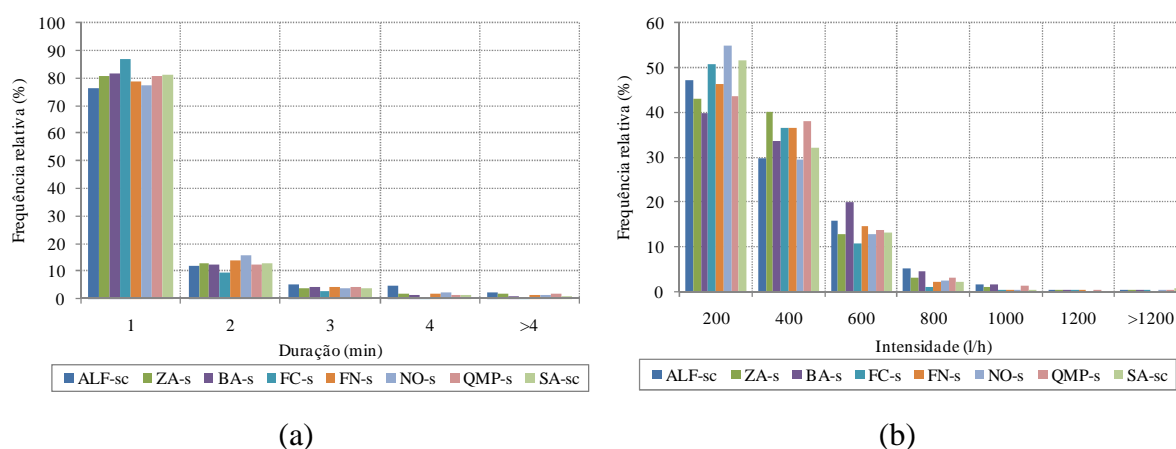


Figura 7.17 – Histogramas das características dos eventos de consumo para cada zona de estudo: a) duração, b) intensidade

Com base nos histogramas de volumes, verifica-se que mais de 83% se referem a eventos cujo volume é igual ou inferior a 9 l, valores que podem estar associados a usos em torneiras e autoclismos (Vieira *et al.*, 2007; Blokker *et al.*, 2009) (Figura 7.18). As classes entre 3-9 l representam mais de 53% do volume total, enquanto a classe > 15 l, típica de usos como duches, banhos ou lavagens de roupa e loiça, representa no máximo 6% do volume total. Deste modo, durante o período de consumo mínimo, predominam usos relativos a torneiras de casa de banho e autoclismos. Dado que os autoclismos são dispositivos com funcionamento determinístico (*i.e.*, o volume e a duração de cada evento é fixo), deve avaliar-se se há dependência entre a duração e a intensidade dos eventos no período em análise, pois caso exista dependência entre estas variáveis, a simulação do consumo deve incorporar este efeito para maior rigor dos resultados. As zonas ALF-sc e BA-sc, que são as que se caracterizam por uma maior taxa de famílias com jovens, são também as que apresentam maior peso na classe de volume > 15 l, o que pode ser

indicativo de hábito de consumo diferentes das restantes zonas, durante o período de análise, como seja o uso de máquinas de lavar roupa e loiça.

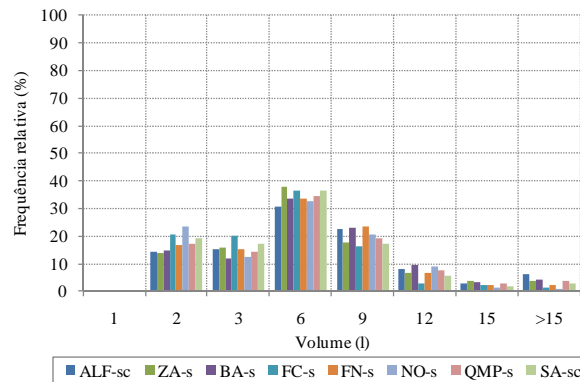


Figura 7.18 – Histograma de volumes para cada zona de estudo

Avaliação da hipótese de independência entre a duração e a intensidade dos eventos

A variação da intensidade com a duração dos eventos, assim como o valor do coeficiente de correlação de Pearson, r , são apresentados na Figura 7.19 para as zonas de estudo NO-s e FN-s, como exemplo. Embora muito reduzido, o coeficiente de correlação é negativo, o que indica que quanto maior a duração menor é a intensidade dos eventos. Obtiveram-se resultados idênticos para as restantes zonas, com excepção de ZA-s onde o valor do coeficiente de correlação não foi significativo.

Este resultado é coerente com o facto de ter sido verificado que durante o período de consumo mínimo nocturno é pouco frequente a ocorrência de eventos de intensidade mais elevada e de maior duração como duches ou banhos (Figuras 7.17 e 7.18), por oposição ao resto do dia, que foi objecto de análise em estudos anteriores (Buchberger e Wells, 1996a; Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003; Blokker *et al.*, 2009). Durante o período de consumo mínimo nocturno, verificou-se que eventos de maior duração (> 4 min.) estão associados sobretudo a baixas intensidades (< 200 l/h). Estes podem corresponder, por exemplo, a torneiras (incluindo autoclismos) que não ficaram completamente fechadas e dão origem a consumos muito reduzidos. Assim, a simulação do consumo durante o período de consumo mínimo atendeu neste trabalho à dependência entre estas duas características dos eventos de consumo.

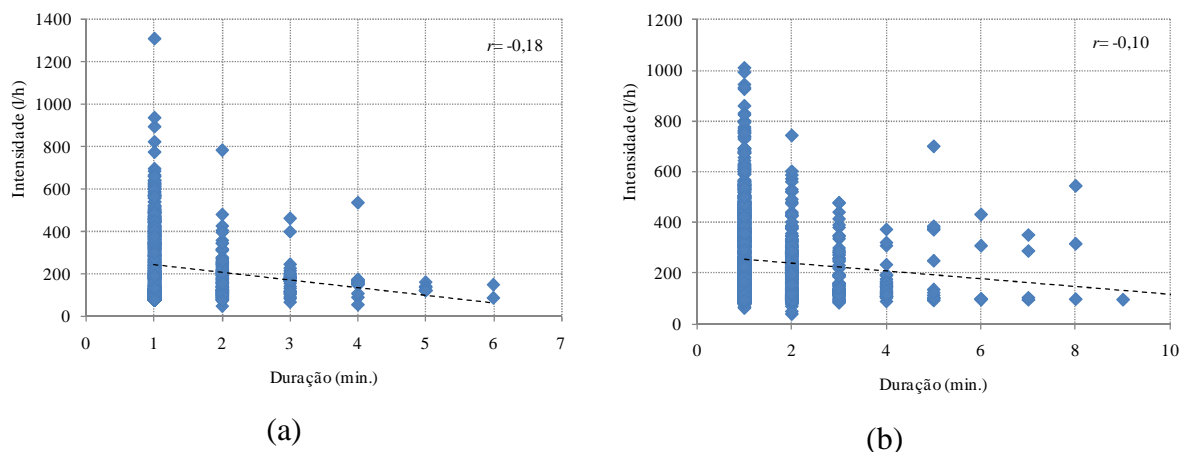


Figura 7.19 – Variação da intensidade com a duração dos eventos: a) zona NO-s, b) zona FN-s

Avaliação de hipótese de não sobreposição de mais de 2 eventos

A hipótese adoptada neste trabalho para a separação de eventos rectangulares de consumo, segundo a qual se considera que não existe a sobreposição de mais de dois eventos durante o período de consumo mínimo nocturno requer que a frequência de ocorrência de blocos de eventos com mais de três níveis de intensidade seja muito reduzida (Buchberger e Wells, 1996a; Garcia, 2003). Os histogramas com a distribuição nos níveis de intensidade dos blocos de eventos para cada zona de estudo são apresentados na Figura 7.20. A percentagem de blocos de eventos com um único nível de intensidade (evento isolado) é em geral superior a 53% e a percentagem de blocos de eventos com mais de 3 níveis de intensidade é reduzida e não excede 7,6% (a zona ALF-s é a que apresenta a taxa mais elevada de blocos de eventos com mais de 3 níveis de intensidade).

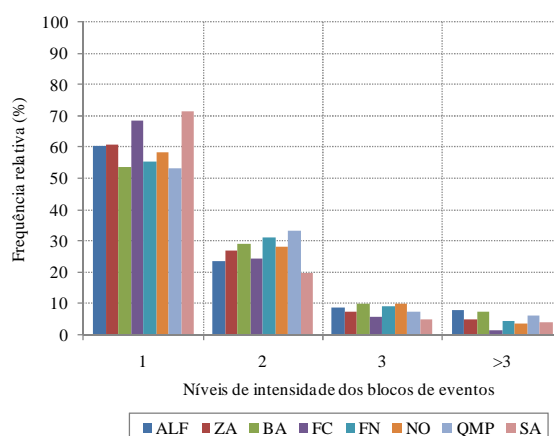


Figura 7.20 – Histogramas de níveis de intensidade dos blocos de eventos para cada zona de estudo

Deste modo, face à baixa probabilidade de ocorrência de mais de 3 níveis de intensidade, para as zonas em estudo durante o período do dia análise, considera-se válida a hipótese

adoptada neste trabalho que admite “não haver a sobreposição de mais dois eventos durante o período de consumo mínimo nocturno”. Este resultado valida também a aplicabilidade do procedimento proposto em 5.2.5 para separar o consumo em eventos rectangulares durante o período de consumo mínimo.

O procedimento que se propõe também pode ser utilizado para descrever o consumo ao longo dia em clientes individuais desde que possa ser admitida a hipótese de “não ocorrer a sobreposição de mais de dois eventos num dado instante”, senão o procedimento terá de ser adaptado para suportar um maior número de sobreposições, tal como recomendado por Garcia (2003).

Identificação de usos domiciliários

Os eventos de consumo permitem também caracterizar os vários usos domiciliários. Apresenta-se, como exemplo, eventos de consumos que podem estar associados a autoclismos, com intensidade máxima inferior a 400 l/h e duração de 1-2 min. (Figura 7.21a). Arregui (1998) refere que de acordo com o modo de funcionamento dos autoclismos, estes apresentam uma fase inicial de maior consumo, em que a válvula abre totalmente, e uma fase final em que o consumo vai diminuindo progressivamente à medida que a válvula vai fechando. Como o tempo de enchimento é em geral superior a 1 min., a ocorrência de eventos de consumo com intensidade entre 200-400 l/h e duração de 1 min. seguido de um evento com consumo reduzido pode estar associado a um autoclismo.

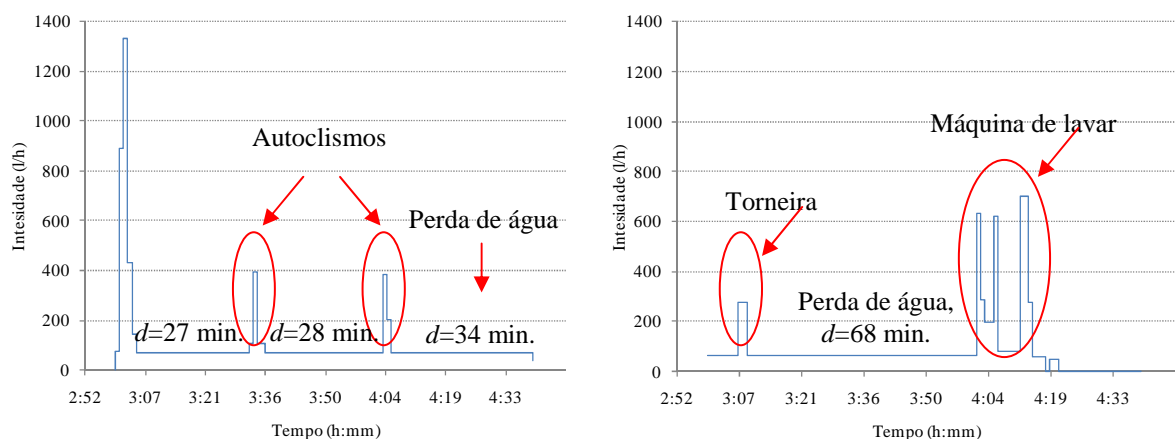


Figura 7.21 – Tipos de usos de água na zona de estudo QMP-s: a) 18-11-2009, b) 4-12-2009

No caso deste trabalho, dado que o passo de tempo entre leituras é de 1 min., não foi possível uma caracterização tão pormenorizada dos eventos de consumo como em estudos anteriores cujo passo entre leituras era entre 1 e 10 segundos (Arregui, 1998; Buchberger *et*

al., 2003). Observa-se também na Figura 7.21a, a ocorrência de eventos de longa duração e baixa intensidade que podem estar associados a perdas domiciliárias de natureza intermitente (*e.g.*, uma torneira que funciona mal e que certas vezes perde água).

Na Figura 7.21b observa-se um evento de consumo que pode ser devido ao uso de uma torneira, com intensidade de 208 l/h e duração de 2 min. Apresenta-se também um conjunto de eventos de consumo que podem estar associados a uma máquina de lavar, pois estas caracterizam-se em geral por um conjunto de 3-4 ciclos de entrada de água com intensidade de ~ 600 l/h (Blokker *et al.*, 2009).

A Figura 7.22a apresenta o exemplo de um evento de consumo com intensidade bastante elevada (1834 l/h) e duração de 3 min., que pode corresponder ao uso de uma torneira de rega, dado tratar-se de uma zona de vivendas com espaços ajardinados, onde no Verão este tipo de usos de água pode ocorrer durante o período nocturno. A intensidade obtida está de acordo com os valores obtidos em estudos anteriores para o uso de torneiras exteriores (Vieira *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 2007).

A Figura 7.22b apresenta um evento de consumo que pode estar associado a um banho ou duche, com uma intensidade de 558 l/h e duração de 11 min.

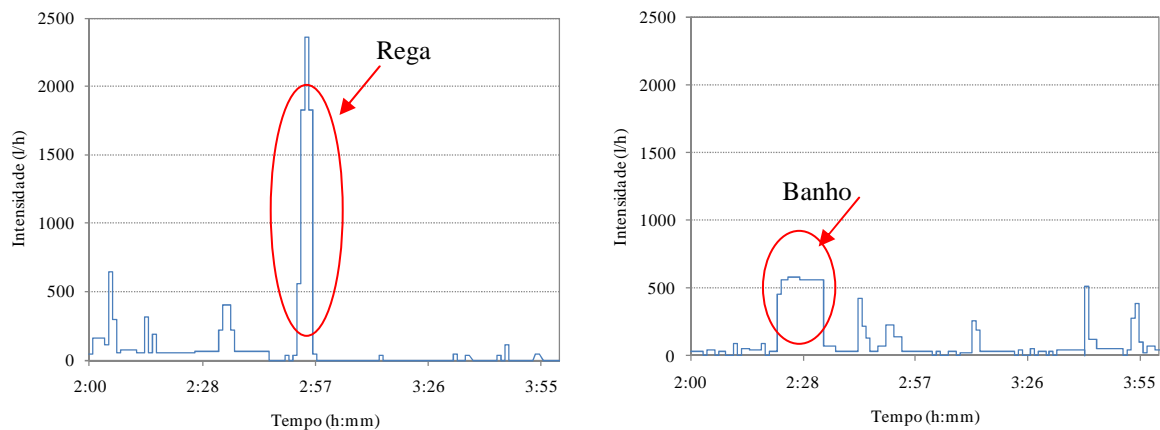


Figura 7.22 - Tipos de usos de água na zona de estudo NO-s: a) 16-09-2009, b) 23-10-2009

7.5 Produção de informação de caracterização do consumo de água

7.5.1 Análise do consumo

7.5.1.1 Período de consumo mínimo

De acordo com a metodologia geral proposta no Capítulo 4, é nesta etapa que se definem os cenários de consumo. Neste caso de estudo, foi necessário estabelecer previamente o

período de consumo mínimo nocturno na etapa de combinação (*cf.* descrição em 7.4.3), uma vez que a estimativa das perdas de água e a separação do consumo em eventos rectangulares incidiam apenas sobre este período do dia.

7.5.1.2 Variáveis de consumo

O Quadro 7.9 apresenta as características dos eventos de consumo durante o período de consumo mínimo para cada zona de estudo, em termos da taxa de chegada, duração, intensidade e volume de água associado a cada evento.

Quadro 7.9 – Características dos eventos rectangulares no período de consumo mínimo nocturno para cada zona de estudo

	<i>ALF-sc</i>	<i>ZA-s</i>	<i>BA-s</i>	<i>FC-s</i>	<i>FN-s</i>	<i>NO-s</i>	<i>QMP-s</i>	<i>SA-sc</i>
Taxa de chegadas (5min ⁻¹)								
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0
1º Quartil	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0	0	0	0	0
3º Quartil	1	1	1	0	0,25	1	1	0
Máximo	5	5	5	4	5	4	5	5
Média	0,46	0,50	0,57	0,33	0,39	0,46	0,42	0,25
Desvio-padrão	0,82	0,81	0,92	0,69	0,76	0,80	0,80	0,60
Durações (min.)								
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1
1º Quartil	1	1	1	1	1	1	1	1
Mediana	1	1	1	1	1	1	1	1
3º Quartil	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	17	14	8	7	16	6	13	10
Média	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3	1,3
Desvio-padrão	1,3	1,0	0,7	0,5	1,0	0,8	0,9	0,8
Intensidades (l/h)								
Mínimo	42	35	35	78	36	49	42	48
1º Quartil	130	144	146	126	132	114	132	121
Mediana	213	222	246	198	213	186	228	192
3º Quartil	384	345	405	312	347	327	348	318
Máximo	1248	1236	1356	1302	1008	1308	1332	1872
Média	278,8	264,0	297,7	237,8	251,5	234,8	265,2	245,6
Desvio-padrão	191,4	160,5	189,6	152,5	150,1	157,4	166,6	180,8
Volume (l)								
Mínimo	1,3	0,8	1,2	1,3	1,0	1,3	1,3	1,1
1º Quartil	2,8	2,7	2,9	2,2	2,6	2,1	2,5	2,3
Mediana	4,8	4,2	5,1	3,8	4,4	4,0	4,7	4,0
3º Quartil	7,8	7,0	7,7	5,9	7,0	6,8	7,0	6,4
Máximo	131,0	84,8	90,1	139,0	92,5	35,7	78,7	73,0
Média	6,6	5,9	6,3	4,7	5,4	4,9	5,8	5,1
Desvio-padrão	8,1	6,0	6,3	5,6	5,4	3,4	5,4	4,9

No que se refere à taxa de chegada de eventos, o valor médio não excede 0,57 eventos/5 min., evidenciando que a ocorrência de eventos durante o período de consumo mínimo nocturno ao nível do arruamento ou ramal é muito reduzida. Os valores obtidos encontram-se próximos dos estimados por Buchberger *et al.* (2003), que obteve que a média de chegada de eventos para um troço terminal de rede com 21 clientes, durante a hora de consumo mínimo, é de 0,01 min⁻¹ (neste trabalho foi de 0,08 min⁻¹). Durante o dia, estes autores obtiveram uma taxa média de chegadas de 0,055 min⁻¹.

No que se refere à duração dos eventos, o valor médio para as várias zonas de estudo é de 1,3 min., o que indica que durante este período do dia ocorrem sobretudo usos de curta duração, como seja a lavagem de mãos e a descarga de autoclismos. Pontualmente, os valores máximos indicam que podem ocorrer eventos com duração superior a 10 min., como sejam eventos devidos a duches e banhos.

No que se refere a intensidade dos eventos, o valor médio para as várias zonas de estudo é de 259 l/h, valores que de acordo com Vieira *et al.* (2007) e Blokker *et al.* (2009) são típicos de usos em torneiras do lavatório da casa de banho, da cozinha e de autoclismos.

7.5.2 Estimativa de parâmetros

Os valores-*p* resultantes dos testes de ajustamento da distribuição de *Poisson* modificada (ZIP) à chegada de eventos, da distribuição Pareto à duração dos eventos e da mistura de normais ao logaritmo da intensidade dos eventos são apresentados no Quadro 7.10.

Quadro 7.10 – Valores-*p* resultantes dos testes de ajustamento da distribuição de *Poisson* modificada à chegada, da distribuição Pareto à duração e da mistura de normais à intensidade dos eventos

Variável	Zona de estudo							
	ALF-sc	ZA-s	BA-s	FC-s	FN-s	NO-s	QMP-s	SA-sc
Chegada de eventos	0,26	0,57	0,05	-	-	0,03	0,07	0,19
Duração dos eventos	0,02	0,03	0,09	0,30	0,03	0,03	0,49	0,08
Intensidade dos eventos	0,63	0,96	0,52	0,99	0,23	0,80	0,49	0,90

Em relação à chegada de eventos, verifica-se que a distribuição de *Poisson* modificada (ZIP) se ajustou melhor às observações que a distribuição de *Poisson* sugerida em trabalhos anteriores (Buchberger e Wells, 1996a; Buchberger *et al.*, 2003; Garcia *et al.*, 2003; García *et al.*, 2004; Blokker *et al.*, 2009). No caso das zonas de estudo FC-s e FN-s rejeitou-se a hipótese nula segundo a qual a chegada dos eventos seguia uma distribuição

ZIP (valor- $p < 0,01$). No entanto, em qualquer um destes casos verificou-se que, para as outras distribuições teóricas recomendadas na bibliografia, a qualidade do ajustamento ainda era inferior. Deste modo, considerou-se para simulação do consumo nocturno nestas zonas, os parâmetros obtidos a partir da distribuição ZIP.

Verificou-se, assim, que durante o período de consumo mínimo, a probabilidade de não haver consumo é superior à que seria de esperar de acordo com a distribuição de *Poisson*, não permitindo um bom ajustamento desta distribuição. Na Figura 7.23a, verifica-se que a distribuição de *Poisson* subestima a classe de eventos de consumo mais baixa (*i.e.*, chegada de eventos /5 min =0). Isto significa que a chegada de eventos durante este período é inferior à que se obteve em estudos anteriores (Buchberger *et al.*, 2003; Garcia, 2003).

Um dos factores que pode contribuir para este resultado prende-se com a resolução dos sensores. Neste estudo a resolução era de 0,1 l/impulso, enquanto no estudo apresentado por Buchberger *et al.* (2003) era cerca de 6 vezes superior (0,016 l/impulso), contribuindo para a ocorrência de um maior número de eventos num determinado período de tempo.

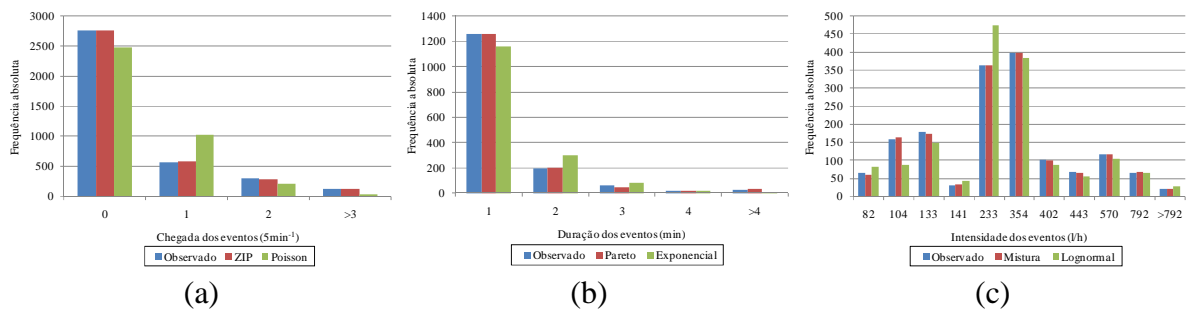


Figura 7.23 – Valores observados e valores esperados na zona de estudo QMP-s: a) chegada de eventos, b) duração dos eventos, c) intensidade dos eventos

No que se refere à **duração** dos eventos, a distribuição a que melhor se ajustou foi a distribuição Pareto, por oposição à distribuição Exponencial sugerida em estudos anteriores (Garcia, 2003). A Figura 7.23b ilustra o mau ajustamento da distribuição Exponencial à duração dos eventos, ou seja, não permite descrever adequadamente a distribuição da duração dos eventos. Verificou-se que existiam duas diferenças principais em relação aos estudos anteriores. O passo de tempo entre registos era de 1 min., contra apenas 1 s nos trabalhos apresentados por (Buchberger *et al.*, 2003) e (Garcia, 2003). Assim, neste trabalho, as durações eram discretas e não contínuas como nos trabalhos citados, alterando a distribuição desta variável. Por outro lado, as distribuições teóricas propostas nos trabalhos citados ajustaram as durações ao longo do dia e não apenas durante

o período de consumo mínimo, caracterizado sobretudo por usos de curta duração (torneiras e autoclismo).

Em relação à **intensidade** dos eventos, verificou-se que a mistura de normais foi a que melhor se ajustou comparativamente com a distribuição Log-normal. A Figura 7.23c ilustra o mau ajustamento das distribuições Log-normal à intensidade dos eventos. Por um lado, o facto do passo de tempo entre registos ser de 1 min. faz com que haja um amortecimento das intensidades reais, o que não acontecia nos trabalhos citados. Por outro lado, a quase inexistência de outros usos durante o período de consumo mínimo (*e.g.*, duches, banhos, lavagem de roupa e loiça), para além do uso de autoclismos e torneiras, faz com que a distribuição de intensidades seja distinta da que se verifica ao longo do dia. A Figura 7.23c apresenta duas classes de intensidade com frequência elevada, entre 141 l/ e 233 l/h e entre 233 l/h e 354 l/h que pode estar associadas ao facto de durante o período do dia em análise predominarem apenas dois tipos de usos (*i.e.*, autoclismos e torneiras de casa de banho).

O Quadro 7.11 apresenta os valores dos parâmetros das distribuições para as três variáveis características dos eventos de consumo. Estes parâmetros foram utilizados na fase de simulação do consumo de água, a qual teve por base estes 10 parâmetros.

Quadro 7.11 – Parâmetros das distribuições

Variável	Parâmetro	Zona de estudo							
		ALF-sc	ZA-s	BA-s	FC-s	FN-s	NO-s	QMP-s	SA-sc
(-)	(-)								
Chegada de eventos (5min ⁻¹)	λ	0,95	0,71	1,11	0,80	0,95	0,88	0,95	0,99
	ϖ	0,52	0,65	0,49	0,58	0,59	0,43	0,52	0,58
Duração dos eventos (min.)	γ	0,27	0,39	0,44	0,46	0,41	0,36	0,43	0,36
	y_m	1,11	1,77	2,04	2,60	1,76	1,58	1,73	1,58
Intensidade dos eventos (l/h)	p_1	0,42	0,29	0,19	0,33	0,21	0,13	0,27	0,21
	p_2	0,58	0,71	0,81	0,67	0,79	0,87	0,73	0,79
	μ_1	4,86	4,68	4,64	4,72	4,61	4,60	4,58	4,60
	μ_2	5,87	5,56	5,70	5,60	5,55	5,52	5,51	5,60
	σ_1	0,31	0,21	0,20	0,23	0,19	0,16	0,19	0,19
	σ_2	0,49	0,53	0,53	0,46	0,50	0,52	0,53	0,50

7.5.3 Modelação do consumo de água

Uma vez obtidos os parâmetros das distribuições que caracterizam a chegada, a duração e a intensidade dos eventos, simulou-se o consumo no período de consumo mínimo, tal como

descrito em 7.2. O Quadro 7.12 apresenta as estatísticas de consumo para os valores reais e simulados, no período de consumo mínimo para as 8 zonas de estudo, que permitiram validar o modelo de simulação.

Quadro 7.12 – Estatísticas dos dados reais e de simulação

Estatística	Zona de estudo							
	ALF-sc	ZA-s	BA-s	FC-s	FN-s	NO-s	QMP-s	SA-s
(-)								
	Dados reais							
Média	36,6	15,2	42,7	18,9	25,3	35,0	26,9	21,3
Proporção de zeros	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Variância	14431,6	5568,2	17234,6	6719,4	8071,0	11741,5	8135,4	7054,0
Máximo	1578,0	1872,0	1404,0	1446,0	1008,0	1236,0	1308,0	1134,0
	Dados de simulação							
Média	35,8	14,7	41,0	18,2	23,6	32,9	27,9	27,0
Proporção de zeros	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Variância	12834,4	4954,9	17037,2	5862,4	7658,3	10909,1	9244,2	9367,5
Máximo	2318,8	1702,6	2066,3	1476,3	2305,4	1955,3	1388,9	2154,4

Os resultados obtidos indicam que as simulações efectuadas permitem estimar adequadamente o consumo neste período do dia. O valor médio e a proporção de instantes sem consumo (zeros) estão muito próximos dos valores reais. Na variância e no consumo máximo observam-se maiores diferenças que se consideraram aceitáveis para os objectivos do estudo.

Uma vez validado o modelo para os casos de estudo em análise (zonas com ~30 clientes), extrapolou-se o consumo para um maior número de clientes do mesmo tipo, compreendido entre 300-5000, de acordo com o procedimento descrito em 5.2.7. Este número de clientes permite estimar o consumo durante o período de consumo mínimo nocturno em de diferentes dimensões (ou em sub-zonas de ZMC), com características idênticas às zonas analisadas. A Figura 7.24 apresenta a variação do consumo mínimo simulado com o número de clientes para as zonas de estudo SA-sc e NO-s, como exemplo. Para cada dimensão (ou conjunto de clientes) realizaram-se 30 simulações (para obter 30 estimativas do consumo mínimo) para posterior ajustamento de um modelo de regressão que permita prever o consumo mínimo em ZMC com características idênticas.

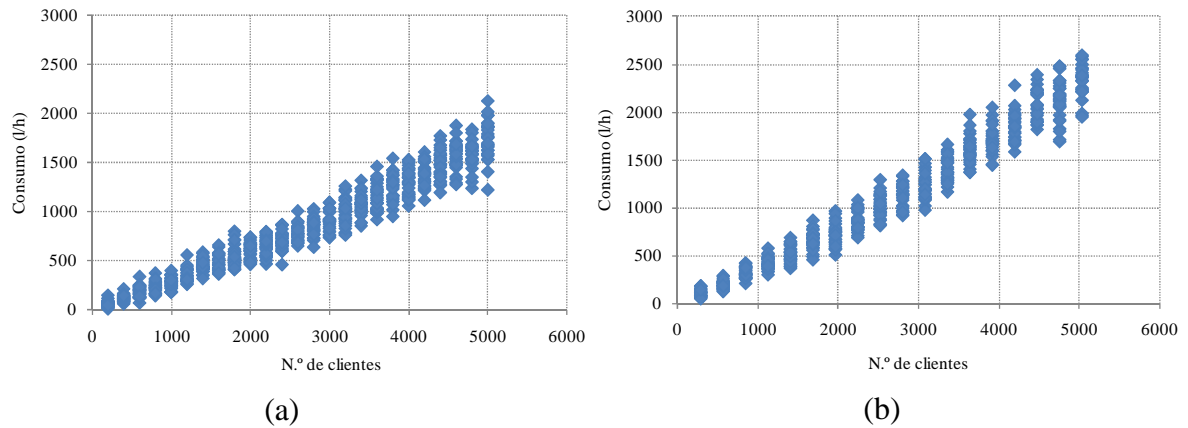


Figura 7.24 – Consumo mínimo simulado para um número de clientes compreendido entre 300-5000 clientes: a) zona SA-sc, b) zona NO-s

7.6 Previsão do consumo nocturno

7.6.1 Obtenção das variáveis explicativas

As variáveis explicativas sócio-demográficas e de consumo doméstico facturado construídas foram apresentadas no Quadro 7.2. No que se refere às variáveis sócio-demográficas, apresenta-se na Figura 7.25 a distribuição das zonas de estudo de acordo com as variáveis mobilidade social, famílias com idosos, edifícios médios-altos e vetustez 2-3. As zonas de estudo NO-s, FN-s e QMP-s são as que apresentam uma taxa mais elevada de famílias com idosos (> 45%) e de mobilidade social (>30%), enquanto a zona BA-s é mais jovem, pois apresenta uma taxa de famílias com idosos de apenas 5,7%, sendo também a que apresenta menor mobilidade social (3,9%), variável esta indicativa de um menor nível de escolaridade (Figura 7.25a). As restantes zonas apresentam características intermédias.

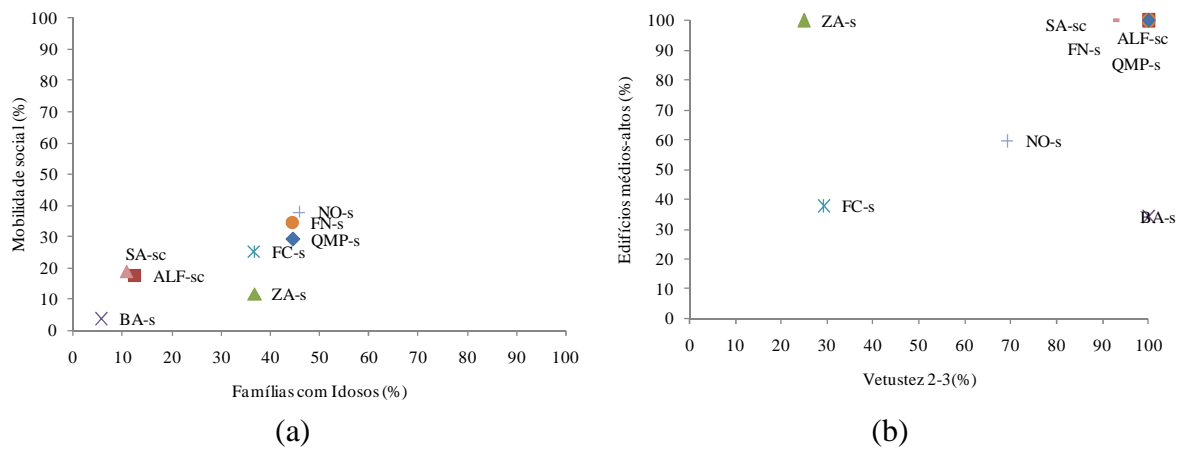


Figura 7.25 – Variáveis sócio-demográficas nas zonas de estudo: a) famílias com idosos e mobilidade social, b) Edifícios com menos de 27 anos e edifícios com mais de 3 pisos

No que se refere ao edificado, as zonas de estudo ALF-sc, SA-sc, QMP-s e FN-s apresentam as taxas mais elevadas de vetustez 2-3 (>92%), pelo que os edifícios são mais recentes, e todo o edificado possui mais de 3 pisos (edifícios com mais de 3 pisos =100%) (Figura 7.25b). Por oposição, nas zonas de estudo ZA-s e FN-s a vetustez é baixa, predominando edifícios mais antigos, distinguindo-se entre si pela altura do edificado. Estes resultados demonstram que as zonas de estudo apresentam características sócio-demográficas muito variadas entre si.

No que se refere às variáveis relativas ao consumo doméstico facturado em cada escalão verifica-se, de acordo com a Figura 7.3 (*cf.* descrição em 7.3.1.2), as zonas BA-s, FC-s e NO-s são as que apresentam maior peso do consumo facturado nos 3.º e 4.º escalões. Estas zonas caracterizam-se por apresentarem por vivendas com espaços verdes, onde o consumo facturado durante o período do Verão pode aumentar significativamente, e as zonas BA-s e NO-s são as que apresentam maior peso de famílias com mais de 5 pessoas contribuindo também para o aumento do consumo nos escalões mais elevados.

7.6.2 Construção do modelo de previsão

Seleção das variáveis de consumo

Com o propósito de avaliar se havia diferenças significativas no consumo (sem perdas) entre zonas durante o período de consumo mínimo, apresenta-se na Figura 7.26 o dendrograma resultante da análise de *clusters*. Este agrupa as zonas segundo as seguintes variáveis de consumo: média da duração dos eventos, média e 3.º quartil da intensidade e volume dos eventos, consumo médio por cliente e variância do consumo.

Quadro 7.13 – Variáveis de consumo no período de consumo mínimo

<i>Zona</i>	<i>Duração (média)</i>	<i>Intensidade (média)</i>	<i>Intensidade (3.º quartil)</i>	<i>Volume (média)</i>	<i>Volume (3.º quartil)</i>	<i>Consumo médio</i>	<i>Variância do consumo</i>
(-)	(min)	(l/h)	(l/h)	(l)	(l)	(l/(cliente.h))	(-)
ALF-sc	1,5	278,8	384,0	6,6	7,8	1,74	33128,1
ZA-s	1,3	264,0	345,0	5,9	7,0	1,13	18858,6
BA-s	1,3	297,7	405,0	6,3	7,7	1,52	48134,2
FC-s	1,2	237,8	312,0	4,7	5,9	0,82	18874,1
FN-s	1,4	251,5	346,8	5,4	7,0	0,79	119903,3
NO-s	1,3	234,8	327,0	4,9	6,8	0,96	27764,9
QMP-s	1,3	265,2	348,0	5,8	7,0	0,87	22982,4
SA-sc	1,3	245,6	318,0	5,1	6,4	0,76	11883,3

Observa-se que as zonas BA-s e ALF-sc são as que mais se afastam das restantes zonas de estudo (e.g., para uma distância de corte igual a seis, estas duas zonas aparecem agrupadas e isoladas das restantes zonas). Nestas duas zonas, o consumo por cliente é dos mais elevados (igual a 1,52 l/(cliente.h) e 1,74 l/(cliente.h), respectivamente) (Quadro 7.13). As intensidades médias dos eventos são também as mais elevadas (Quadro 7.9), assim como a proporção de eventos com intensidade entre 400-800 l/h, tipicamente associados a banhos, duchas ou lavagens de máquinas da roupa e loiça. Estas duas zonas são, de acordo com Figura 7.25a, das mais jovens onde hábitos de consumo distintos das restantes zonas, como a lavagem de roupa e loiça durante o período nocturno podem alterar significativamente o consumo neste período. A realização de um inquérito para obter um melhor conhecimento sobre os hábitos diários de consumo teria permitido entender melhor o consumo nestas zonas.

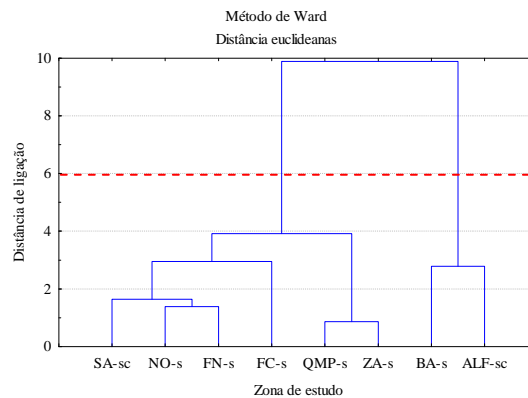


Figura 7.26 – Dendrograma para agrupamento das zonas segundo as variáveis de consumo (método de ligação de Ward)

No que se refere às restantes zonas, não é possível estabelecer qualquer agrupamento a partir das características do consumo.

Seleção das variáveis explicativas

O agrupamento das zonas de análise segundo as variáveis de consumo e as variáveis de facturação analisadas em 7.6.1 é apresentado no dendrograma da Figura 7.27.

As zonas ALF-sc e BA-s mantêm juntas e apresentam um consumo facturado em cada escalão semelhante. No entanto, através dos restantes agrupamentos que não é possível explicar o comportamento do consumo no período nocturno através das variáveis de facturação. Por exemplo, as zonas FN-s, QMP-s e ZA-s apresentam um consumo facturado no 1º escalão elevado (> 58%), mas ZA-s distingue-se das restantes zonas uma vez que apresenta um consumo por cliente de 1,13 l/(cliente.h) que é superior ao das restantes zonas que não excede 0,96 l/(cliente.h). Por outro lado, nas zonas SA-sc e FC-s, embora o

consumo por cliente seja semelhante, o consumo facturado em cada escalão é muito diferente (*e.g.*, na zona SA-sc o consumo facturado no 3º e 4º escalão é inferior a 1%, enquanto na zona FC-s é superior a 20%).

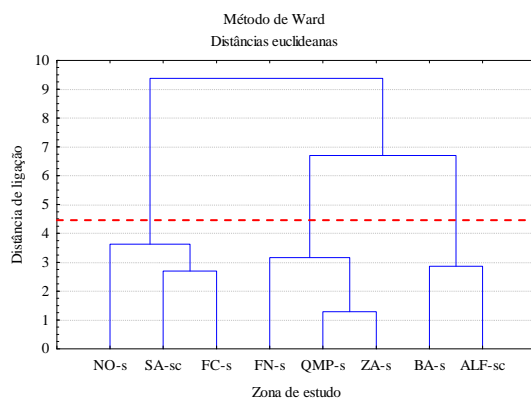


Figura 7.27 - Dendrograma para agrupamento das zonas segundo as variáveis de consumo e de facturação

Verificou-se, assim, que não foi possível explicar o consumo no período de consumo mínimo nocturno através das variáveis de facturação construídas.

No que se refere ao agrupamento das zonas de análise segundo as variáveis de consumo e sócio-demográficas é apresentado o dendrograma resultante da análise de *clusters* na Figura 7.28. Por exemplo, nas zonas BA-s, ALF-sc e SA-sc, a taxa de famílias com jovens e a vetustez 2-3 são elevadas, mas as zonas BA-s e ALF-sc são as que apresentam um consumo mais elevado durante o período em análise enquanto a zona SA-sc é das que menos consome durante este período, pelo que estas variáveis não permitem explicar estas diferenças.

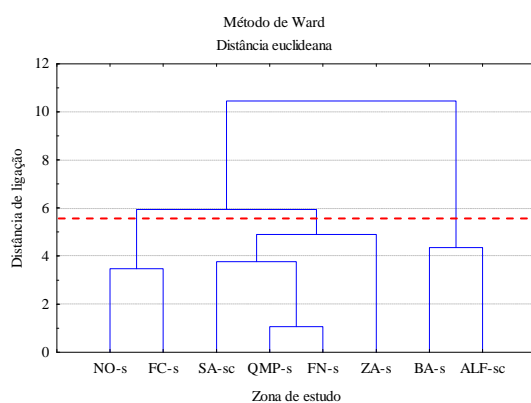


Figura 7.28 - Dendrograma para agrupamento das zonas segundo as variáveis de consumo e sócio-demográficas (método de ligação de Ward)

O reduzido número de zonas para análise, a dimensão de cada zona e o facto dos dados de facturação (referentes a 2006/2007) e sócio-demográficos (referentes a 2001) se referirem

a datas que são muito diferentes do período de recolha de dados de consumo telemedido (entre Agosto de 2009 e Abril de 2010) podem ter contribuído para que não fosse possível correlacionar o consumo com as variáveis explicativas construídas.

No entanto, apesar de não haver evidências neste trabalho que demonstrem que o consumo neste período do dia é influenciado pelo peso do consumo facturado em cada escalão, trata-se de variáveis que podem ser facilmente calculadas por uma entidade gestora. Adicionalmente, estudos anteriores verificaram que o consumo durante o período nocturno se relaciona positivamente com o consumo médio diário facturado (Warren, 2002). Assim, adoptou-se o consumo facturado em cada escalão como critério de decisão para identificar a zona de estudo com características mais idênticas às da ZMC na qual se pretende prever o consumo doméstico no período de consumo mínimo. No entanto, é importante alargar o estudo a um maior número de zonas de análise de forma a validar esta opção.

Construção do modelo

A partir dos resultados da simulação do consumo (sem perdas) no período de consumo mínimo (*cf.* descrição em 7.5.3), para p conjuntos de clientes do mesmo tipo, verificou-se, se para cada área de estudo, podia ser descrita por um modelo de regressão linear (Figura 7.29). Para uma leitura visual mais fácil do gráfico representa-se, para cada número de clientes, apenas o valor médio do consumo mínimo. No entanto, o ajustamento foi feito considerando todos os valores de consumo mínimo simulados.

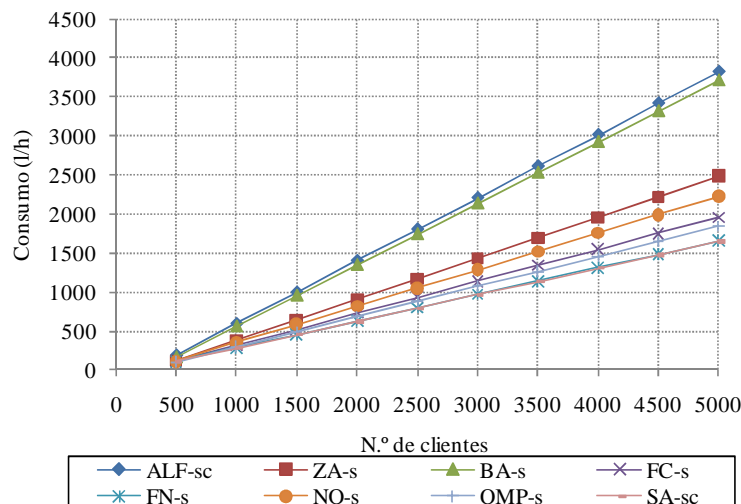


Figura 7.29 – Leis de regressão linear para cada zona de estudo

Os resultados da regressão linear são apresentados no Quadro 7.14. Relativamente à qualidade do ajustamento, os valores do coeficiente de determinação ajustado³³, r_a^2 , ($\geq 0,95$) indicam que o ajustamento de cada recta é muito bom e que estas permitem explicar a quase totalidade da variação do consumo mínimo simulado. Os parâmetros de regressão linear para cada zona de estudo são também apresentados no Quadro 7.14.

Quadro 7.14 – Estimativas dos parâmetros da regressão linear

<i>Zona de estudo</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Estimativa</i>	r_a^2
ALF-sc	β_0	-215,20	0,97
	β_1	0,81	
ZA-s	β_0	-144,60	0,96
	β_1	0,53	
BA-s	β_0	-235,68	0,97
	β_1	0,79	
FC-s	β_0	-93,00	0,96
	β_1	0,41	
FN-s	β_0	-56,41	0,95
	β_1	0,34	
NO-s	β_0	-119,37	0,96
	β_1	0,47	
QMP-s	β_0	-89,74	0,96
	β_1	0,39	
SA-sc	β_0	-61,87	0,95
	β_1	0,34	

No que se refere às perdas domiciliárias e de acordo com os resultados obtidos em 7.4.3, considerou-se um valor fixo de 0,4 l/(cliente.h) e independente da zona de estudo.

O consumo doméstico (incluindo as perdas) estimado neste trabalho, em cada ZMC onde se inserem as zonas de estudo, foi comparado com as estimativas de consumo doméstico fornecidas por estudos anteriores (UK Water Industry, 1994b; Warren, 2002) no Quadro 7.15. Verifica-se que os valores obtidos neste trabalho são inferiores aos valores estimados a partir da bibliografia.

³³ Quanto mais próximo o coeficiente de determinação ajustado estiver de 1, melhor é a qualidade do ajustamento.

Quadro 7.15 – Estimativa de consumo doméstico nocturno em ZMC

ZMC	Nº clientes	Consumo mínimo Total ⁽¹⁾	Consumo mínimo doméstico ⁽²⁾	Perdas domiciliárias ⁽³⁾	Consumo doméstico ⁽⁴⁾	Consumo doméstico ⁽⁵⁾	Consumo doméstico ⁽⁶⁾
(-)	(-)	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h
ALF	4918	11000	3751,17	1967,20	5718,37	8360,6	8606,5
ZA	4278	7300	2103,49	1711,20	3814,69	7272,6	6417
BA	1925	5040	1283,64	770,00	2053,64	3272,5	3368,75
FC	2175	7540	799,15	870,00	1669,15	3697,5	3806,25
FN	3172	3680	1029,19	1268,80	2297,99	5392,4	4758
NO	847	12590	277,45	338,80	616,25	1439,9	1948,1
QMP	3505	8710	1266,10	1402,00	2668,10	5958,5	6133,75
SA	4930	8690	1622,71	1972,00	3594,71	8381	8627,5

Nota:

- (1) Consumo mínimo total medido na ZMC;
- (2) Consumo mínimo médio (sem perdas) estimado de acordo com as leis de regressão obtidas;
- (3) Neste trabalho considerou-se um valor 0,4 l/(cliente.h) para as perdas domiciliárias;
- (4) Soma do consumo mínimo médio com as perdas domiciliárias;
- (5) Consumo médio doméstico de acordo com UK Water Industry (1994b) que considera o valor de 1,7 l/(cliente.h) (sem perdas);
- (6) Consumo médio doméstico de acordo com Warren (2002): 173-259 l/(cliente.dia) - 1,5 l/(cliente.h); 259-346 l/(cliente.dia) - 1,75 l/(cliente.h); 346-432 l/(cliente.dia) - 2,3 l/(cliente.h).

No presente trabalho obtiveram-se regras expeditas para estimativa do consumo mínimo médio doméstico em ZMC, enquanto as abordagens existentes fornecem estimativas para o consumo médio num determinado período de consumo nocturno que é fixo (UK Water Industry, 1994b; Warren, 2002). A estimativa do consumo mínimo médio foi comparada com o consumo mínimo medido em cada ZMC, o qual inclui, para além de consumo doméstico, o consumo não doméstico, o consumo devido a usos excepcionais e as perdas (reais e aparentes). Por exemplo, em ZMC predominantemente domésticas, como BA e ZA (*i.e.*, o consumo doméstico facturado > 80% do consumo total facturado), o consumo doméstico nocturno estimado de acordo com este trabalho representa 41% e 52% do consumo mínimo total medido, respectivamente (Quadro 7.15).

No caso da ZMC NO, o peso do consumo doméstico nocturno no consumo mínimo total na ZMC é muito reduzido (5%). Dois factores podem contribuir para este resultado: a existência de grandes consumidores com consumo significativo não telemedido durante o período nocturno; e o consumo devido a perdas domiciliárias foi subestimado neste trabalho (0,4 l/cliente.h), pois nesta ZMC predominam vivendas onde o comprimento de conduta do ramal de ligação ao prédio pode ser significativo e a perdas físicas neste componente serem mais elevadas do que nas restantes zonas. Nesta zona se tivesse sido considerado o valor de perdas de 3,7 l/(cliente.h), obtido de acordo com a campanha

realizada (cf. descrição em 7.4.3), o peso do consumo doméstico no consumo mínimo total na ZMC NO teria aumentando para 27%. Deste modo, é importante alargar este tipo de estudo a mais zonas com estas características de forma a poder estimar melhor as perdas domiciliárias.

O peso significativo desta componente no consumo mínimo total medido numa ZMC demonstra a importância de abordagens, como a que se propõe neste caso de estudo, para obtenção de estimativas mais fiáveis do consumo doméstico e assim reduzir a incerteza associada na análise das perdas físicas numa rede de distribuição de água.

7.6.3 Exploração do modelo de previsão

Um exemplo de exploração do modelo para previsão do consumo doméstico noutras ZMC é apresentado no Quadro 7.16. Adoptou-se o consumo facturado em cada escalão como critério para identificar a zona de estudo com características mais idênticas às da ZMC na qual se pretende prever o consumo doméstico no período de consumo mínimo.

Quadro 7.16 – Exploração do modelo de previsão para estimativa do consumo doméstico numa nova ZMC

Dados da ZMC (dados de entrada)						
Nome da ZMC	BB					
N.º de clientes domésticos	1566					
Peso do consumo no 1º escalão	0,7					
Peso do consumo no 2º escalão	0,3					
Peso do consumo no 3º e 4º escalão	0,1					
Consumo mínimo medido (l/h)	3000					
Dados das zonas de estudo						
Perdas (l/(cliente.h))	0,4					
Área de estudo	N. de clientes domésticos	1.º escalão (%)	2.º escalão (%)	3.º e 4.º escalões (%)	Consumo mínimo médio	
					β_0	β_1
ALF-sc	21	0,60	0,40	0,00	-215,20	0,81
ZA-s	31	0,68	0,32	0,00	-144,60	0,53
BA-s	28	0,52	0,41	0,06	-235,68	0,79
FC-s	23	0,42	0,34	0,23	-93,00	0,41
FN-s	32	0,83	0,17	0,00	-56,41	0,34
NO-s	28	0,24	0,34	0,43	-119,37	0,47
QMP-s	33	0,59	0,38	0,03	-89,74	0,39
SA-sc	20	0,52	0,47	0,01	-61,87	0,34
Resultados						
Consumo mínimo doméstico (l/h)	1311,8					
Peso do consumo mínimo na ZMC	44%					

Como dados de entrada, deve conhecer-se o número de clientes domésticos, o peso do consumo em cada escalão e o consumo mínimo medido na ZMC. No exemplo do Quadro 7.16 são conhecidos os dados da ZMC BB.

No que se refere aos dados das zonas de estudo, é conhecido o peso do consumo em cada escalão e os parâmetros da regressão linear, β_0 e β_1 obtidos em 7.6. A zona de estudo utilizada para previsão do consumo do consumo mínimo médio na ZMC BB foi seleccionada minimizando a soma do quadrado das diferenças entre os pesos do consumo em cada escalão para a ZMC BB e para cada zona de estudo. Concluiu-se que a zona de estudo ZA-s era a que minimizava a função descrita.

Uma vez seleccionada a zona (ZA-s), estimou-se o consumo mínimo médio de acordo com a respectiva equação de regressão a adicionaram-se as perdas domiciliárias que se admitiram ser constantes e independentes das zonas de estudo (*cf.* descrição em 7.4.3). Na ZMC BB, o consumo mínimo doméstico representa 44% do consumo mínimo total medido.

7.7 Síntese e conclusões

Neste capítulo aplicou-se a metodologia de análise do consumo de água na sua globalidade para a construção de modelos de previsão do consumo mínimo doméstico, no período nocturno, em ZMC, a partir de dados de consumo telemedido ao nível do arruamento ou ramal.

Esta aplicação utilizou para análise o consumo decomposto em eventos rectangulares, que caracterizam os usos domiciliários, em termos do instante de chegada, duração e intensidade. A análise incidiu sobre o período de consumo mínimo nocturno, pois o objectivo era a caracterização do consumo mínimo doméstico. A partir dos parâmetros das distribuições que descreviam a chegada, a duração e a intensidade dos eventos de consumo, simulou-se o consumo para um maior número de clientes do mesmo tipo. Com esta abordagem foi possível obter leis que permitem prever o valor (médio) do consumo mínimo doméstico em ZMC. Desenvolveu-se neste caso de estudo uma ferramenta computacional para separação do consumo em eventos rectangulares, que tem por base dados de consumo com um passo de tempo de 1 min. e a hipótese que durante o período de consumo mínimo não ocorre a sobreposição de mais de dois eventos. Uma ferramenta computacional implementada no *software R* foi também desenvolvida para simular o

consumo mínimo (sem perdas) em zonas com maior número de clientes do mesmo tipo (entre 300 e 5000).

No que se refere aos diferentes módulos da metodologia apresentam-se seguidamente as principais conclusões:

Planeamento e implementação da monitorização do consumo de água

- as zonas de análise ao nível do arruamento ou ramal são adequadas para análise do consumo doméstico no período nocturno, pois o número de clientes é reduzido (<30 clientes), o que permite a identificação e dedução das perdas de água e a separação do consumo devido a usos domiciliários em eventos rectangulares de consumo; constitui também uma solução mais económica do que a telemedição ao nível do cliente individual para este objectivo de análise;
- o uso de contadores conjugados revelou-se adequado aos objectivos do estudo, dado que permite medir com reduzida incerteza os consumos mínimos que ocorrem, minimizar a perda de carga e o desgaste mecânico associado a consumos máximos; no entanto o funcionamento válvula do contador, durante as fases de transição para abertura ou fecho completo, pode originar um escoamento intermitente (*i.e.*, escoamento no sentido directo e inverso) cujos respectivos impulsos gerados devem ser apropriadamente lidos pelos emissores de impulsos, de forma a não dar origem a consumo fictício;
- o uso de emissor de impulsos do tipo óptico em estudos deste tipo é recomendável face a emissores de impulsos do tipo *Reed*, pois pretende-se um passo de tempo entre registos reduzido (≤ 1 min.), uma elevada resolução (0,1 l/impulso) e a leitura de consumo em sentido directo e inverso;
- dado o elevado volume de dados gerado recomenda-se que os equipamentos (*e.g.*, *dataloggers*) sejam alimentados pela corrente eléctrica, caso contrário devem fazer-se testes prévios para avaliar a duração e a periodicidade de carregamento de baterias;

Processamento de dados de consumo

- o valor perdas domiciliárias é constante e igual 0,4 l/(cliente.h) para zonas do mesmo tipo daquelas que foram consideradas neste estudo;

- no período de consumo mínimo nocturno, os usos em torneiras e autoclismos são predominantes; a probabilidade de sobreposição de mais de dois eventos de consumo é muito reduzida e há dependência entre a duração e a intensidade dos eventos, por oposição ao consumo durante do dia analisado em estudos anteriores.

Produção de informação de caracterização

- o período de consumo mínimo encontra-se compreendido no período entre 2:00-5:00, é variável de zona para zona e apresenta, em geral, uma duração de 2 horas; o procedimento adoptado para identificação do período de consumo mínimo pode ser utilizado noutras zonas de estudo;
- as distribuições teóricas que melhor descrevem a chegada, a duração e intensidade dos eventos no período de consumo mínimo são a distribuição de *Poisson* modificada, Pareto e mistura de normais (aplicada ao logaritmo das intensidades), respectivamente; estes resultados diferem dos que foram obtidos em estudos anteriores que tinham por base dados do consumo ao nível individual;

Classificação e previsão

- os resultados relativos às variáveis que explicam o consumo durante o período de consumo mínimo nocturno não foram conclusivos, dado o reduzido número de zonas em análise (apenas 8 zonas);
- a variação do consumo mínimo nocturno com o número de clientes, para cada zona, é adequadamente descrita por um modelo de regressão linear, tendo-se obtidos oito leis que a permitem estimar de forma expedita;
- a estimativa do consumo doméstico numa ZMC resulta da soma do consumo mínimo nocturno (obtido a partir de uma equação de regressão ou da combinação de várias equações de regressão) com o consumo estimado devido a perdas domiciliárias que se considerou constante e igual a $0,4 \text{ l}/(\text{cliente.h})$;
- os resultados obtidos subestimam o consumo doméstico face às abordagens existentes que têm por base o consumo médio (e não o consumo mínimo médio) num período de consumo nocturno pré-fixado e constante para as várias zonas de estudo.

As leis obtidas podem ser utilizadas para estimar o consumo doméstico nocturno em ZMC com características semelhantes, nomeadamente no caso de serem compostas por prédios com vários pisos. Para vivendas com um comprimento significativo do ramal de ligação ao prédio (conduta enterrada) é necessário dispor de dados em mais casos de estudo.

Recomenda-se que as variáveis para a selecção do tipo de recta de regressão sejam os consumos domésticos facturados em cada escalão, pois podem ser facilmente calculadas por uma entidade gestora.

Uma vez obtido o consumo doméstico numa ZMC é possível estimar com maior fiabilidade as perdas reais que ocorrem, a partir da análise de caudais nocturnos.

As leis obtidas são de aplicação limitada, mesmo no conjunto total das ZMC da entidade gestora envolvida no caso de estudo, pelo que se recomenda que o estudo seja alargado a um maior número de zonas de estudo.

8 ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO NO CONSUMO E NAS PERDAS

8.1 Nota introdutória

Uma das mais eficazes técnicas de controlo de perdas de água em sistemas de distribuição é a redução das pressões de serviço para níveis que, não afectando o consumo ou colocando em causa o conforto de utilização, possam minimizar o volume de água efectivamente perdido através das roturas, juntas mal vedadas e fissuras inevitavelmente presentes em toda a rede (Alegre *et al.*, 2005; Thornton e Lambert, 2005; Lopes, 2008; Trow, 2010). No entanto, a existência de limitações na disponibilidade e qualidade de dados em zonas de rede (*i.e.*, ZMC, pequenas áreas de rede), que permitam avaliar o verdadeiro efeito de estratégias de gestão de pressões nas perdas de água e no consumo, assim como alguma falta de experiência na utilização de soluções de gestão de pressão, torna a sua utilização pouco efectiva (Trow, 2010). Este tipo de estudos requer a telemedição de caudais e pressões nos pontos de fronteira da zona em estudo, bem como de consumos domiciliários, pelo que podem ser bastante exigentes do ponto de vista dos dados necessários. A disponibilização no mercado, a custos competitivos comparados com as soluções tradicionais, de tecnologias de telemetria para leitura automática e remota de contadores domiciliários veio viabilizar a sua realização – pelo menos, e por enquanto, à escala piloto (*e.g.*, pequenas áreas de rede). No entanto, dado o grande volume de informação gerado, é necessário estabelecer-se uma metodologia, inexistente para estudos a este nível, que permita o processamento automatizado e a exploração dos dados recolhidos.

Neste capítulo é descrita a aplicação da metodologia proposta na avaliação do efeito da variação de pressão nas perdas de água e no consumo de água autorizado em sistemas de distribuição de água, tirando partido de sistemas de telemetria domiciliária existentes. Para o cumprimento deste objectivo são utilizados os três módulos iniciais da metodologia, para identificar quais a categoria de consumo ou clientes cujo consumo é influenciado pela pressão – nos casos em que se verifique essa influência, é modelado o efeito da pressão no consumo.

O modo como a metodologia proposta foi aplicada neste caso de estudo é descrito em 8.2. Os resultados obtidos nos módulos de planeamento e implementação da monitorização, de

processamento de dados e de produção de informação de caracterização são apresentados em 8.3 - 8.5. Sintetizam-se em 8.5.2.5 os resultados do efeito da variação de pressão nas perdas e no consumo. Apresenta-se uma síntese do capítulo, assim como as principais conclusões em 8.6.

8.2 Aplicação da metodologia proposta

Para avaliação do efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais de água, utilizaram-se os módulos 1-3 da metodologia proposta (Figura 8.1).

No **Módulo 1**, dado que as zonas de análise já tinham sido estabelecidas e os medidores e contadores de caudal (assim como o sistema de telemetria) já tinham sido instalados, as etapas de planeamento (na qual se inclui a selecção das zonas de análise) e de dimensionamento e instalação dos equipamentos de monitorização foram aplicadas para fazer uma avaliação crítica das suas características face aos objectivos do estudo.

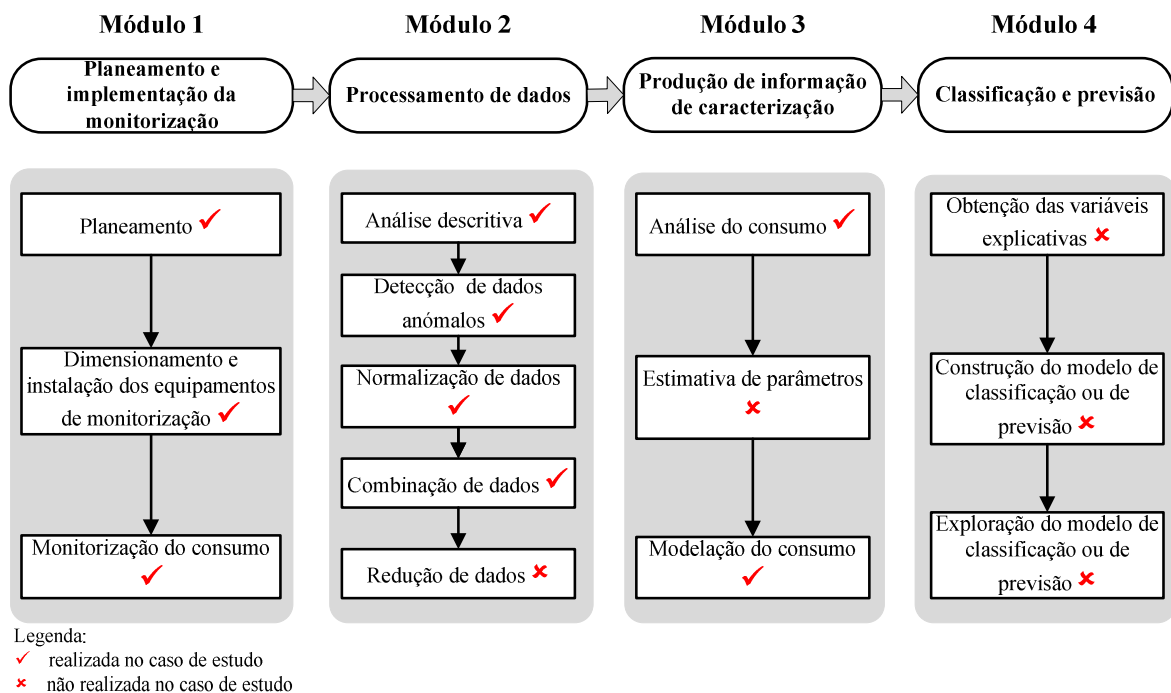


Figura 8.1 – Aplicação da metodologia para análise do efeito da variação de pressão no consumo e nas perdas de água.

Na última etapa do Módulo 1, dedicada à monitorização de consumo de água, foram planeadas duas campanhas, com duração aproximada de 4 meses cada, que decorreram ao longo de 2009: i) a Campanha A, entre Janeiro e Abril; e ii) a Campanha B, entre Junho e Outubro. Estas duas campanhas permitiram comparar os resultados para dois cenários de consumo distintos: i) Inverno - em que predominam usos de água no interior das

habitações, que são em geral menos sensíveis à pressão (Lambert, 2010) e; ii) Verão – em que usos exteriores, como as regas, as lavagens e os enchimentos de piscinas, podem alterar significativamente os hábitos de consumo e podem ser mais sensíveis à pressão do que os usos interiores (Lambert, 2010).

Em cada campanha, era imposto um conjunto de cenários operacionais de pressão, que consistiam no aumento sucessivo da pressão por patamares, até as válvulas reguladoras de pressão (VRP)³⁴ ficarem completamente abertas, seguido de um conjunto de cenários em que a pressão diminuía sucessivamente também por patamares até que a regulação de pressão nas VRP fosse igual à que vigorava no início da campanha. Neste estudo, a duração de cada cenário foi condicionada pela necessidade de analisar a componente de consumo autorizado, para além da componente de perdas físicas. Cada cenário deveria ter uma duração tal (*e.g.*, superior a uma semana) que permitisse identificar eventuais alterações de consumo humano decorrentes da variação de pressão. Se o objectivo do estudo tivesse sido apenas a avaliação do efeito da pressão nas perdas físicas, a duração de cada cenário podia ter sido menor (*e.g.*, da ordem de 1-3 dias). Assim, a duração dos cenários foi estabelecida de forma a permitir obter um número suficiente de dias para caracterizar o consumo autorizado, face a um dado cenário de pressão, sem aumentar significativamente o tempo total de cada campanha. Por outro lado, cenários de longa duração (*e.g.*, um mês) poderiam levar a que os resultados fossem influenciados por efeitos de sazonalidade, dificultando a avaliação do efeito da pressão no consumo. A variação de pressão entre cenários foi estabelecida em função da máxima variação de pressão em cada zona, sem comprometer o abastecimento, e da sensibilidade para regulação de pressão das VRP instaladas.

Durante as campanhas, monitorizou-se o consumo total e a pressão nos pontos de entrada e de saída de cada zona de estudo, através do sistema de telegestão. Os dados de consumo autorizado (*i.e.*, volume acumulado) de todos os contadores domiciliários das três zonas de estudo foram recolhidos através do sistema de telemetria instalado, com um passo de tempo irregular entre registos (em geral não inferior a 15 min.).

Foi também criada na entidade gestora uma equipa de contacto que ficou responsável pela operação da rede de acordo com os cenários estabelecidos, pelo fornecimento de

³⁴ As VRP instaladas regulam a pressão a jusante de acordo com um valor pré-definido, mantendo-a constante independentemente das flutuações de pressão a montante.

informação sobre alterações na rede (e.g., roturas, criação de novos clientes), pelo fornecimento de dados e pela comunicação com as empresas fornecedoras dos serviços de telegestão e de telemedição, em caso de necessidade de reconfiguração dos equipamentos.

No final da Campanha A fizeram-se testes de redução da pressão em ambas as VRP para verificar o valor mínimo admissível de pressão a jusante das válvulas, sem comprometer o abastecimento dos clientes, e para identificar os clientes mais críticos em termos de pressão mínima. A campanha que compreendeu estes testes decorreu entre o final da Campanha A e o dia 21-05-2009 e foi designada por Campanha A1.

No **Módulo 2**, a etapa de análise descritiva foi antecedida pela recolha de dados de consumo total e de pressão, a partir do sistema de telegestão, e de dados de consumo autorizado, a partir do sistema de telemetria³⁵ (ficheiros com formato CSV). Os dados de consumo total e de pressão no ponto de medição MC10 começaram a ser recolhidos apenas a partir de 21-02-2009 (devido a problemas detectados no medidor de caudal que levou à sua substituição). Foi ainda feito um pré-processamento dos dados de telegestão que envolveu o preenchimento das séries de consumo total e de pressão com dados provenientes dos *dataloggers* instalados em cada ponto de medição³⁶. Foi também feito um pré-processamento de dados de telemetria para conversão, em cada instante, das leituras de consumo acumuladas para leituras de consumo médio para todos os contadores domiciliários telemedidos. Na análise descritiva foi feita a validação dos dados de consumo e de pressão provenientes do sistema de telemetria e de telegestão.

A etapa de detecção e eliminação de dados anómalos de consumo foi feita utilizando as técnicas preliminares descritas em 4.3.2.2 e a informação sobre intervenções na rede fornecida pela entidade gestora.

³⁵ Os dados de consumo provenientes do sistema de telemetria domiciliária foram obtidos a partir do sítio <https://global-net.eu/>, mediante login e *password* conhecidos³⁵, em ficheiros com formato CSV para cada contador de domiciliário.

³⁶ Na recolha de dados a partir do sistema de telegestão, foram detectados dois tipos de problemas sistemáticos em todos os pontos de medição: i) falhas nos registos e ii) patamares de consumo constante, ambos com duração em geral superior a 16 horas. Estes problemas foram devidos a falhas de comunicação entre os pontos de medição e a unidade central da telegestão. Uma vez que em cada ponto de medição existia um *datalogger* com capacidade de armazenamento de dados para 1 mês, os dados de consumo total e de pressão em falta foram completados com dados provenientes da leitura da unidade de memória local em cada ponto de medição.

Neste caso de estudo, a etapa de normalização foi realizada previamente à etapa de combinação de dados, uma vez que os dados provenientes dos sistemas de telegestão e de telemetria possuíam características diferentes em termos do passo de tempo entre registos³⁷. Assim, procedeu-se à normalização na escala temporal das séries de consumo total, de consumo autorizado e de pressão para um passo de tempo comum ($\Delta t = 15$ min.). Utilizou-se a aplicação computacional PROFILER, descrita em 5.3, para a normalização na escala temporal.

Na etapa de combinação de dados obtiveram-se as séries de consumo total e de consumo total autorizado doméstico e não doméstico, para cada zona de estudo, em passos de tempo de 15 min. Os registos foram sincronizados, através do acerto entre horário de Verão e de Inverno, e estabeleceram-se os períodos comuns para combinação de dados. Na Zona 1 existiam 6 contadores totalizadores, instalados na entrada de prédios. Nestes casos, deduziu-se o consumo total telemedido nos vários contadores de cada prédio ao consumo medido no contador totalizador, de forma a evitar a sua contabilização em duplicado. Em cada campanha, identificaram-se os clientes com maior peso no consumo total de cada zona (grandes consumidores) e a sua análise foi feita separadamente.

No **Módulo 3**, na etapa de análise do consumo de água foram identificados os cenários de consumo diários e o período de consumo mínimo nocturno. A avaliação do efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais de água teve por base dias (ou períodos do dia) com comportamento semelhante, de forma a minimizar a variabilidade do consumo. A identificação dos cenários de consumo foi feita nas duas campanhas, para o consumo total, o consumo autorizado doméstico, o consumo autorizado não doméstico (sem grandes consumidores) e o consumo de grandes consumidores. Foi feita também uma caracterização do consumo para o cenário inicial de pressão em cada campanha, que envolveu o cálculo de um conjunto de variáveis de consumo relativas ao consumo autorizado e às perdas de água.

Na etapa de modelação do consumo de água, foi avaliado se a variação de pressão influenciava a componente de perdas de água (em particular as perdas físicas) e o consumo autorizado. Caso se verificasse que havia influência, a relação entre a pressão e

³⁷ No caso dos dados de telegestão, os dados de consumo total e de pressão (valor médio) foram fornecidos com um intervalo de tempo constante (5 min.), enquanto no caso dos dados de consumo autorizado de cliente individual (valor médio) possuíam um intervalo de tempo irregular entre leituras.

consumo era modelada de acordo com a seguinte lei (Thornton e Lambert, 2005; Lambert, 2010):

$$C = aP^N \quad (8.1)$$

em que C é consumo (m^3/s), a é o coeficiente de fuga (m^{3-N}/s), N é o expoente da pressão (que se designa neste trabalho por N_1 no caso de se pretender modelar a relação entre a pressão e o consumo devido a fugas e por N_2 no caso de se pretender modelar a relação entre pressão e o consumo autorizado) e P é a pressão, expressa em m c.a.

Como alternativa, a equação (8.1) pode ser escrita de acordo com a equação seguinte para estimar a relação entre a pressão e o consumo:

$$\frac{C_1}{C_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^N \quad (8.2)$$

em que C_0 e P_0 são, respectivamente, o consumo (m^3/s) e a pressão antes da variação de pressão (m c.a.), C_1 e P_1 são, respectivamente, o consumo (m^3/s) e a pressão após a variação de pressão (m c.a.). Com base na equação (8.2) eliminou-se o coeficiente a da equação (8.1), que depende das características físicas de cada rede e não é generalizável. Deste modo, o presente trabalho foca sobre o estudo dos expoentes N_1 e N_2 para avaliar o efeito da pressão no consumo (devido a fugas ou consumo autorizado).

Como variáveis características do consumo diário, adoptou-se o consumo mínimo, o consumo médio no período de consumo mínimo nocturno (PCMN), o consumo médio e o consumo máximo. O consumo mínimo e o consumo médio no PCMN permitem caracterizar as perdas físicas que existam, assim como os usos nocturnos. Para além do consumo médio diário, analisou-se também o consumo máximo, pois muitas vezes (em particular no Verão) podem ser devidos a usos exteriores, como a rega de espaços verdes, que geram consumos muito elevados e que podem ser sensíveis à pressão. Para avaliar o efeito da pressão no consumo, calcularam-se também as seguintes variáveis de pressão: pressão no instante de consumo mínimo, pressão média no PCMN, pressão média diária e pressão no instante de consumo máximo.

Para avaliar se o consumo entre cenários de pressão era estatisticamente diferente utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis³⁸ (Guimarães e Sarsfield Cabral, 1999). A análise foi feita para o cenário diário de consumo mais típico, de forma a minimizar a variabilidade do consumo ao longo das campanhas. A estimativa dos parâmetros a e N da equação (8.1) foi feita pelo método dos mínimos quadrados através do *software* STATISTICA®.

Ainda nesta etapa, caracterizou-se o comportamento diário do consumo total, do consumo autorizado doméstico, do consumo autorizado não doméstico (sem grandes consumidores) dos grandes consumidores através do cálculo de padrões de consumo.

8.3 Planeamento e implementação da monitorização do consumo

8.3.1 Planeamento da monitorização

8.3.1.1 Objectivos e dimensões de análise

Neste caso de estudo pretende avaliar-se o efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais. As componentes em análise neste estudo eram o consumo autorizado (*i.e.*, consumo doméstico, consumo não doméstico sem grandes, consumo de grandes consumidores) e a componente de perdas reais. Em termos de dimensão geográfica, a análise incidiu sobre a análise do consumo autorizado em pequenas zonas de rede, agregado em termos de consumo doméstico e de consumo não doméstico sem grandes consumidores, e individual de cada grande consumidor. No que se refere à componente de perdas reais, a análise foi feita ao nível de pequenas áreas de rede. Relativamente à dimensão temporal, o histórico de dados de consumo devia ter uma dimensão compatível com a duração de cada cenário de pressão e com o número total de cenários previstos em cada campanha. O passo de tempo máximo entre registos não devia exceder 15 min., de forma a permitir uma análise pormenorizada do consumo ao longo do dia (nomeadamente dos valores mínimos e máximos).

³⁸ Dado que o número de observações de consumo por cenário de pressão era reduzido (<30) e não foi possível respeitar os pressupostos da análise de variância (teste paramétrico), como a normalidade de cada conjunto de observações, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para avaliar a hipótese nula segundo a qual a mediana do consumo é igual para os vários cenários de pressão. O teste foi realizado para um nível de significância de 5% (*i.e.*, a hipótese nula foi rejeitada para valor- $p < 0,05$).

8.3.1.2 Zonas de análise

As zonas de análise inserem-se na rede de distribuição de água à cidade de Barcelos, que é explorada pela Águas de Barcelos, S.A.³⁹. A localização das zonas de estudo e dos medidores de caudal instalados na rede de distribuição é apresentada na Figura 8.2. Nas três zonas de estudo, todos os contadores domiciliários foram ligados a um sistema de telemetria, correspondendo no total a 394 clientes com consumo telemedido. No início do 3º trimestre de 2008 ficou completa a instalação do sistema de telemetria domiciliária para as três zonas de estudo. Os medidores de caudal, os sensores de pressão e as válvulas reguladoras de pressão encontravam-se ligados ao sistema de telegestão, que iniciou o seu funcionamento no início de 2008.

A Zona 1 era a maior zona de entre os três casos de estudo, com 198 clientes e alojamentos em prédios de 4-5 pisos. Os consumidores não domésticos nesta zona correspondiam sobretudo a restaurantes, regas e comércio, para além de uma piscina, uma escola, e uma instituição social. A Zona 2, essencialmente composta por vivendas, isoladas ou em bloco, englobava 147 clientes (142 clientes domésticos e 5 clientes não domésticos) e integrava também um bairro social consolidado (Figura 8.3a). Para além de uma instituição social e uma oficina, os restantes clientes não domésticos pertenciam à categoria de comércio. A Zona 3 era a mais pequena das 3 zonas estudadas com 49 clientes. Os clientes não domésticos correspondiam sobretudo a regas de espaços verdes e jardins da Câmara Municipal, para além de uma instituição social. Nesta zona predominavam vivendas com espaços ajardinados (Figura 8.3b).

³⁹ Empresa participada da AGS, S.A.

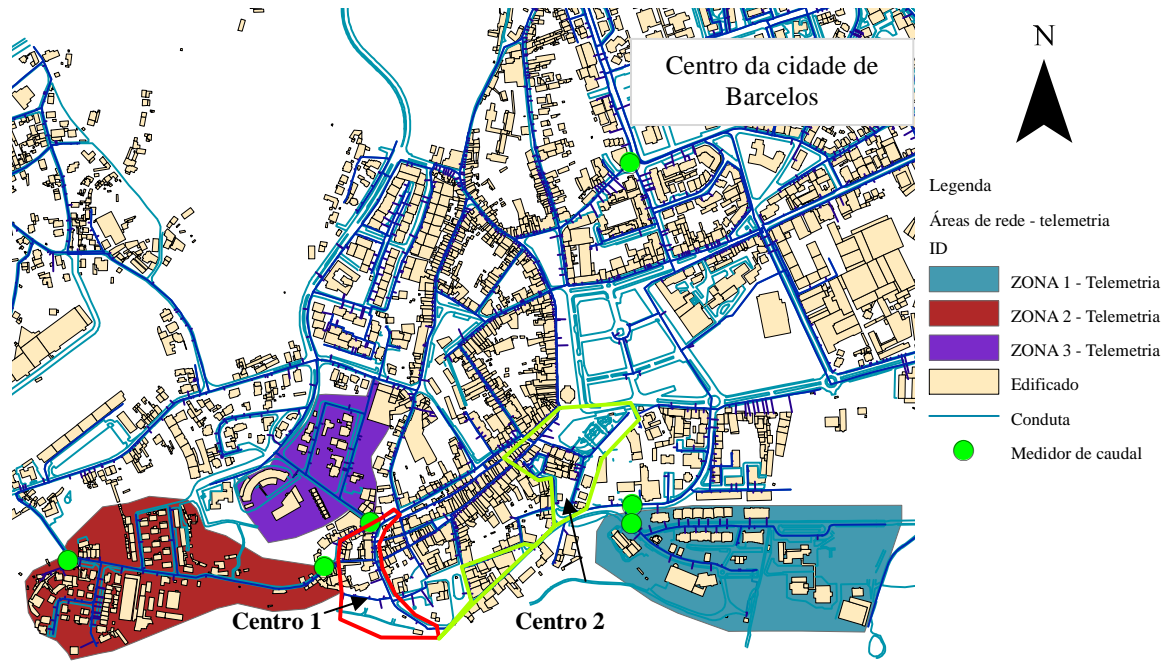


Figura 8.2 – Localização das zonas de estudo e dos pontos de medição



Figura 8.3 – Envolvente urbana das zonas de estudo com telemetria domiciliária: a) Zona 2; b) Zona 3

A localização dos equipamentos de medição de caudal e de pressão, assim como das válvulas reguladoras de pressão (VRP) é apresentada na Figura 8.4. O ponto de medição MC8 media o consumo total na Zona 1 e foi o único ponto onde não foi instalado um sensor de pressão, pois encontrava-se muito próximo de um ponto com medição de pressão – MC7. O ponto MC7 media o consumo total na Zona 1 e em parte do centro da cidade – Zona Centro 2, onde os consumos de cada cliente não foram telemedidos. Em MC7 encontrava-se também instalada uma VRP, que regulava a pressão na Zona 1 e na Zona Centro 2, com sensores de pressão a montante e jusante.

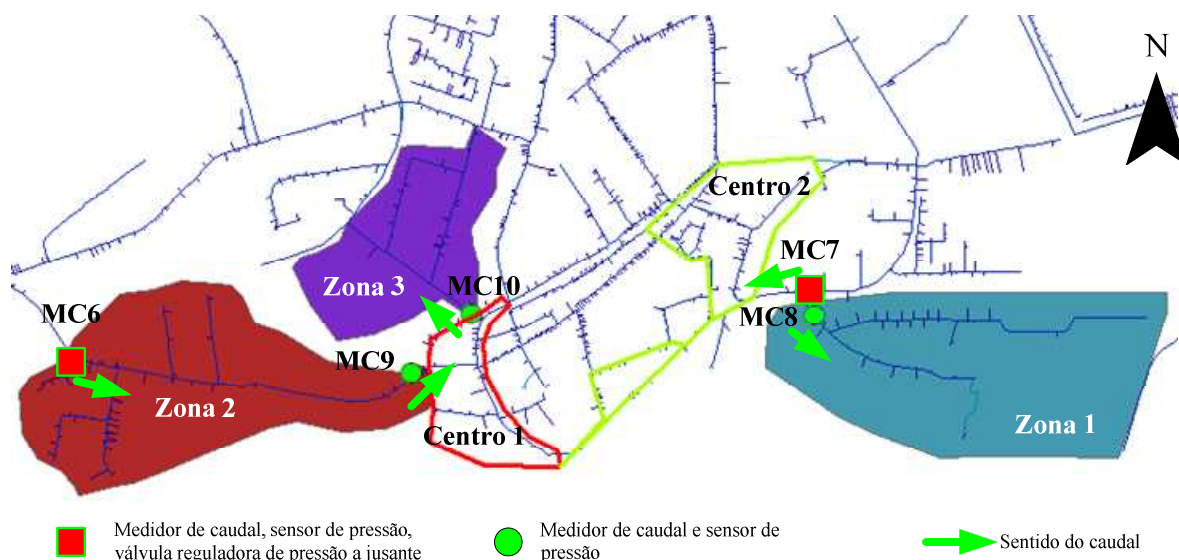


Figura 8.4 – Localização dos equipamentos de medição nas zonas de estudo

O medidor de caudal electromagnético instalado em MC6 media o consumo total na Zona 2, Centro 1 e Zona 3, e a VRP instalada neste ponto regulava a pressão nestas três zonas. Na zona Centro 1 os consumos não foram telemedidos, à semelhança do que se passa na zona Centro 2. Deste modo, o consumo total na Zona 2 foi obtido por diferença entre os consumos registados nos pontos MC6 e MC9. O consumo total e a pressão na Zona 3 foram medidos a partir de um medidor de caudal instalado em MC10.

A distribuição de cotas topográficas e do número de pisos por zona de estudo é apresentado no Quadro 8.1. Verifica-se que, em todas as zonas, o desnível topográfico é inferior a 15 m, o que garante condições de abastecimento relativamente semelhantes nos vários pontos de consumo, condição importante para avaliação do efeito da variação de pressão no conjunto dos clientes domésticos e não domésticos de cada zona.

Quadro 8.1 – Cotas topográficas e número de pisos por zona de estudo.

Zona	Medidor	Cota do ponto de medição (m)	Cota mínima (m)	Cota máxima (m)	Cota média (m)	N.º médio de pisos (-)
Zona 1	MC8	27,0	14,0	23,0	18,5	5
Zona 2	MC6-MC9	17,5 (MC6)	9,6	21,5	15,6	2
Zona 3	MC10	28,0	26,0	32,0	29,0	3
Centro 1 (sem telemedição)	MC9-MC10	23,0 (MC9)	18,0	28,0	23,0	2
Centro 2 (sem telemedição)	MC7-MC8	27,0	23,0	37,0	29,5	3

As características da rede de distribuição de água e o número de clientes por categoria são apresentados no Quadro 8.2. São zonas de pequena dimensão, cuja rede de condutas não excede ~1000 m, predominantemente em PVC. A densidade de ramais varia entre 29,7 ramais/km e 46,3 ramais/km para a Zona 3 e Zona 1 respectivamente, valores típicos em sistemas de distribuição de água (> 20 ramais/km)(Alegre *et al.*, 2004). Considerou-se neste estudo um comprimento médio de ramal de 10 m. Para as Zonas Centro 1 e Centro 2 (as zonas não telemedidas), o número de clientes era de 25 e 54, respectivamente, e estimou-se que o número de ramais era de 42 e 90, respectivamente.

Quadro 8.2 – Características da rede de distribuição de água e número de clientes para cada zona.

<i>Zona</i>	<i>Comprimento total (m)</i>	<i>Comprimento fibrocimento (%)</i>	<i>Comprimento PVC (%)</i>	<i>N.º ramais (-)</i>	<i>N.º clientes doméstico (-)</i>	<i>N.º clientes não doméstico (-)</i>
Zona 1	778	40	60	36	184	14
Zona 2	1090	30	70	42	142	5
Zona 3	674	10	90	20	44	5

De acordo com informação fornecida pela entidade gestora, a rede encontrava-se em bom estado (*i.e.*, com reduzidas perdas físicas), excepto na Zona Centro 2 onde se estimava que as perdas reais fossem mais elevadas. Os edifícios não possuíam reservatórios domiciliários e as redes revelavam reduzida perda de carga, com excepção da Zona 1, onde os elevados consumos de alguns grandes consumidores, durante o Verão, podiam condicionar significativamente a pressão, reduzindo a capacidade hidráulica. Do ponto de vista operacional eram zonas estabilizadas, o que garantia um funcionamento estável da rede ao longo das campanhas.

Considera-se assim que as zonas possuem características adequadas à realização do estudo, em termos das características dos clientes, da topografia e da operação da rede. No que se refere às características da rede, a eventual pequena expressão da componente de perdas na rede pode dificultar a avaliação do efeito da variação de pressão nesta componente consumo. Adicionalmente, a reduzida dimensão de cada zona exige que os medidores de caudal instalados sejam capazes de medir com elevada exactidão os consumos mínimos reduzidos e que o sistema de telemetria se encontre adequadamente parametrizado para poder medir com suficiente pormenor os consumos durante o período nocturno.

Em termos dos clientes abastecidos, as três zonas de estudo permitiam cobrir clientes domésticos e tipologias de alojamentos distintas, assim como diferentes tipos de clientes

não domésticos, uns com usos similares aos domésticos, como o comércio e instituições sociais, e outros com usos muito diferentes como piscinas e regas.

8.3.2 Equipamentos de monitorização

8.3.2.1 Medidores de caudal

Os medidores de caudal instalados, cujas características se descrevem no Quadro 8.3, eram do tipo electromagnético, com diâmetro nominal de 50 mm. Com vista a avaliar a adequabilidade do medidor às características de consumo de cada zona, foi estimado o consumo mínimo, dado que um dos objectivos era a estimativa das perdas reais através da análise do consumo mínimo. Foi também estimado o consumo máximo, de forma a verificar se os medidores não se encontravam subdimensionados, o que poderia causar perdas de carga significativas e limitar a pressão disponível.

No que se refere ao consumo mínimo, este deve ter por base as perdas em cada um dos componentes da rede (Morrison *et al.*, 2007), para redes em boas condições⁴⁰, e o consumo nocturno em clientes domésticos e não domésticos⁴¹ (UK Water Industry, 1994b). Concluiu-se que o medidor instalado em MC10 (para medição do consumo total na Zona 3) era o que apresentava um valor mais reduzido de consumo mínimo (~200 l/h), enquanto os medidores instalados nos pontos MC7 e MC7 eram os que apresentavam valores mais elevados (> 700 l/h). Comparando com as características metrológicas (Quadro 8.3), verificou-se que o tipo de medidor adoptado permite medir com exactidão suficiente os consumos mínimos que ocorrem. Com nos dados de consumo telemedido, verificou-se que os valores estimados eram muito semelhantes aos valores medidos.

No que se refere ao consumo máximo instantâneo, estimado de acordo com as disposições regulamentares para sistemas de distribuição de água (Decreto Regulamentar n.º23/95), o valor mais baixo foi obtido para o medidor referente ao ponto de medição MC10 (~ 5 m³/h), enquanto os valores mais elevados foram obtidos nos pontos MC6 e MC7 (> 12 m³/h).

⁴⁰ Para a estimativa das perdas em cada componente consideram-se os seguintes valores de acordo com Morrison (2007) para uma rede em bom estado de conservação e para uma pressão média de 50 m c.a.: perdas na rede de distribuição – 0,02 l/m/h, perdas nos ramais – 1,25 l/ramal/h, perdas nos ramais de ligação e rede predial – 0,033 l/m/h, perdas domiciliárias – 0,25 l/cliente/h.

⁴¹ Considerou-se o valor de 1,7 l/cliente/h para o consumo doméstico e de 8 l/cliente/h para o consumo não doméstico

No entanto, para a estimativa do consumo máximo não se teve em conta os consumos máximos devidos a grandes consumidores. Comparando as estimativas de consumo máximo com os consumos máximos telemedidos em cada zona, verificou-se que estes eram nalgumas zonas significativamente superiores (*e.g.*, na Zona 1 e Centro 2 atingiram valores máximos de $\sim 40 \text{ m}^3/\text{h}$). De acordo com as características metrológicas (Quadro 8.3), verificou-se que o medidor adoptado permite cobrir os consumos máximos que ocorrem, embora estes sejam amortecidos porque os passos de tempo adoptados (tipicamente de 15 min.) são superiores aos recomendáveis para análise do consumo máximo (*e.g.*, 1 min.) (Arregui, 1998; Tricarico *et al.*, 2005; Arregui *et al.*, 2006).

Assim, ao nível de zonas como as que se apresentam neste caso de estudo, é fundamental a selecção de medidores ou de contadores que permitam cobrir uma gama de consumos alargada e que a medição do consumo mínimo seja feita com elevada exactidão, de forma a cumprir os objectivos do estudo.

Quadro 8.3 – Características dos equipamentos de medição instalados.

<i>Equipamento</i>	<i>Tipo</i>	<i>Marca/modelo</i>	<i>Outras características</i>
Medidores de caudal	Electromagnético	KRHONE (OPTIFLUX 2000)	<ul style="list-style-type: none"> $Q_{min}=0,10 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_r=0,16 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_t = 40 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{max}=50 \text{ m}^3/\text{h}$ DN = 50 mm
Sensores ligados aos medidores de caudal	<i>Reed</i>	(1)	<ul style="list-style-type: none"> Resolução: 100 l/impulso Limite inferior: 0,1%-0,2% Q_{max} Banda morta: 0,5 m^3/h
Contadores domiciliários	Volumétrico	Flow Systems (RTK-2.5 15/20)	<ul style="list-style-type: none"> DN 15: $Q_{min}=15 \text{ l/h}$, $Q_r=22,5 \text{ l/h}$, $Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{max}=3 \text{ m}^3/\text{h}$ DN20: $Q_{min}=25 \text{ l/h}$, $Q_r=37,5 \text{ l/h}$, $Q_n = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{max}=5 \text{ m}^3/\text{h}$
Sensores ligados aos contadores	<i>Reed</i>	(1)	<ul style="list-style-type: none"> Resolução: 1 l/impulso
VRP	Válvula reguladora de pressão a jusante	DOROT (série 300)	<ul style="list-style-type: none"> DN = 50 mm Margem de regulação: 2 m c.a. Tempo entre actuações: 2 s Tempo de actuação para baixar/subir a pressão: 0,4 seg
Sensor de pressão	(1)	(1)	<ul style="list-style-type: none"> Gama de valores: 0-100 m c.a.

Legenda: (1) não definido.

No que se refere aos contadores domiciliários, estudos anteriores referem que as fugas nas habitações podem originar consumos muito reduzidos, da ordem de 5-30 l/h (Arregui, 1998), pelos que os contadores seleccionados, cujo consumo mínimo varia entre 15 e 25 l/h consoante o diâmetro nominal, podem não medir com suficiente exactidão estes valores ou nem registá-los sequer. A utilização de contadores com caudais mínimos inferiores teria

permitido obter leituras de consumo com maior exactidão. No entanto, a sua selecção e instalação foi feita previamente a este estudo

Um esquema-tipo da instalação dos equipamentos de medição e controlo em cada ponto de medição é apresentado na Figura 8.5. Os equipamentos foram instalados na conduta principal e não em *by-pass*. As VRP instaladas nos pontos de medição MC6 e MC7 (Figura 8.4) regulam a pressão a jusante de acordo com um valor pré-definido, mantendo-a constante independentemente das flutuações de pressão a montante.

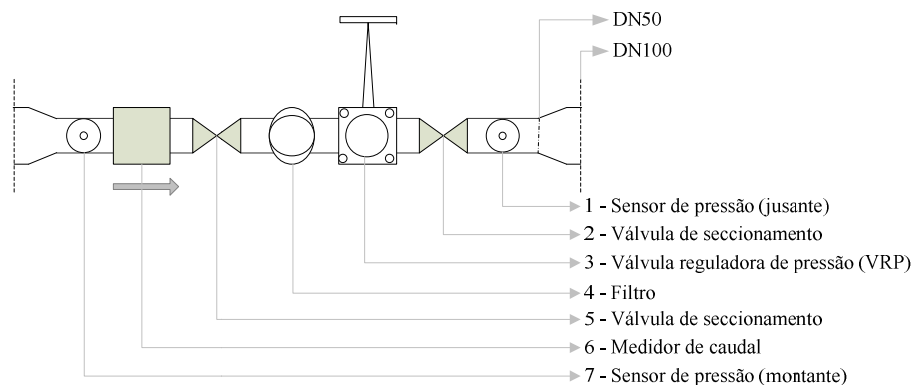


Figura 8.5– Esquema-tipo da instalação dos equipamentos de medição e controlo ligados ao sistema de telegestão

O tempo de resposta da válvula às alterações de pressão (abrindo ou fechando o orifício da válvula de agulha) e a margem de regulação (*i.e.*, o menor valor da variação de pressão acima da qual a válvula actua) foram afinados de forma a garantir um funcionamento estável das válvulas. A Figura 8.6a apresenta o exemplo de uma câmara onde foi instalado o equipamento de medição e controlo e a Figura 8.6b o equipamento de telegestão e de telemetria.



(a)



(b)

Figura 8.6– Equipamento ligado ao sistema de telegestão: a) câmara com o equipamento de medição e controlo instalado, b) armário com equipamento da telegestão e telemetria

8.3.2.2 Sistema de telemetria

No que se refere à telemedição do consumo total em cada zona através do sistema de telegestão, analisaram-se as seguintes características por se considerar serem as mais relevantes para a recolha de dados de acordo com os objectivos do estudo: resolução do sensor, limite inferior de caudal (*cut-off point*), banda morta e capacidade de armazenamento local.

A resolução dos sensores ligados aos medidores electromagnéticos era de 100 l/impulso. Atendendo aos valores de consumo mínimo estimados em 8.3.2.1, que podem ser de ~200 l/h, podem obter-se poucos registos de consumo durante o período nocturno (neste caso apenas 2 registos por hora), não permitindo uma análise pormenorizada do consumo neste período. Deste modo, uma resolução de 10 l/impulso seria mais adequada aos objectivos do estudo, uma vez que permitiria obter um registo mais pormenorizado.

O estabelecimento de um limite inferior de caudal possibilita que caudais associados a elevadas incertezas não sejam medidos, passando a ser registado o valor zero. Neste trabalho, esta propriedade encontrava-se configurada em função do consumo máximo ($0,1-0,2\% Q_{max}$), actuando para valores de consumo inferiores a 80 l/h. Este valor era muito reduzido e inferior ao caudal mínimo do medidor, pelo que não era crítico para a aquisição de dados durante o período nocturno.

A banda morta indica o menor valor da variação que dá origem a um registo de caudal em memória. O valor da banda morta considerado foi de 500 l/h. No caso dos medidores instalados em MC8 e MC10 – que abrangiam zonas com menor número de clientes comparativamente com MC6, MC7 e MC9 e em que o consumo nocturno estimado foi inferior a 700 l/h, tal valor poderia levar a que o número de leituras durante este período fosse muito reduzido. O valor da banda morta, nestes casos, não deveria exceder 100 l/h para garantir que os dados durante o período do dia fossem recolhidos com suficiente pormenor. No entanto, não foi possível alterar a configuração deste parâmetro durante o estudo.

No que se refere à capacidade de armazenamento local, em cada ponto de medição, existia um *datalogger* com capacidade para armazenamento dos dados de consumo e de pressão durante um mês. Considerou-se que a capacidade de armazenamento era adequada como *backup* de dados quando havia problemas de comunicação no sistema de telegestão.

No que se refere à telemedição domiciliária, os contadores das três zonas de estudo foram todos substituídos de forma a poderem ser ligados ao sistema de telemetria. Este constitui actualmente também o sistema de leitura de consumos para facturação nestas zonas.

O sistema de telemetria utilizava a comunicação via rádio entre cada contador e o concentrador, e a comunicação GPRS/GSM entre o concentrador e a unidade central de recolha de dados (localizada nas instalações da empresa Flow Systems). Os módulos de comunicação rádio possuíam uma bateria com duração de 10 anos. A distância de cobertura média (em espaço urbano) era de 5 km.

As leituras de consumo eram feitas mediante pedido do concentrador (sistema unidireccional). Uma vez que localmente, em cada ponto de medição, não existia um *datalogger*, as leituras dos contadores eram sequenciais (não eram síncronas); o passo de tempo entre leituras num dado cliente era irregular e dependia do tempo de leitura de cada contador numa dada zona em cada roteiro de leitura. Em cada instante era lido o volume acumulado entre leituras.

Considerou-se que a resolução de leitura de 1 l/impulso era suficiente, uma vez que o objectivo do estudo não era a caracterização do consumo de cada cliente (para o qual seria necessário uma maior resolução, como 0,1 l/impulso), mas a combinação dos consumos ao nível de cada zona de estudo.

8.3.3 Monitorização do consumo de água

Os cenários de regulação de pressão para as VRP instaladas nos pontos de medição MC6 e MC7, por campanha, são apresentados nos Quadros 8.4 e 8.5, respectivamente.

Para cada cenário estabeleceu-se uma duração de 15 dias, pois considerou-se ser um período de tempo suficiente para caracterizar o consumo autorizado, em cada cenário de pressão, sem aumentar significativamente a duração total de cada campanha. No que se refere à variação de pressão entre cenários, adoptou-se por um valor de 5 m c.a., pois trata-se de um valor que é compatível com a margem de regulação da VRP (2 m c.a.), permite uma clara diferenciação entre cenários de pressão e permite obter entre 4 e 5 cenários de aumento ou diminuição de pressão, número considerado suficiente para avaliar o efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais. Dada a estabilidade operacional da rede ao longo do ano, adoptaram-se cenários de regulação de pressão durante a Campanha B idênticos aos da Campanha A.

Para a VRP instalada no ponto de medição MC6, o máximo aumento de pressão previsto em relação ao cenário A1 da Campanha A foi de 15 m c.a. (aumento de 26% na pressão) e em relação ao cenário B1 da Campanha B, foi de 20 m c.a. (aumento de 40% na pressão), tal como se apresenta no Quadro 8.4. Assim, para os cenários A4 e B5, a pressão máxima no ponto mais baixo (Zona 2 com edifícios de 2 pisos) era muito elevada (~80 m c.a.) e superior ao valor máximo recomendado regulamentarmente (Decreto Regulamentar n.º23/95) de 60 m c.a.

Quadro 8.4 – Cenários de regulação de pressão para a VRP instalada no ponto de medição MC6, por campanha

<i>Cenário⁽¹⁾</i>	<i>Início</i>	<i>Fim</i>	<i>Pressão média a jusante da VRP (m c.a.)</i>	<i>Perda de carga média na VRP (m c.a.)</i>	<i>Varição de pressão entre campanhas, P_i/P_0⁽²⁾</i>
Campanha A					
Cenário A1	05-01-09	18-01-09	57	15	1,00
Cenário A2	19-01-09	01-02-09	62	10	1,09
Cenário A3	02-02-09	15-02-09	67	5	1,18
Cenário A4	16-02-09	01-03-09	72	0	1,26
Cenário A5	02-03-09	15-03-09	67	5	1,18
Cenário A6	16-03-09	29-03-09	62	10	1,09
Cenário A7	30-03-09	12-04-09	57	15	0,00
Cenário A8	13-04-09	26-04-09	47	25	0,82
Campanha B					
Cenário B1	08-06-09	22-06-09	49	23	1,00
Cenário B2	22-06-09	06-07-09	54	18	1,10
Cenário B3	06-07-09	20-07-09	59	13	1,20
Cenário B4	20-07-09	03-08-09	64	8	1,30
Cenário B5	03-08-09	17-08-09	69	3	1,40
Cenário B6	17-08-09	31-08-09	64	8	1,30
Cenário B7	31-08-09	14-09-09	59	13	1,20
Cenário B8	14-09-09	28-09-09	54	18	1,10
Cenário B9	28-09-09	12-10-09	49	23	0,00
Cenário B10	12-10-09	26-10-09	44	28	0,90

Nota:

⁽¹⁾ os cenários A4 e B5 correspondem aos cenários em que a válvula ficou completamente aberta.

⁽²⁾ P_0 é a pressão média no cenário inicial da campanha e P_i é a pressão média em cada cenário.

A pressão média no cenário B1 (Campanha B) foi inferior à que foi fixada no cenário A1 (Campanha A), pois após a Campanha A foram feitos testes adicionais de redução de pressão (Campanha A1), para determinar o valor mínimo de pressão a jusante a partir do qual havia condicionamento no abastecimento aos clientes localizados nos locais com cota topográfica mais elevada, tendo-se fixado o valor de 49 m c.a. Assim, para o cenário A8 da Campanha A, em que a diminuição de pressão prevista era de 25 m c.a. em relação ao

cenário A4 (em que a válvula ficou completamente aberta) a pressão mínima no ponto mais alto (Zona 3 com edifícios com 3 pisos) era de 32 m c.a., enquanto no cenário B10 da Campanha B diminuiu para 29 m c.a., valores que são superiores à pressão mínima requerida neste ponto (~22 m c.a.).

Para a VRP instalada no ponto de medição MC7, o máximo aumento de pressão previsto em relação ao cenário A1 da Campanha A foi de 15 m c.a. (aumento de 39% na pressão) e em relação ao cenário B1 da Campanha B foi de 20 m c.a. (aumento de 59% na pressão), tal como se apresenta no Quadro 8.5. Para estes cenários, a pressão máxima no ponto mais baixo (Zona 1 com edifícios com 2 pisos) era elevada (~66 m c.a.), mas encontrava-se próxima do valor recomendado regulamentarmente (Decreto Regulamentar n.º23/95) de 60 m c.a.

Quadro 8.5 – Cenários de regulação de pressão para a VRP instalada no ponto de medição MC7, por campanha

<i>Cenário</i>	<i>Início</i>	<i>Fim</i>	<i>Pressão média a jusante da VRP (m c.a.)</i>	<i>Perda de carga média na VRP (m c.a.)</i>	<i>Variação de pressão entre campanhas, P_1/P_0⁽²⁾</i>
Campanha A					
Cenário A1	05-01-09	18-01-09	38	15	1,00
Cenário A2	19-01-09	01-02-09	43	10	1,13
Cenário A3	02-02-09	15-02-09	48	5	1,26
Cenário A4	16-02-09	01-03-09	53	0	1,39
Cenário A5	02-03-09	15-03-09	48	5	1,26
Cenário A6	16-03-09	29-03-09	43	10	1,13
Cenário A7	30-03-09	12-04-09	38	15	1,00
Campanha B					
Cenário B1	08-06-09	22-06-09	34	20	1,00
Cenário B2	22-06-09	06-07-09	39	15	1,15
Cenário B3	06-07-09	20-07-09	44	10	1,29
Cenário B4	20-07-09	03-08-09	49	5	1,44
Cenário B5	03-08-09	17-08-09	54	0	1,59
Cenário B6	17-08-09	31-08-09	49	5	1,44
Cenário B7	31-08-09	14-09-09	44	10	1,29
Cenário B8	14-09-09	28-09-09	39	15	1,15
Cenário B9	28-09-09	12-10-09	34	20	1,00

Nota:

⁽¹⁾ os cenários A4 e B5 correspondem aos cenários em que a válvula ficou completamente aberta.

⁽²⁾ P_0 é a pressão média no cenário inicial da campanha e P_1 é a pressão média em cada cenário.

Também se fizeram testes adicionais na VRP instalada em MC7 (Campanha A1) para determinar o valor mínimo de pressão a jusante desta, a partir do qual havia condicionamento no abastecimento aos clientes localizados nos locais com cota

topográfica mais elevada, tendo-se fixado o valor de 34 m c.a. Assim, no cenário A8 da Campanha A, em que a diminuição de pressão prevista era de 15 m c.a. em relação ao cenário A4 (em que a válvula ficou completamente aberta), a pressão no ponto mais alto (zona Centro 2 com edifícios com 3 pisos) era de 29 m c.a., enquanto no cenário B9 da Campanha B diminuiu para 25 m c.a., valor que se encontra próximo da pressão (média) mínima requerida neste ponto (22 m c.a.).

8.4 Processamento de dados

8.4.1.1 *Análise descritiva de dados*

Dados de telemetria

Os dados de consumo obtidos a partir do sistema de telemetria domiciliária foram comparados com as leituras manuais mensais de Setembro e de Outubro de 2008. Esta validação foi possível porque no último trimestre de 2008 coexistiram o sistema de telemetria domiciliária e o sistema de leituras manuais mensais dos contadores. Verificou-se que as leituras eram muito idênticas entre si (não excedendo em geral uma diferença da ordem dos 5%, tratando-se de dados com diferentes níveis de fiabilidade), excepto num conjunto muito reduzido de clientes, onde devido a problemas de comunicação (posteriormente resolvidos) as diferenças eram superiores. Verificou-se também que o número de clientes com consumo nulo era aproximadamente constante entre campanhas, sendo de 5% para a Zona 1 e de 8% para a Zona 2 (Zona 3 era praticamente inexistente), o que podia corresponder a casas desocupadas.

Dados de telegestão – consumo total

Verificou-se que os dados de consumo total apresentavam dois tipos de problemas: i) reduzido número de registos durante o período nocturno nos pontos de medição MC8, MC9 e MC10; ii) valores de consumo total em MC8 inferiores ao consumo total autorizado telemedido na Zona 1. Um reduzido número de registos durante o período nocturno levou a que quando os dados são normalizados na escala temporal, surjam patamares de consumo, tal como se observa na Figura 8.7. O reduzido número de registos era devido aos valores geralmente baixos e pouco variáveis do consumo total medido durante o período nocturno em MC8, MC9 e MC10 ($\leq 1 \text{ m}^3/\text{h}$), e ao facto de o sistema de telegestão não se encontrar adequadamente parametrizado para uma leitura pormenorizada destes consumos reduzidos

(i.e., resolução de leitura de 100 l/impulso e valor de banda morta de 0,5 m³/h), tal como descrito em 8.3.2.2, gerando um número muito reduzido de leituras durante este período do dia.

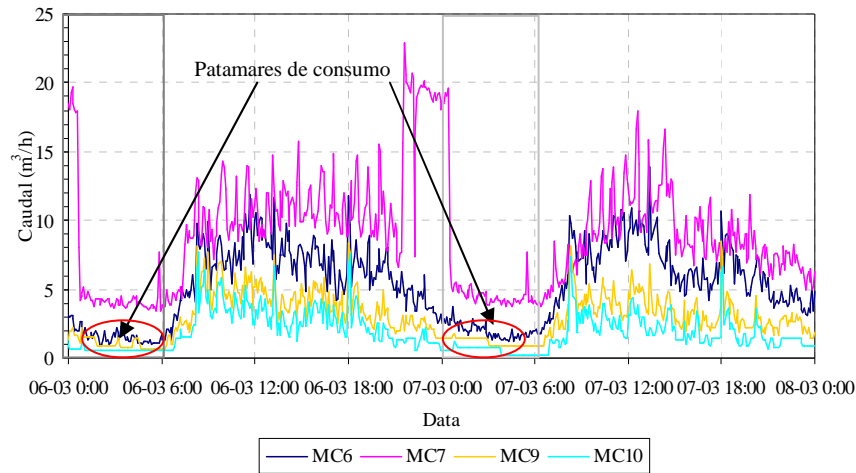


Figura 8.7 – Variação do consumo total medido em MC6, MC7, MC9 e MC10 entre 06-03-2009 e 08-03-2009

Este problema limitou a análise de perdas reais a partir das leituras de consumo noturno obtidas em MC8, MC9 e MC9. Deste modo, a estimativa das perdas reais na rede foi feita, de forma aproximada, a um nível mais agregado e não ao nível das três zonas de estudo. As perdas reais na rede foram estimadas com base na análise do consumo mínimo medido em MC6 (que mede o consumo total nas zonas 2, 3 e centro 1) e em MC7 (que mede o consumo total nas zona 1 e centro 2). Este problema limitou também uma análise crítica da exactidão de cada medidor, pois não permitiu uma adequada contabilização do volume de água associado aos consumos mais baixos.

Durante a Campanha A, verificou-se que o volume de água medido no ponto de medição MC8 era inferior ao volume total de água autorizado na Zona 1, a qual todavia era abastecida exclusivamente por este ponto de medição. Tratava-se de um problema de parametrização que ficou resolvido no final da Campanha A (a partir de 09-04-2009). Deste modo, na Campanha A não foi possível utilizar para análise os dados de consumo total medido em MC8. A Figura 8.8 apresenta a variação do consumo total em MC7 e MC8, antes e após a correcção da parametrização. Após correcção, verifica-se que o consumo medido em MC8, em particular os valores máximos, estão muito próximos dos medidos em MC7.

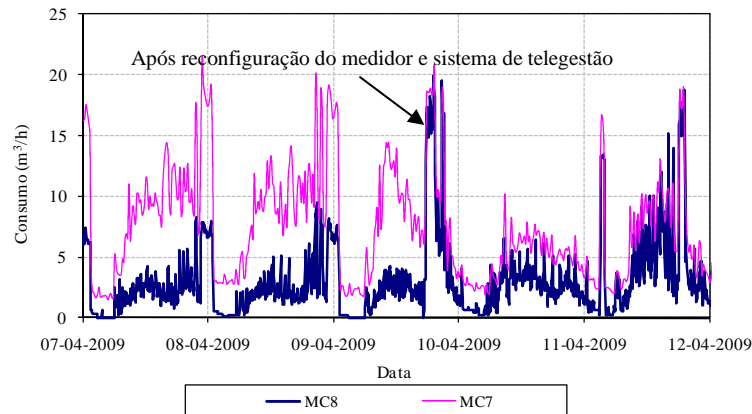


Figura 8.8 – Variação do consumo total medido em MC8 e MC7 entre 07-04-2009 e 12-04-2009

Dados de telegestão – pressão

Tendo por base as medições de pressão no ponto de medição MC6 e a cota de terreno, verificou-se que a pressão nos pontos de medição MC9 e MC10 não estava correcta: as pressões registadas pelo sistema de telegestão eram superiores às pressões de cálculo. Confirmaram-se as cotas de terreno e realizaram-se campanhas com duração de 1 dia, usando um *datalogger* portátil para medição da pressão em todos os pontos com medição de pressão do estudo (MC6, MC7, MC9 e MC10). Verificou-se que a diferença de pressão nos pontos de medição MC6 e MC7 era inferior a 2 m c.a., valor que se considerou desprezável. No entanto, nos pontos de medição MC9 e MC10 verificou-se que a diferença média era de 3,5 m c.a. e de 10 m.c.a, respectivamente (Figura 8.8b). Estes desfasamentos de pressão apenas foram corrigidos no final das campanhas, pelo que se adoptou como valor de referência, para estimativa da pressão nos pontos MC9 e MC10, a pressão medida no MC6.

Nas válvulas reguladoras de pressão instaladas nos pontos de medição MC6 e MC7, cuja função é manter fixa a pressão a jusante, foram detectados os seguintes problemas: i) grande variação de pressão (Figura 8.9a); ii) subida da pressão a jusante acima do valor de regulação especificado (Figura 8.9b).

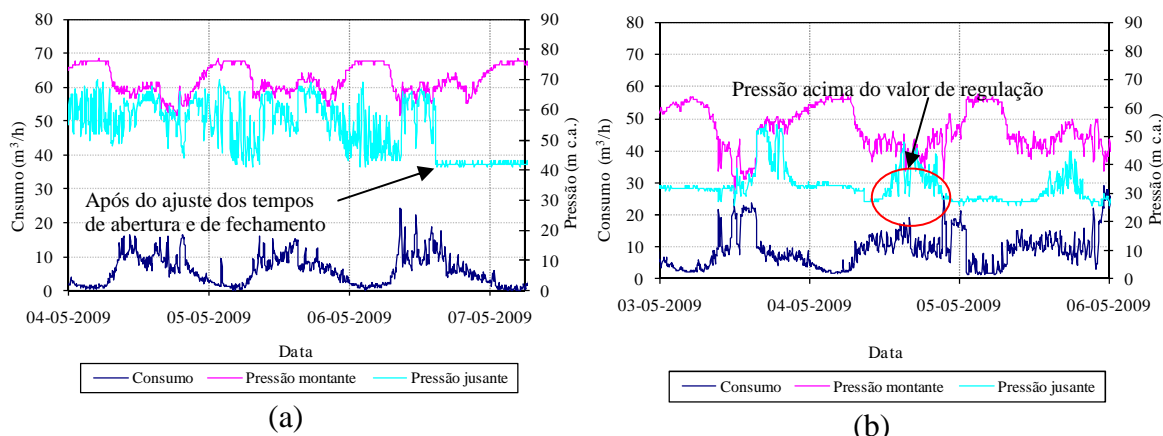


Figura 8.9 – Variação do consumo total medido e da pressão a montante e a jusante da VRP instalada em: a) MC6 (04-05-2009 e 07-05-2009) e b) MC7 (03-05-2009 e 06-05-2009)

O primeiro problema foi resolvido ajustando os tempos de abertura e de fechamento e o segundo através da substituição de equipamentos que fazem a regulação da válvula. Verificou-se também que no caso de maior variabilidade do consumo e de pequenas diferenças de pressão entre montante e jusante da VRP, estas apresentavam maior instabilidade, pelo que nem sempre foi possível fixar a pressão nos cenários de acordo com o valor pretendido.

8.4.1.2 Detecção de dados anómalos

A etapa de detecção e eliminação de registos anómalos teve como objectivo a eliminação de registos de consumo e de pressão, devidos a interrupções no abastecimento de água, roturas na rede e a alterações nos circuitos de abastecimento. A Figura 8.10 apresenta exemplos de registos anómalos devidos a alterações no funcionamento hidráulico da rede (e.g., na Figura 8.10a, a pressão a montante é inferior à pressão a jusante) e a interrupções no abastecimento de água (Figura 8.10b).

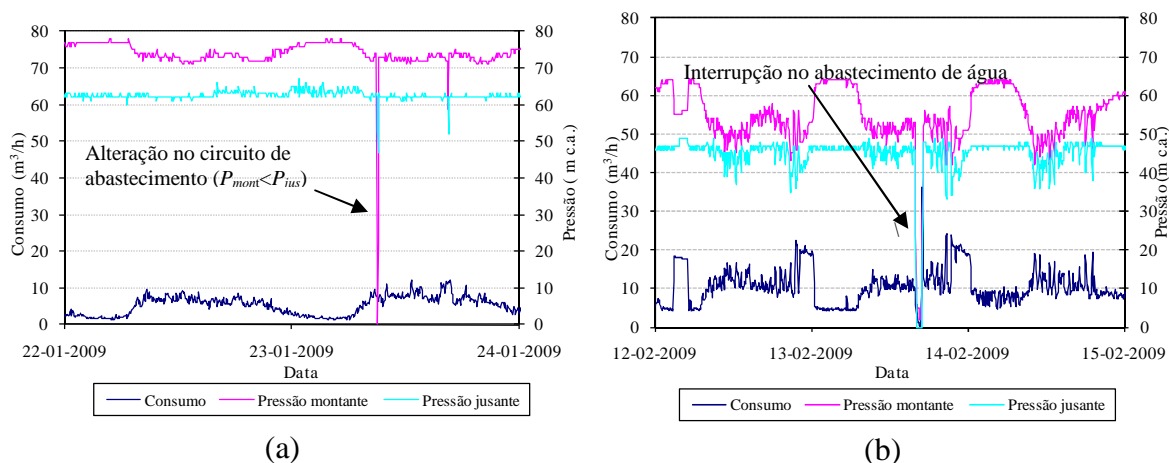


Figura 8.10– Variação do consumo total medido e da pressão a montante e jusante da VRP instalada em: a) MC6 (22-01-2009 e 24-01-2009), b) MC7 (12-02-2009 e 15-02-2009)

8.4.1.3 Normalização de dados

Na etapa de normalização, foram obtidas séries de consumo normalizadas na escala temporal, quer relativamente ao consumo total medido em cada zona, quer relativamente ao consumo individual de cada cliente telemedido, com um passo de tempo de 15 minutos, utilizadas nas etapas seguintes da análise.

8.4.1.4 Combinação de dados

Na Zona 1, durante a Campanha A, identificaram-se três clientes como grandes consumidores: piscina, instituição social 1 e escola, que representavam no seu conjunto 65% do consumo total autorizado telemedido (Figura 8.11a). Durante a Campanha B, para além destes clientes, identificou-se também o cliente rega 1 (com peso de 12,7% no consumo total autorizado). No seu conjunto, representavam 69% do consumo total autorizado telemedido (Figura 8.11b).

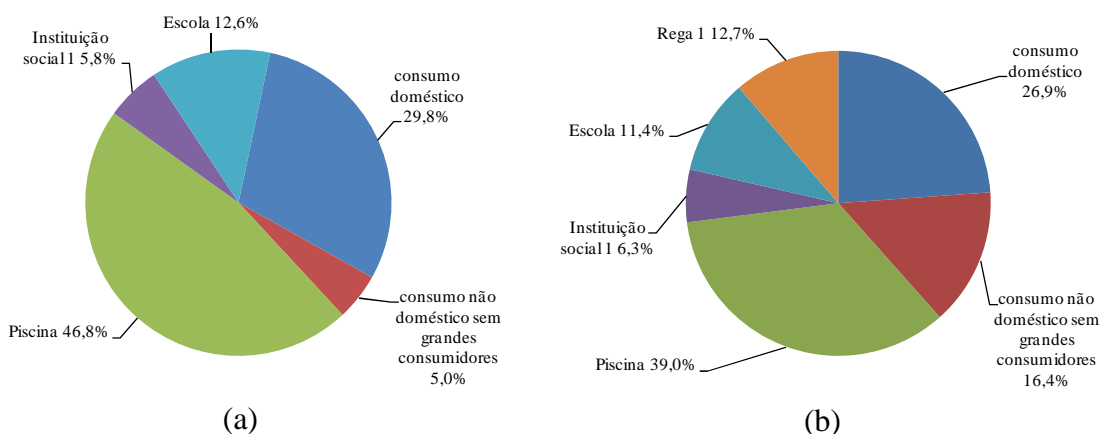


Figura 8.11 – Consumo autorizado telemedido na Zona 1: a) Campanha A, b) Campanha B

Os restantes clientes não domésticos (*i.e.*, restaurantes, regas e comércio) representavam apenas 5% do consumo total autorizado na Campanha A e 16,4% do consumo total autorizado na Campanha B. Face ao peso do consumo dos grandes consumidores no consumo total autorizado, a sua análise foi feita separadamente do restante consumo não doméstico. O peso do consumo doméstico manteve-se aproximadamente constante entre campanhas, indicativo de reduzido efeito de sazonalidade nesta categoria de consumo.

Na Zona 2, o consumo autorizado era predominantemente doméstico em ambas as campanhas (> 75% do consumo total autorizado) e o consumo não doméstico sem grandes consumidores muito reduzido (< 1,2% do consumo total autorizado), motivo pelo qual esta última componente de consumo não foi considerada para análise nas etapas seguintes (Figura 8.12).

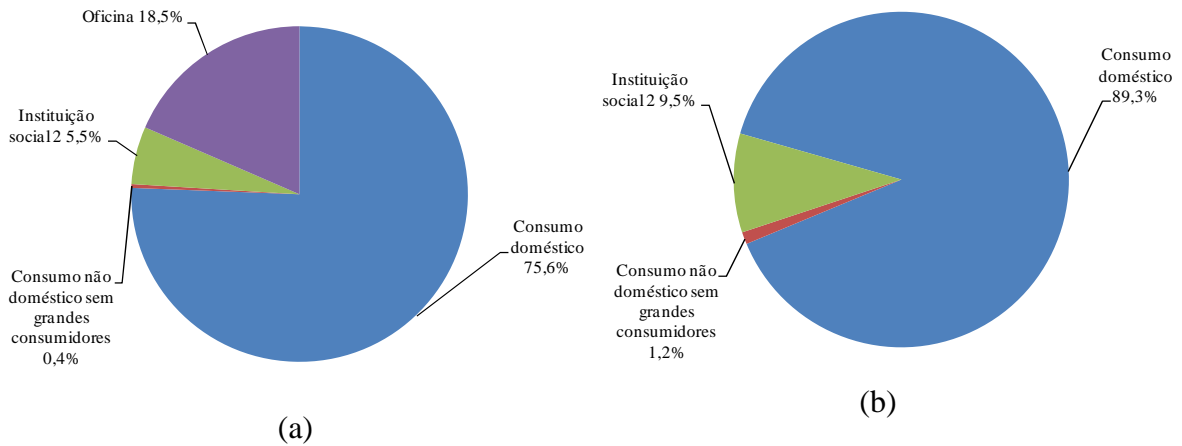


Figura 8.12 – Consumo autorizado telemedido na Zona 2: a) Campanha A, b) Campanha B

Durante a Campanha A, o cliente oficina apresentava um peso significativo no consumo total autorizado (18,5%), reduzindo-se bastante na Campanha B. A instituição social 2 representava o maior consumidor da Zona 2, com um peso no consumo total autorizado aproximadamente constante entre campanhas (entre ~60 e 70%). Deste modo, na Campanha A, separou-se do consumo não doméstico a oficina e a instituição social 2, enquanto na Campanha B separou-se do consumo não doméstico apenas este último cliente, dado o seu significativo peso no consumo total autorizado.

Na Zona 3, o consumo doméstico representou apenas cerca de 30% do consumo total autorizado em ambas as campanhas (Figura 8.13). O cliente instituição social 3 representou o maior consumidor na zona, com um peso no consumo total autorizado superior a 60% em ambas as campanhas.

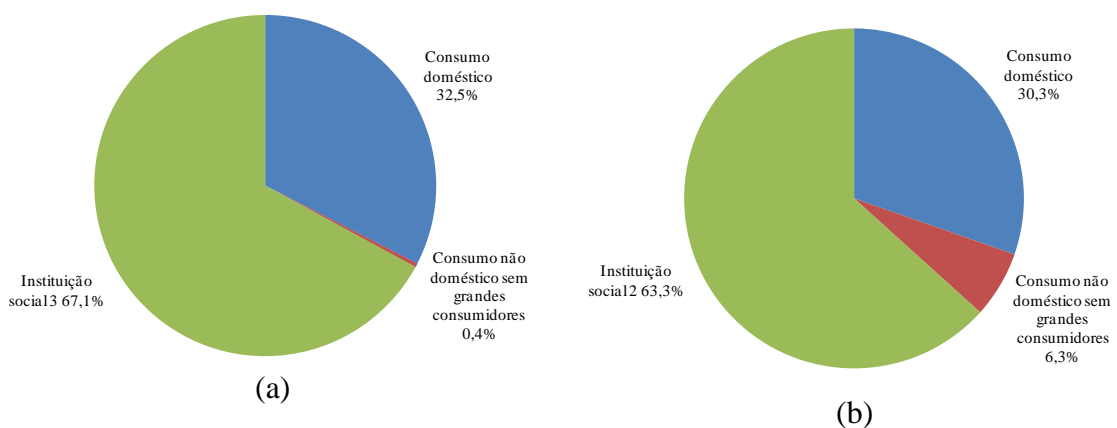


Figura 8.13 – Consumo autorizado telemedido na Zona 3: a) Campanha A, b) Campanha B

Por esta razão, este cliente foi separado do restante consumo não doméstico. Durante a Campanha A, o peso do consumo não doméstico (sem grandes consumidores) foi muito

reduzido (0,4%), pelo que não foi considerado para análise nas etapas seguintes (Figura 8.13a).

8.5 Produção de informação de caracterização do consumo de água

8.5.1 Análise do consumo

8.5.1.1 Estabelecimento de cenários de consumo

A identificação dos cenários para as três zonas de estudo permitiu obter o cenário diário mais usual, assim como o período de consumo mínimo nocturno (PCMN) para o cenário diário mais típico em ambas as campanhas. Os cenários de consumo para os clientes pertencentes à categoria de consumo doméstico e não doméstico (sem grandes consumidores), durante a Campanha A, são apresentados no Quadro 8.6.

Quadro 8.6 – Cenários de consumo para cada zona de estudo (Campanha A)

Zona	Categoria de consumo	Cenário diário			Dia de maior consumo	Cenário de consumo mínimo nocturno
		I	II	III		I
Zona 1	Doméstico	2 ^a -6. ^a	SA	DOM. e FER.	SA	3:00-5:00
	Não doméstico	2. ^a , 5. ^a -SA	3. ^a -4. ^a	DOM. e FER.	4. ^a	0:00-6:00
Zona 2	Doméstico	2 ^a -6. ^a	SA	DOM. e FER.	SA	2:00-5:00
Zona 3	Doméstico	2 ^a -6. ^a	SAB, DOM e FER	n.a.	2. ^a	3:00-5:00

Para a categoria de consumo doméstico, o cenário diário mais usual é o de dia útil (cenário I) e nas zonas 1 e 2 o sábado apresentou um comportamento distinto dos restantes dias (sendo também o dia de maior consumo da semana).

No caso da Zona 3, o sábado possuía um comportamento muito idêntico ao domingo e feriado. Para dia útil (cenário I), o período de consumo mínimo dos clientes domésticos esteve compreendido entre as 2:00 e as 5:00 para as três zonas em estudo.

Durante a Campanha B, para a categoria de consumo doméstico, as principais alterações de comportamento diário ocorreram nos dias de fim-de-semana e feriados, traduzindo em cenários diferentes da Campanha A para estes dias (Quadro 8.7). Por outro lado, o período de consumo mínimo também se alterou em relação ao que se obteve durante a Campanha A, em particular na Zona 3.

Quadro 8.7 – Cenários de consumo para cada zona de estudo (Campanha B).

Zona	Categoria de consumo	Cenário diário			Dia de maior consumo	Cenário de consumo mínimo nocturno I
		I	II	III		
Zona 1	Doméstico	2 ^a -6. ^a	SAB, DOM e FER	n.a.	6. ^a	3:00-6:00
	Não doméstico	2. ^a -4. ^a e 6. ^a	5. ^a -6. ^a	SA-DOM. e FER.	5. ^a	3:00-7:00
Zona 2	Doméstico	2. ^a -5. ^a	6. ^a -SA	DOM. e FER.	SA	2:00-6:00
Zona 3	Doméstico	2 ^a -6. ^a	SA	DOM. e FER.	4. ^a	5:00-6:00
	Não doméstico	2. ^a , 4. ^a , 6. ^a e FER	3. ^a , 5. ^a e DOM	SA	SA	2:00-5:00 e 7:00-24:00

A variação diária do consumo horário para dia útil (cenário I), demonstra que o comportamento diário é muito semelhante entre campanhas nas três zonas, o que indica que são zonas sujeitas a um reduzido efeito de sazonalidade (Figura 8.14). Note-se, no entanto, a alteração de comportamento na Zona 3 durante o período nocturno (1:00-6:00), onde o consumo aumenta significativamente na Campanha B, possivelmente devido a regas que ocorrem durante este período do dia (Figura 8.14c). Evidencia-se assim que o período de consumo mínimo nocturno, para além de ser variável entre zonas, varia também entre épocas do ano devido a alterações de hábitos de consumo, principalmente devido ao aumento dos usos exteriores durante o Verão.

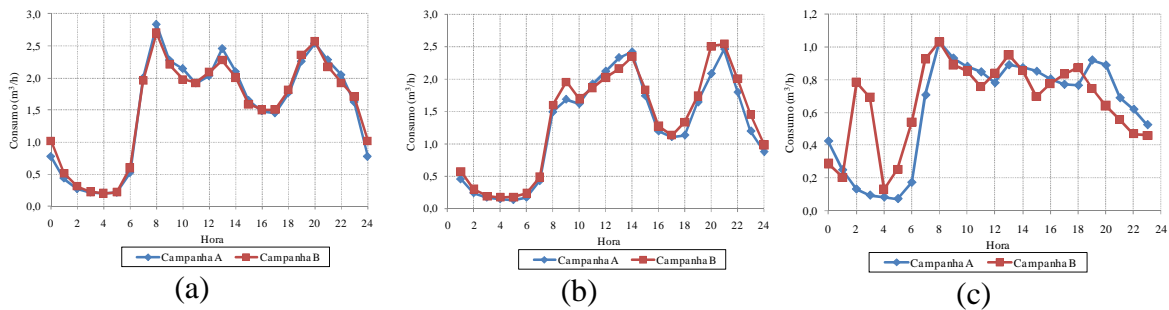


Figura 8.14 – Variação diária do consumo doméstico horário no cenário de consumo I: a) Zona 1, b) Zona 2, c) Zona 3

A variação diária do consumo indica também que se trata de zonas com comportamentos diários distintos e a que a Zona 3 é a que apresenta consumo mais homogéneo e elevado entre as 8:00 e as 20:00, indicativo da permanência de um maior número de pessoas em casa durante o dia.

No caso do consumo não doméstico (sem grandes consumidores), durante a Campanha A, identificaram-se os cenários diários e de período de consumo mínimo apenas para a Zona 1, dado que esta componente de consumo era desprezável nas restantes zonas. Concluiu-se que o cenário diário mais típico se referia ao conjunto de dias 2.^a feira, 5.^a feira a sábado e que para este cenário diário, o período de consumo mínimo ocorria entre as 0:00 e as 6:00

(Quadro 8.6). Durante a Campanha B, os cenários diários e de período de consumo nocturno alteraram-se significativamente nesta zona (Quadro 8.7). Durante esta campanha, verifica-se que há uma grande variabilidade nos cenários diários de consumo não doméstico na Zona 3 e que o período de consumo mínimo engloba grande parte do dia, o que é devido aos horários nocturnos de rega (que constituem os clientes não domésticos nesta zona).

Os clientes identificados como grandes consumidores apresentam um comportamento regular em dia útil (cenário I) e distinto dos restantes dias da semana, durante a Campanha A (Quadro 8.8).

Quadro 8.8 – Cenários de consumo para os grandes consumidores (Campanha A).

Zona	Cliente	Cenário diário				Dia de maior consumo	Cenário de consumo mínimo nocturno I
		I	II	III	IV		
Zona 1	Piscina	2 ^a -6. ^a	SA	DOM	FER	3. ^a	5:00-9:00
	Instituição Social 1	2 ^a -6. ^a	SA-DOM e FER	n.a.	n.a.	2. ^a	0:00-3:00
	Escola	2 ^a -6. ^a	SA-DOM	FER	n.a.	6. ^a	1:00-7:00
Zona 2	Oficina	2 ^a -6. ^a	SA-DOM	FER	n.a.	4. ^a	19:00-24:00 e 0:00-7:00
	Instituição social 2	2 ^a -6. ^a	SA	DOM. e FER.	n.a.	6. ^a	1:00-9:00 e 22:00-1:00
Zona 3	Instituição social 3	2 ^a -6. ^a	SA-DOM e FER	n.a.	n.a.	6. ^a	1:00-5:00

Na Zona 1, durante a Campanha B, o comportamento da escola (em período de férias escolares) e da rega 1 torna-se mais irregular devido ao funcionamento dos dispositivos de rega (Quadro 8.9).

Quadro 8.9 – Cenários de consumo para os grandes consumidores (Campanha B).

Zona	Cliente	Cenário diário				Dia de maior consumo	Cenário de consumo mínimo nocturno I
		I	II	III	IV		
Zona 1	Piscina	2 ^a -6. ^a	SA-DOM	FER	n.a.	2. ^a	4:00-5:00
	Instituição Social 1	2 ^a -6. ^a	SA-DOM e FER	n.a.	n.a.	2. ^a	0:00-5:00
	Escola	2. ^a -4. ^a e 6. ^a	SA-DOM e FER	5. ^a	n.a.	5. ^a	2:00-6:00
	Rega 1	2. ^a -3. ^a e DOM e FER	4. ^a -6. ^a e SA	n.a.	n.a.	4. ^a	4:00-21:00
Zona 2	Instituição social 2	2 ^a -6. ^a	SA	DOM. e FER.	n.a.	4. ^a	1:00-7:00
Zona 3	Instituição social 3	2 ^a -6. ^a	SA-DOM e FER	n.a.	n.a.	6. ^a	0:00-5:00

O período de consumo mínimo (para o cenário I) é muito variável consoante o tipo de cliente e a época do ano. Este resultado realça a importância da medição dos grandes

consumidores, para que possam ser analisados separadamente do restante consumo, quando se fazem análises com base nos consumos nocturnos em zonas de rede com grandes consumidores. Os cenários diários e de período de consumo nocturno foram determinados também para o consumo total medido em MC6 e MC7. Devido à falta de fiabilidade dos dados de consumo dos medidores MC8, MC9 e MC10, em particular durante o período nocturno, estes não foram considerados para análise.

Quadro 8.10 – Cenários de consumo total medido em MC6 e MC7 (Campanha A e B).

Zona	Medidor	Cenário diário				Dia de maior consumo	Cenário de consumo mínimo nocturno I
		I	II	III	IV		
Campanha A							
Zona 1 e Centro 2	MC7	2 ^a -6. ^a	SA	DOM	FER	3. ^a	5:00-6:00
Zona 2, Zona 3 e Centro 1	MC6	2 ^a -6. ^a e SA	DOM e FER	n.a.	n.a.	6. ^a	2:00-5:00
Campanha B							
Zona 1 e Centro 2	MC7	2 ^a -6. ^a	SA-DOM	FER	n.a.	5. ^a	3:00-6:00
Zona 2, Zona 3 e Centro 1	MC6	2. ^a -5. ^a e SA	DOM e FER	6. ^a	n.a.	6. ^a	1:00-5:00

Assim, a modelação de efeito da pressão no consumo de água para as categorias de consumo e clientes analisados foi realizada para o cenário diário predominante (Cenário I).

8.5.1.2 Cálculo de variáveis de consumo

Variáveis relativas ao consumo autorizado

Para o cenário 1 de cada campanha apresentam-se no Quadro 8.11 as variáveis relativas ao consumo autorizado. Relativamente ao consumo doméstico, o consumo diário varia para as três zonas de estudo entre 202 e 339 l/(cliente.dia), na Campanha A, e entre 204 e 325 l/(cliente.dia), na Campanha B, sendo a Zona 3 aquela em que o consumo doméstico é mais elevado. A capitação doméstica (admitindo três habitantes por cliente doméstico) varia para as três zonas de estudo entre 67 e 113 l/(hab.dia), na Campanha A e entre 67 e 108 l/(hab.dia) na Campanha B. No que se refere ao consumo médio no período de consumo mínimo nocturno (PCMN), a zona com consumo mais elevado é a Zona 3, onde predominam vivendas de maior dimensão, com espaços verdes, sendo também nesta zona onde se verificou um maior aumento do consumo neste período do dia na Campanha B, provavelmente devido às regas que ocorrem durante o Verão. A Zona 1, com alojamentos

em prédios, é a que apresenta um valor mais baixo de consumo no PCMN, sendo também aproximadamente constante entre campanhas – 1,0 l/(cliente.h).

Quadro 8.11 – Variáveis do consumo autorizado no cenário de pressão 1 (Campanha A e B)

Categoria de consumo/cliente	Campanha A			Campanha B		
	Consumo médio ⁽¹⁾	Consumo PCMN ⁽²⁾	Consumo mínimo ⁽³⁾	Consumo médio ⁽¹⁾	Consumo PCMN ⁽²⁾	Consumo mínimo ⁽³⁾
Zona 1						
Doméstico	202	1,0	0,6	204	1,1	0,7
Não doméstico sem grandes consumidores	439	1,8	0,0	329	1,0	0,0
Piscina	62744	200,0	0,0	56640	38,0	0,0
Instituição social 1	7574	30,0	0,0	6371	97,6	20,0
Escola	17533	440,0	270,0	38588	670,0	200,0
Rega 1	(4)	(4)	(4)	50747	2,0	0,0
Zona 2						
Doméstico	226	1,1	0,5	243	1,4	0,8
Instituição social 2	1730	30,0	10,0	3656	20,0	20,0
Oficina	14068	520,0	500,0	n.a.	n.a.	n.a.
Zona 3						
Doméstico	339	1,8	0,9	325	8,4	0,9
Não doméstico sem grandes consumidores	(4)	(4)	(4)	1065	77,5	0,0
Instituição social 3	32053	360,0	260,0	28843	310,0	220,0

Nota:

- (1) Consumo médio diário por cliente [l/(cliente.dia)];
- (2) Consumo médio no período de consumo mínimo nocturno (PCMN) por cliente [l/(cliente.h). De salientar que o PCMN não é o mesmo para as várias categorias ou clientes analisados (ver 8.5.1.1);
- (3) Consumo mínimo (para o passo de tempo 15 min) por cliente [l/(cliente.h)];
- (4) Não aplicável.

Verifica-se assim que o consumo doméstico nas três zonas é pouco influenciado pela época do ano, o que pode indicar que nestas zonas as pessoas não se ausentam das habitações durante o período do Verão ou que os usos exteriores não são muito significativos. Os valores de capitação nestas zonas urbanas estabilizadas são reduzidos quando comparados com o valor estimado para a região de 160 l/(hab.dia) (INAG, 2001) e com o valor médio nacional de 153 l/(hab.dia) (INAG, 2007). No que se refere ao consumo médio no PCMN, os valores obtidos para as zona 1 e 2 encontram-se abaixo do valor preconizado por UK Water Industry (1994b) de 1,7 l/(cliente.h) e por Warren (2002) de 1,8-2,5 l/(cliente.h). Estes valores de referência foram estimados para um período nocturno comum, estipulado

sem atender à variabilidade de comportamento entre zonas. Por outro lado, aspectos como a inexistência de reservatórios domiciliários ou dos dados de consumo autorizado nestas zonas de estudo serem provenientes da telemedição domiciliária (*i.e.*, dados com uma fiabilidade superior) podem levar a que se verifiquem tais diferenças quando comparados com os valores existentes na bibliografia.

O consumo não doméstico sem grandes consumidores na Zona 1 manteve-se estável entre campanhas, variando entre 329 e 439 l/(cliente.dia), pois os clientes não domésticos desta zona (predominantemente comércio e restaurantes) caracterizam-se sobretudo por usos interiores que podem ser pouco variáveis entre épocas do ano. Na Zona 3, o consumo no cenário 1 da Campanha B, foi significativamente superior ao da Zona 1, quer em termos do período de consumo mínimo nocturno quer ao longo do dia. Nesta zona, os clientes não domésticos correspondiam a regas, cujo consumo de água pode ser elevado durante o Verão.

O consumo dos grandes consumidores é muito variável, como seria de esperar, sendo a piscina, a rega 1 (Campanha B) e a instituição social 3 os que apresentam maior consumo (em geral superior a 30 m³/(cliente.dia)). Adicionalmente, clientes como a piscina, a escola, a oficina e a instituição social 3 apresentam consumos bastante elevados no período de consumo mínimo nocturno. No entanto, quando se analisa o consumo mínimo, apenas os clientes escola, oficina e instituição social 3 apresentam valores elevados. Estes consumos mínimos elevados podem ser indicativos de perdas físicas nas redes domiciliárias pelo que a análise do efeito da pressão no consumo mínimo nestes clientes é particularmente importante.

Em grandes consumidores como a piscina e as instituições sociais, o consumo médio diário é aproximadamente constante entre campanhas, indicando que provavelmente predominam usos interiores que são pouco sensíveis a efeitos de sazonalidade. No caso da escola, da rega 1 e da oficina houve uma grande variação do consumo entre campanhas. A oficina e a escola apresentaram ao longo das campanhas períodos de consumo elevado e a rega 1 apenas começou a consumir água a partir de 1-04-2009 (início da época de rega).

Variáveis relativas a perdas de água

A estimativa das perdas comerciais de água foi feita através do cálculo da água não facturada (%) e das perdas por ramal (m³/(ramal.ano)) para cada uma das zonas em estudo.

Relativamente à Zona 1 apenas houve dados a partir do final de 09-04-2009, pelo que não foi possível fazer o balanço entre o consumo total medido e o consumo total autorizado

durante o cenário 1 da Campanha A (entre 05-01-2009 e 18-01-2009). Para o cenário 1 da Campanha B (entre 08-06-2009 e 21-06-2009), a água não facturada foi de 1,0% e as perdas por ramal de $17,2 \text{ m}^3/(\text{ramal.ano})$. O reduzido valor de água não facturada e o valor de perdas por ramal (abaixo do intervalo $100\text{-}300 \text{ m}^3/(\text{ramal.ano})$) são indicativos de uma rede com bom desempenho de acordo com Alegre *et al.* (2005).

Na Zona 2, durante o cenário 1 da Campanha A (entre 05-01-2009 e 18-01-2009), a água não facturada foi de 16,9% e as perdas por ramal de $82,2 \text{ m}^3/(\text{ramal.ano})$. Durante o cenário 1 da Campanha B, não foi possível fazer o balanço entre o consumo total medido e o consumo total autorizado devido a problemas na telemedição da oficina que inviabilizaram a utilização dos seus dados de consumo nesta campanha. Assim, tomando como referência os valores obtidos durante a Campanha A, considera-se que, à semelhança da Zona 1, a rede apresenta também um bom desempenho.

A Zona 3 é a mais pequena das três zonas de estudo (674 m de condutas e 20 ramais), tendo-se concluído que o consumo total medido e o consumo total autorizado eram muito semelhantes em ambas as campanhas e que as perdas comerciais eram desprezáveis (<1%).

A estimativa das perdas reais foi feita apenas ao nível do consumo total medido em MC6, que engloba a Zona 3, Zona 3 e Zona Centro 1, e ao nível do consumo total medido em MC7, que engloba a Zona 1 e Zona Centro 2, pois as leituras de consumo em MC8, MC9 e MC9 não permitiam descrever com suficiente pormenor os consumos mínimos, tal como descrito em 8.4.1.1, a partir dos quais se estimariam as perdas reais em cada uma das zonas de estudo. Assim, para o consumo total medido em MC6 e MC7, identificou-se o consumo mínimo durante o cenário 1, para cada campanha, e obteve-se o consumo total autorizado telemedido nesse instante, estimando-se assim as perdas reais.

Relativamente à Zona 1 e à Zona Centro 2, admitiu-se que o consumo mínimo medido correspondia essencialmente a perdas físicas que ocorriam na Zona Centro 2, pois as perdas comerciais na Zona 1 eram reduzidas (1%) e é provável que os consumos autorizados na Zona Centro 2 sejam reduzidos durante o período nocturno (zonas de serviços), tendo a entidade gestora conhecimento de que a respectiva rede se encontrava em pior estado de conservação, podendo as perdas ser mais elevadas do que nas restantes zonas. Obteve-se assim o valor, bastante elevado, de 26% para a ineficiência na utilização dos recursos hídricos, e um valor de perdas reais de $492 \text{ l}/(\text{ramal.dia})$ durante o cenário 1 da Campanha A (entre 05-01-2009 e 18-01-2009), bastante superior a $100 \text{ l}/(\text{ramal.dia})$ - valor preconizado para uma rede em boas condições de acordo com Lambert e Hirner

(2000). Para o cenário 1 da Campanha B, a ineficiência na utilização dos recursos hídricos diminuiu para 12,8% e as perdas reais baixaram para 234 l/(ramal.dia), o que representou uma melhoria no desempenho desta rede face ao cenário 1 da Campanha A.

As Zonas 2, 3 e Centro 1 (no cenário 1 da Campanha A), a ineficiência na utilização dos recursos hídricos era de 7,4% e as perdas reais eram de 86 l/(ramal.dia), valores indicativos de melhor desempenho do que nas zonas 1 e centro 2. No cenário 1 da Campanha B não foi feita a análise das perdas reais devido à falta de dados de consumo domiciliário (como seja no caso da oficina).

Uma vez que quer as zonas 1 e Centro 2, quer as zonas 2, 3 e Centro 1 incluíam também zonas com consumo não telemedido (*i.e.*, Centro 1 e Centro 2) não foi possível quantificar as perdas aparentes naquelas zonas. Ao nível de cada zona de estudo, o facto das perdas comerciais serem reduzidas e de não se poder estimar correctamente as perdas reais pela análise de consumos mínimos inviabilizou também a estimativas das perdas aparentes nestas zonas.

8.5.2 Modelação do consumo

8.5.2.1 Aspectos gerais

Os resultados, obtidos durante as campanhas realizadas, são apresentados em pormenor para cada uma das zonas de análise em 8.5.2.2 - 8.5.2.4. Um quadro com o resumo dos principais resultados relativos ao efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas de água é apresentado em 8.5.2.5.

8.5.2.2 Zona 1

Campanha A

Para esta campanha avaliou-se o efeito da pressão no consumo doméstico, consumo não doméstico sem grandes consumidores, nos consumos dos clientes piscina, instituição social 1 e escola.

Uma vez que o medidor MC8 não permitiu obter leituras fiáveis do consumo mínimo na Zona 1, que teria possibilitado a estimativa das perdas reais, não foi possível avaliar o efeito da pressão nesta componente de consumo na Zona 1. A análise da variação das perdas reais com a pressão foi feita, de forma aproximada, apenas nas zonas 1 e Centro 2 através dos dados de consumo do medidor MC7.

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis, para os dados de consumo na Zona 1, permitiram identificar se havia diferenças significativas no consumo entre os vários cenários de pressão para as categorias de consumo e clientes em análise (Quadro 8.12).

Quadro 8.12 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 1 (Campanha A)

<i>Categoria de consumo/cliente</i>	<i>Variável</i>	<i>Teste de Kruskal-Wallis (Valor-p)⁴²</i>	<i>Período de análise</i>
Consumo doméstico	Consumo máximo	0,206	(*)
	Consumo médio diário	0,562	(*)
	Consumo mínimo	0,015	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,025	(*)
Consumo não doméstico sem grandes consumidores	Consumo máximo	0,098	(*)
	Consumo médio diário	0,506	(*)
	Consumo mínimo	0,076	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,848	(*)
Piscina	Consumo máximo	0,282	(*)
	Consumo médio diário	0,320	(*)
	Consumo mínimo	(1)	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,002	(*)
Escola	Consumo máximo	0,001	(*)
	Consumo médio diário	0,009	(*)
	Consumo mínimo	0,006	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,142	(*)
Instituição social 1	Consumo máximo	0,026	(*)
	Consumo médio diário	0,017	(*)
	Consumo mínimo	0,977	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,619	(*)
Consumo total medido em MC7	Consumo máximo	0,015	(*)
	Consumo médio diário	0,035	(*)
	Consumo mínimo	0,000	05-01-2009 e 03-03-2009
	Consumo médio no PCMN	0,000	05-01-2009 e 03-03-2009

Legenda: (*) Considerado para análise o período completo da campanha; (1) Valores de consumo nulos.

A análise foi feita para o cenário diário de consumo mais típico, de acordo com os resultados apresentados em 8.5.1.1.

No que se refere ao consumo doméstico, verifica-se que não há diferenças estatisticamente significativas ($\text{valor-}p \geq 0,05$) entre os cenários de pressão em termos do consumo médio e do consumo máximo diário. Este resultado sugere que a pressão não influencia o consumo doméstico autorizado na Zona 1, tal como se evidencia pelo comportamento estável destas variáveis ao longo da campanha (Figura 8.15b). Esta zona caracteriza-se sobretudo por alojamentos em prédios de 4-5 pisos, onde predominam os usos de água interiores (*e.g.*, descarga de autoclismo, duches, lavagens de roupa), tal como descrito em 8.3.1 e cujo padrão diário de consumo se apresenta na Figura 8.16. Parte destes usos interiores

⁴² Utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para avaliar a hipótese nula segundo a qual a mediana do consumo é igual para os vários cenários de pressão. O teste foi realizado para um nível de significância de 5% (*i.e.*, a hipótese nula foi rejeitada para $\text{valor-}p < 0,05$).

correspondem à utilização de equipamentos cujo funcionamento é determinístico (*e.g.*, autoclismos, máquina de lavar roupa e louça), ou seja o volume e o tempo de utilização são fixos e independentes da pressão, por oposição aos dispositivos cujo funcionamento é aleatório (*e.g.*, torneiras de lavatórios, de duchas) e cujo consumo associado pode depender da pressão (Buchberger e Wells, 1996b; Van Zyl e Clayton, 2006). Assim, um consumo significativo associado a dispositivos com funcionamento determinístico pode contribuir para que o consumo autorizado seja independente da pressão. O resultado obtido é coerente com Lambert (2010) que refere, com base em dados de consumo australianos, que o consumo interior é pouco dependente da pressão, sugerindo o valor de 0,04 para o expoente da pressão N_2 , de acordo com a equação (8.1).

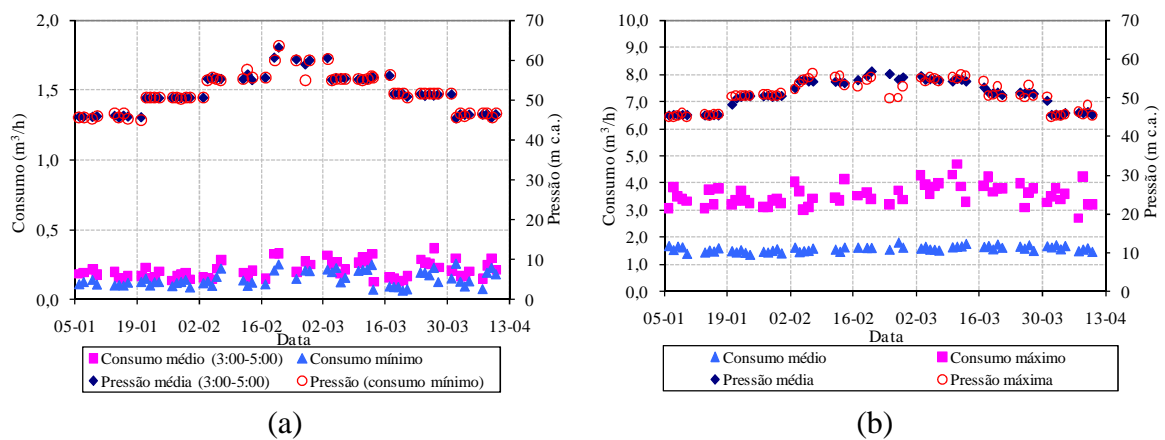


Figura 8.15 – Variação do consumo doméstico e de pressão na Zona 1 durante a Campanha A: a) valores médios 3:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

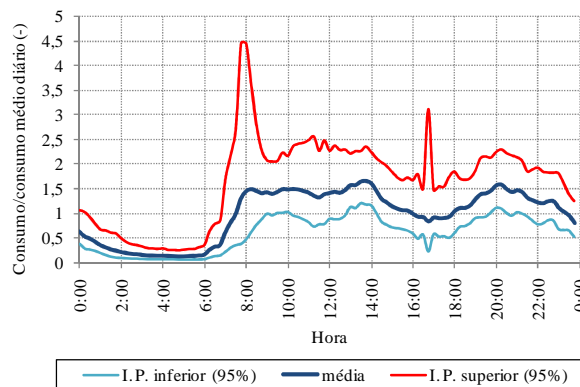


Figura 8.16 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 1 para o cenário diário I (2.ª-6.ª) (Campanha A)

No caso do consumo mínimo e médio no período de consumo mínimo doméstico (3:00-5:00), cuja variação durante a Campanha A é apresentada na Figura 8.15a, embora tivesse sido rejeitada a hipótese do consumo não variar entre cenários de pressão (valor- $p < 0,05$) a elevada dispersão dos dados de consumo não permitiu concluir sobre o efeito da pressão.

Relativamente ao consumo não doméstico sem grandes consumidores (*i.e.*, comércio, regas e restaurantes) concluiu-se que as diferenças no consumo entre cenários de pressão não eram estatisticamente diferentes para as variáveis de consumo em análise (valor- $p \geq 0,05$). Pode ainda afirmar-se que, no caso de consumos não domésticos, como os de restaurantes e comércio, em que os usos interiores são similares aos domésticos, o efeito da pressão é também muito reduzido (ou desprezável), tal como se obteve no Quadro 8.12.

No caso dos grandes consumidores, foram detectadas diferenças estatisticamente significativas (valor- $p \geq 0,05$) entre cenários de pressão para as diferentes variáveis em análise (Quadro 8.12). A variação do consumo médio diário com a pressão para a instituição social 1 e para a escola, durante a Campanha A, é apresentada na Figura 8.17. No entanto, dada a variabilidade do consumo neste tipo de clientes, quer durante o período nocturno, quer durante o dia, não foi possível concluir sobre o efeito da variação de pressão. Este resultado reforça a importância da análise separada deste tipo de clientes, que apresentam muitas vezes um comportamento irregular que pode enviesar significativamente a análise.

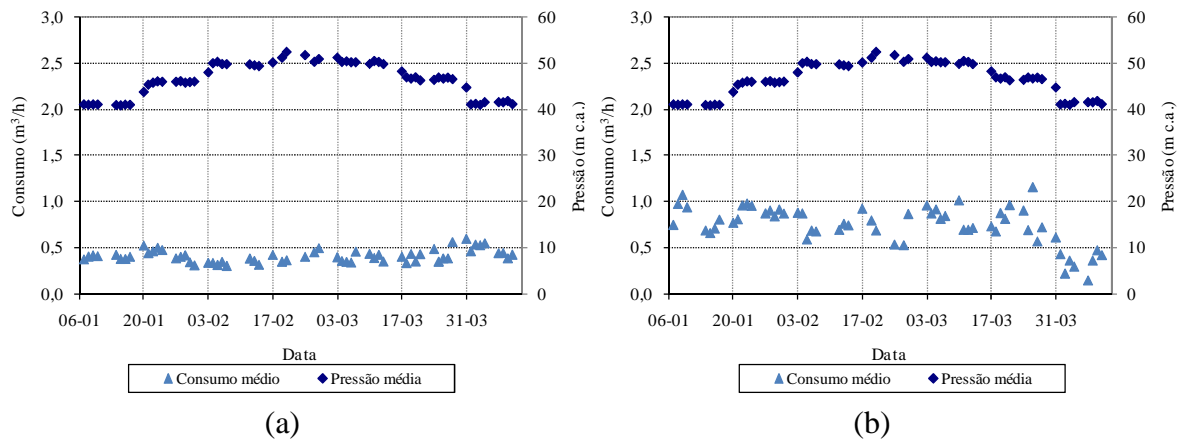


Figura 8.17 – Variação do consumo médio e de pressão média diária durante a Campanha A: a) instituição social 1, b) escola

A escola tinha sido identificada como um dos clientes com consumo mínimo mais elevado (Quadro 8.11), o que é indicativo de possíveis perdas físicas. No entanto a elevada variabilidade do consumo mínimo ao longo da Campanha A não permitiu concluir sobre o efeito da pressão no consumo.

Em relação ao consumo total medido em MC7, cuja variação ao longo da Campanha A se apresenta na Figura 8.18, verifica-se que há diferenças significativas no consumo entre cenários de pressão para todas as variáveis de consumo em análise (Quadro 8.12). O consumo mínimo e o consumo médio no PCMN (5:00-6:00) aumentaram com a pressão

entre 05-01-2009 e 02-03-2009, período em que houve um aumento de pressão de 15 m c.a. em relação à pressão no cenário 1, diminuindo significativamente entre 03-03-2009 e 16-03-2009. Entre 17-03-2009 e 13-04-2009, o consumo mínimo manteve-se praticamente constante (Figura 8.18 a). No que se refere ao consumo médio e máximo, embora se tenha verificado que havia diferenças significativas entre os cenários de pressão (valor- $p < 0,05$) a sua variabilidade ao longo da campanha é menor (Figura 8.18 b).

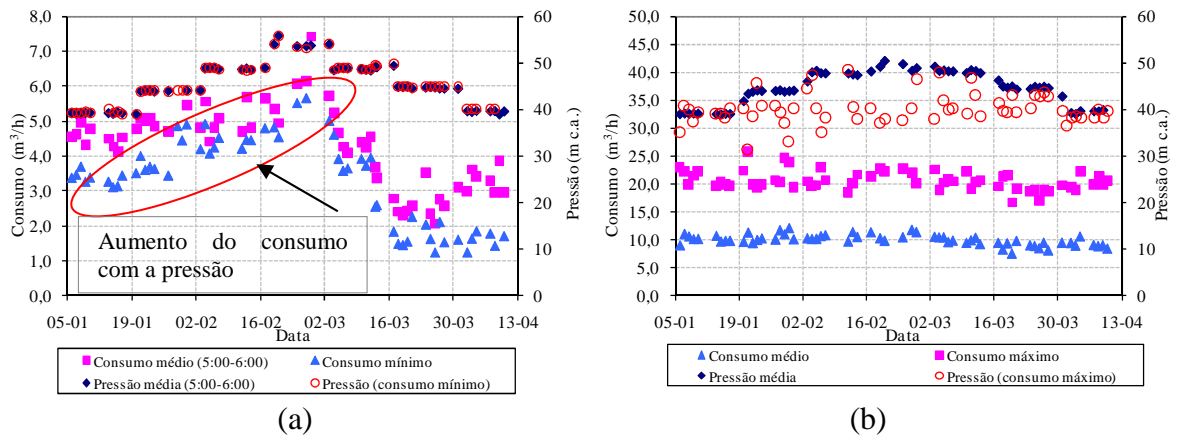


Figura 8.18 – Variação do consumo total medido e da pressão em MC7 durante a Campanha A: a) valores médios 5:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Para avaliar se, entre 05-01-2009 e 02-03-2009, o aumento do consumo mínimo e do consumo médio no PCMN na Zona 1 e Zona Centro 2 podia ser devido a um aumento no consumo autorizado, analisou-se o consumo total autorizado na Zona 1 (*i.e.*, consumo mínimo e consumo médio no PCMN) e o consumo facturado mensalmente na Zona Centro 2 (dado que nesta zona não se dispunha de dados de consumo telemedidos). Verificou-se que, durante o período em análise e para ambas as zonas, o consumo autorizado se manteve praticamente constante, pelo que o aumento do consumo total entrado nestas zonas (consumo mínimo e consumo médio no PCMN) entre 05-01-2009 e 02-03-2009 pode ter sido devido a um aumento do consumo associado às perdas físicas na rede com a pressão. De acordo com os resultados da análise das variáveis de consumo (*cf.* descrição em 8.5.1.2), verificou-se que as perdas comerciais na Zona 1 eram muito reduzidas e que a Zona Centro 2 seria a que mais contribuía para as perdas reais no conjunto das duas zonas. Assim, admitiu-se que o aumento de consumo mínimo e de consumo médio no PCMN observado foi devido sobretudo a um aumento das perdas reais nesta última zona. Para o consumo mínimo medido em MC7 (entre 05-01-2009 e 02-03-2009) apresenta-se na Figura 8.23 o resultado do ajustamento da equação (8.1) à relação entre a pressão e consumo.

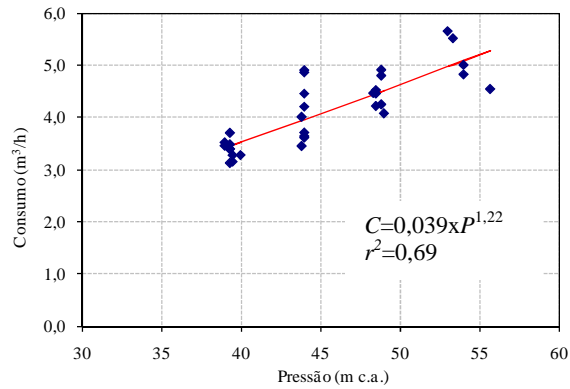


Figura 8.19 – Variação do consumo mínimo medido em MC7 com a pressão respectiva entre 05-01-2009 e 02-03-2009

O expoente da pressão $N_I=1,22$ está compreendido entre 1,0 e 1,5, indicativo da existência de pequenas fugas indetectáveis (em juntas e ligações), muito sensíveis à variação de pressão e independentes do tipo de material (Alegre *et al.*, 2005; Thornton e Lambert, 2005; Garzon-Contreras e Thornton, 2006). Assim, no caso da Zona Centro 2, um aumento de pressão de 37% ($P_1/P_0 = 1,37$), entre 05-01-2009 e 02-03-2009, levou a um aumento no consumo devido a perdas reais de 47% ($C_{f1}/C_{f0}=1,47$). Este resultado realça a importância de reduzir a pressão para minimizar as perdas reais, mesmo no caso de variação moderada como neste caso (37%), tal como recomendado por estudos anteriores (Thornton e Lambert, 2005).

Durante a Campanha A1 (que decorreu entre 12-04-2009 e 21-05-2009), em que a pressão diminuiu cerca de 15 m c.a., verificou-se que o consumo mínimo medido em MC7 se manteve constante e aproximadamente idêntico ao que se observou no final da Campanha A, entre 17-03-2009 e 13-04-2009 (Figura 8.20). O teste de Kruskal-Wallis indicou que não havia evidência que permitisse rejeitar a hipótese de igualdade da média do consumo entre cenários de pressão entre 17-03-2009 e 21-05-2009 (valor- $p \geq 0,05$). Estes resultados permitem deduzir, que durante este período, o consumo mínimo medido em MC7 é devido sobretudo a consumo efectivo dos clientes e a eventuais fugas que sejam menos sensíveis à pressão.

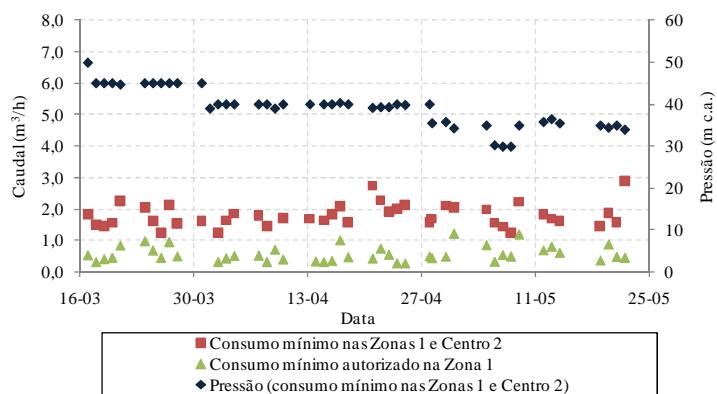


Figura 8.20 – Variação de consumo mínimo, da respectiva pressão medida em MC7 e do consumo mínimo autorizado na Zona 1 durante a Campanha A1

Campanha B

Na Campanha B, para além das categorias de consumo e dos clientes analisados na Campanha A, avaliou-se também o efeito da pressão no cliente rega 1. Os resultados do teste de Kruskal-Wallis, para os dados de consumo na Zona 1, são apresentados no Quadro 8.13.

Quadro 8.13 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 1 (Campanha B)

<i>Categoria de consumo/cliente</i>	<i>Variável</i>	<i>Teste de Kruskal-Wallis (Valor-p)</i>	<i>Período de análise</i>
Consumo doméstico	Consumo máximo	(2)	(*)
	Consumo médio diário	0,000	(*)
	Consumo mínimo	0,089	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,001	(*)
Consumo não doméstico sem grandes consumidores	Consumo máximo	(2)	(*)
	Consumo médio diário	(2)	(*)
	Consumo mínimo	(1)	(*)
	Consumo médio no PCMN	(1)	(*)
Piscina	Consumo máximo	(2)	08-06-2009 e 25-08-2009
	Consumo médio diário	0,011	08-06-2009 e 25-08-2009
	Consumo mínimo	(1)	08-06-2009 e 25-08-2009
	Consumo médio no PCMN	(1)	08-06-2009 e 25-08-2009
Escola	Consumo máximo	(2)	(*)
	Consumo médio diário	0,000	22-07-2009 e 9-10-2009
	Consumo mínimo	(2)	(*)
	Consumo médio no PCMN	(1)	(*)
Instituição social 1	Consumo máximo	(2)	(*)
	Consumo médio diário	0,203	(*)
	Consumo mínimo	(1)	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,066	(*)
Rega 1	Consumo máximo	(2)	(*)
	Consumo médio diário	0,249	25-07-2009 e 10-10-2009
	Consumo mínimo	(1)	(*)
	Consumo médio no PCMN	(1)	(*)
Consumo total medido em MC7	Consumo máximo	(2)	08-06-2009 e 21-07-2009
	Consumo médio diário	(2)	08-06-2009 e 21-07-2009
	Consumo mínimo	0,012	08-06-2009 e 21-07-2009
	Consumo médio no PCMN	0,004	08-06-2009 e 21-07-2009

Legenda: (*) Considerado para análise o período completo da campanha; (1) Valores de consumo nulos; (2) Não foi possível estabelecer cenários de pressão devido à variabilidade desta grandeza na campanha.

Devido aos consumos elevados dos grandes consumidores na Zona 1, a capacidade hidráulica da rede reduziu significativamente, provocando uma maior variabilidade da pressão medida em MC7 e não permitindo obter um funcionamento tão estável da VRP instalada em MC7 como durante a Campanha A, pelo que, em muitos casos, não foi possível distinguir os cenários de pressão.

Por exemplo, relativamente ao consumo doméstico ilustra-se na Figura 8.21b a variabilidade da pressão para o instante de consumo máximo doméstico durante a Campanha B. Este resultado demonstra a importância da estabilidade da superfície piezométrica quando se pretende avaliar o efeito da pressão no consumo autorizado e nas perdas de água, de forma a poder obter um funcionamento mais estável das VRP e identificar melhor os cenários de pressão. É mais fácil garantir a estabilidade da superfície piezométrica em sectores de rede com alguma capacidade hidráulica remanescente, onde as flutuações de caudal devidas ao consumo não se traduzam em perdas de carga significativas.

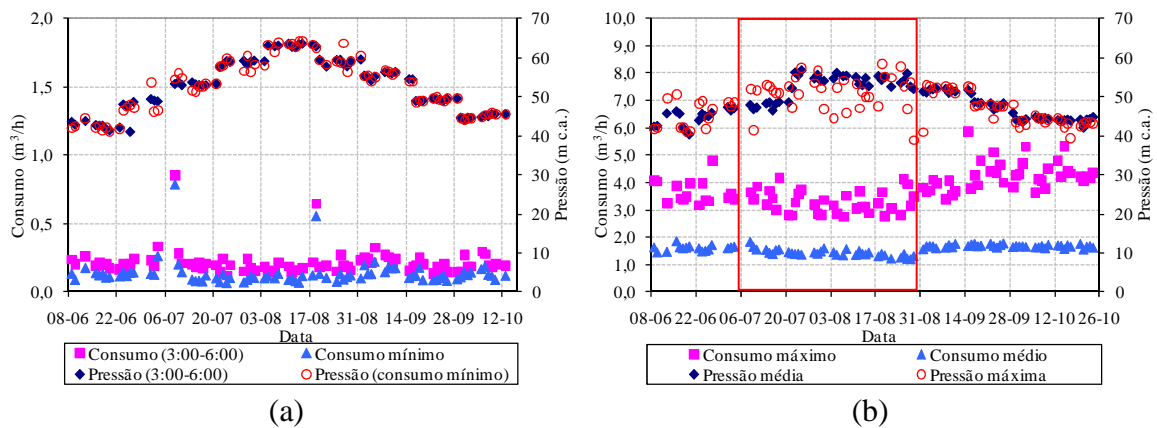


Figura 8.21 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 1 durante a Campanha B: a) valores médios 3:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Para o consumo doméstico, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os cenários de pressão relativamente ao consumo médio diário. No entanto, a Figura 8.21b mostra que essas diferenças são devidas, não à variação de pressão, mas sobretudo a uma ligeira diminuição de consumo (médio e máximo) entre Julho e Agosto, onde é expectável que uma parte dos consumidores se ausente em gozo de férias. O facto do padrão diário de consumo doméstico⁴³ durante a Campanha B (Figura 8.22) ser semelhante ao da Campanha A (Figura 8.16) indica também que não houve alterações significativas nos hábitos de consumo nesta zona durante o Verão.

⁴³ Ter em atenção que o padrão é adimensional e traduz o comportamento, não a escala.

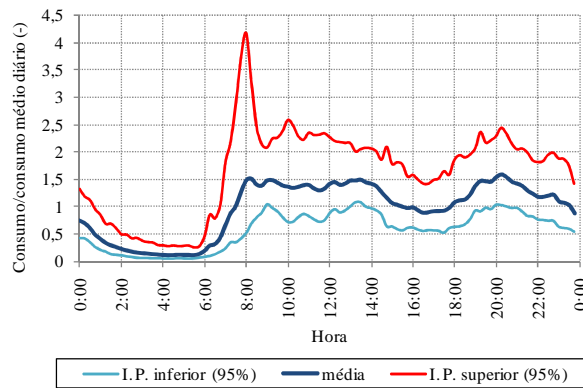


Figura 8.22 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 1 para o cenário diário I (2.^a-6.^a) (Campanha B)

No consumo dos grandes consumidores, os valores muito reduzidos ou nulos do consumo mínimo e do consumo no PCMN, bem como a variabilidade da pressão média diária e da pressão máxima, limitaram o estudo do efeito da pressão no consumo, tendo-se verificado igual comportamento no caso do consumo não doméstico sem grandes consumidores.

No entanto, dada o consumo elevado da rega 1, que representou 12,7% do consumo total autorizado durante a Campanha B (Figura 8.11) e dos usos associados a regas poderem ser particularmente influenciados pela pressão, analisou-se em pormenor os períodos de rega deste cliente, que variaram ao longo da campanha. Entre 21-06-2009 e 22-07-2009, a rega deste cliente deu-se entre as 0:00 e as 3:00, tal como se apresenta na Figura 8.26.

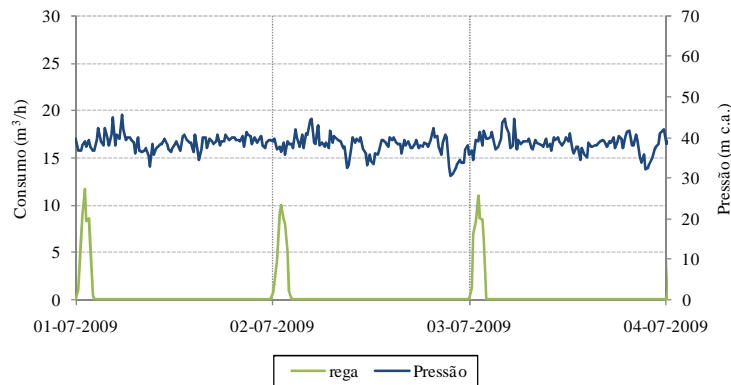


Figura 8.23 – Variação do consumo da rega 1 e da pressão durante a Campanha B (01-07-2009 e 04-07-2009)

A variação do consumo mínimo e do consumo médio entre 0:00-3:00 com a pressão é apresentada na Figura 8.24, onde se observa que esta última variável tende a aumentar com o aumento de pressão. O ajustamento da equação (8.1) à relação entre o consumo médio entre as 0:00 e as 3:00 e a respectiva pressão média permitiu obter um valor do expoente da pressão $N_2=1,05$ com uma boa qualidade de ajustamento ($r^2=0,80$) (Figura 8.25). Assim, de acordo com o valor de N_2 , um aumento de pressão de 18% ($P_1/P_0=1,18$), entre 21-06-

2009 e 22-07-2009, levou a um aumento no consumo entre as 0:00 e as 3:00 de 24% ($C_1/C_0=1,24$), o que demonstra que os consumos exteriores podem ser sensíveis à pressão, mesmo com variações moderadas desta grandeza.

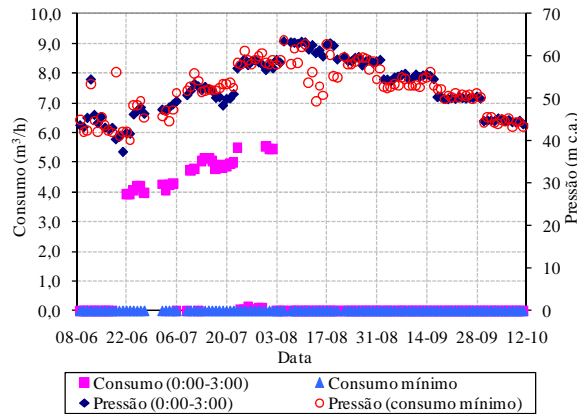


Figura 8.24 – Variação do consumo da rega 1 e da pressão (mínimo e médio entre 0:00-3:00) durante a Campanha B

No entanto, o valor obtido para o expoente N_2 é significativamente superior aos valores citados na bibliografia (Thornton e Lambert, 2005; Lambert, 2010), que refere entre 0,50 (para aspersores e mangueiras) e 0,75 (para mangueiras flexíveis com múltiplos orifícios). Os valores publicados resultam de informação limitada, proveniente do já citado estudo realizado na Austrália (Lambert, 2010), pelo que seria necessário complementar esta análise com uma caracterização mais pormenorizada dos usos, pois a sua variação com a pressão pode depender do tipo de dispositivos de rega (*e.g.*, aspersor, mangueira) e do seu modo de funcionamento.

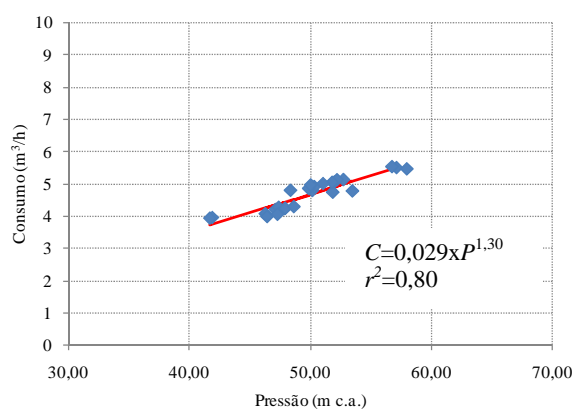


Figura 8.25 - Variação do consumo médio entre 0:00-3:00 da rega 1 com a pressão média entre as 0:00 e as 3:00 durante a Campanha B (21-06-2009 e 22-07-2009)

No que se refere ao consumo total medido em MC7, verifica-se que entre 08-06-2009 e 21-07-2009 as variáveis de consumo aumentam significativamente com a pressão (Figura 8.26). Adicionalmente, comparando o consumo mínimo e o consumo médio no PCMN

medido em MC7, verifica-se que durante a Campanha B há diferenças significativas nestas variáveis, por oposição ao que se obteve durante a Campanha A, em que os valores destas variáveis eram muito idênticos (Figura 8.18).

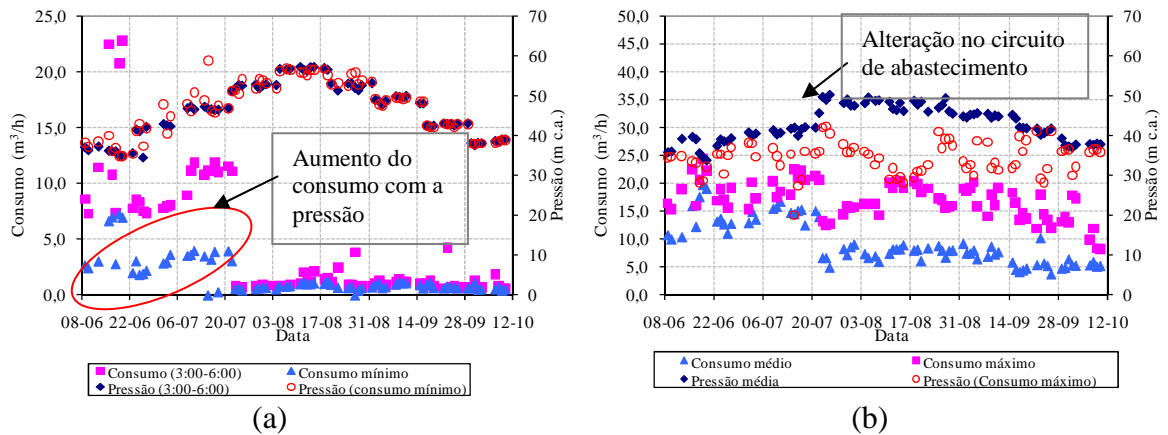


Figura 8.26 – Variação do consumo total e da pressão medidos em MC7 durante a Campanha B: a) valores médios 3:00-6:00 e mínimos, b) médios diários e máximos

Estas diferenças de comportamento entre Campanhas, no período nocturno, podem ser devidas a regas que ocorrem nestas zonas durante o Verão, tal como se verificou no cliente rega 1.

Uma vez que, de acordo com os resultados obtidos em 8.5.1.2, se concluiu que as perdas comerciais na Zona 1 eram muito reduzidas e que a entidade gestora tinha conhecimento de perdas físicas elevadas na Zona Centro 2, admitiu-se que o consumo mínimo medido em MC7, entre 08-06-2009 e 21-07-2009, correspondia essencialmente a perdas físicas na Zona Centro 2. O resultado do ajustamento da equação (8.1) à variação do consumo mínimo medido em MC7 com a pressão neste período é apresentado na Figura 8.27.

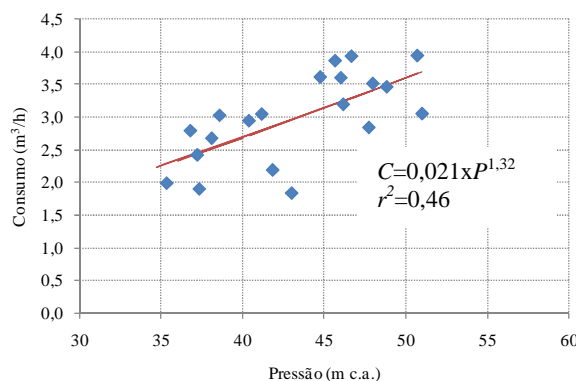


Figura 8.27 - Variação do consumo mínimo medido em MC7 com a respectiva pressão durante a Campanha B (08-06-2009 e 21-07-2009)

Verifica-se que o expoente da pressão ($N_I=1,32$) se encontra próximo do valor obtido durante a Campanha A, tal como se apresenta na Figura 8.19 ($N_I=1,22$), embora a qualidade do ajustamento seja inferior ($r^2=0,46$). De acordo com o valor de N_I obtido tem-se que um aumento de pressão de 32% ($P_I/P_0=1,32$), entre 08-06-2009 e 21-07-2009, levou a um aumento no consumo devido a perdas reais de 42% ($C_{fI}/C_{f0}=1,42$). Os resultados são coerentes entre campanhas e sugerem a existência de pequenas fugas indetectáveis (em juntas e ligações), muito sensíveis à variação de pressão e independentes do tipo de material na Zona Centro 2.

Observa-se também que a pressão média se altera significativamente a partir de 21-07-2009 (Figura 8.26b). Esta alteração de pressão foi devida a uma alteração operacional no circuito de abastecimento, por falta de capacidade hidráulica do sistema face aos elevados consumos durante o Verão. A partir de 21-07-2009, o medidor instalado em MC7 passou a medir apenas o consumo total da Zona 1, tal como o medidor MC8, e a pressão média aumentou.

8.5.2.3 Zona 2

Campanha A

Nesta campanha analisou-se o efeito da variação de pressão no consumo doméstico, nos grandes consumidores oficina e instituição social 2 e no consumo total medido em MC6. Uma vez que o peso do consumo não doméstico sem grandes consumidores era desprezável (0,4%) (Figura 8.12), não se considerou para análise esta componente de consumo.

Dado que o medidor MC9 não permitiu obter leituras fiáveis do consumo mínimo, o que teria possibilitado a estimativa das perdas reais na Zona 2, não foi possível avaliar o efeito da pressão nas perdas reais nesta zona. A análise da variação das perdas reais com a pressão foi feita, de forma aproximada, apenas ao nível agregado da Zona 2, Centro 1 e Zona 3 através dos dados de consumo mínimo do medidor MC6. Para a campanha em análise, o Quadro 8.14 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis para avaliar se havia diferenças no consumo entre cenários de pressão para as categorias de consumo e clientes em análise.

Quadro 8.14 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 2 (Campanha A)

<i>Categoria de consumo/cliente</i>	<i>Variável</i>	<i>Teste de Kruskal-Wallis (Valor-p)</i>	<i>Período de análise</i>
Consumo doméstico	Consumo máximo	0,667	(*)
	Consumo médio diário	0,948	(*)
	Consumo mínimo	0,184	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,351	(*)
Oficina	Consumo máximo	0,477	05-01-2009 e 06-02-2009
	Consumo médio diário	0,000	05-01-2009 e 06-02-2009
	Consumo mínimo	0,000	05-01-2009 e 06-02-2009
	Consumo médio no PCMN	0,000	05-01-2009 e 06-02-2009
Instituição social 2	Consumo máximo	0,200	(*)
	Consumo médio diário	0,105	(*)
	Consumo mínimo	0,000	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,368	(*)
Consumo total em MC6	Consumo máximo	(1)	05-01-2009 e 06-02-2009
	Consumo médio diário	0,046	05-01-2009 e 06-02-2009
	Consumo mínimo	0,020	05-01-2009 e 06-02-2009
	Consumo médio no PCMN	0,138	05-01-2009 e 06-02-2009

Legenda: (*) Considerado para análise o período completo da campanha; (1) Não foi possível estabelecer cenários de pressão devido à variabilidade desta grandeza na campanha.

No que se refere ao consumo doméstico, as diferenças entre cenários de pressão não são estatisticamente diferentes para as variáveis em análise ($\text{valor-}p > 0,05$). Estas caracterizam-se por alguma variabilidade ao longo da Campanha A, mas que é independente da pressão, tal como se apresenta na Figura 8.28. Estes resultados são coerentes com os que foram obtidos na Zona 1, para o mesmo período de análise, uma vez que, embora esta zona seja caracterizada por vivendas com espaços verdes, durante a Campanha A predominam sobretudo usos interiores que podem ser pouco dependentes da pressão.

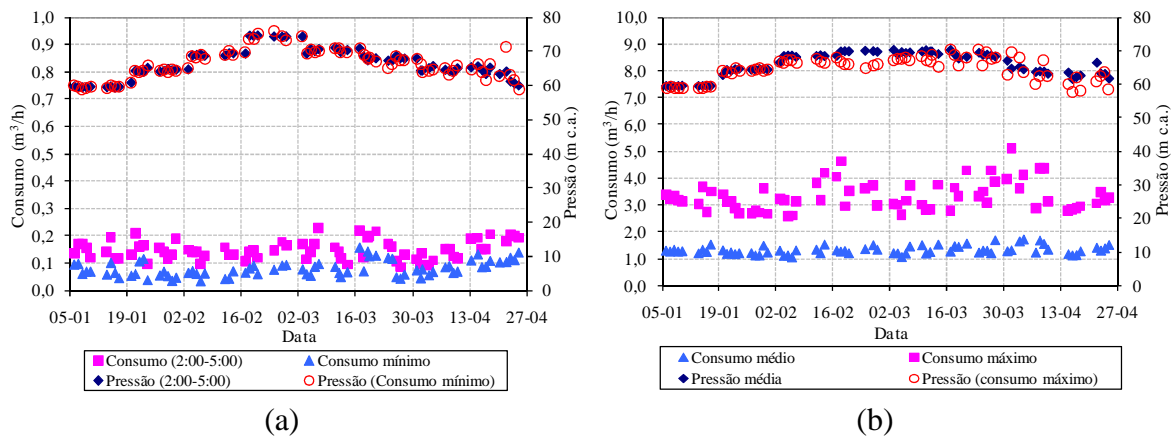


Figura 8.28 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 2 durante a Campanha A: a) valores médios 2:00-5:00 e mínimos, b) médios diários e máximos

O padrão diário de consumo doméstico (Figura 8.29) indica que durante o período nocturno, a variabilidade do consumo é muito reduzida comparativamente com o resto do dia e que é nos períodos de refeição que o consumo médio é mais elevado – almoço (entre as 12:00 e as 14:00) e jantar (entre as 20:00 e as 21:00).

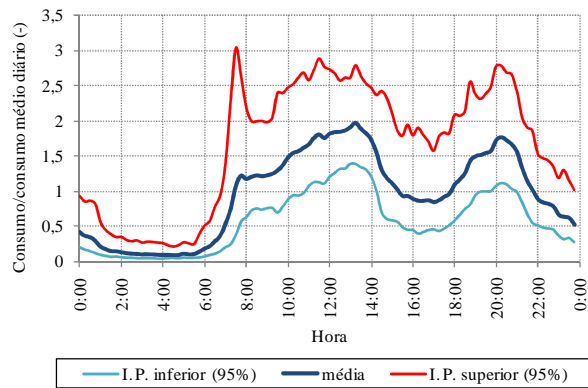


Figura 8.29 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 2 para o cenário diário I (2.^a-6.^a) (Campanha A)

No que se refere à oficina, os resultados do teste de Kruskal-Wallis indicaram que havia diferenças estatisticamente significativas no consumo mínimo, consumo médio no PCMN e consumo médio diário, entre cenários de pressão (valor- $p < 0,05$) entre 05-01-2009 e 11-02-2009. Neste período, estas variáveis de consumo aumentaram significativamente com a pressão, diminuindo a partir de 12-02-2009 e mantendo-se constantes até ao fim da campanha (Figura 8.30). A variação do consumo entre 05-01-2009 e 11-02-2009 pode ter sido devido a uma rotura previamente desconhecida na rede deste cliente, que aumentou significativamente com o aumento de pressão, tendo sido reparada em 11-02-2009 (Figura 8.31).

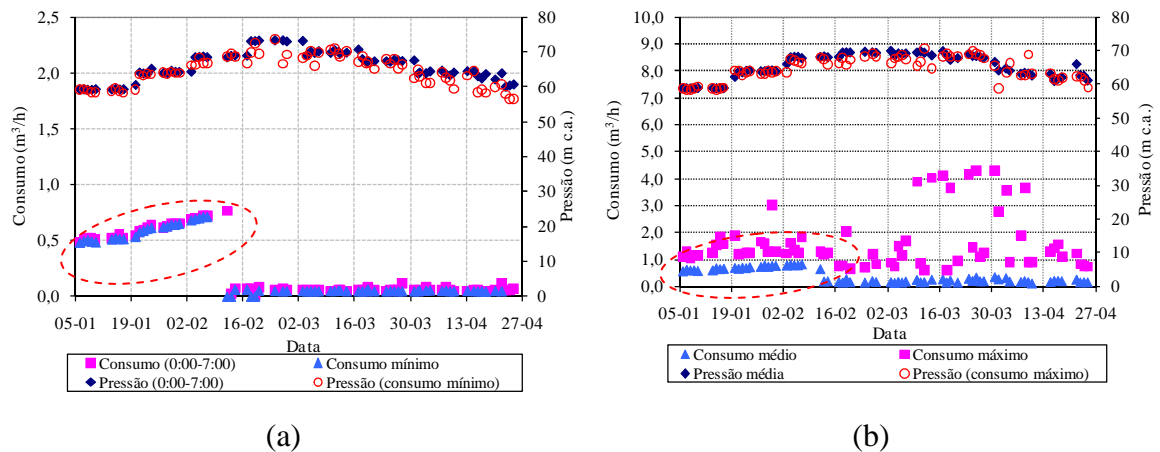


Figura 8.30 – Variação do consumo autorizado e da pressão na oficina durante a Campanha A: a) valores médios 0:00-7:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

O aumento da pressão na rede pode provocar também um agravamento das fugas ou roturas existentes em clientes, para além daquelas que existem na rede pública. No sentido inverso, a redução de pressão na rede pode contribuir para uma diminuição do consumo facturado devido a perdas de água, permitindo uma maior poupança aos clientes e a minimização de eventuais danos decorrentes destas fugas ou roturas.

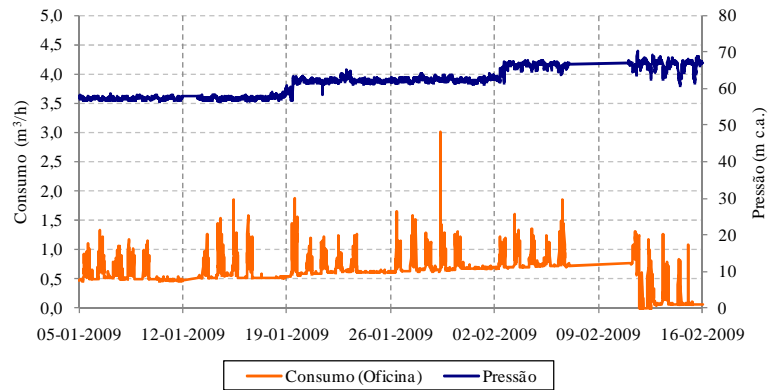


Figura 8.31 – Variação do consumo da Oficina e da pressão durante a Campanha A (05-01-2009 e 16-02-2009)

O resultado do ajustamento da equação (8.1) à variação do consumo mínimo com a pressão, entre 05-01-2009 e 11-02-2009, é apresentado na Figura 8.32. O valor do expoente da pressão ($N_I=2,52$) é indicativo da existência de fugas significativas, em condutas de material plástico (*i.e.*, fugas em orifícios de área variável) (Alegre *et al.*, 2005; Thornton e Lambert, 2005; Garzon-Contreras e Thornton, 2006). Deste modo, um aumento de pressão de 15% ($P_I/P_0 = 1,15$), entre 05-01-2009 e 11-02-2009, levou a um aumento no consumo devido a perdas reais de 42% ($C_{fI}/C_{f0}=1,42$). Verifica-se assim que o aumento das perdas reais, em particular no caso de roturas, pode ser bastante significativo, mesmo quando as variações de pressão são moderadas como neste caso.

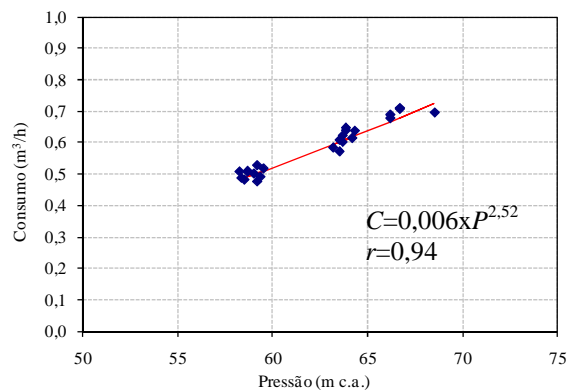


Figura 8.32– Variação do consumo mínimo da oficina com a respectiva pressão durante a Campanha A (05-01-2009 e 11-02-2009)

Na instituição social 2, em relação ao consumo mínimo, embora o teste de Kruskal-Wallis tenha mostrado que havia diferenças significativas entre os cenários de pressão (valor- $p > 0,05$), a sua dispersão não permitiu tirar conclusões sobre o efeito da pressão.

No que se refere ao consumo total medido em MC6 (Figura 8.33), o consumo médio no PCMN e o consumo mínimo mantêm-se praticamente constantes ao longo da campanha,

excepto entre 05-01-2009 e 11-02-2009, período em que houve um aumento significativo destas variáveis devido, em grande parte, ao aumento das perdas de água com a pressão na oficina. Relativamente ao consumo total (médio e máximo diário) não se observa qualquer tendência de variação do consumo com a pressão.

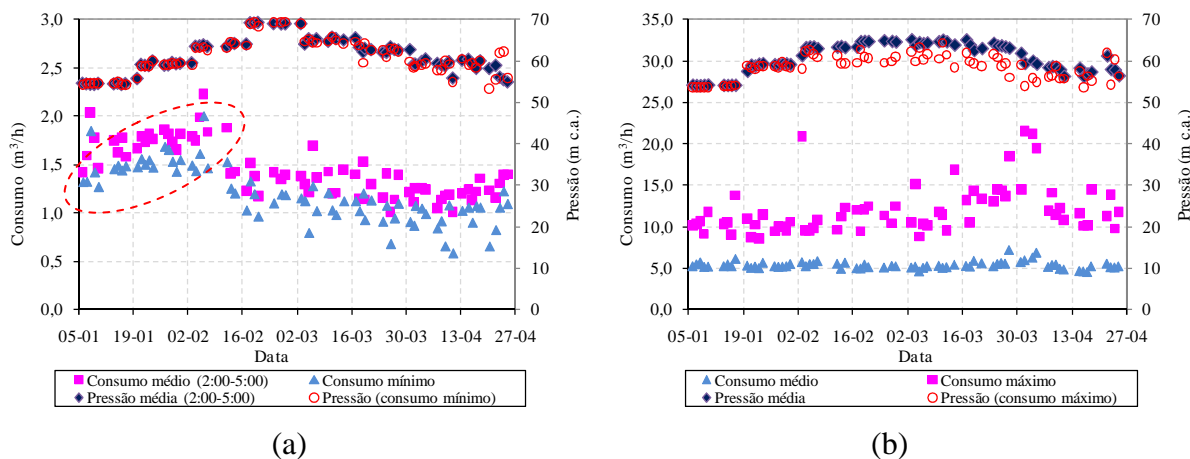


Figura 8.33 – Variação do consumo total e da pressão medidos em MC6 durante a Campanha A: a) valores médios entre as 2:00 e as 5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Este resultado é coerente com o facto de, no período de análise, predominarem os usos interiores nas zonas 2, 3 e Centro 1 que, de acordo com os resultados obtidos na Zona 1, são independentes da pressão.

Campanha B

Durante esta campanha avaliou-se o efeito da pressão no consumo autorizado doméstico, na instituição social 2 e no consumo total medido em MC6 (o consumo não doméstico não foi considerado para análise dado que o seu peso no consumo total autorizado era desprezável). Os resultados do teste de Kruskal-Wallis para avaliar se havia diferenças no consumo entre cenários de pressão são apresentados no Quadro 8.15.

Quadro 8.15 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 2 (Campanha B)

<i>Categoria de consumo/cliente</i>	<i>Variável</i>	<i>Teste de Kruskal-Wallis (Valor-p)</i>	<i>Período de análise</i>
Consumo doméstico	Consumo máximo	0,000	(*)
	Consumo médio diário	0,000	(*)
	Consumo mínimo	0,000	08-06-2009 e 28-07-2009
	Consumo médio no PCMN	0,000	08-06-2009 e 28-07-2009
Instituição social 2	Consumo máximo	0,000	(*)
	Consumo médio diário	0,008	(*)
	Consumo mínimo	0,036	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,138	(*)
Consumo total medido em MC6	Consumo máximo	0,002	08-06-2009 e 24-07-2009
	Consumo médio diário	0,351	08-06-2009 e 24-07-2009
	Consumo mínimo	0,000	08-06-2009 e 27-07-2009
	Consumo médio no PCMN	0,001	08-06-2009 e 27-07-2009

Legenda: (*) Considerado para análise o período completo da campanha.

No que se refere ao consumo doméstico, os resultados do teste de Kruskal-Wallis indicaram que havia diferenças estatisticamente significativas no consumo para os vários cenários de pressão (valor- $p < 0,05$). Observa-se na Figura 8.34 que esta componente de consumo apresenta um comportamento distinto daquele que se verificou na Campanha A (Figura 8.28), embora o padrão diário de consumo doméstico durante a Campanha B (Figura 8.35) seja muito semelhante ao que se obteve durante a Campanha A (Figura 8.29), o que pode ser indicativo da existência de alguns clientes domésticos com comportamento muito distinto dos restantes. No que se refere ao consumo mínimo e ao consumo médio entre 2:00-6:00, ocorreram dois períodos de consumos com comportamento distinto: entre 08-06-2009 e 28-07-2009, em que estas variáveis aumentaram com a pressão; e entre 29-07-2009 e 26-10-2009, em que o consumo baixou significativamente e se manteve aproximadamente constante.

O consumo médio e máximo apresentam uma tendência para acompanhar o aumento e posterior diminuição da pressão ao longo do teste (Figura 8.34b).

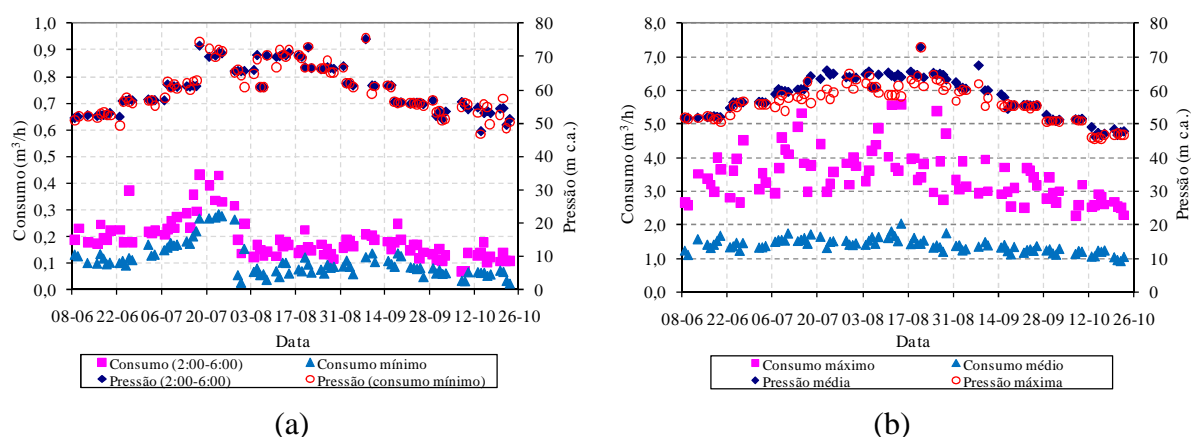


Figura 8.34 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 2 durante a Campanha B: a) valores médios 2:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

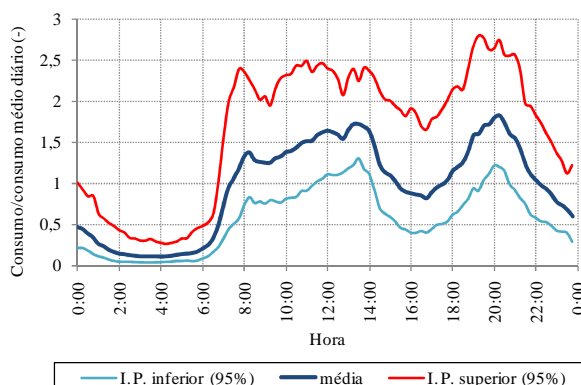


Figura 8.35 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 2 para o cenário diário I (2.^a-5.^a) (Campanha B)

Uma análise pormenorizada dos clientes domésticos permitiu identificar um cliente (uma moradia) onde os consumos mínimos entre 08-06-2009 e 28-07-2009 são elevados e aumentaram com a pressão (Figura 8.36a). A média do consumo mínimo neste cliente representou 56% da média do consumo mínimo doméstico total para a zona no período em análise.

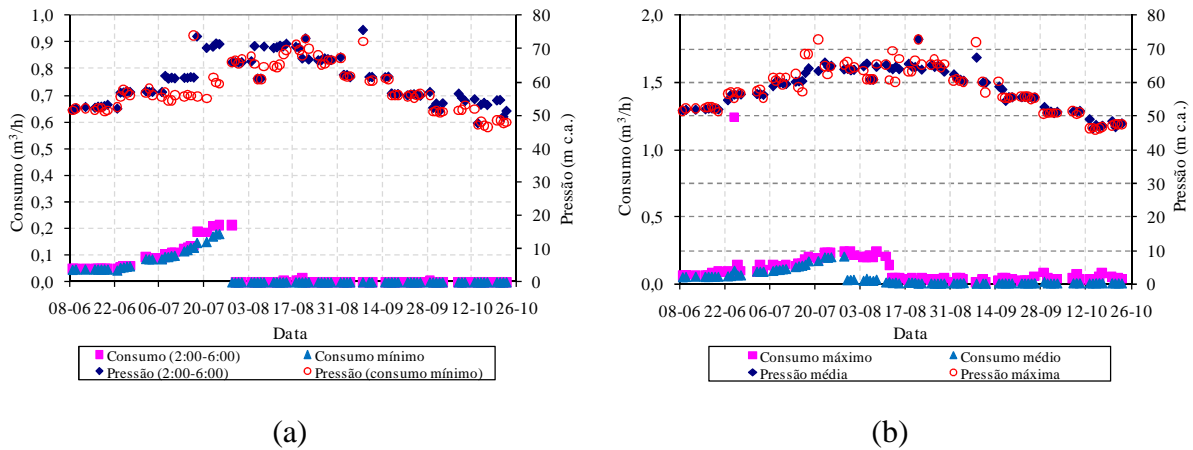


Figura 8.36 – Variação do consumo doméstico e da pressão na moradia 1, durante a Campanha B: a) valores médios 2:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Para o período entre 08-06-2009 e 28-07-2009, de que a Figura 8.37 apresenta a variação do consumo com a pressão, obteve-se um valor para o expoente da pressão ($N_I=7,6$), que traduz a variação do consumo mínimo na moradia 1 com a pressão, com uma qualidade de ajustamento, $r^2=0,62$. O valor obtido para o expoente da pressão é muito elevado, comparativamente com os valores reportados na bibliografia ($\sim 2,5$) (Farley e Trow, 2003; Thornton e Lambert, 2005), indicativo da existência de outros efeitos para além da pressão.

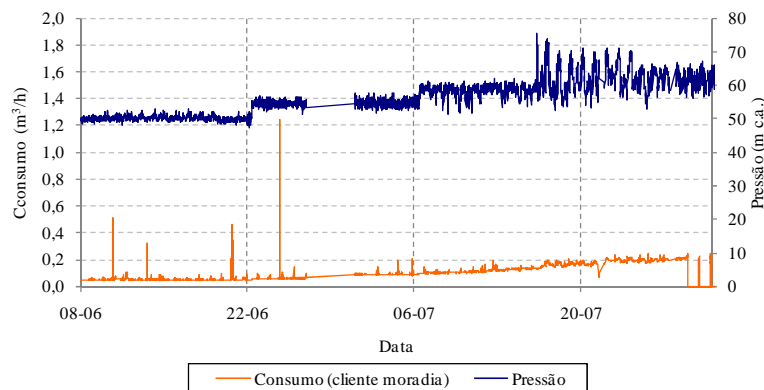


Figura 8.37 – Variação do consumo na moradia 1 e da pressão durante a Campanha B (08-06-2009 e 30-07-2009)

Este resultado demonstra mais uma vez, à semelhança do que se passou na oficina, durante a Campanha A (Figura 8.32), que o aumento de pressão pode agravar possíveis fugas existentes na rede domiciliária.

No que se refere à instituição social 2, embora os resultados do teste de Kruskal-Wallis tenham indicado que havia diferenças estatisticamente significativas entre as campanhas (valor- $p < 0,05$) (Quadro 8.15), a elevada dispersão dos dados não permitiu tirar conclusões sobre o efeito da pressão no consumo.

Ainda para o consumo doméstico, obtiveram-se os parâmetros da equação (8.1) que melhor se ajustam à relação entre pressão média e consumo médio diário e à relação entre pressão máxima e consumo máximo (Figura 8.38). Os valores obtidos para o expoente da pressão N_2 variam entre 0,5 e 1,0 e podem indicar que o consumo doméstico nesta zona é sensível à pressão. A Zona 2 caracteriza-se por algumas vivendas com espaços verdes, onde o peso dos usos exteriores no consumo total doméstico pode ter algum significado durante o Verão, embora o comportamento médio diário durante a Campanha B (Figura 8.35) não se tenha alterado significativamente relativamente à Campanha A (Figura 8.29). Admitindo que o aumento de consumo médio durante a Campanha B é devido exclusivamente ao aumento da pressão, tem-se que o valor de $N_2 = 0,84$ é ligeiramente superior aos valores sugeridos na bibliografia (Thornton e Lambert, 2005; Lambert, 2010), entre 0,50 (para aspersores e mangueiras) e 0,75 (para mangueiras flexíveis com múltiplos orifícios), como já foi mencionado.

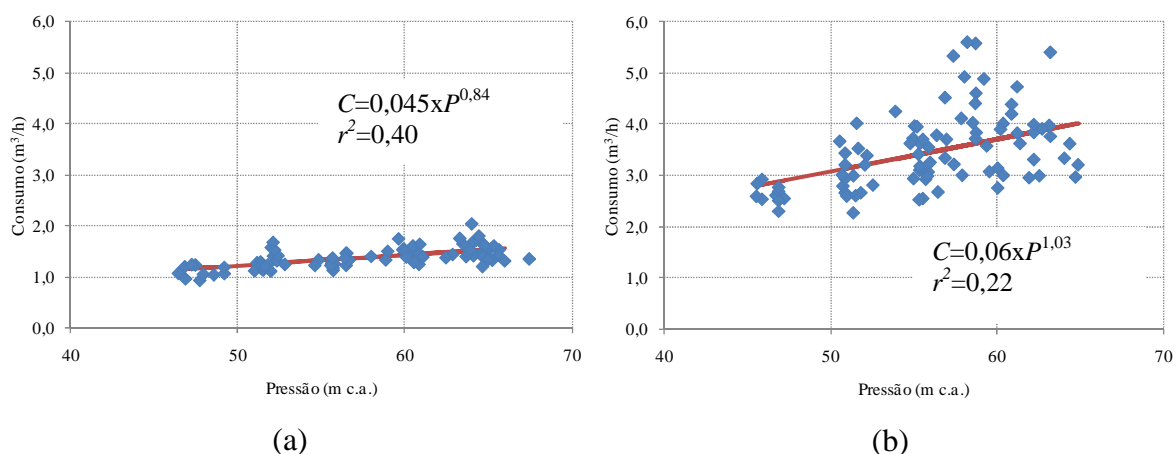


Figura 8.38 – Variação do consumo doméstico com a pressão na Zona 2 durante a Campanha B: a) média diária, b) máximo

No que se refere ao consumo total medido em MC6 (Figura 8.39), observa-se uma maior variabilidade do consumo relativamente à Campanha A (Figura 8.33). A partir da análise

das variáveis de consumo mínimo e de consumo médio no PCMN (Figura 8.39a), observaram-se dois períodos principais de consumo: i) entre 20-06-2009 e 27-07-2009, em que o consumo é elevado e tende a aumentar à medida que a pressão aumenta; e ii) entre 28-07-2009 e 1-10-2009 em que o consumo é mais baixo e tende a diminuir com a diminuição de pressão. Este comportamento pode também ser observado na variação do consumo médio e máximo com a pressão (Figura 8.39b).

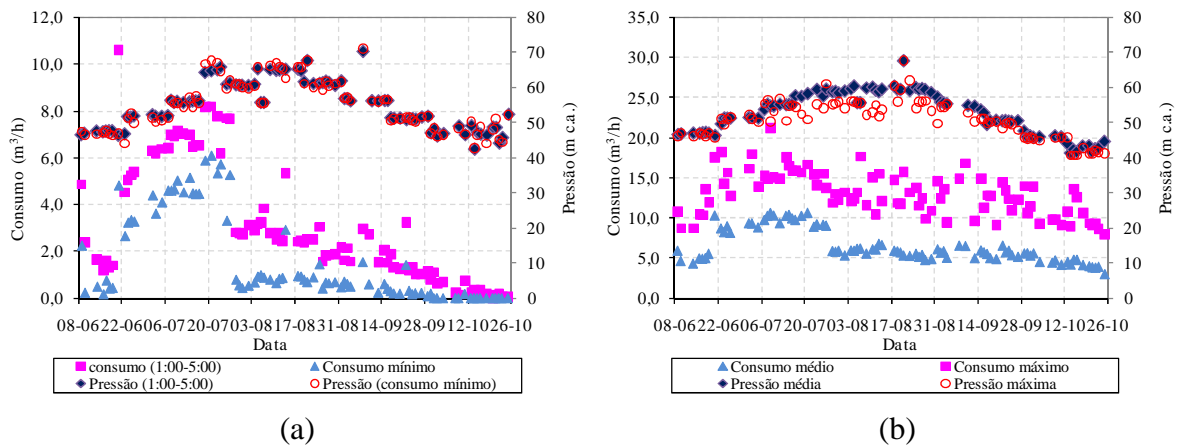


Figura 8.39– Variação de consumo total e da pressão medidos em MC6, durante a Campanha B: a) valores médios 1:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Em relação ao consumo mínimo, para avaliar se o comportamento entre 20-06-2009 e 27-07-2009 se deveu a perdas físicas, e identificar a zona da rede onde ocorreu, analisou-se o consumo total medido em MC9 e MC10 durante este período. Verificou-se que em MC10 não houve alteração dos consumos mínimos, que continuaram a ser muito reduzidos, por oposição aos consumos mínimos em MC9, que também aumentaram significativamente no período em análise (Figura 8.40).

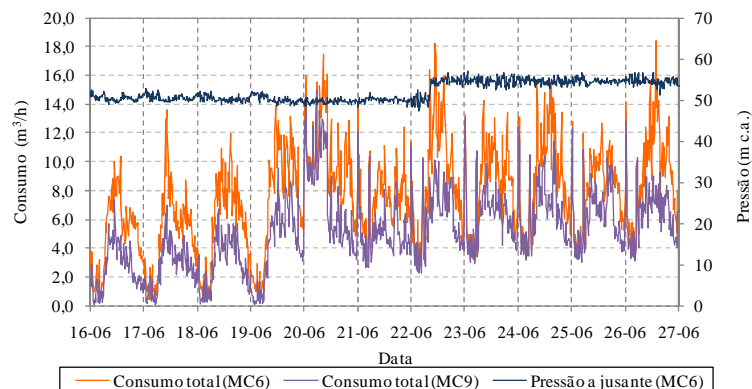


Figura 8.40 – Variação do consumo total medido em MC6 e MC9 e da pressão durante a Campanha B (16-06-2009 e 27-06-2009)

Deste modo, o aumento do consumo total medido em MC6 aparenta ter-se devido a um aumento do consumo na Zona Centro 1. Uma vez que esta zona não foi telemedida, analisaram-se os dados de consumo mensal facturado nesta zona e verificou-se que se mantiveram estáveis ao longo da Campanha B. Assim, admitiu-se que o aumento do consumo mínimo se deveu a perdas reais, em particular a uma rotura, dado que o consumo associado era superior a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (UK Water Industry, 1994a).

O ajustamento da equação (8.1) à variação do consumo mínimo medido em MC6 entre 20-06-2009 e 27-07-2009 é apresentado na Figura 8.41. O valor do expoente da pressão N_I é superior aos valores obtidos na Zona 1 para a variação de possíveis perdas físicas com a pressão, em que se obteve $N_I = 1,22$ (Figura 8.19) e $N_I = 1,32$ (Figura 8.27), sendo também superior a 1,5, o que sugere a existência de fugas detectáveis em condutas de material plástico (Alegre *et al.*, 2005; Garzon-Contreras e Thornton, 2006).

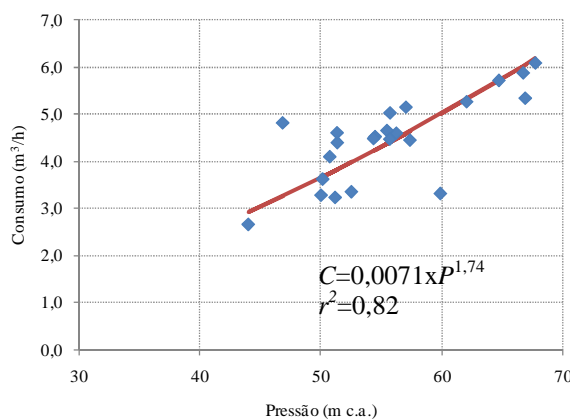


Figura 8.41 – Variação do consumo mínimo medido em MC6 com a pressão entre 20-06-2009 e 27-07-2009

Deste modo, um aumento da pressão pode potenciar o aparecimento de novas fugas ou roturas, ou agravar as que já existem, contribuindo para o aumento dos custos de reparação da rede, a diminuição da qualidade do serviço prestado (através do aumento de interrupções na rede) e a perda de eficiência na utilização dos recursos hídricos.

No que se refere ao consumo médio diário e ao consumo máximo entre 28-07-2009 e 25-10-2009, observa-se na Figura 8.39b que tendem a diminuir com a diminuição da pressão. Embora se tivesse verificado que havia diferenças estatisticamente significativas no consumo entre cenários de pressão, para o período em análise (valor- $p < 0,05$), a dispersão dos dados de consumo não permitiu tirar conclusões sobre o efeito da pressão nestas variáveis de consumo.

8.5.2.4 Zona 3

Campanha A

Nesta campanha analisou-se o efeito da variação de pressão apenas no consumo doméstico e na instituição social 3. Uma vez que o peso do consumo não doméstico sem grandes consumidores durante esta campanha era desprezável (0,4%), tal como apresentado na Figura 8.13, não se considerou esta componente de consumo para análise do efeito da pressão.

Dado que o medidor MC10 não permitiu obter leituras fiáveis do consumo mínimo, que teriam possibilitado a estimativa das perdas reais na Zona 3 (por diferença entre o consumo total medido em MC10 e o consumo total autorizado na Zona 3) não foi possível avaliar o efeito da pressão nas perdas reais na Zona 3. No entanto, através da análise das variáveis de consumo concluiu-se que as perdas comerciais nesta zona eram reduzidas (<1%), tal como descrito em 8.5.1.2), e que as perdas reais eram consequentemente desprezáveis.

Para a campanha em análise, apresenta-se no Quadro 8.16, os resultados do teste de Kruskal-Wallis para avaliar se havia diferenças no consumo entre cenários de pressão para as categorias de consumo doméstico e para a instituição social 3.

Quer para o consumo doméstico, quer para o consumo da instituição social 3 concluiu-se que não havia diferenças estatisticamente significativas no consumo médio diário entre cenários de pressão (valor- $p \geq 0,05$).

Quadro 8.16 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 3 (Campanha A)

<i>Categoria de consumo/cliente</i>	<i>Variável</i>	<i>Teste de Kruskal-Wallis (Valor-p)</i>	<i>Período de análise</i>
Consumo doméstico	Consumo máximo	0,023	(*)
	Consumo médio diário	0,263	(*)
	Consumo mínimo	0,009	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,476	(*)
Instituição social 3	Consumo máximo	0,077	(*)
	Consumo médio diário	0,123	(*)
	Consumo mínimo	0,008	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,000	(*)

Legenda: (*) Considerado para análise o período completo da campanha.

Verifica-se nas Figuras 8.42b e 8.44b que estas variáveis de consumo apresentam um comportamento aproximadamente constante ao longo da campanha. Estes resultados são coerentes com os resultados obtidos para o consumo doméstico nas zonas 1 e 2, durante a Campanha A, e que permitem reafirmar que no caso do consumo doméstico ser composto

essencialmente por usos interiores (situação típica no período de Inverno) não há evidências de que a pressão influencie o consumo autorizado. Verificou-se também que em clientes não domésticos com usos similares aos domésticos, como seja a instituição social 3, cujo padrão diário de consumo (Figura 8.45) é semelhante ao do consumo doméstico (Figura 8.43), o consumo autorizado também é independente da pressão.

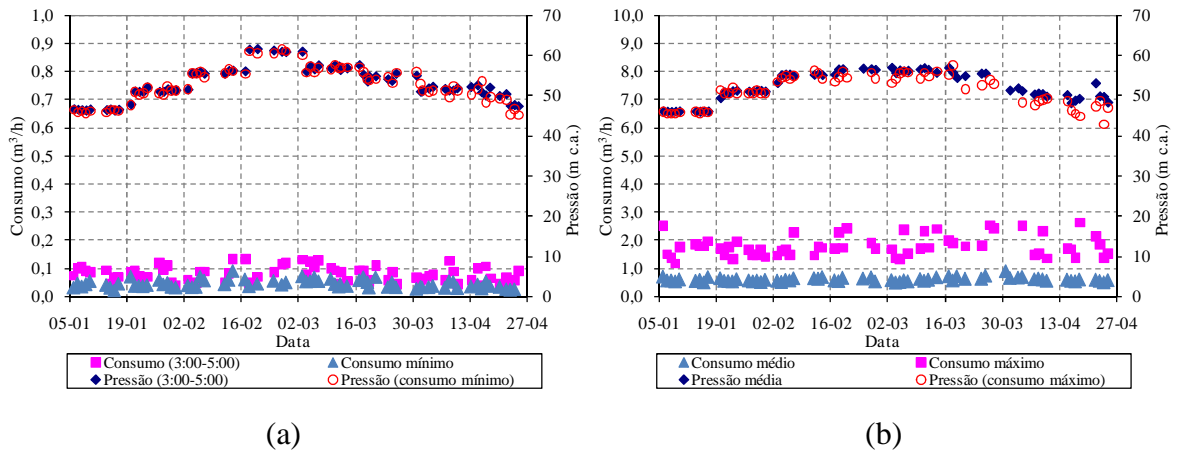


Figura 8.42– Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 3 durante a Campanha A: a) valores médios 3:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

O padrão diário de consumo doméstico (Figura 8.43) indica que nesta zona o consumo ao longo do dia é significativamente mais elevado do que nas zonas 1 e 2. Apesar desta zona ser a de menor dimensão, é também aquela onde existem algumas vivendas de grande dimensão, pelo que o consumo nos respectivos clientes pode ser mais elevado comparativamente com os restantes clientes da zona.

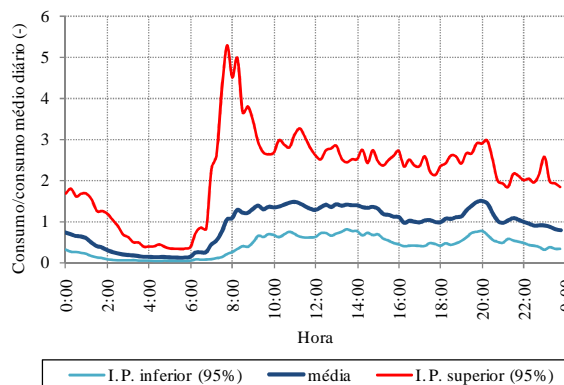


Figura 8.43 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 3 para o cenário diário I (2.^a-6.^a) (Campanha A)

Em ambos os tipos de consumo verificou-se que havia diferenças significativas no consumo mínimo entre cenários de pressão (valor- $p < 0,05$). No entanto, no caso do consumo mínimo doméstico concluiu-se que $r^2 < 0,1$, o que indica uma grande dispersão dos dados, não permitindo tirar conclusões sobre o efeito da pressão nesta variável de

consumo. No caso da instituição social 3, verificou-se que quer o consumo mínimo, quer o consumo no PCMN se caracterizavam por uma grande variabilidade entre cenários (Figura 8.44a). No entanto, não se afigura que tal se deva à pressão, uma vez que se verificou que estas variáveis diminuíam com o aumento da pressão, contrariamente ao que seria espetável.

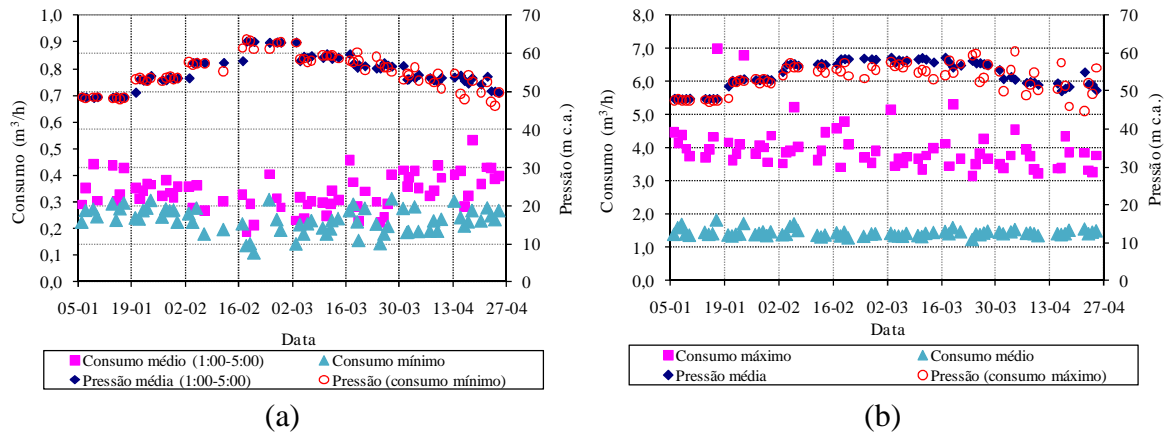


Figura 8.44– Variação do consumo e da pressão na instituição social 3 durante a Campanha A: a) valores médios 1:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

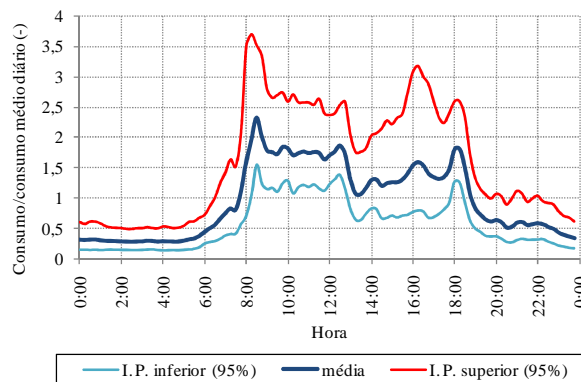


Figura 8.45 – Padrão diário de consumo da instituição social 3 para o cenário diário I (2.ª-6.ª) (Campanha A)

Campanha B

Na Zona 3 analisou-se o efeito da variação de pressão no consumo doméstico, no consumo não doméstico sem grandes consumidores e na instituição social 3. Para a campanha em análise, apresenta-se no Quadro 8.17, os resultados do teste de Kruskal-Wallis para avaliar se havia diferenças no consumo entre cenários de pressão.

Comparativamente com a Campanha A (Quadro 8.16), os resultados do teste de Kruskal-Wallis durante a Campanha B revelam que há uma maior variabilidade do consumo ao longo do teste. Importa assim analisar se essa variabilidade pode ser devida à variação de pressão.

Quadro 8.17 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis para a Zona 3 (Campanha B)

<i>Categoria de consumo/cliente</i>	<i>Variável</i>	<i>Teste de Kruskal-Wallis (Valor-p)</i>	<i>Período de análise</i>
Consumo doméstico	Consumo máximo	0,001	(*)
	Consumo médio diário	0,000	(*)
	Consumo mínimo	0,000	08-06-2009 a 28-08-2009
	Consumo médio no PCMN	0,005	08-06-2009 a 28-08-2009
Consumo não doméstico sem grandes consumidores	Consumo máximo	0,177	08-06-2009 a 05-08-2009
	Consumo médio diário	0,016	08-06-2009 a 05-08-2009
	Consumo mínimo	(1)	08-06-2009 a 05-08-2009
	Consumo médio no PCMN	0,003	08-06-2009 a 05-08-2009
Instituição social 3	Consumo máximo	0,324	(*)
	Consumo médio diário	0,000	(*)
	Consumo mínimo	0,218	(*)
	Consumo médio no PCMN	0,550	(*)

Legenda: (*) Analisado o período completo da campanha; (1) Valores de consumo nulos.

No que se refere ao consumo doméstico, o consumo mínimo e o consumo médio no PCMN apresentam maior variabilidade a partir de 1-09-2009, que se afigura ser independente dos cenários de pressão (Figura 8.46a); entre 08-06-2009 e 31-08-2009 verificou-se que as diferenças entre os cenários não eram estatisticamente significativas ($\text{valor-}p > 0,05$). No caso do consumo médio e do consumo máximo, a elevada dispersão dos dados ($r^2 < 0,1$) não permitiu tirar conclusões sobre o efeito da pressão nestas variáveis de consumo.

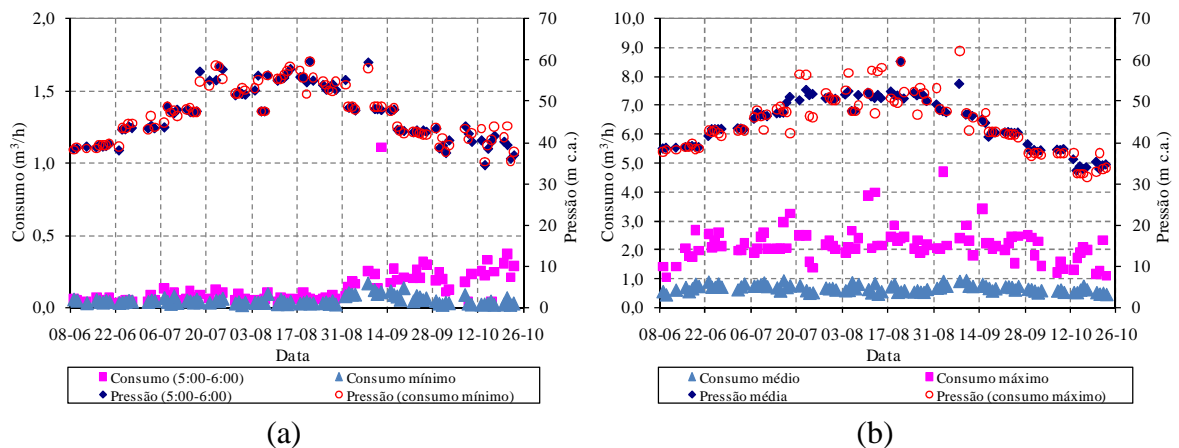


Figura 8.46 – Variação do consumo doméstico e da pressão na Zona 3, durante a Campanha B: a) valores médios 5:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Apesar de o comportamento médio ao longo do dia ser aproximadamente idêntico ao que se obteve durante a Campanha A (Figura 8.43), o padrão doméstico na Campanha B (Figura 8.47) exhibe uma variabilidade do consumo durante o período nocturno, revelador de que nesta campanha ocorreram consumos elevados (regas) que eram muito distintos do consumo médio.

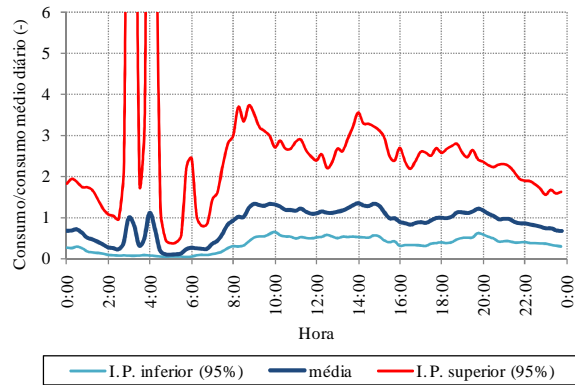


Figura 8.47 – Padrão diário de consumo doméstico da Zona 3 para o cenário diário I (2.^a-6.^a) (Campanha B)

Dado que esta zona se caracteriza por vivendas com espaços verdes com rega, identificaram-se os clientes domésticos onde a rega tivesse um peso significativo (*i.e.*, consumo elevado com duração em geral inferior a 2 horas) para poder avaliar se a pressão influenciava este tipo de consumo exterior. Identificou-se a moradia 2, cujos consumos devidos a regas ocorrem entre as 3:00 e as 5:00 e são responsáveis pela maior parte do consumo máximo doméstico (Figura 8.48).

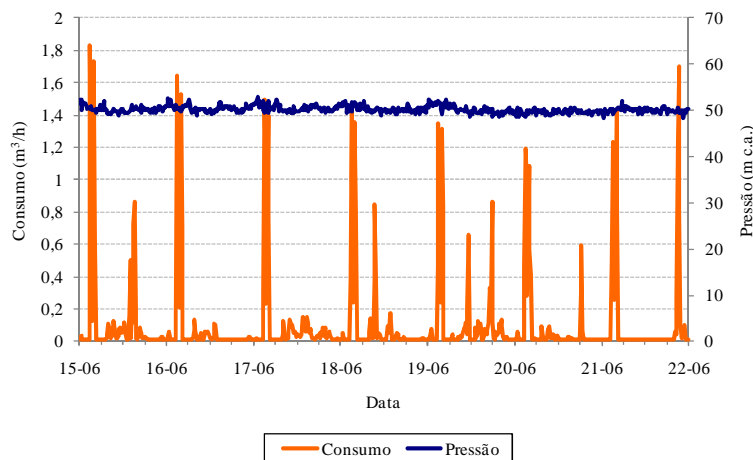


Figura 8.48 – Variação do consumo e da pressão na moradia 2 durante a Campanha B (15-06-2009 e 22-06-2009)

A variação do consumo médio entre as 3:00 e as 5:00 (período de rega) e do consumo máximo com a pressão na moradia 2 é apresentada na Figura 8.49. Excluindo os dias em que não houve rega, observou-se que quer o consumo médio 3:00-5:00, quer o consumo máximo aumentam com a pressão entre 13-06-2009 e 18-09-2009.

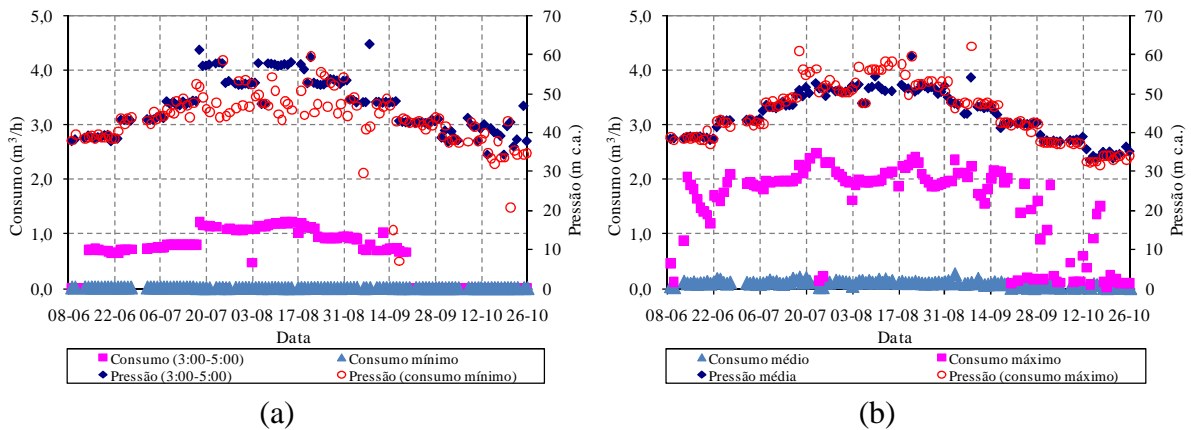


Figura 8.49 – Variação do consumo e da pressão na moradia 2 durante a Campanha B: a) valores médios 3:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Através de estimação não linear, obtiveram-se os parâmetros que melhor se ajustam à variação do consumo médio entre as 3:00 e as 5:00 com a pressão média neste período, e à variação do consumo máximo com a respectiva pressão máxima (Figura 8.50). No caso do consumo médio 3:00-5:00, que corresponde ao período de rega, concluiu-se que depende da pressão de acordo com o expoente $N_2 = 1,60$, mais uma vez significativamente superior aos valores sugeridos em (Thornton e Lambert, 2005; Lambert, 2010) de 0,5 para aspersores e mangueiras a 0,75 para mangueiras flexíveis com múltiplos orifícios, tal como se apresenta na Figura 8.50a.

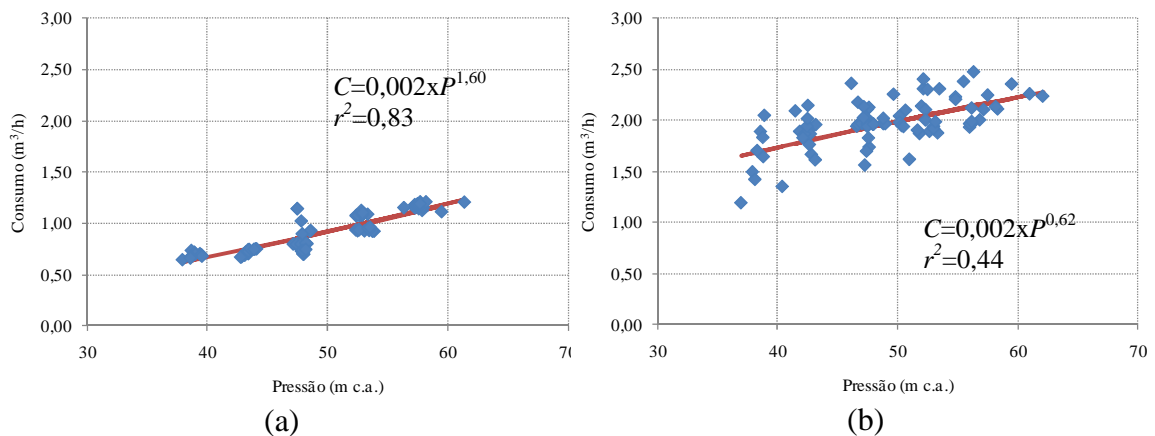


Figura 8.50– Variação do consumo e da pressão na moradia 2 durante a Campanha B (13-06-2009 e 18-09-2009): a) médio 3:00-5:00, b) máximo

No que se refere ao consumo máximo, o valor do expoente N_2 é ainda mais baixo e a qualidade do ajustamento é inferior ($r^2=0,44$), indicativo de uma maior dispersão desta variável de consumo. Estes resultados demonstram que usos exteriores como a rega, caracterizados por consumos significativamente mais elevados que os consumos interiores, podem ser influenciados pela pressão. No entanto, o consumo associado a regas e o efeito da pressão pode depender do tipo de dispositivos de rega (*e.g.*, aspersor, mangueira) e do modo de funcionamento, pelo que seria necessário complementar esta análise com uma

caracterização mais pormenorizada sobre este tipo de usos. No que se refere ao consumo não doméstico sem grandes consumidores observou-se também uma grande variabilidade em termos do consumo médio entre as 2:00 e as 5:00 e do consumo máximo. Este consumo corresponde sobretudo a regas cujo comportamento foi analisado em pormenor.

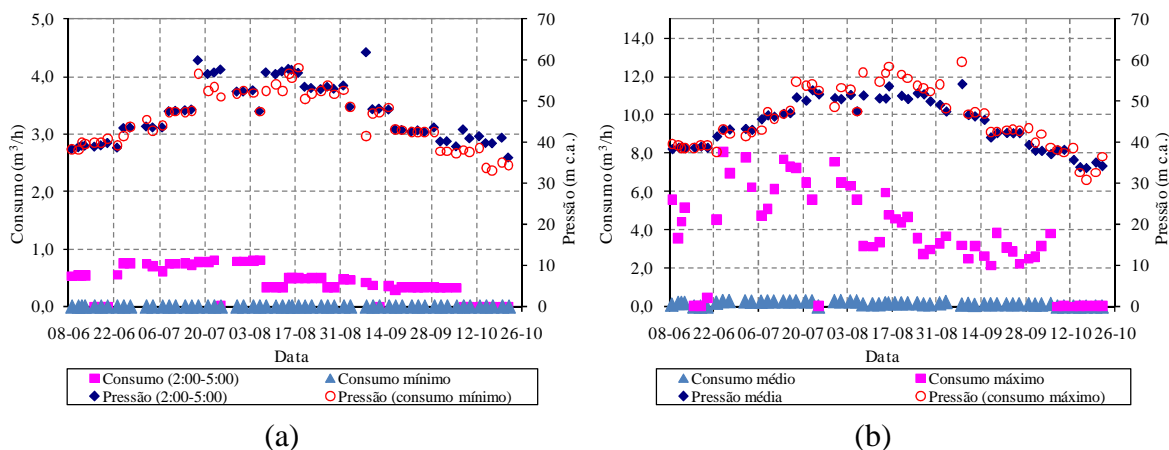


Figura 8.51 – Variação de consumo não doméstico sem grandes consumidores e da pressão na Zona 3 durante a Campanha B: a) valores médios 2:00-5:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

O cliente rega 2 era o que apresentava maior peso no consumo total não doméstico sem grandes consumidores (Figura 8.52). Este cliente caracterizava-se por dois períodos de rega durante o período nocturno. No entanto, identificaram-se três períodos de funcionamento distintos: i) entre 08-06-2009 e 06-08-2009; ii) entre 07-08-2009 e 06-10-2009 e; iii) entre 07-10-2009 e 25-20-2009. No segundo período de funcionamento, a duração e a intensidade de cada período de rega foram reduzias face ao primeiro período de funcionamento, possivelmente devido a uma reconfiguração do seu funcionamento por um operador. No terceiro período deixou de haver rega.

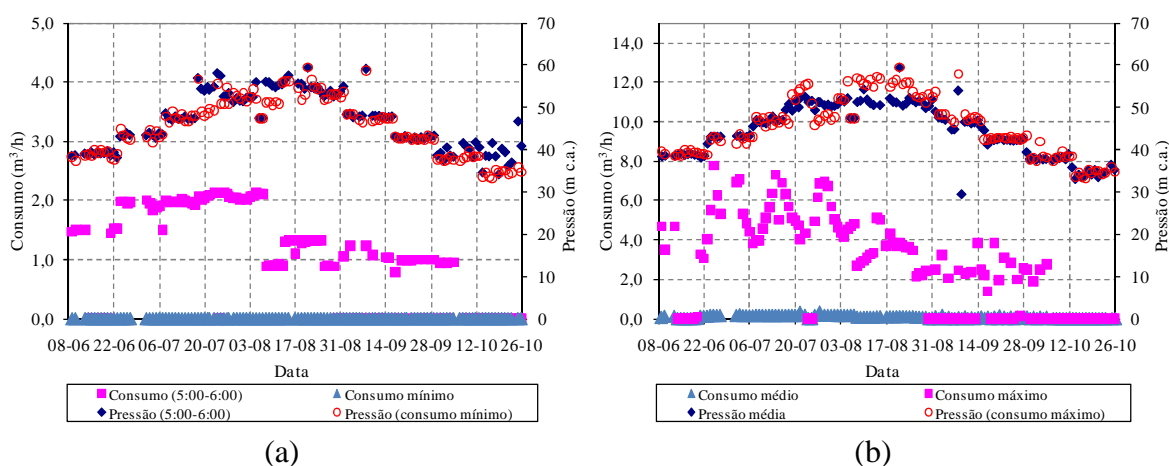


Figura 8.52 – Variáveis de consumo e da pressão da rega 2, durante a Campanha B: a) valores médios 5:00-6:00 e mínimos, b) valores médios diários e máximos

Assim, entre 08-06-2009 e 05-08-2009 (primeiro período de funcionamento), a rega 2 teve um funcionamento regular, caracterizado por dois períodos de rega com duração aproximada de 45 min. (0:00-1:00 e 5:00-6:00). Para o período de rega 5:00-6:00 estimaram-se os parâmetros da equação (8.1), cujos resultados se apresentam na Figura 8.53.

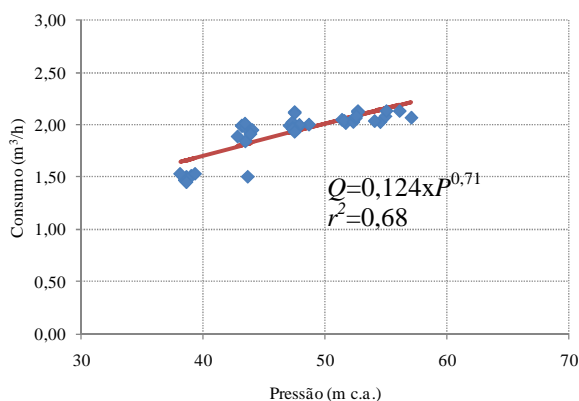


Figura 8.53– Variação do consumo médio entre 5:00-6:00 com a pressão média 5:00-6:00 para a rega 2 (entre 06-06-2009 e 05-08-2009)

O valor do expoente $N_2=0,71$ é sugestivo da rega com mangueiras flexíveis com múltiplos orifícios (Lambert, 2010).

Relativamente à instituição social 3, embora o teste de Kruskal-Wallis tivesse revelado que havia diferenças estatisticamente significativas no consumo médio entre cenários de pressão (Quadro 8.17), verificou-se que esse efeito foi devido a um ligeiro decréscimo do consumo entre 20-07-2009 e 31-07-2009, em que as pressões na rede também eram mais elevadas. No entanto, este decréscimo pode ser devido ao período de férias nesta instituição (lar de idosos) e não ao aumento da pressão. Verifica-se também que o padrão diário de consumo deste cliente durante a Campanha B (Figura 8.54) é muito semelhante ao que se obteve durante a Campanha A (Figura 8.45), indicativo de um comportamento regular ao longo do ano. Assim, estes resultados reforçam, mais uma vez, que em clientes não domésticos com usos interiores similares aos domésticos, o consumo é independente da pressão.

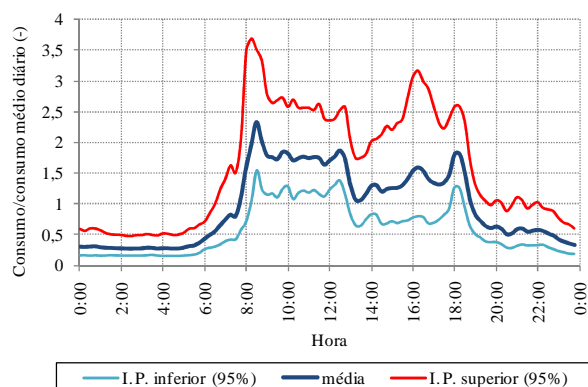


Figura 8.54 – Padrão diário de consumo da Instituição social 3 para o cenário diário I (2.^a-6.^a) (Campanha B)

8.5.2.5 Resumo dos resultados

Uma síntese dos resultados do efeito da variação de pressão no consumo e nas perdas de água, para as duas campanhas realizadas, é apresentada no Quadro 8.18.

Em relação ao consumo mínimo total medido em zonas de rede (nos pontos de medição MC6 e MC7), que constitui uma medida das perdas reais na rede pública, concluiu-se que N_I varia entre 1,22 e 1,74, indicativo sobretudo da existência de pequenas fugas indetectáveis (em juntas e ligações), muito sensíveis à pressão e independentemente do tipo de material.

No que se refere ao consumo mínimo autorizado em clientes individuais, concluiu-se que no caso da oficina, este varia significativamente com a pressão ($N_I > 2,0$), indicativo da existência de fugas significativas em condutas de material plástico (*i.e.*, fugas em orifícios de área variável).

O consumo médio no PCMN permite obter informação semelhante à que foi obtida através da análise do consumo mínimo, pois corresponde ao período onde os consumos autorizados são mais reduzidos e as perdas reais, caso existam, representam maior peso no consumo medido.

No caso do consumo médio, com excepção da oficina (em que o aumento foi devido à ocorrência de fugas/roturas domiciliárias), verifica-se que é durante a Campanha B, que no caso da Rega 1, do consumo doméstico na Zona 2, consumo não doméstico sem grandes consumidores na Zona 3, Moradia 2 e Rega 2 há um aumento desta variável com a pressão. Nestes clientes, em que os usos exteriores de água para rega de espaços verdes podem ser significativos, o expoente da pressão N_2 varia entre 0,7 e 1,6. Estes resultados indicam que esta componente de consumo pode ser sensível à pressão, por oposição aos consumos

interiores que caracterizaram os usos durante a Campanha A, em que os resultados obtidos sugerem que a pressão praticamente não influencia estes usos.

Quadro 8.18 – Avaliação do efeito da variação de pressão no consumo e nas perdas de água: valores do expoente da pressão

Zona	Categoria de consumo/cliente	Expoente da pressão para:			
		Consumos máximos	Consumos médios	Consumos mínimos	Consumos médios no PCMN
Campanha A					
Zona 1	Consumo doméstico	0,00	0,00	(1)	(1)
	Consumo não doméstico sem grandes consumidores	0,00	0,00	0,00	0,00
	Piscina	0,00	0,00	(2)	(1)
	Escola	(1)	(1)	(1)	0,00
	Instituição social 1	(1)	(1)	0,00	0,00
	Consumo total medido em MC7	(1)	(1)	1,22	0,74
Zona 2	Consumo doméstico	0,00	0,00	0,00	0,00
	Oficina	0,00	1,63	2,52	2,30
	Instituição social 2	0,00	0,00	(1)	0,00
	Consumo total medido em MC6	(2)	(1)	(1)	0,00
Zona 3	Consumo doméstico	(1)	0,00	(1)	0,00
	Instituição social 3	0,00	0,00	(1)	(1)
Campanha B					
Zona 1	Consumo doméstico	(2)	(1)	0,00	(2)
	Consumo não doméstico sem grandes consumidores	(1)	(2)	(2)	(2)
	Piscina	(2)	(1)	(2)	(2)
	Escola	(2)	(1)	(2)	(2)
	Instituição social 1	(2)	0,00	(2)	0,00
	Rega 1	(2)	1,30 ⁽³⁾	(2)	(2)
	Consumo total medido em MC7	(2)	(2)	1,32	(1)
Zona 2	Consumo doméstico	(1)	0,84	2,85	2,18
	Instituição social 2	(1)	(1)	(1)	0,00
	Consumo total medido em MC6	(1)	0,00	1,74	1,17
Zona 3	Consumo doméstico	(1)	(1)	0,00	0,00
	Consumo não doméstico sem grandes consumidores	0,00	0,99	(2)	0,82
	Instituição social 3	0,00	(1)	0,00	0,00
	Moradia 2	0,62	1,60 ⁽³⁾	(2)	(2)
	Rega 2	(1)	0,71 ⁽³⁾	(2)	(2)

Nota:

- (1) As diferenças no consumo entre cenários são estatisticamente significativas (valor- $p < 0,05$), mas a qualidade do ajustamento da equação (8.1) à variação do consumo com a pressão é baixa ($r^2 \leq 0,4$);
- (2) Não foi possível distinguir os cenários de pressão ou o consumo era sempre nulo;
- (3) Consumo médio no período de rega e não o consumo médio diário.

No que se refere ao consumo máximo, a sua variabilidade ao longo das campanhas e a dificuldade em identificar os cenários de pressão nalguns casos, devido à variabilidade da cota piezométrica (reduzida capacidade hidráulica das redes nalguns casos) não permitiu tirar conclusões sobre o efeito da variação de pressão nesta variável de consumo.

8.6 Síntese e conclusões

Neste capítulo aplicou-se a metodologia de análise do consumo de água (módulos 1 a 3) para avaliar o efeito da variação da pressão no consumo autorizado e nas perdas reais. O estudo envolveu a realização de duas campanhas de variação de pressão e foi realizado em três zonas de rede (pequenas áreas de rede), em que foram telemedidos o consumo total e o consumo autorizado de cada cliente. As três zonas de estudo permitiram cobrir clientes domésticos e não domésticos com características variadas, e a realização de duas campanhas de variação de pressão em diferentes épocas do ano (Inverno e Verão) permitiu avaliar e comparar a influência da pressão no consumo quando predominam apenas consumos interiores (Inverno) e quando ocorrem também consumos exteriores, como a rega de espaços verdes (Verão). O elevado volume de dados gerado permitiu realizar uma análise bastante pormenorizada do consumo de água, que não é usual, pois em geral os dados disponíveis de consumo autorizado de cada cliente provêm de leituras mensais ou bimestrais, obtidas para fins de facturação.

O estudo envolveu a normalização na escala temporal de um elevado volume de dados com características heterogéneas (em termos de passo de tempo entre registos e de variável lida em cada instante) e a sua combinação de forma a permitir a análise do consumo doméstico, consumo não doméstico sem grandes consumidores, consumo de grandes consumidores, consumo total medido e perdas de água.

A modelação do efeito da pressão no consumo teve por base a identificação dos dias e períodos do dia com comportamento semelhante, de forma a minimizar a variabilidade do consumo, através da análise de cenários. Na modelação do consumo de água em função da pressão, foi avaliada em primeiro lugar a significância estatística das diferenças no consumo entre cenários de pressão, para as diferentes componentes de consumo em análise. Nos casos em que as diferenças eram significativas, foram estimados os parâmetros da relação entre a pressão e consumo – equação (8.1) – que melhor se ajustavam à variação do consumo com a pressão.

As principais conclusões obtidas são sistematizadas seguidamente, por cada módulo da metodologia aplicada:

Planeamento e implementação da monitorização do consumo de água

- a zonas de análise ao nível de pequenas áreas de rede são adequadas para avaliação do efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais – o número de clientes era relativamente reduzido (entre 30 e 500 clientes), o que permite que cada zona seja relativamente homogénea em termos dos clientes abastecidos, da rede e da topografia, que os custos com a instalação de sistemas de telemetria não seja muito elevados, e que haja um bom controlo operacional da rede;
- os medidores de caudal electromagnéticos e os contadores domiciliários encontravam-se correctamente dimensionados face às características das zonas em análise e aos objectivos do estudo;
- o sistema de telemetria instalado para telemedição do consumo total autorizado em cada zona não permitiu a leitura com suficiente pormenor dos consumos mínimos, inviabilizando a estimativa das perdas reais em cada zona; recomenda-se, por exemplo, que para a medição do consumo total autorizado em cada zona e resolução de leitura não seja inferior a 10 l/impulso e que o valor de banda morta não exceda 100 l/h;
- o sistema de telemetria domiciliário revelou-se adequadamente parametrizado para o objectivo do estudo, uma vez que o objectivo deste estudo não era a caracterização dos usos de cada cliente (para o qual seria necessário uma maior resolução, da ordem de grandeza de 0,1 l/impulso);
- a duração de cada cenário de pressão (15 dias) permitiu avaliar adequadamente o efeito da pressão no consumo autorizado sem aumentar significativamente a duração total de cada campanha; a variação de pressão entre cenários consecutivos (5 m c.a.) foi compatível com a margem de regulação das válvulas e com a reduzida variação de pressão observada na redes (devido à sua elevada capacidade hidráulica); uma variação total de 15 m c.a. permitiu obter um número suficiente de cenários de pressão para avaliar o efeito da pressão nas diferentes categorias de consumo e clientes abastecidos;

Processamento de dados de consumo

- A validação dos dados de consumo e de pressão permitiu melhorar significativamente a fiabilidade dos dados recolhidos através do sistema de telegestão e de telemetria;

Produção de informação de caracterização

- O consumo doméstico, quando caracterizado principalmente por usos interiores, revelou-se independente da pressão ($N_2=0$); pelo contrário, concluiu-se que os usos exteriores domésticos (*e.g.*, regas de espaços verdes) podem ser influenciados pela pressão ($0,7 \leq N_2 \leq 1,6$);
- A variabilidade dos valores obtidos para N_2 no caso de usos de água para a rega realça a necessidade de caracterizar melhor esta componente de consumo, em termos dos tipos de dispositivos existentes e do seu modo de funcionamento;
- O consumo de clientes não domésticos com usos interiores de água similares aos clientes domésticos é independente da pressão ($N_2=0$);
- O aumento de pressão na rede potencia o agravamento das fugas ou roturas existentes ou de novas ocorrências desta natureza, quer ao nível da rede pública, quer ao nível da rede domiciliária;
- O consumo devido a perdas físicas na rede pública varia com a pressão para valores de N_1 compreendidos entre 1,22 e 1,74, indicativo sobretudo da existência de pequenas fugas indetectáveis (em juntas e ligações), muito sensíveis à pressão e independentemente do tipo de material;
- O consumo devido a perdas físicas na rede domiciliária varia significativamente com a pressão ($N_1 > 2,0$), indicativo da existência de fugas significativas em condutas de material plástico (*i.e.*, fugas em orifícios de área variável).

O conjunto de resultados acima sintetizado é, em grande medida, precursor tanto no nosso país como em termos internacionais, existindo muito pouca informação experimental publicada neste domínio. O seu significado e alcance são importantes, pela forma como permitem desde já confirmar ou desmentir hipóteses até aqui muito pouco confirmadas pela via experimental, e por outro lado como demonstram a viabilidade da metodologia e

soluções técnicas de monitorização empregues. A informação obtida pode contribuir significativamente para:

- i. uma operação mais eficiente da rede, pois a redução de pressão, para além contribuir para a redução das perdas reais, pode minimizar eventuais custos de reparação e de interrupções de serviço devido ao agravamento ou aparecimento de novas fugas e reduzir custos de energia associados a níveis elevados de pressão;
- ii. a implementação de estratégias de gestão de pressões pelas entidades gestoras, uma vez que, em geral, não afecta o consumo facturado (excepto no caso de certos tipos de usos autorizados em espaços exteriores como a rega).

A validação da metodologia utilizada permite igualmente, desde já, antever a possibilidade de extensão deste tipo de estudo a outras zonas e diversas tipologias de consumo autorizado e de redes de abastecimento, sendo a condição fundamental a disponibilidade de telemetria instalada.

A importância dos sistemas de telemetria para avaliar o impacto da gestão de pressões na rede para controlo de perdas de água, para além da sua função primária que é a facturação, fica demonstrada. Assim, estes sistemas devem ser concebidos de forma a serem flexíveis na aquisição de dados, devendo permitir a recolha regular de dados com uma periodicidade menor (*e.g.*, diária, quinzenal) e a configuração para aquisição de dados com uma maior periodicidade (*e.g.*, 15 min.) numa dada zona ou conjunto de clientes, para usos como o que foi apresentado neste capítulo.

9 TIPIFICAÇÃO DO CONSUMO EM ZMC

9.1 Nota introdutória

O desenvolvimento de abordagens que permitam prever o consumo urbano de água, quer em termos de um conjunto de variáveis (*e.g.*, consumo mínimo, factor de ponta instantâneo, factor de ponta diário), quer em termos do comportamento médio diário para um dado dia da semana ou época do ano, é fundamental para uma melhor gestão e operação dos sistemas de distribuição de água. Por exemplo, a previsão dos consumos mínimos é importante para o controlo de perdas de água (Buchberger e Nadimpalli, 2004; Almandoz *et al.*, 2005) e dos factores de ponta para o dimensionamento de redes e de equipamentos de medição (Arregui *et al.*, 2006; Javier *et al.*, 2008; Orazio *et al.*, 2009). Um melhor conhecimento sobre o comportamento diário, relacionado com comportamentos sociais, é importante para o planeamento e projecto das infra-estruturas (Corral-Verdugo *et al.*, 2003; Domene e Saurí, 2006) e para melhorar a gestão dos volumes armazenados e dos períodos de bombeamento, minimizando custos de energia e tirando maior partido de tarifários de energia mais baratos. A fiabilidade dos modelos de qualidade da água depende em grande parte dos consumos que são incorporados no modelo hidráulico (Blokker *et al.*, 2009).

Deste modo, a identificação dos factores sócio-demográficos e técnicos que influenciam as diferentes componentes do consumo urbano é fundamental para a previsão do consumo. A previsão do consumo de água atendendo a estes factores pode ser feita na escala temporal, para prever o consumo em instantes futuros (Quevedo e Cembrano, 1986; Zhang *et al.*, 2006) ou na escala espacial, para extrapolar o consumo para redes ou expansões de rede onde não existem medições de consumo (Alegre *et al.*, 1992; Loureiro *et al.*, 2006; Loureiro *et al.*, 2009). O facto de não ser possível dispor de medições em todos os pontos da rede onde há consumo faz com que seja bastante importante estabelecer regras, através da previsão espacial, que permitam prever o consumo nesses pontos. A previsão espacial do consumo encontra-se menos desenvolvida que a previsão temporal do consumo.

Assim, o presente capítulo tem como objectivo a construção de modelos para previsão no domínio do espaço do consumo total medido em zonas de medição e controlo (ZMC), através da aplicação da metodologia. Este tipo de modelos é particularmente útil para previsão do consumo de água em zonas que não disponham de medição do

consumo, a partir de zonas com características semelhantes (*i.e.*, previsão no domínio do espaço), distinguindo-se da previsão do consumo para um determinado horizonte temporal (*i.e.*, previsão no domínio do tempo).

Dado que as variáveis sócio-demográficas caracterizam a população residente, o estudo incide sobre ZMC cujo consumo autorizado é predominantemente doméstico. O trabalho teve por base dados de consumo total medido em 22 ZMC localizadas nos concelhos de Oeiras e da Amadora. O principal contributo deste estudo consiste no fornecimento de uma abordagem sistemática para previsão do consumo de água, no domínio do espaço, em ZMC e na obtenção de modelos de previsão e de classificação com base nos casos de estudo analisados.

A aplicação da metodologia geral proposta a este caso de estudo encontra-se descrita em 9.2. Os resultados da aplicação dos módulos 1 a 4 são apresentados em 9.3 a 9.6. A síntese e as conclusões do capítulo são apresentadas em 9.6.3.

9.2 Aplicação da metodologia proposta

Neste trabalho foram aplicados os quatro módulos da metodologia geral proposta (Figura 9.1) As zonas de análise já estavam estabelecidas e em cada uma delas existia telemedição permanente do consumo total através do sistema de telegestão. Assim o **Módulo 1** da metodologia geral foi utilizado para fazer uma breve análise crítica das zonas de análise consideradas no estudo e das condições de monitorização face aos objectivos do estudo.

No **Módulo 2**, previamente à etapa análise descritiva de dados, foram recolhidos dados de consumo total nas ZMC e de consumo de grandes consumidores a partir do sistema de telegestão. A análise descritiva dos dados permitiu obter as principais propriedades dos dados, através do cálculo dos parâmetros e de estatísticas definidas em 4.3.2.1.

Na etapa de detecção de dados anómalos foram utilizados os algoritmos apresentados em 5.2.2, para além das técnicas preliminares para a detecção de dados anómalos apresentadas em 4.4.3. Estes algoritmos foram implementados computacionalmente utilizando a linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*). No caso de ZMC com grandes consumidores telemedidos a etapa de detecção de dados anómalos foi antecedida pela etapa de combinação de dados, para dedução do consumo dos grandes consumidores ao consumo total na ZMC, pois a existência de grandes consumidores podia conduzir ao aparecimento de falsos anómalos. No caso em que os dados de consumo dos grandes

consumidores possuíssem características diferentes dos dados de consumo total na ZMC (*i.e.*, tipo de variável registado em cada instante, passo de tempo entre registos), a etapa de combinação de dados era ainda antecedida pela normalização dos dados na escala temporal.

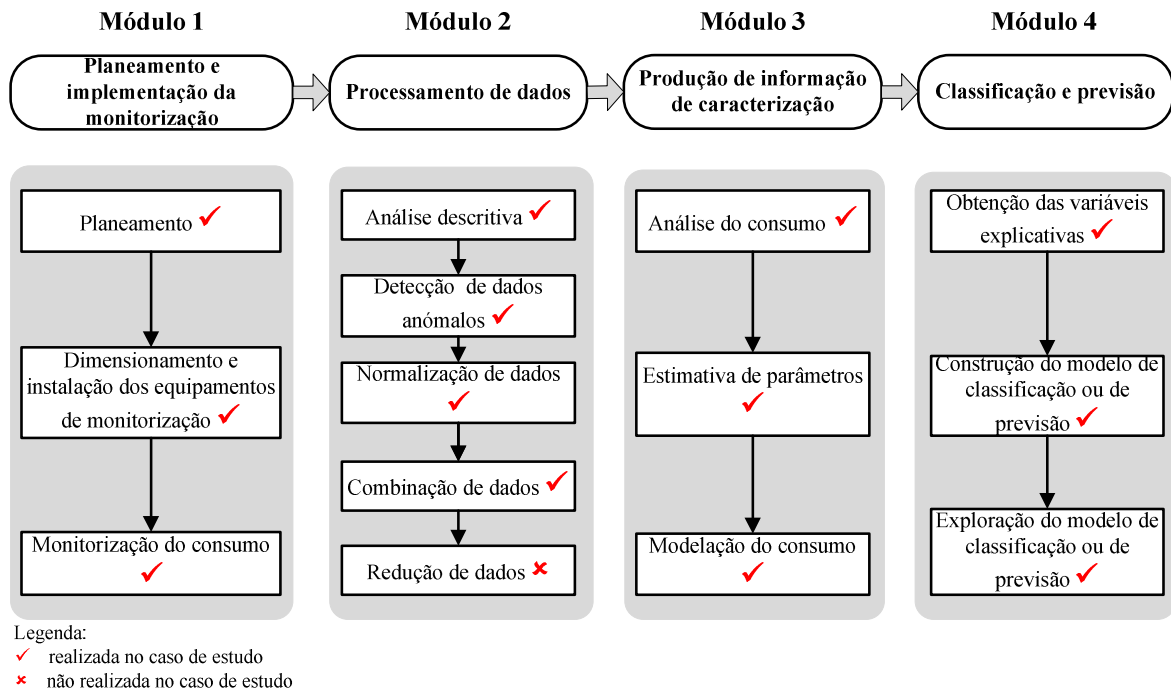


Figura 9.1 – Aplicação da metodologia para tipificação do consumo de água em ZMC

Na etapa de normalização, os dados de consumo foram normalizados na escala temporal para o passo de tempo de 15 min., considerado adequado para a caracterização do consumo em ZMC, e na escala do consumo para o cálculo de padrões de consumo. Para a normalização na escala temporal e do consumo foi utilizada a aplicação PROFILER (*cf.* descrição em 5.3).

Na etapa de combinação de dados, foi deduzido o consumo autorizado dos grandes consumidores que eram telemedidos, tal como referido anteriormente. Por outro lado, e dada a incerteza associada às perdas de água, esta componente de consumo não foi deduzida do total, e a previsão refere-se ao consumo total na ZMC.

No **Módulo 3**, na etapa de análise do consumo, foram identificados os cenários para modelação do consumo em cada ZMC. Dado que a dimensão do histórico para análise era de 1 ano completo na maior parte das ZMC, foram analisados os cenários sazonais, diários e por períodos do dia com base no procedimento descrito em 5.2.6. Ainda nesta etapa foram calculadas as variáveis características do consumo total medido propostas em

4.3.3.1. Na etapa de estimativa de parâmetros, com o objectivo de calcular os intervalos de predição associados aos padrões de consumo, foi avaliada a hipótese das amostras transversais de consumo ao longo do dia seguirem a distribuição Log-normal para as ZMC consideradas neste trabalho. Na etapa de modelação do consumo obtiveram-se os padrões de consumo para cada cenário de consumo.

No **Módulo 4**, na etapa de obtenção das variáveis explicativas, foram recolhidos dados de clientes, de consumo facturado e de características da infra-estrutura. As variáveis explicativas, agrupadas em variáveis de infra-estrutura, sócio-demográficas e de facturação, foram calculadas de acordo com os pressupostos descritos em 4.4.4.4. Na etapa de redução dos dados, utilizou-se o método de análise em componentes principais, implementado no *software* STATISTICA®, para obter um subconjunto mais reduzido de variáveis explicativas, independentes entre si, de acordo com o procedimento descrito em 4.4.6. Uma vez que o número de amostras era reduzido (22 ZMC) face ao número de variáveis (mais de duas dezenas), a análise em componentes principais foi feita de forma separada para as variáveis das categorias infra-estrutura, sócio-demográfica, consumo doméstico e consumo não doméstico, para que o número de variáveis, em cada análise, não fosse muito elevado face ao número de ZMC disponíveis para análise.

Na etapa de construção do modelo de classificação e de previsão, utilizou-se o procedimento descrito no subcapítulo 4.5.7, que faz uso da regressão linear múltipla, para prever o consumo em ZMC em função das variáveis explicativas mais relevantes. Uma vez que, como já se referiu, o número de casos era reduzido face ao número de variáveis explicativas, utilizou-se o método progressivo (ou *forward*) para selecção das variáveis mais importantes.

Previamente à classificação da variação diária do consumo horário em ZMC, utilizou-se o método de análise de *clusters* para os categorizar e identificar grupos de ZMC com características semelhantes. Tendo por base o consumo médio e o desvio-padrão horário ao longo do dia em cada ZMC, calculou-se o factor de consumo médio horário, dividindo o consumo médio horário pelo consumo médio diário, e o coeficiente de variação horário, dividindo o desvio-padrão horário pelo consumo médio horário. As variáveis factor de consumo médio e coeficiente de variação horário foram calculadas para cada ZMC e utilizadas na análise de *clusters*. Para a classificação de padrões de consumo utilizou-se o método estatístico das árvores de decisão, de acordo com o procedimento descrito em

4.6.1. Na etapa de exploração dos modelos de previsão e de classificação, apresenta-se apenas uma breve descrição sobre como podem ser aplicados os modelos construídos.

9.3 Planeamento e implementação da monitorização do consumo

9.3.1 Planeamento da monitorização

9.3.1.1 Objectivos e dimensões de análise

A aplicação da metodologia proposta a este caso de estudo tem como objectivo a obtenção de modelos para previsão e classificação do consumo em zonas de rede sem telemedição do consumo. Relativamente à componente de consumo, a análise incidiu sobre o consumo total (inclui o consumo devido a usos e a perdas de água), uma vez que não se dispunha de informação suficiente que permitisse a separação das perdas de água do consumo efectivo. No que se refere à dimensão geográfica a análise foi realizada ao nível de ZMC. Em termos da dimensão temporal, com o objectivo de caracterizar o comportamento ao longo do ano, recolheram dados de consumo total referentes a um ano de registos. O passo de tempo máximo entre registos era de 15 min., considerado adequado para caracterizar a variação do consumo ao longo do dia.

9.3.1.2 Zonas de análise

As ZMC em estudo inserem-se no sistema de distribuição de água de Oeiras e Amadora. A Figura 9.2 assinala as 22 ZMC consideradas neste trabalho. Em termos das características físicas da rede, número de clientes e número de habitantes, as ZMC consideradas no trabalho apresentam características muito variadas entre si. O comprimento de rede varia entre 7,8 e 55 km, o número de ramais entre 222 e 1928, o número de clientes entre 836 e 5546 e o número de habitantes entre 1956 e 13386.

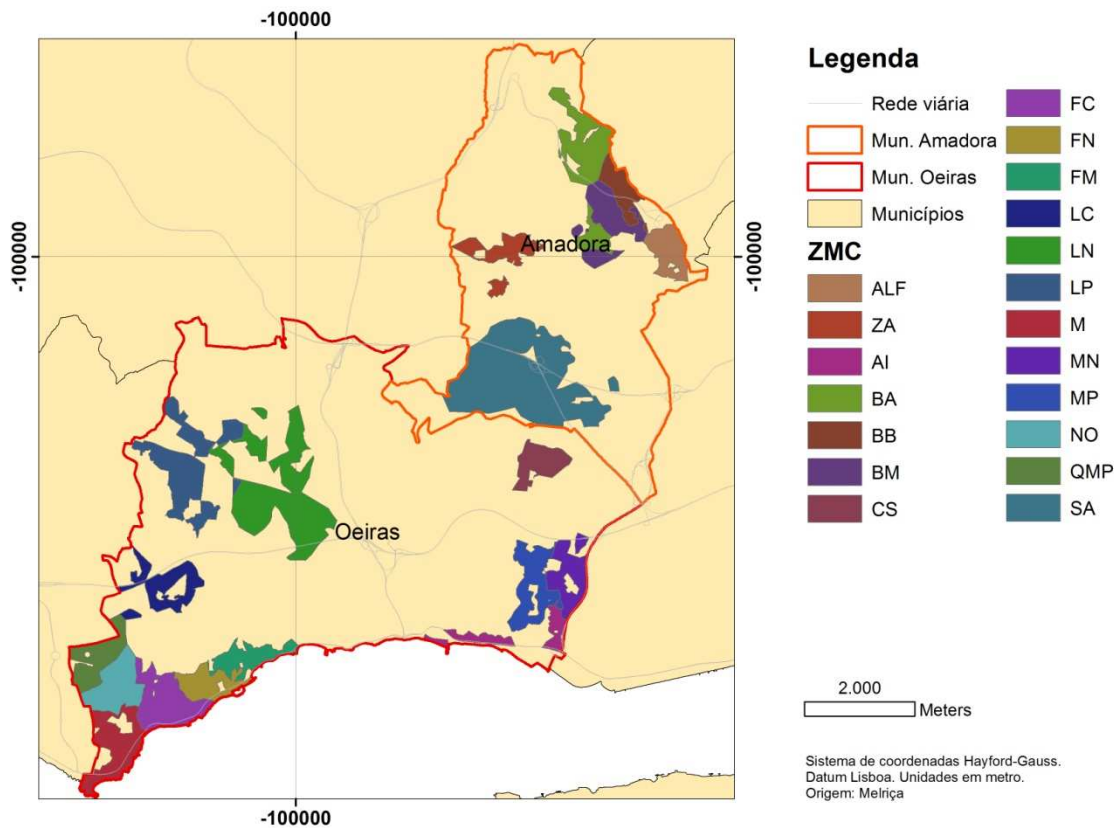


Figura 9.2 – Localização dos sectores de rede

Na Figura 9.3, que caracteriza cada uma das ZMC, identificam-se quatro sectores de grande dimensão (número de clientes ≥ 4500) – ALF, SA, BM, MP – e três sectores de pequena dimensão (número de clientes ≤ 1000) – NO, LC, LN. Todas as zonas cumprem os requisitos em termos de número de ramais, número de clientes e número de habitantes estabelecidos (cf. 4.3.1.1).

As ZMC com densidade de ramais mais elevada (>50 ramais/km) são AI, AZA, BM, LN e LC, enquanto que as ZMC FN, MN e M são as que apresentam menor densidade de ramais (~ 20 ramais/km). As ZMC com maior densidade de clientes por ramal (>10 clientes/ramal) são FN, MN, QMP, e ALF enquanto que as ZMC FC, NO, QUE, VB e LP são as que apresentam menor densidade de clientes por ramal (< 3 clientes/ramal). Nestas últimas, existem muitos alojamentos em vivendas. Apenas em três ZMC (LN, ALF e LC) o número de habitantes por cliente é superior a 2,4.

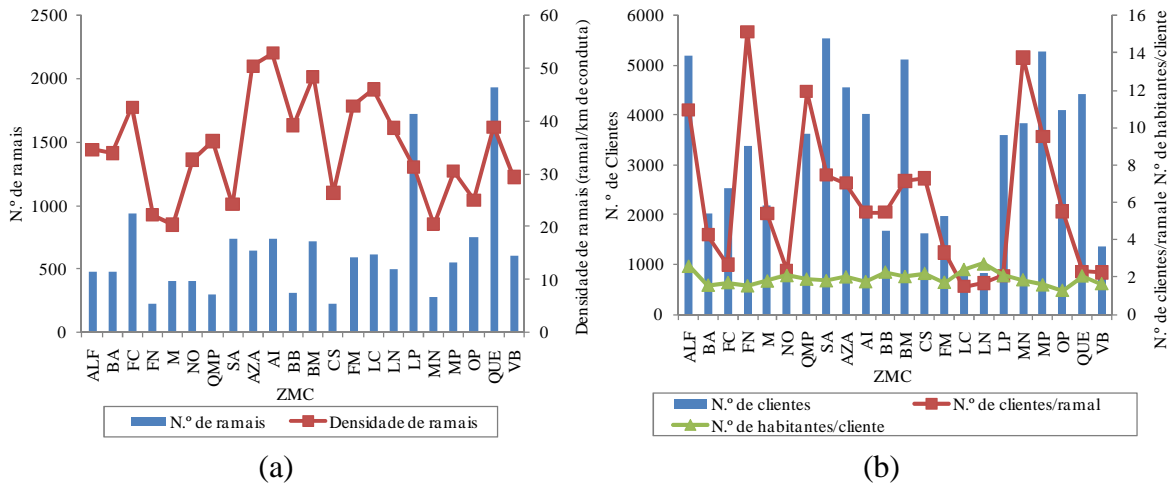


Figura 9.3 – Características dos sectores de rede: a) número de ramais e densidade de ramais, b) número de cliente, número de clientes por ramal e número de habitantes por cliente

As ZMC consideradas para análise englobavam 21 grandes consumidores telemedidos, com um peso variável entre 1% e 10% do consumo total facturado na respectiva ZMC.

Em todas as ZMC, o peso do consumo doméstico facturado é superior a 70%, com excepção das ZMC M, NO e LC em que é inferior (Figura 9.4a). No que se refere ao tipo de edificado, o peso de edifícios predominantemente ou exclusivamente residenciais é superior a 90% em 18 das 22 ZMC, e a 80% em todas excepto em ALF (Figura 9.4b).

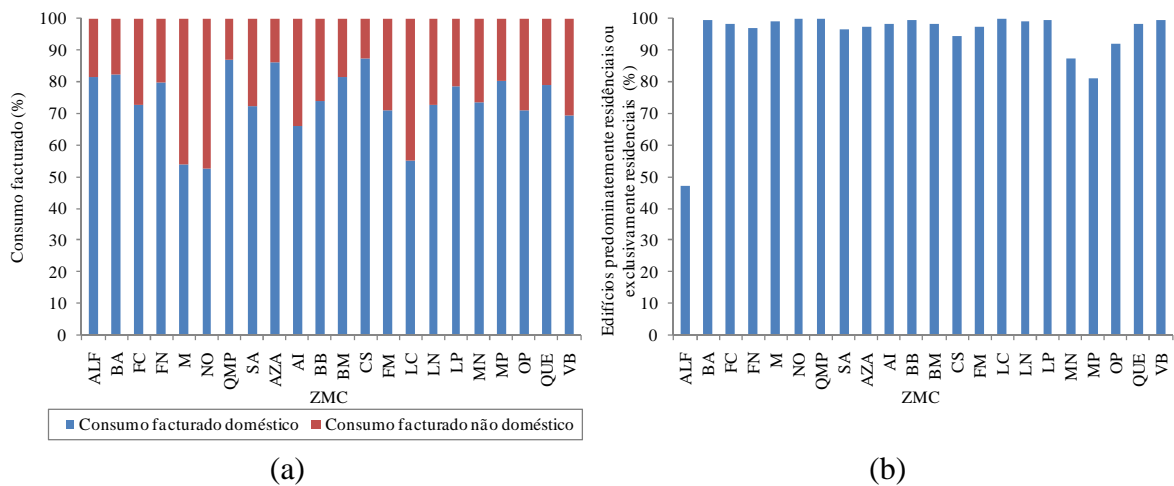


Figura 9.4 – Critérios para selecção de ZMC: a) consumo facturado, b) tipo de edificado

Considera-se assim que as ZMC em análise cumprem os requisitos estabelecidos em 4.3.1.1, correspondendo a um conjunto de zonas de análise com características variadas. Ressalva-se o caso das ZMC NO, M e LC, onde o peso do consumo facturado doméstico no consumo total facturado é mais reduzido (<70%) comparativamente com as restantes ZMC, e onde o comportamento do consumo pode ser muito distinto das restantes ZMC. Na construção dos modelos de previsão de classificação, deverá avaliar-se se estas ZMC

podem enviesar os resultados e, caso tal aconteça, devem ser tomadas medidas para que os modelos obtidos sejam robustos a estas observações influentes. Realça-se também o facto de haver dados de telemedição de grandes consumidores, clientes com forte impacto no consumo total das respectivas ZMC. Trata-se de zonas onde a rede se apresenta em geral em bom estado de conservação e onde as perdas reais não excedem 40%, o que permite que a caracterização do consumo incida sobretudo sobre o consumo autorizado. Correspondem também a zonas de rede que são monitorizadas em contínuo e cuja operação se encontra estabilizada, assim como o sistema de telemetria.

9.3.2 Equipamentos de monitorização

A medição do consumo total nas ZMC foi feita através de contadores *Woltman*, com diâmetro nominal de 100 mm e 150 mm, e de medidores de caudal electromagnéticos, com diâmetro nominal compreendido entre 80 e 300 mm. No caso dos contadores *Woltman*, a resolução de leitura era de 1000 l/impulso. No caso dos medidores electromagnéticos, a resolução era superior – 100 l/impulso – devido ao facto dos equipamentos de medição serem compatíveis com diferentes tipos de emissores. São referidos seguidamente os aspectos mais importantes relativos às características metrológicas dos contadores e medidores e à resolução dos emissores.

Verificou-se que os valores de consumo mínimo registados eram superiores aos consumos mínimos dos contadores e medidores instalados, pelo que a incerteza associada era sempre inferior a $\pm 5\%$, garantindo nestes casos que a exactidão da medição era adequada aos objectivos do estudo. Relativamente à resolução dos emissores, valores de 1000 l/impulso podem levar a que, nos períodos de consumo mais reduzido, o número de registos de consumo seja baixo, não permitindo obter um histórico pormenorizado, pelo que se recomenda que a resolução mínima seja de 100 l/impulso para medição do consumo em ZMC com consumo mínimo mais baixo (inferior a $5 \text{ m}^3/\text{h}$).

Os consumos máximos eram geralmente inferiores aos valores de consumo máximo mensurável estabelecidos de acordo com as características metrológicas dos contadores ou medidores, excepto nalguns casos pontuais onde ocorreriam consumos mais elevados, indicativos de prováveis registos anómalos. No entanto, note-se que os valores máximos reais podem ser amortecidos, porque os passos de tempo adoptados para registo de dados (10 ou 15 minutos) são superiores aos recomendáveis para análise do consumo máximo (que devem ser de 1 minuto) (Arregui, 1998; Tricarico *et al.*, 2005; Arregui *et al.*, 2006).

9.3.3 Monitorização do consumo

Neste caso de estudo, as ZMC eram monitorizadas em contínuo, tendo sido recolhidos dados relativos a um ano de registos, como referido anteriormente. O consumo foi registado com um passo de tempo de 10 ou de 15 minutos, podendo a grandeza registada ser o consumo médio no passo de tempo ou o valor instantâneo no momento do registo. A recolha de dados incidiu sobre dados de consumo, embora em trabalhos futuros possam ser recolhidos também dados de pressão no sentido de avaliar o seu potencial efeito no consumo medido (*cf.* Capítulo 8). Dado que a entidade gestora possui um histórico de intervenções na rede (categorizadas por intervenções nos ramais e nas condutas) foi possível dispor desta informação adicional para apoio na análise do consumo.

9.4 Processamento de dados

9.4.1 Análise descritiva

O Quadro 9.1 apresenta, para cada ZMC, um conjunto de parâmetros que caracterizam a dimensão da série temporal e apresentam, em função do passo de tempo entre leituras, a disponibilidade de dados (razão entre o número de registos recolhidos e o número total de passos de tempo decorridos no período em análise).

No caso das ZMC BB e BM, a dimensão do histórico disponível (*i.e.*, número de dias) é bastante inferior a um ano, aspecto que condicionou a disponibilidade de cenários para análise. A disponibilidade de dados encontra-se próxima de 100% para as ZMC em análise, indicativo de um reduzido número de falhas no histórico fornecido. Exceptua-se a ZMC OP onde as falhas de dados foram significativas e a disponibilidade de dados foi inferior a 50%.

Embora o histórico disponível seja grande, é frequente encontrar-se períodos de falha longos (*e.g.*, ZMC NO com falhas de dados no mês de Agosto) ou com alteração do passo de tempo regular (*e.g.*, na ZMC FC houve dois meses com dados horários, sendo a seguir repostos o passo de tempo para 15 minutos; na ZMC SA, habitualmente com um passo de tempo de 10 min., houve alguns dias em que o passo de tempo foi de 1 min.).

Quadro 9.1 – Parâmetros das séries temporais de consumo nas ZMC

	<i>Tempo inicial</i>	<i>Tempo final</i>	<i>N. dias</i>	<i>N.º de registos</i>	<i>Disponibilidade de registos (%)</i>	<i>Passo de tempo</i>
ALF	01-01-2007 0:00	31-12-2007 23:30	365	43423	100,0	15
BA	01-01-2006 0:00	31-12-2006 23:30	365	49260	93,7	10
FC	01-01-2006 0:00	19-12-2006 10:15	352	31018	91,7	15
FN	02-01-2007 10:30	31-12-2007 23:45	364	34201	98,0	15
M	01-01-2006 0:00	31-12-2006 23:45	365	31157	88,9	15
NO	01-01-2007 0:00	17-12-2007 12:15	351	31037	92,2	15
QMP	01-01-2006 0:00	31-12-2006 23:45	365	31061	88,6	15
SA	01-01-2006 0:00	31-12-2006 23:30	365	52027	99,0	10
ZA	01-01-2006 0:00	31-12-2006 23:30	365	49656	94,5	10
AI	01-01-2007 0:00	31-12-2007 23:30	365	33266	94,9	15
BB	01-01-2007 0:00	16-07-2007 23:30	197	12743	96,2	15
BM	01-01-2007 0:00	16-07-2007 23:30	197	18504	97,9	15
CS	01-01-2007 0:00	31-12-2007 23:30	365	34600	98,7	15
FM	01-01-2007 0:00	31-12-2007 23:30	365	34582	98,7	15
LC	25-01-2007 9:45	17-12-2007 11:15	326	27089	86,5	15
LN	02-01-2007 10:00	30-11-2007 23:45	333	26297	82,4	15
LP	02-01-2007 10:00	30-11-2007 23:45	333	32001	100,0	15
MN	12-01-2007 0:00	31-12-2007 23:30	354	32812	96,6	15
MP	01-01-2007 0:00	02-12-2007 11:15	335	31610	98,2	15
OP	01-01-2007 0:00	31-12-2007 23:45	365	16704	47,7	15
QUE	02-01-2007 9:45	31-12-2007 23:45	364	33906	97,1	15
VB	02-01-2007 9:45	30-11-2007 23:45	333	28517	89,3	15

Nota: no caso das ZMC ALF e OP embora a disponibilidade de dados seja de 100%, ocorreram períodos em que o passo de tempo entre registos se alterou.

As alterações de passo de tempo em séries regulares reforçam a importância da normalização na escala temporal para análise do consumo. A existência de períodos longos com falhas de dados limita a disponibilidade de dados para a combinação de séries de consumo (*e.g.*, dedução dos grandes consumidores ao consumo na ZMC) e para a caracterização de cada cenário. Estes resultados evidenciam também a necessidade de um acompanhamento contínuo dos sistemas de aquisição de dados, de forma a minimizar perdas de informação, que podem limitar significativamente a análise.

Tendo por base a Figura 9.5, que sintetiza o 1.º, 2.º e 3.º quartil e os valores máximos e mínimo do consumo em cada ZMC, verifica-se que estas apresentam características muito distintas entre si. Há quatro ZMC com consumo máximo muito elevado – ALF, SA, MN e MP – pelo que é importante verificar se podem ser classificados como dados anómalos.

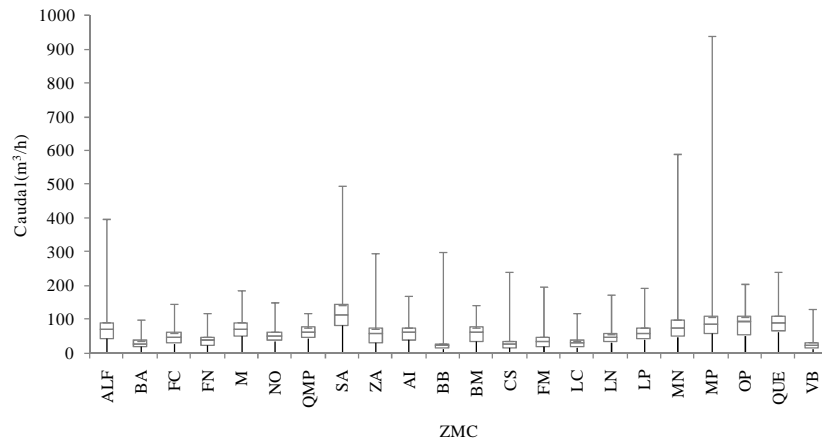


Figura 9.5 – Gráfico de quartis, máximo e mínimo do consumo para as ZMC em estudo

Para as ZMC consideradas neste estudo, o coeficiente de variação do consumo é baixo (*i.e.*, inferior a 0,18) e a mediana e média têm valores muito próximos entre si, o que é consequência da medição englobar um elevado número de clientes e haver uma menor variabilidade em torno do valor médio. As Figuras 9.6 e 9.7 apresentam a variação do consumo mínimo, médio e máximo durante o período de análise para as ZMC ALF, SA, MN e MP. Verifica-se que em ALF e SA há alteração de consumos durante o período do Verão (Figura 9.6). No caso de ALF ocorre uma diminuição do consumo médio e máximo nos meses de Julho-Agosto e em SA verifica-se um aumento significativo dos consumos mínimos, médios e máximos entre Maio e Setembro. Em ALF, a saída de pessoas durante o período de férias pode ter provocado uma diminuição do consumo nos meses de Julho e Agosto, enquanto em SA, o aumento do consumo médio e máximo pode ser devido ao período de rega de espaços verdes, que decorre entre o início de Abril e o fim de Setembro.

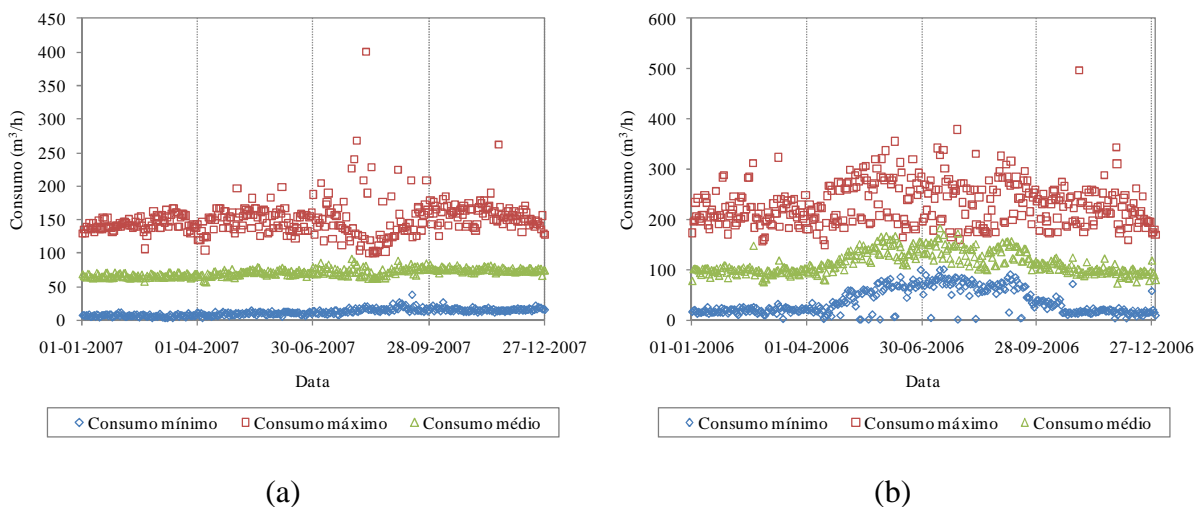


Figura 9.6 – Variação do consumo mínimo, médio e máximo durante o período de análise: a) ZMC ALF, b) ZMC SA

Em ambas as ZMC observam-se valores de consumo máximos muito elevados, que ocorrem com pouca frequência. Estes valores podem ser devidos a alterações nos consumos, a erros no processo de medição, transmissão e registo, ou a uma alteração operacional da rede. A análise conjunta dos registos de pressão teria permitido apoiar a identificação da sua natureza. No caso de ser devido a consumo, a análise de um histórico mais alargado teria permitido caracterizar melhor estes consumos extremos. No entanto, dados os objectivos deste trabalho, a análise incide sobre dados que originem um comportamento típico e a ocorrência destes consumos extremos pode enviesar a análise. A Figura 9.7 apresenta as mesmas estatísticas para as ZMC MN e MP, onde não são tão notórias alterações de consumo durante o período do Verão, mas onde também se verificam valores de consumo muito elevados.

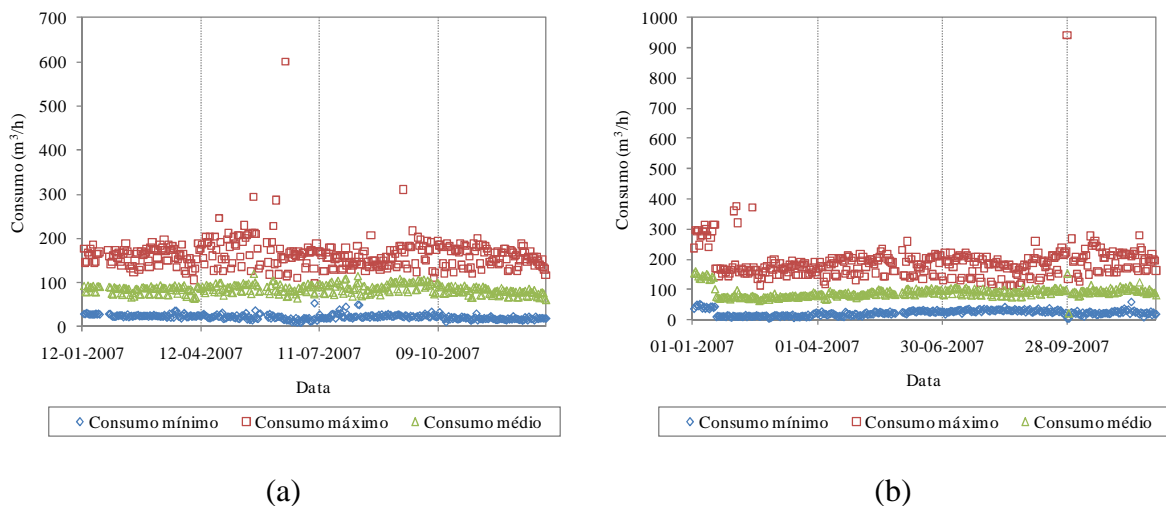


Figura 9.7 – Variação do consumo mínimo, médio e máximo durante o período de análise: a) ZMC MN, ZMC MP

9.4.2 Detecção de dados anómalos

São apresentados na Figura 9.8 exemplos de dados anómalos de consumo do Tipo I, de acordo com a classificação estabelecida em 5.2.2. Evidenciam uma elevada intensidade, face ao consumo médio, e curta duração (inferior a 1 hora). Este tipo de consumo anómalo ocorre com muito pouca frequência e pode ser devido a diversos factores, como sejam consumo elevado por parte de um determinado cliente, manobras de válvulas ou de bombas na rede, ou erro de medição ou de transmissão. A associação deste tipo de eventos a roturas na rede não parece ser muito plausível, dada a curta duração e o facto de não ser antecedido ou sucedido por uma variação de consumo que indique a ocorrência de uma intervenção na rede. A criação de um histórico destes dados vai permitir obter um melhor conhecimento sobre este tipo de eventos e sobre os factores que estiveram na sua origem.

Verifica-se que o algoritmo desenvolvido (cf. 5.2.2), tendo por base a comparação entre a série original e a série filtrada, permitiu detectar de forma correcta os dados anómalos de consumo do tipo I. Os erros relativos máximos admissíveis, entre a série filtrada e a série original, eram superiores no período nocturno (1:00-6:00) devido ao facto do consumo neste período do dia poder ser mais variável do que durante o resto do dia, variando o valor de ε_{max} entre 0,7 e 0,9. Durante o resto do dia consideraram-se valores de ε_{max} mais baixos (entre 0,4 e 0,8).

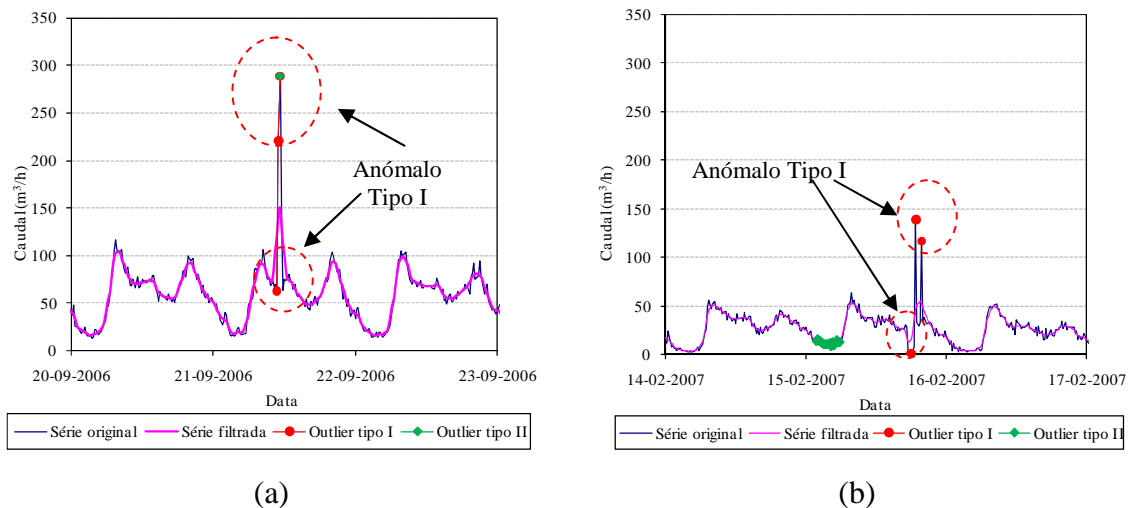


Figura 9.8 – Identificação de dados anómalos de consumo Tipo I: a) ZMC AZA, b) ZMC CS

A Figura 9.9 apresenta dois exemplos de dados de consumo anómalos do tipo II, que se caracterizam por uma duração variável, mas superior a 1 hora, correspondendo a comportamentos que se desviam significativamente do comportamento típico. Este tipo de eventos de consumo pode estar associado à ocorrência de roturas e consequente intervenção para reparação, a intervenções programadas ou a manobras de equipamentos (e.g., válvulas de isolamento de ZMC, bombas).

A análise conjunta de dados anómalos de consumo do Tipo II com o histórico de intervenções permite, em muitos casos, diagnosticar a sua origem. Nos exemplos que se apresentam na Figura 9.9, não havia qualquer registo sobre intervenções nestas datas. Este facto realça a necessidade de um histórico de intervenções o mais fiável possível, assim como uma adequada classificação destas intervenções.

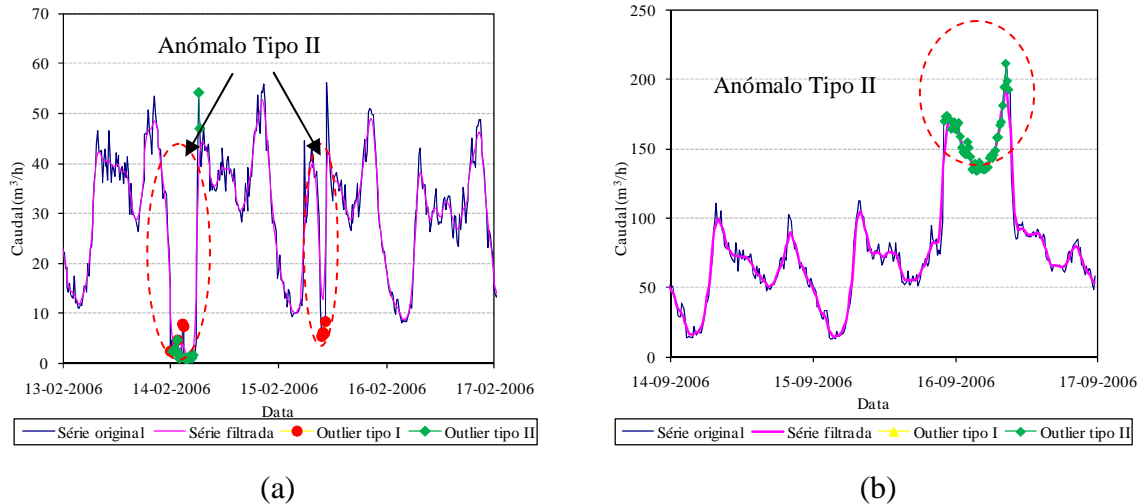


Figura 9.9 – Identificação de dados anómalos de consumo Tipo II: a) ZMC BA, b) ZMC AZA

A Figura 9.10 ilustra exemplos de consumos anómalos do Tipo III, os quais se caracterizam por patamares de consumo constante. Estes têm uma natureza diferente dos consumos anómalos do Tipo I e II e devem-se sobretudo a problemas de transmissão e armazenamento de dados. No caso do patamar de consumo ocorrer durante o período de consumo mínimo, pode ser devido também a uma configuração inadequada dos sistemas de telemetria, que não permite o registo de dados de consumo com suficiente pormenor durante este período do dia.

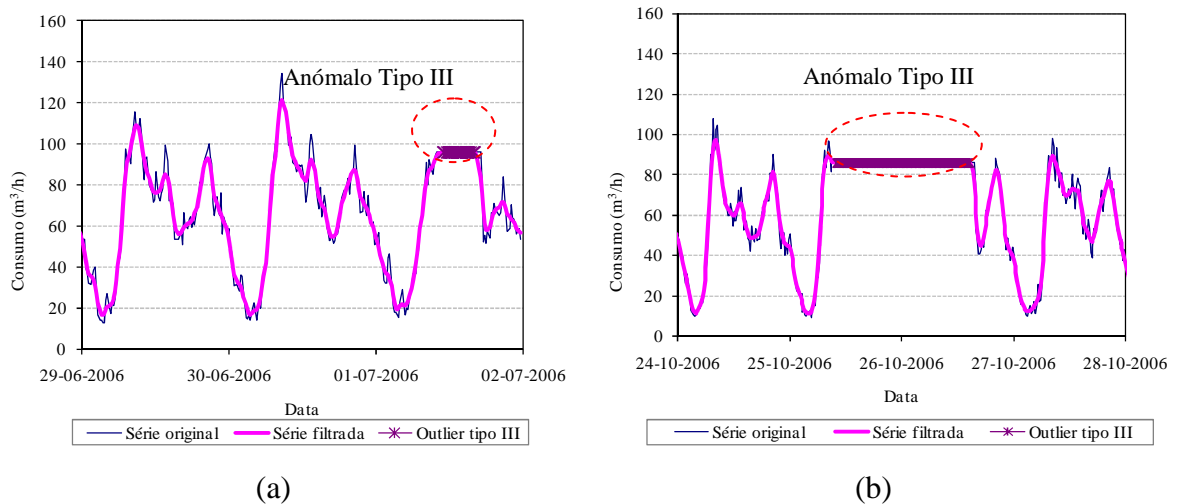


Figura 9.10 – Dados anómalos de consumo Tipo III na ZMC AZA

A Figura 9.11 ilustra exemplos de períodos classificados como anómalos do tipo II que não foram eliminados das séries de consumo, porque assinalavam alterações entre cenários diários ou sazonais. No caso da Figura 9.11a, a ocorrência de um feriado num dia útil (5ª feira) fez com que o comportamento nesse dia fosse semelhante a um dia de fim-de-

semana. Verifica-se que o período da manhã e do almoço não se individualizam, típico de dias de fim-de-semana. Comparando o consumo neste período do dia com o consumo no mesmo dia em semanas anteriores e posteriores, verificou-se que havia diferenças significativas e os dados referentes a este período seriam identificados como anómalos. A Figura 9.11b ilustra outros exemplos de períodos de consumo anómalo que estavam associados a uma variação de cenário de consumo sazonal e que não foram eliminados da série original. A identificação de cenários de consumo, detalhada em 9.5.1.1, irá permitir analisar estes comportamentos diferentes de forma separada.

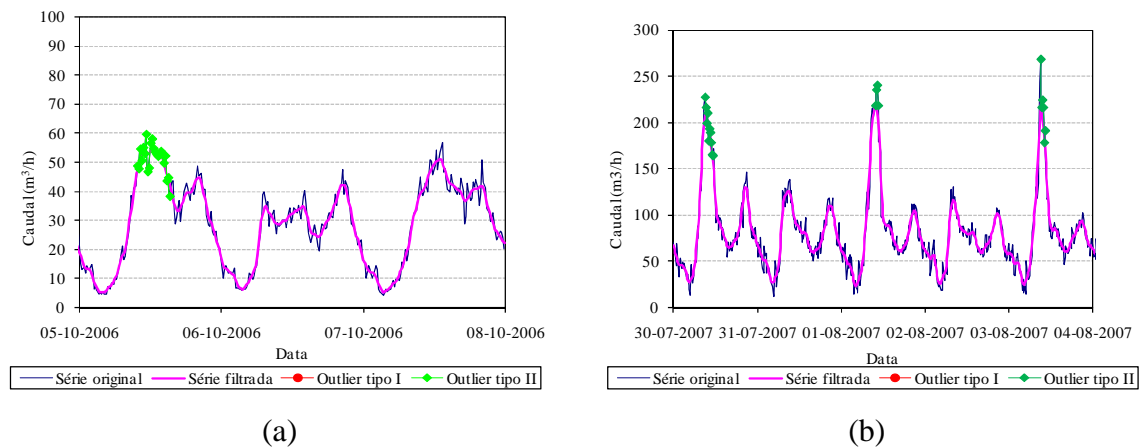


Figura 9.11 – Identificação de dados anómalos de consumo Tipo II: a) ZMC BA, b) ZMC ALF

Deste modo, este algoritmos devem ser utilizados para apoio à identificação de dados anómalos, mas não dispensam a análise da entidade gestora, que expectavelmente deterá um conhecimento profundo sobre a variação de consumo numa dada ZMC. Verifica-se que, para além de detectarem dados anómalos do tipo I, II e III, permitem também uma identificação preliminar de certos cenários de consumo que ocorrem. Outro aspecto importante prende-se com a existência de grandes consumidores com comportamento irregular, que podem levar à detecção de falsos anómalos, pelo que é importante que tenham sido previamente deduzidos ao consumo total na ZMC.

9.4.3 Normalização de dados

Na etapa de normalização, foram obtidas séries de consumo normalizadas na escala temporal, com um passo de tempo de 15 minutos, utilizadas nas etapas seguintes da análise. A normalização na escala do consumo permitiu adimensionalizar o consumo em cada instante, dividindo-o pelo respectivo valor médio diário (obtendo-se os factores de consumo) e as séries obtidas foram utilizadas nas etapas de estimativa de parâmetros e de modelação com o objectivo de calcular padrões diários de consumo.

9.4.4 Combinação de dados

A avaliação do efeito do consumo dos grandes consumidores no consumo total em ZMC é importante para a sua gestão operacional. Actividades como a análise de perdas reais através do estudo dos caudais nocturnos, o estabelecimento de níveis de alerta de consumos com base nos padrões de consumo, a sectorização e a tipificação de caudais, devem ter por base um conhecimento detalhado sobre os grandes consumidores e sobre o seu impacto nos sectores de rede.

A Figura 9.12 ilustra o efeito dos grandes consumidores instituição de I&D 1 e instituição de I&D 2 no consumo total medido na ZMC NO, para os períodos de 02-04-2007 a 06-04-2007 e de 17-09-2007 a 21-09-2007. Estes dois clientes representaram 8,6% do total facturado no ano em análise. A instituição de I&D 1 e a instituição de I&D 2 apresentam consumos médios de 92 e 77 m³/cliente/dia e factores de consumo médios 3:00-5:00 de 0,53 e 0,45, respectivamente – valores que indicam consumos nocturnos elevados. O comportamento da instituição I&D 1 alterou-se significativamente entre os dois períodos, sendo o seu impacte no consumo total medido na ZMC particularmente importante no primeiro período (Figura 9.12a). Este resultado revela a variabilidade do comportamento destes clientes ao longo do ano. Na Figura 9.12b verifica-se que ambos os grandes consumidores apresentam consumos nocturnos significativos, influenciando o consumo mínimo na ZMC.

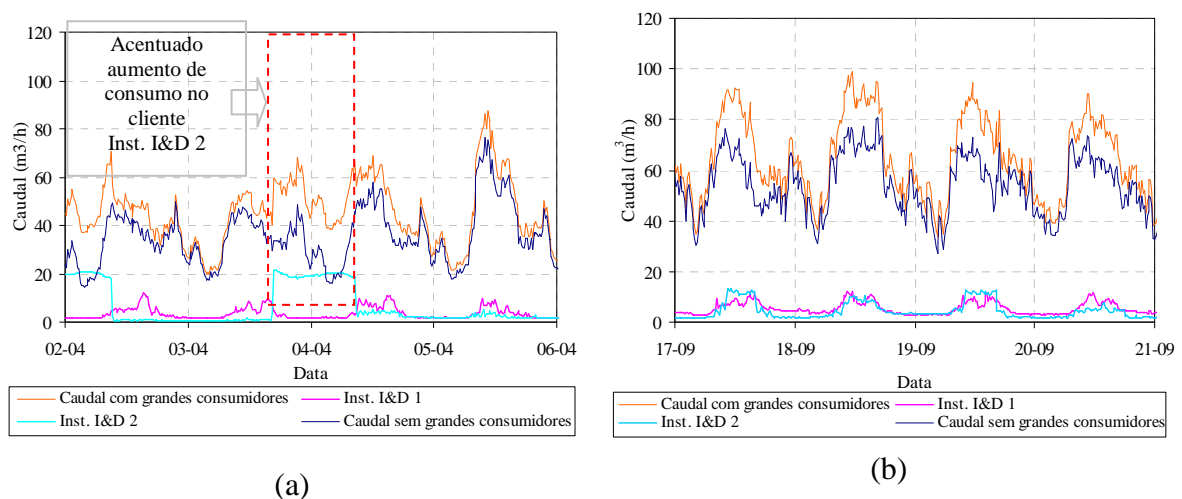


Figura 9.12 – Diagramas de consumo na ZMC NO e de consumo de grandes consumidores: a) 02-04-2007 a 06-04-2007 e b) 17-09-2007 a 21-09-2007

A Figura 9.13 mostra o impacto de grandes consumidores em duas ZMC distintas. Na ZMC M, os grandes consumidores representam 6.6% (Figura 9.13a) e na ZMC FN representam 5.8% (Figura 9.13b) do consumo total facturado anualmente.

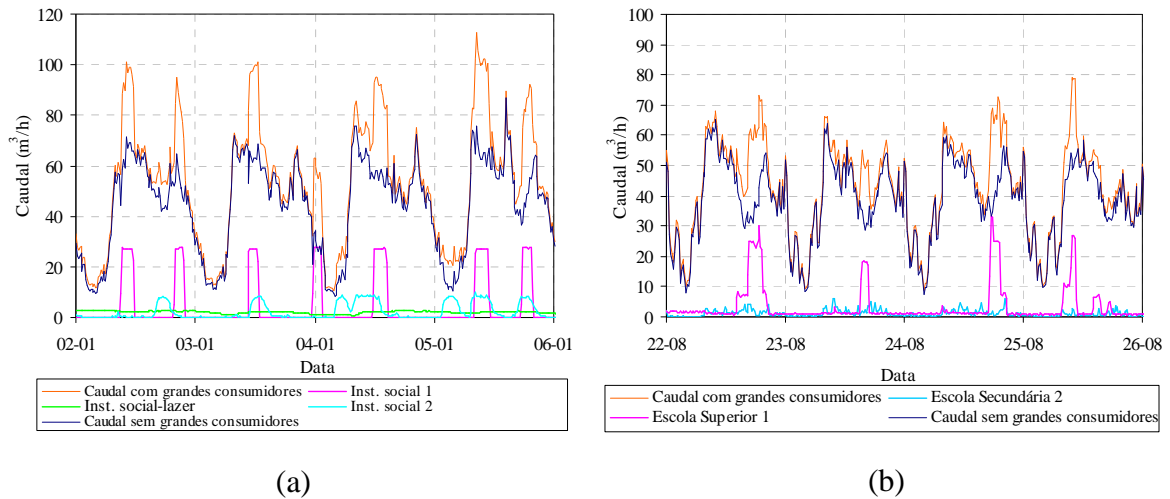


Figura 9.13 - Diagramas de consumo na ZMC e de consumo de grandes consumidores: a) ZMC M, b) ZMC FN

Os grandes consumidores instituição social 1 (Figura 9.13a) e escola superior 1 (Figura 9.13b) ilustram exemplos de clientes com consumos elevados e comportamento diário irregular, com forte impacto no consumo total nas ZMC. Verifica-se que apenas o grande consumidor instituição social-lazer apresenta consumos mínimos relevantes (Figura 9.13a).

9.5 Produção de informação de caracterização

9.5.1 Análise do consumo

9.5.1.1 Cenários de consumo

Cenários de consumo sazonais

Com o objectivo de identificar os cenários sazonais calculou-se, para cada mês, o consumo médio horário ao longo de 24 horas de acordo com o procedimento descrito em 4.6.1. Como exemplo, a variação diária do consumo horário para cada mês do ano nas ZMC SA e FC é apresentada na Figura 9.14. Na ZMC SA, entre Maio e Setembro, o consumo aumenta relativamente ao resto do ano, em particular durante o período nocturno (1:00-6:00) em que o aumento foi muito significativo (Figura 9.14a). Este período do ano é onde costumam ocorrer regas, que muitas vezes se realizam durante o período nocturno, levando a um aumento significativo do consumo neste período.

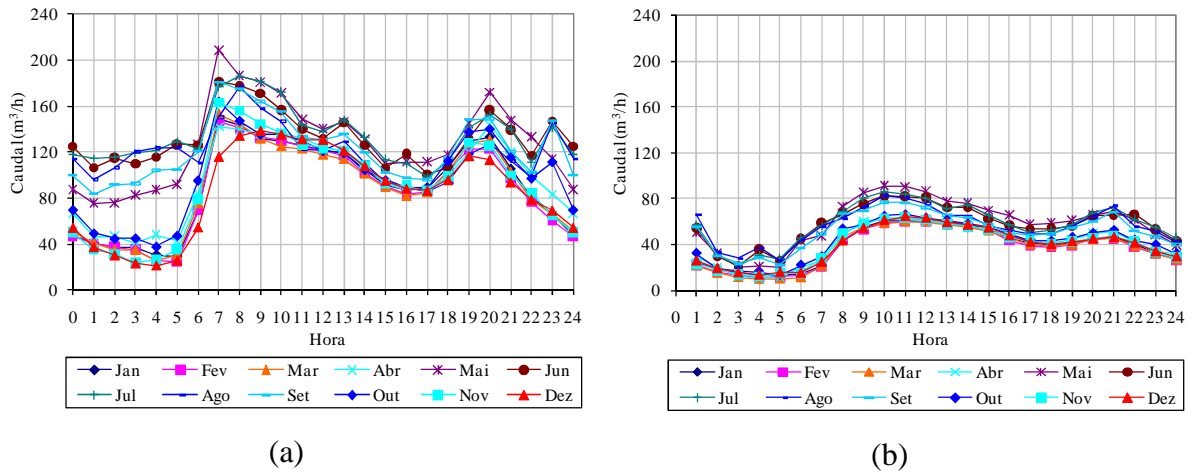


Figura 9.14 – Variação diária do consumo horário na ZMC para cada mês do ano: a) SA, b) FC

No caso da ZMC FC, é notório o aumento do consumo médio entre Maio e Setembro, não havendo uma alteração tão significativa no comportamento ao longo do dia como no caso da ZMC SA (Figura 9.14b). A Figura 9.15 apresenta os dendrogramas resultantes da análise de *clusters* (distância euclidiana, método da ligação média) para as duas ZMC em análise. A distância de corte foi escolhida de forma a obter 2-3 cenários sazonais – uma vez que se trata de zonas onde a sazonalidade é relativamente baixa – e sempre que possível, agrupamentos com um mínimo de 3 meses, de forma a possibilitar a análise estatística do consumo. Os resultados obtidos confirmam a existência dos dois cenários de consumo ao longo do ano em ambas as ZMC.

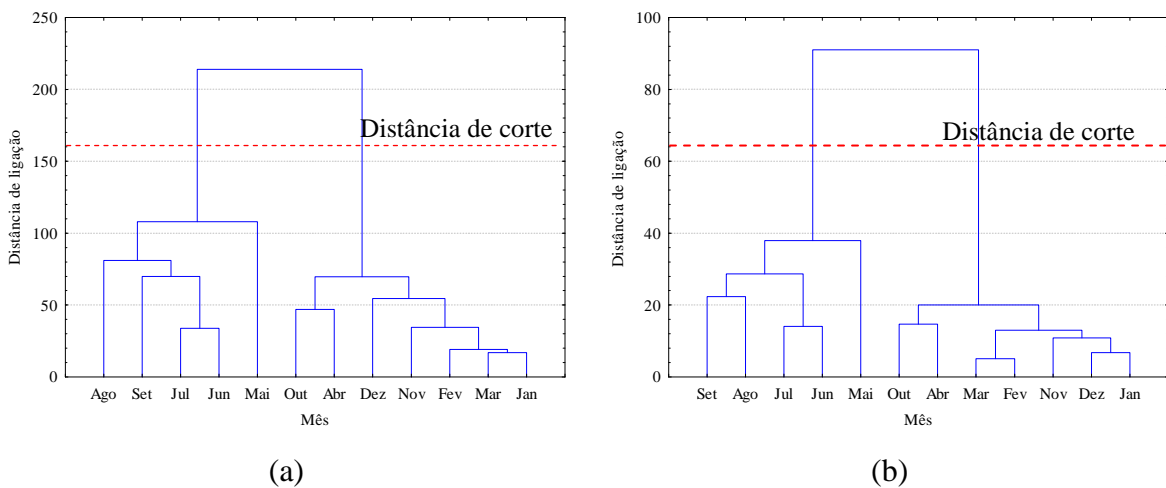


Figura 9.15 – Dendrograma para a variável mês na ZMC: a) SA, b) FC (método de ligação média)

A análise de *clusters* foi realizada para todas as ZMC e a Figura 9.16 apresenta os resultados obtidos em termos de cenários sazonais de consumo. Em vários sectores não foi possível analisar o ano completo devido a problemas de natureza variada, como sejam a falta de dados, a ocorrência de alterações na rede ou de problemas de parametrização no

sistema de telegestão, o que obrigou a reduzir a dimensão da série para análise. Deste modo, para minimizar perdas de informação, é fundamental que a entidade gestora crie procedimentos que garantam uma análise regular das medições de consumo, assim como um registo sistematizado das ocorrências que provocam alterações na rede.

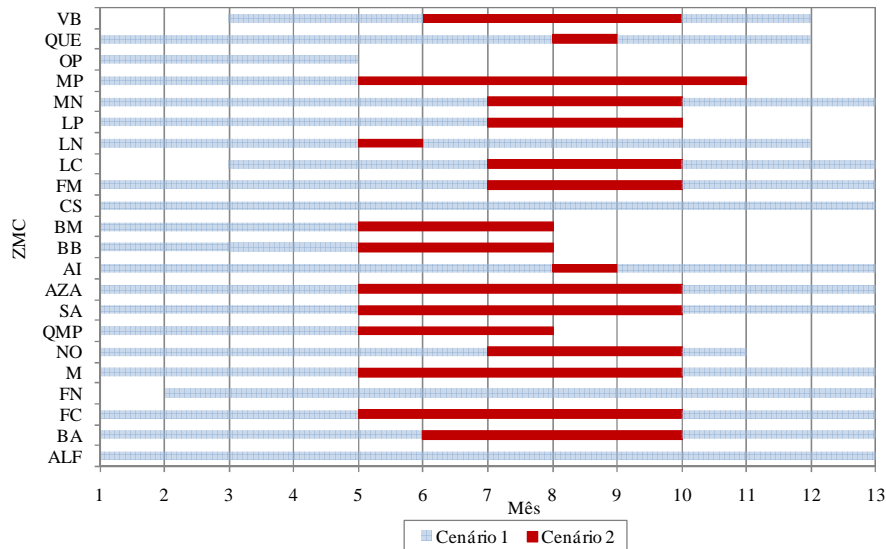


Figura 9.16 – Cenários sazonais de consumo para cada ZMC

As ZMC em estudo são caracterizadas por 2 cenários sazonais de consumo ao longo do ano. O cenário 2 refere-se ao período do Verão, havendo em geral um aumento do consumo médio face ao cenário 1, que corresponde aos restantes meses do ano. As ZMC referem-se a zonas urbanas predominantemente residenciais, localizadas na periferia de Lisboa, onde não ocorre um aumento de população em férias, típico de zonas turísticas. Nestas ZMC pode mesmo ocorrer uma diminuição do consumo em algumas zonas devido às pessoas que se ausentam das suas habitações para férias.

Deste modo, a alteração de comportamento durante o período do Verão pode dever-se a aspectos como:

- rega de espaços verdes, que decorre tipicamente entre Maio e Outubro (época seca);
- enchimento e manutenção de piscinas (privadas ou públicas) e lavagens;
- saída de pessoas para fora da área de residência durante os períodos de férias.

Existe ainda um conjunto de ZMC cujo cenário 2 é mais longo, estendendo-se de Maio a Outubro. As ZMC SA e FC (Figura 9.14) ilustram esse comportamento, onde no período do Verão houve um aumento do consumo médio e máximo, sendo nalgumas ZMC particularmente notório também o aumento durante o período nocturno (1:00-6:00). Por oposição, nas ZMC AI e QUE o cenário 2 corresponde apenas ao mês de Agosto, havendo

um ligeiro decréscimo do consumo médio nestes mês, embora durante o período nocturno se verifique um aumento face ao cenário 1 (Figura 9.17).

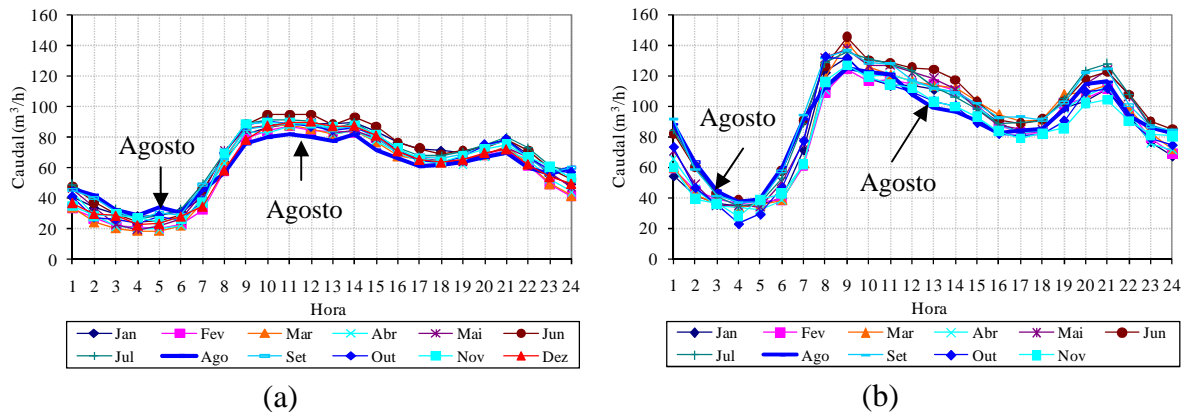


Figura 9.17 – Variação diária do consumo horário para cada mês na ZMC: a) AI, b) QUE

Nestas zonas, a diminuição do consumo devido à saída de pessoas para férias de Verão é parcialmente compensada pelo aumento de consumos devido aos usos exteriores (cenário 2), o que faz com que a diferença de consumos entre cenários não seja muito acentuada. Para as ZMC ALF, FN e CS não se diferenciaram cenários de consumo ao longo do ano.

A análise de cenários sazonais revela-se, deste modo, muito importante para apoio à gestão operacional da rede, por exemplo na detecção de fugas, na gestão dos volumes de água armazenados e na gestão de pressões na rede. No cenário 2, os elevados consumos de água para rega durante o período nocturno podem dificultar a estimativa das perdas reais e a realização de *step tests*, pelo que é importante que sejam individualmente telemedidos. A disponibilidade de dados de consumo referentes a regas é fundamental para análise de consumos nocturnos durante este período do dia.

Cenários de consumo diários

Para a identificação dos cenários de consumo diário, calculou-se o consumo médio horário ao longo de 24 horas para cada dia da semana e aplicou-se o método de análise de *clusters* como descrito em 4.6.1. A Figura 9.18 apresenta o resultado da análise de *clusters* para a variável dia da semana, nos dois cenários sazonais.

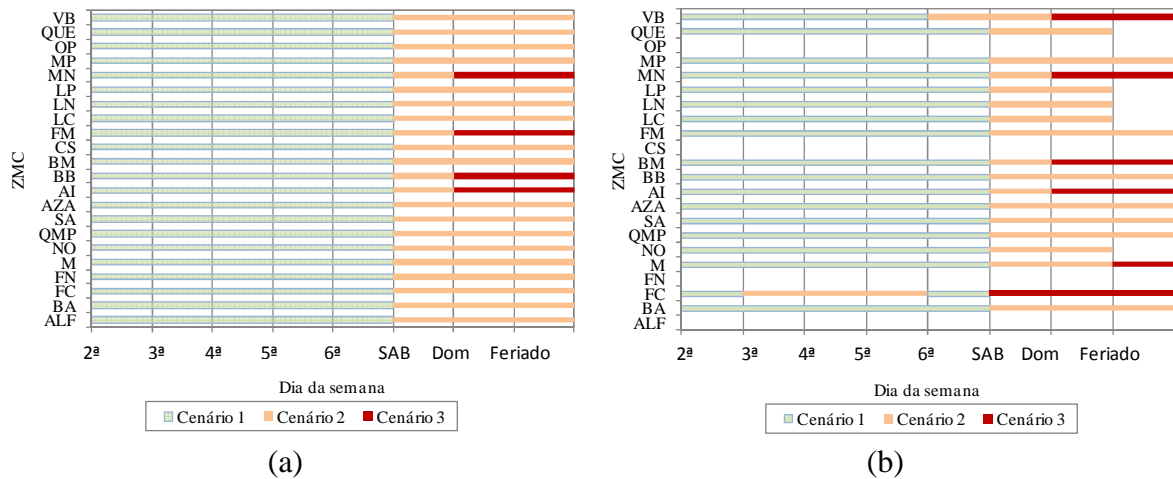


Figura 9.18 – Cenários diários de consumo em cada ZMC: a) cenário sazonal 1, b) cenário sazonal 2

Em geral, os dias úteis apresentam um comportamento semelhante entre si e distinto dos dias de fim-de-semana e feriados, independentemente do cenário de consumo sazonal, embora no cenário sazonal 2 possa haver uma maior variabilidade entre os dias da semana (*e.g.*, ZMC FC, ZMC VB). Em algumas ZMC, os sábados apresentam um comportamento distinto dos domingos e feriados em ambos os cenários (*e.g.*, ZMC MN, ZMC AI). A realização de tarefas domésticas sobretudo ao sábado pode ser responsável por algumas das diferenças encontradas.

Para ilustrar as diferenças entre dias da semana, apresentam-se na Figura 9.19 os padrões horários de consumo para cada dia da semana, durante o cenário sazonal 1, para as ZMC BA e AZA. Verifica-se que é nos períodos da manhã e do almoço que se verificam as maiores diferenças entre padrões de dia útil e de fim-de-semana e feriados. O período da manhã começa mais cedo em dia útil, podendo o consumo máximo ocorrer neste período, como no caso da ZMC BA (Figura 9.20b) ou no período do jantar como no caso da ZMC AZA (Figura 9.20a). Em dias de fim-de-semana ou feriado, os períodos da manhã e do almoço aparecem juntos, sendo este o período onde ocorre o consumo máximo, para ambas as ZMC.

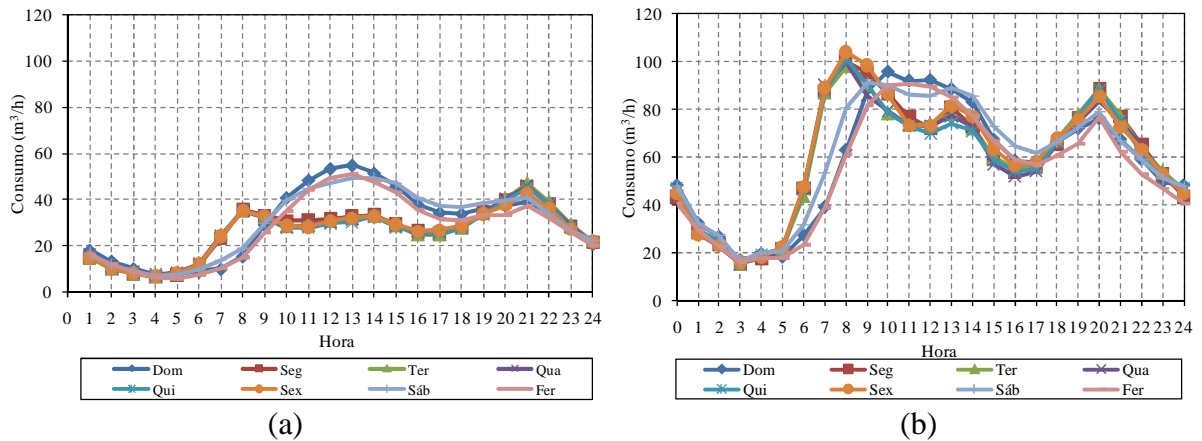


Figura 9.19 – Variação diária do consumo horário para cada dia da semana, durante o cenário sazonal 1, nas ZMC: a) BA, b) AZA

A Figura 9.20 apresenta os respectivos dendrogramas para a variável dia da semana nas ZMC BA e AZA, no cenário sazonal 1. As distâncias de corte foram seleccionadas de forma a não obter mais de 3 cenários de consumo diários. Os resultados demonstram que existem dois agrupamentos de dias da semana com características muito distintas entre si – dia útil e fim-de-semana (incluindo os feriados) - comprovando a análise visual efectuada.

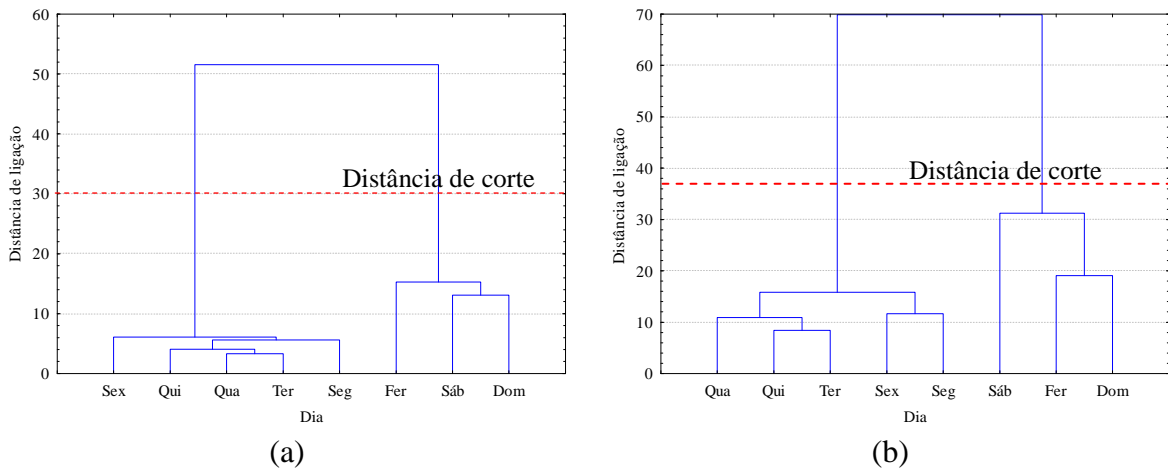


Figura 9.20 – Dendrograma para a variável dia da semana no cenário anual 1 para a ZMC: a) BA, b) AZA (método de ligação média)

Com o objectivo de identificar as principais diferenças no comportamento diário entre cenários sazonais, foram comparadas as variações diárias do consumo horário para cada dia da semana, nos dois cenários sazonais. A Figura 9.21 apresenta, como exemplo, os resultados para a ZMC LP. Verifica-se que, em ambos os cenários sazonais, os dias úteis apresentam um comportamento idêntico entre si e distinto dos dias de fim-de-semana e feriados. No cenário sazonal 2, para os dias úteis, o período de consumo máximo durante a manhã dura mais tempo (entre as 7:00 e as 8:00) e durante o resto do dia ocorrem consumos mais elevados.

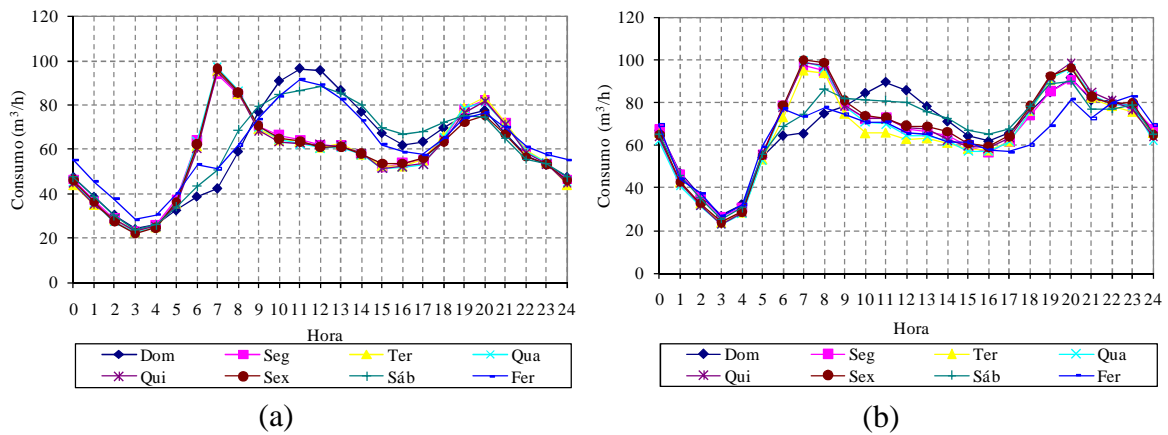


Figura 9.21 – Variação diária do consumo horário para cada dia da semana para a ZMC LP: a) cenário sazonal 1, b) cenário sazonal 2

Esta alteração de comportamento em dia útil, durante o cenário sazonal 2 (entre Julho e Setembro), pode ser devida à alteração de um conjunto de hábitos. Neste período parte dos residentes que estão de férias podem levantar-se mais tarde, pelo que o período de consumo máximo prolonga-se durante mais tempo no período da manhã. No Verão, uma maior concentração de actividades domésticas durante o período do jantar pode provocar um aumento do consumo neste período.

Durante os dias de fim-de-semana, verifica-se que há um decréscimo significativo do consumo durante o período do almoço e um aumento do consumo à hora do jantar no cenário sazonal 2. Esta alteração de comportamento pode indicar que, no Verão e durante o fim-de-semana, as pessoas permanecem menos tempo em casa durante o dia, regressando ao fim da tarde, altura em que realizam grande parte das tarefas domésticas diárias.

Deste modo, para além do aumento do consumo nocturno no cenário sazonal 2, devido a um aumento dos usos exteriores, sintetiza-se abaixo as principais diferenças, para dia útil, entre os dois cenários sazonais:

- o período da manhã é mais longo juntando nalguns casos com o período do almoço no cenário sazonal 2, enquanto no cenário sazonal 1 estes períodos do dia se encontram geralmente bem diferenciados;
- no período do jantar, o consumo no cenário sazonal 2 aumenta significativamente face ao consumo no mesmo período, para o cenário sazonal 2.

No que se refere aos dias de fim-de-semana e feriados verifica-se que:

- no período do almoço, o consumo no cenário sazonal 2 diminui, face ao consumo no mesmo período, para o cenário sazonal 1.

- no período do jantar, o consumo no cenário sazonal 2 aumenta significativamente face ao consumo no mesmo período, para o cenário sazonal 2.

Em termos de cenários diários, e para análise do consumo nas etapas seguintes, subdividiu-se a semana em dias úteis (ou sub-conjunto de dias úteis predominantes), sábados (o dia de maior consumo da semana, em muitas ZMC) e domingos e feriados (que apresentam geralmente o mesmo comportamento). Uma vez que houve alterações de comportamento nos padrões horários para cada dia da semana entre os dois cenários sazonais, a análise dos cenários diários foi feita de forma separada para ambos os cenários sazonais.

Cenários de consumo por período do dia

Para o cenário sazonal 1, calculou-se o consumo médio e o desvio-padrão horário para dia útil, sábado e domingo (incluindo neste os feriados). Para a identificação dos períodos do dia com comportamento semelhante aplicou-se o método de análise de *clusters* como descrito em 4.6.1.

A análise de cenários por período do dia permitiu identificar os períodos do dia com comportamento idêntico para o cálculo de variáveis de consumo nestes períodos.

A Figura 9.22 apresenta os cenários de consumo durante o período nocturno e identifica nele o período de consumo mínimo (PCMN). A identificação do período de consumo mínimo é muito importante para a realização de *step tests* e para a estimativa das perdas reais (*cf.* Capítulo 7).

Verificou-se assim que, para o dia útil, o período nocturno típico ocorre entre 1:00-6:00, embora existam algumas ZMC onde é significativamente distinto, como a ZMC OP. Nas ZMC CS, MP e OP, localizadas junto a vias de acesso principal à cidade de Lisboa, o período de consumo nocturno é prolongado até às 7:00. É expectável que as pessoas que vivem nestas zonas, próximas de uma vasta área de serviços e com acesso mais rápido a Lisboa, desfrutem de um tempo entre casa e trabalho menor do que nas restantes zonas, o que ajudaria a explicar o início mais tardio do consumo matinal. Verifica-se igual comportamento nas ZMC M, NO e QMP, estas localizadas no centro da cidade de Oeiras, zona também com muitos serviços. Sugere-se, assim, que a distância entre casa e trabalho pode influenciar significativamente o comportamento diário. Sob o prisma sócio-demográfico, sugere-se que a hora a que se inicia o período de consumo matinal pode fornecer indicações sobre a proximidade ao emprego predominante na ZMC monitorizada,

e consequentemente ajudar a identificar os destinos de emprego predominantes na população em causa.

Nos dias úteis, o PCMN é aproximadamente constante (entre 3:00-5:00), embora existam ZMC onde é significativamente distinto, como M, BM, VB (Figura 9.22a). O facto do comportamento ser muito distinto nestas ZMC durante o período nocturno, pode indicar a ocorrência de consumos importantes em clientes, cujo consumo não é individualmente telemedido, dificultando as estimativa das componentes de consumo durante este período do dia.

Durante os dias de fim-de-semana e feriados, o período de consumo nocturno prolonga-se durante mais tempo, variando tipicamente entre as 1:00 e as 7:00 ao sábado (Figura 9.22b) e entre a 1:00 e as 8:00 ao domingo e feriados (Figura 9.22c). Nos dias de fim-de-semana e feriados, o PCMN é mais variável entre ZMC, sendo o mais comum das 4:00 às 5:00.

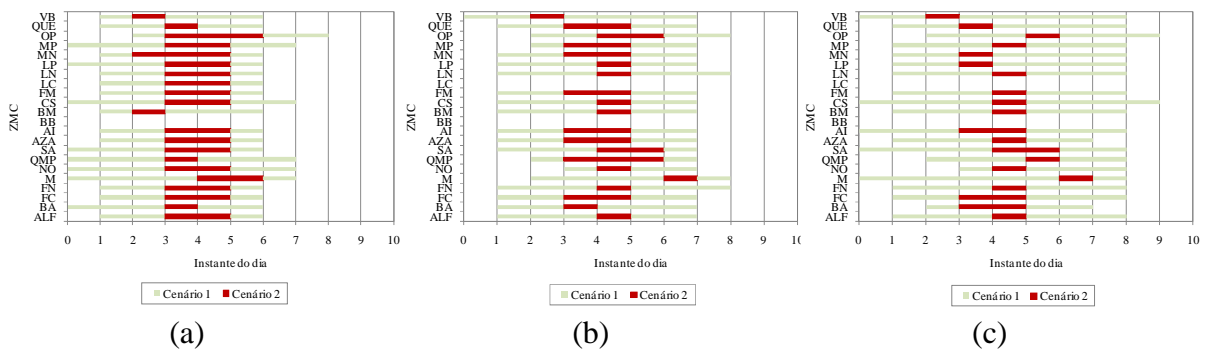


Figura 9.22 – Cenários de consumo durante o período nocturno: a) dia útil, b) sábado, b) domingo e feriados

A Figura 9.23 apresenta os cenários de consumo ao longo do dia para dia útil, obtidos através da análise de *clusters*. Com base nesta análise concluiu-se que o consumo ao longo do dia para estes dias da semana pode ser caracterizado por seis períodos principais de consumo:

- Período de transição do período nocturno – cenário 1 (6:00-7:00 e 22:00-1:00)
- Período nocturno – cenário 2 (1:00-6:00)
- Período da manhã – cenário 4 (7:00-10:00)
- Período do almoço – cenário 3 (10:00-15:00)
- Período da tarde – (15:00-19:00)
- Período do jantar – (19:00-22:00)

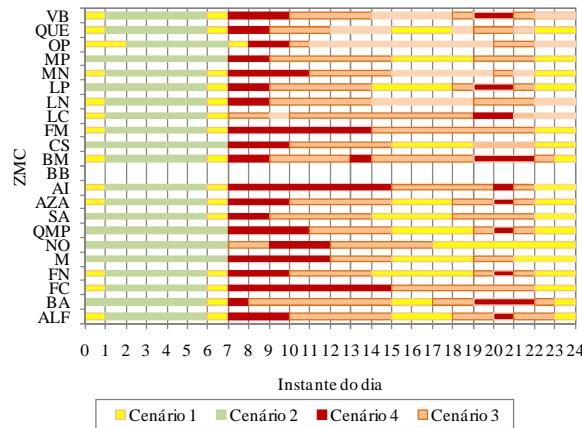


Figura 9.23 - Cenários de consumo ao longo do dia para dia útil

A Figura 9.24 apresenta os cenários de consumo ao longo do dia para sábado e domingo e feriado. Concluiu-se que, para sábado, o consumo ao longo dia pode ser caracterizado por quatro períodos principais de consumo (Figura 9.24a):

- Período de transição do período noturno – cenário 1 (7:00-8:00 e 22:00-1:00);
- Período noturno – cenário 2 (1:00-7:00);
- Período de transição do almoço – cenário 3 (8:00-9:00 e 15:00-22:00);
- Período do almoço – cenário 4 (9:00-15:00).

Assim, o período de consumo máximo ocorre tipicamente entre as 9:00 e as 15:00, juntando os períodos da manhã e almoço. Este período de consumo máximo é antecedido e sucedido por um período de transição, aqui designado por *transição – almoço* que compreende dois intervalos de tempo: entre as 8:00 e as 9:00 e entre as 15:00 e as 22:00. As ZMC BM e VB são as que mais se desviam deste comportamento típico e apresentam maiores semelhanças com o padrão de dia útil, pois apresentam também um período de consumo máximo no período do jantar, que se diferencia do consumo durante a tarde.

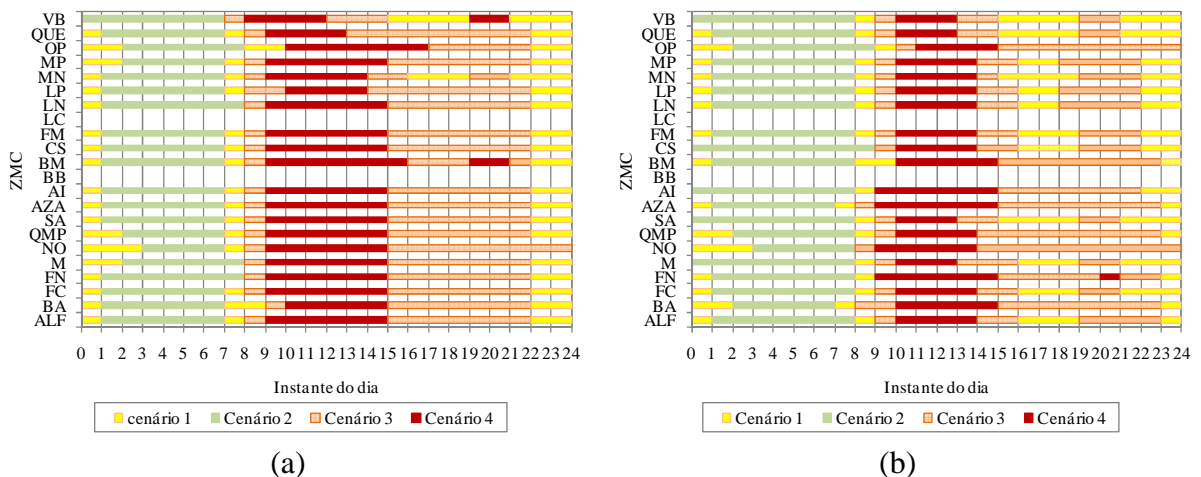


Figura 9.24 - Cenários de consumo ao longo do dia: a) sábado, b) domingo e feriados

Para domingo e feriado, o consumo ao longo dia pode ser caracterizado por quatro períodos principais de consumo (Figura 9.24b):

- Período de transição do período nocturno – cenário 2 (8:00-9:00 e 23:00-1:00);
- Período nocturno – cenário 1 (1:00-8:00);
- Período de transição do almoço – cenário 3 (9:00-10:00 e 14:00-16:00);
- Período do almoço – cenário 4 (10:00-14:00).

O período do almoço, de consumo máximo, ocorre entre as 10:00 e as 14:00, mais tarde portanto do que ao sábado. O período da tarde e do jantar diferenciam-se entre si – ao contrário do sábado, onde não se distinguem – e o cenário 3 engloba o período entre as 15:00 e as 22:00 (Figura 9.2). Assim, ao domingo e feriado consideraram-se dois períodos adicionais, relativamente ao sábado:

- Período da tarde (16:00-19:00);
- Período do jantar (19:00-23:00).

9.5.1.2 Variáveis de consumo

Para a totalidade do histórico disponível, calcularam-se as variáveis de consumo propostas no Quadro 4.16. O consumo médio varia entre 258,7 l/(cliente.dia) e 1290,7 l/(cliente.dia), com um valor médio de 519,1 l/(cliente.dia) e o consumo mínimo médio varia entre 9,4 l/ramal/h e 80 l/ramal/h, com um valor médio de 28,7 l/ramal/h. De acordo com a Figura 9.25a, os valores do factor de ponta mensal variam entre 1 e 1,4, o que significa que o efeito de sazonalidade é baixo comparativamente com outras regiões do país. O factor de ponta diário varia entre 1,3 e 1,7 e o factor de ponta instantâneo entre 2,1 e 3,8. Os factores de ponta foram calculados para as ZMC cujo histórico era superior a 9 meses. Os factores de consumo mínimo máximo e de consumo máximo no PCMN (3:00-5:00) são em geral muito semelhantes, com valor médio de 2,0. Este aumento significativo do consumo durante o período nocturno é devido ao aumento dos usos exteriores no Verão, sobretudo regas.

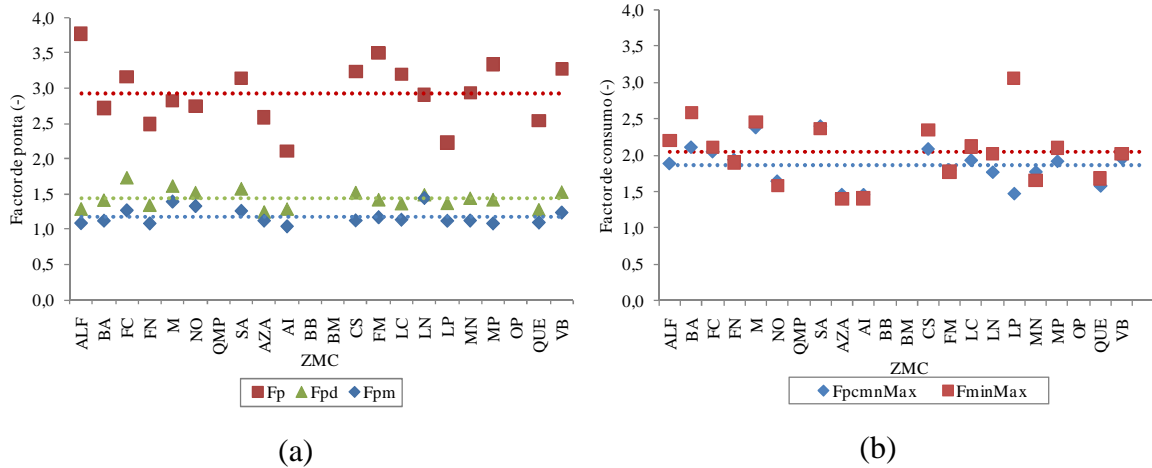


Figura 9.25 – Variáveis de consumo anuais: a) factores de ponta (F_p , F_{pd} , F_{pm}), b) factores de consumo mínimo e no PCMN ($F_{PCMNMax}$, F_{minMax})

A Figura 9.26 ilustra a variação do consumo ao longo do ano nas ZMC FC e SA. Observa-se que o aumento do consumo mínimo e do consumo no PCMN entre Maio e Setembro é bastante significativo. Na ZMC SA, entre Julho e Agosto, o consumo médio no PCMN é superior ao consumo médio diário. A ZMC SA é das zonas onde o peso do consumo público no total facturado é mais elevado (17%) e na ZMC FC predominam vivendas com espaços verdes, pelo que os consumos devidos a rega no período nocturno são elevados. A ocorrência de consumo elevado no Verão, durante o período nocturno, dificulta a detecção de fugas ou roturas. De forma a minimizar este problema, é fundamental a telemedição dos grandes consumidores associados a regas.

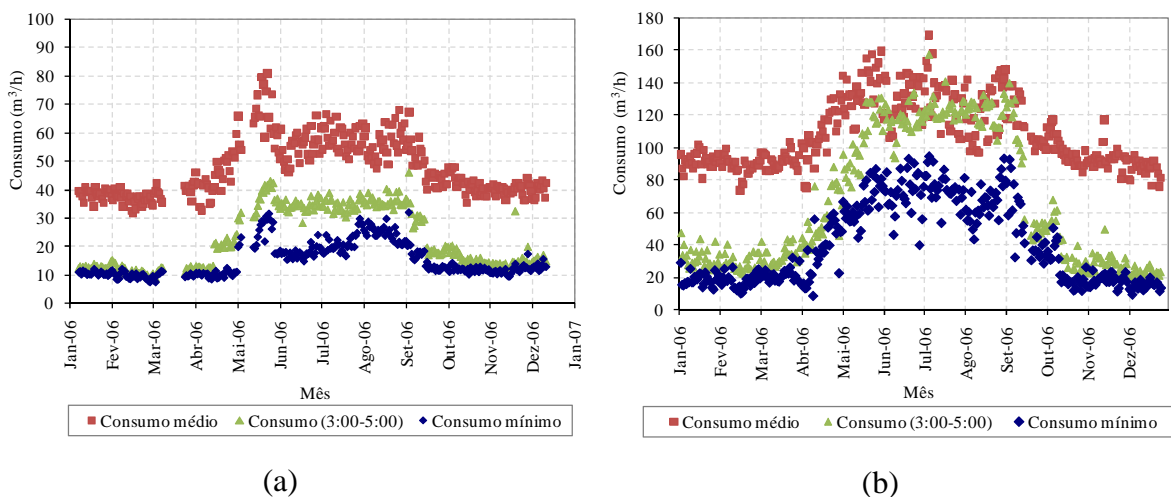


Figura 9.26 – Diagramas de consumo médio diário, de consumo médio entre as 3:00 e as 5:00 e de consumo mínimo para a ZMC: a) FC, b) SA

Para os dois cenários sazonais obtidos em cada ZMC calcularam-se as variáveis de consumo propostas no Quadro 4.16. Os cenários sazonais considerados foram obtidos

através da análise de *clusters*, cujos resultados foram apresentados em 9.5.1. A Figura 9.27 apresenta os resultados das variáveis de consumo para cada ZMC no cenário sazonal 1.

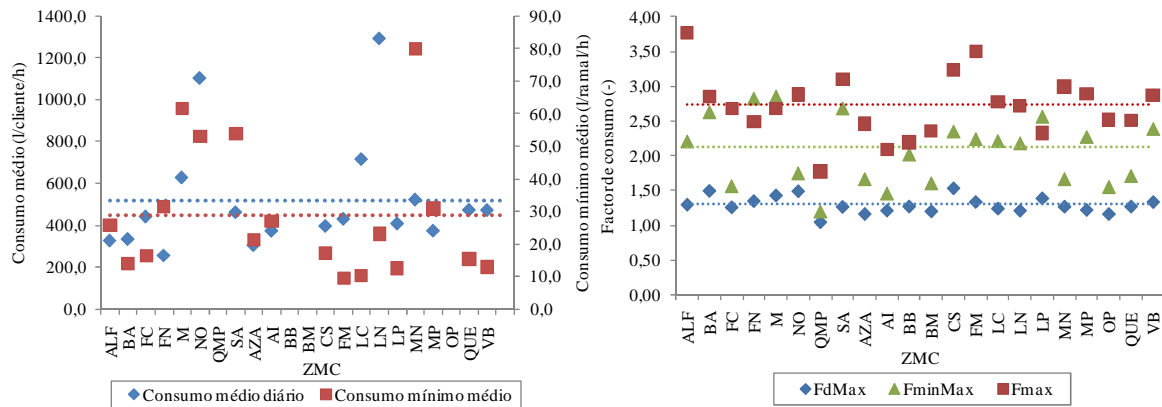


Figura 9.27 – Variáveis de consumo para o cenário sazonal 1: a) consumo médio diário e consumo mínimo médio, b) factores de consumo (F_{dMax} , F_{minMax} , F_{Max})

Nas ZMC NO, LC e LN o consumo médio diário é superior a 600 l/(cliente.dia), valor que é superior ao valor médio global das ZMC (519 l/(cliente.dia)) (Figura 9.27a). Estas ZMC caracterizam-se por valores muito elevados do consumo não doméstico por cliente. Esta variável indica, assim, a possível existência nestas zonas de grandes consumidores, cujo consumo não está a ser telemedido. O consumo mínimo médio nas ZMC QMP e MN é superior a 80 l/(ramal.h), valor que é muito superior à média das ZMC (28,7 l/(ramal.h)). No caso da ZMC QMP, a entidade gestora verificou que os elevados valores de consumo mínimo eram devidos a um elevado nível de perdas reais, tendo levado à substituição de condutas. No caso da ZMC MN, os elevados valores de consumo mínimo podem indicar que se trata de uma zona cujas entradas e saídas de consumo total não estão totalmente controladas, ou que existe pelo menos um grande consumidor, não telemedido, com consumo significativo durante o período nocturno.

O valor médio global do factor de consumo diário máximo é 1,3 e do factor de consumo máximo instantâneo é 2,75, valores que são ligeiramente inferiores aos factores de ponta diário e instantâneo obtidos (Figura 9.25a). O valor médio global do factor de consumo mínimo máximo é 2,1, indicativo de uma acentuada variabilidade do consumo durante o período nocturno durante o cenário sazonal 1.

Verificou-se também que a variabilidade do consumo é maior no cenário anual 1 (*i.e.*, o coeficiente de variação médio é de 0,43) do que no cenário anual 2 (*i.e.*, o coeficiente de variação médio é de 0,35). Esta redução da variabilidade do consumo durante o cenário

anual 2 pode ser devida ao facto de corresponder a um período de férias, durante o qual muitas indústrias e outros clientes fecham ou reduzem a actividade.

9.5.2 Estimativa de parâmetros

Para o cálculo dos intervalos de predição nos padrões de consumo é necessário conhecer-se a distribuição teórica que melhor se ajusta às amostras transversais de consumo. Para avaliar se a distribuição log-normal, sugerida por Coelho (1988), se ajustava às amostras transversais, foram seleccionadas três ZMC, com consumo predominantemente doméstico (consumo doméstico facturado > 82%), com dimensão entre 1569 e 4560 clientes e representativas das ZMC em estudo (Figura 9.28).

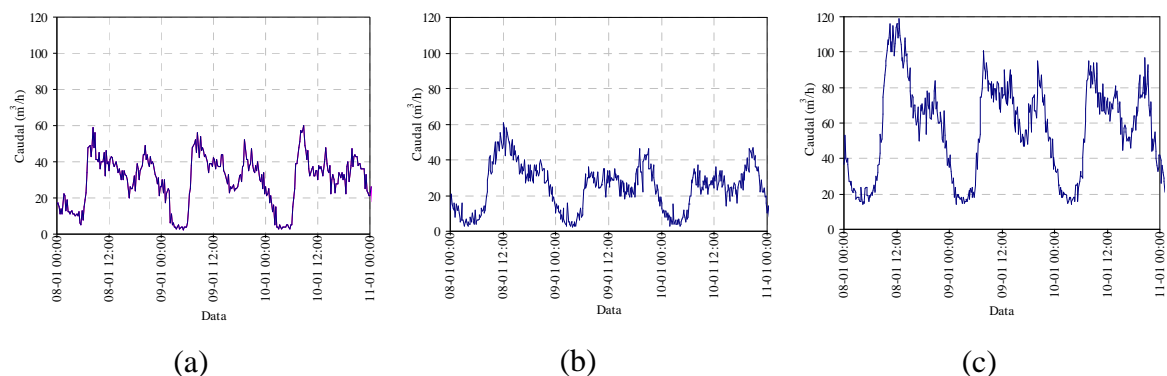


Figura 9.28 – Séries de consumo para as ZMC: a) CS (1569 clientes), BA (2026 clientes) e ZA (54560 clientes)

Os testes de ajustamento para o consumo total (incorporando as perdas de água) foram feitos para dia útil (cenário sazonal 1). Embora possam ter um comportamento diferente do consumo, a separação das perdas de água apenas é possível recorrendo a estimativas, não se conhecendo o seu valor real, pelo que neste trabalho não foram separadas do restante consumo.

Para as três ZMC analisadas, a distribuição que melhor se ajustou aos dados de consumo em cada passo de 15 min. (amostra transversal) ao longo do dia foi a Log-normal (valor- $p > 0,05$). As Figuras 9.29 e 9.30 apresentam a distribuição dos valores observados e estimados, para os passos de tempo 5:00 e 9:00, assim como os resultados do teste de ajustamento do Qui-quadrado.

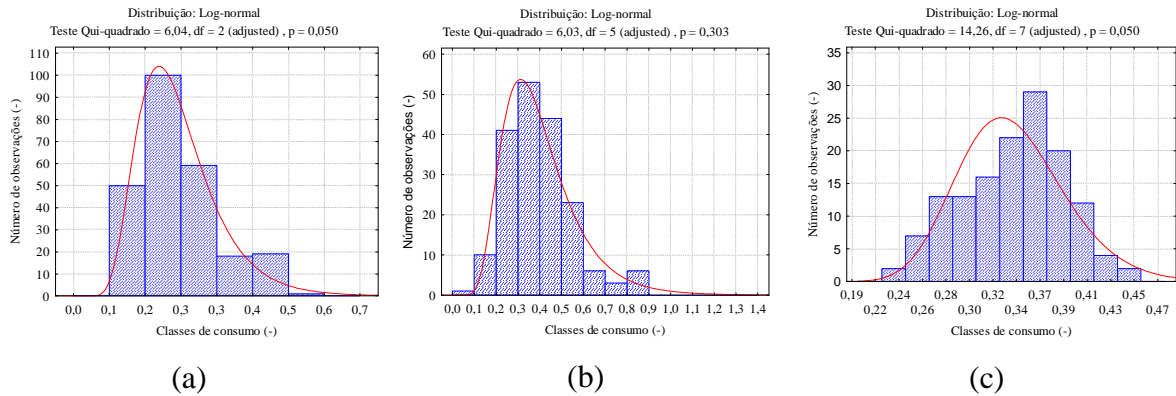


Figura 9.29 - Valores observados e estimados de consumo às 5:00 e resultados dos testes de ajustamento para as ZMC: a) CS, b) BA e c) ZA

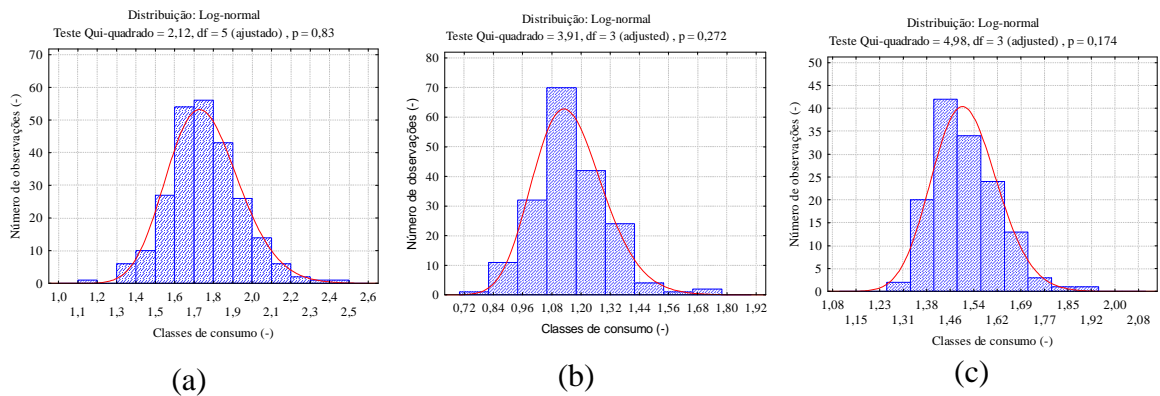


Figura 9.30 - Valores observados e estimados de consumo às 9:00 e resultados dos testes de ajustamento as ZMC: a) CS, b) BA e c) ZA

O Quadro 9.2 apresenta os resultados dos testes de ajustamento para as ZMC CS, BA e ZA, para dia útil e fim-de-semana (incluindo feriados). Dividindo o dia em 4 períodos de 6 horas, foram realizados 24 testes de ajustamento por período – um por cada passo de tempo de 15 min. contido nesse período, e aplicado à amostra transversal formada pelos valores verificados nesse passo de 15 min. em todos os dias em estudo. A dimensão das amostras transversais é dada pelo número de dias do mesmo tipo disponíveis no registo – por exemplo, para a ZMC CS, os testes foram realizados com 250 dias úteis e 115 dias de fim-de-semana e feriados. Para cada período, apresenta-se o número de testes em que não foi rejeitada a hipótese nula, segundo a qual o logaritmo dos consumos segue uma distribuição normal (se uma variável X segue uma distribuição Log-normal, a variável $Y=\ln X$ segue uma distribuição normal). Apresenta-se também o número total de períodos no dia em que a hipótese nula não foi rejeitada. Assim, nas ZMC analisadas, o número total de amostras transversais onde não foi rejeitada a hipótese nula foi superior a 70% em todos os casos, e superior a 88% em 3 dos 5 casos. Verifica-se também que esta taxa é superior no caso dos fins-de-semana e feriados, sugerindo uma menor variabilidade no consumo

comparativamente com os dias úteis. Nos períodos nocturnos e da manhã, o número de amostras onde não se rejeita a hipótese nula é menor comparativamente ao resto do dia, indicativo de uma maior variabilidade do consumo nestes períodos.

Quadro 9.2 – Resultados dos testes de ajustamento à distribuição Log-normal para as ZMC CS, BA e ZA

Sector/grande consumidor	Período da semana	N.º de dias	N.º de amostras onde a hipótese nula não foi rejeitada ao longo do dia (nº total de amostras por período de 6 horas: 24)				Total de amostras no dia onde a hipótese nula não foi rejeitada (%)
			0:00-6:00	6:00-12:00	12:00-18:00	18:00-24:00	
CS	Dia útil	250	12	14	24	20	72,9
	Fim-de-semana e feriado	115	16	22	23	24	88,5
BA	Dia útil	164	12	11	24	22	71,9
	Fim-de-semana e feriado	79	21	23	23	24	94,8
ZA	Dia útil	142	14	23	24	24	88,5
	Fim-de-semana e feriado	70	19	24	24	24	94,8

Estes resultados estão de acordo com o estudo desenvolvido por Coelho (1988), no qual a distribuição Log-normal foi a distribuição que melhor se ajustou às amostras transversais para um sector com 7500 habitantes. Por outro lado, as ZMC em estudo têm dimensões superiores ao sector considerado por De Marinis et al (2006), com 1220 habitantes e 400 clientes, onde a distribuição que melhor se ajustava diferia consoante o período do dia.

Face aos resultados obtidos, foi neste trabalho adoptada a distribuição Log-normal na modelação das amostras transversais de dados de consumo (adimensionais), e em particular como base para calcular os intervalos de predição utilizados nos padrões de consumo nas ZMC consideradas.

O ajustamento de distribuições teóricas ao consumo requer que aquelas sejam provenientes de cenários de consumo com comportamento semelhante. A Figura 9.31 apresenta um exemplo de dois instantes onde não foi possível ajustar nenhuma das distribuições mais conhecidas devido à mistura de vários cenários de consumo na mesma amostra transversal. O exemplo refere-se ao sector BA, utilizando um ano completo de registos e agregando todos os dias da semana em cada amostra transversal. Verifica-se que na amostra correspondente às 5:00 (Figura 9.31a) existem duas classes de consumo com elevada frequência, entre]0,3 e 0,4] e entre]0,8 e 0,9]. A ocorrência destas duas classes de

consumo distintas com maior frequência deve-se ao facto do consumo nocturno durante os meses de Verão aumentar, devido a regas, por oposição ao consumo durante o resto do ano – tal ilustra claramente a necessidade de construir padrões diários de consumo distintos para cada cenário sazonal. Na amostra das 7:00 horas (Figura 9.31b), há também duas classes bastante diferentes com frequência elevadas, entre]0,4 e 0,5] e]1,2 e 1,4], neste caso devidas ao facto do consumo durante a manhã ser muito diferente de dia útil para fim-de-semana e feriados. Fica assim igualmente ilustrada a necessidade de separar cenários semanais na construção dos padrões diários de consumo.

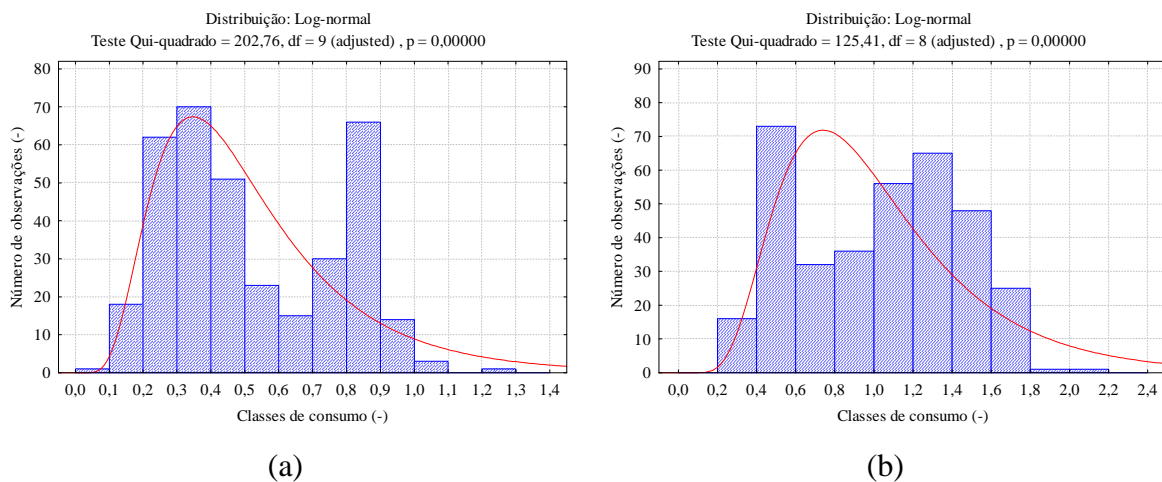


Figura 9.31 - Valores observados e estimados para a ZMC BA: a) às 5:00, b) às 7:00

A presença de grandes consumidores, caracterizados muitas vezes por um comportamento muito diferente dos restantes clientes, pode provocar problemas semelhantes – mais uma razão para que o seu consumo seja deduzido do consumo total entrado em sectores de rede. Desta forma, o cálculo de intervalos de predição paramétricos (*i.e.*, onde se admite que as amostras transversais de consumo seguem uma dada distribuição teórica) requer que previamente tenham sido identificados os cenários de consumo que tipificam o comportamento de um dado sector de rede.

9.5.3 Modelação do consumo

Para as ZMC estudadas, em que o número de cliente variava entre 1569 e 4560, concluiu-se que a distribuição Log-normal permite descrever adequadamente o consumo das amostras transversais de consumo para dia útil e para o cenário mensal predominante. Deste modo, os intervalos de predição podem ser calculados para a variável $Y = \ln(X)$ e posteriormente transformados para a variável X (*i.e.*, $X = e^Y$).

A Figura 9.32 apresenta os padrões diários de consumo em dia útil para as ZMC CS, BA e ZA, no cenário sazonal 1. A ZMC CS caracteriza-se por um período de consumo máximo durante o período da manhã, sendo o consumo durante o período do almoço e jantar significativamente mais reduzido. Durante o período nocturno, embora o consumo médio seja baixo, comparativamente com as outras duas ZMC, os intervalos de predição indicam uma significativa variabilidade do consumo neste período. Para a ZMC BA, o consumo máximo ocorre durante o período do jantar, sendo o consumo durante a manhã e almoço pouco variável. Na ZMC ZA, o consumo no período da manhã e do jantar é muito semelhante, sendo também significativo no período do almoço.

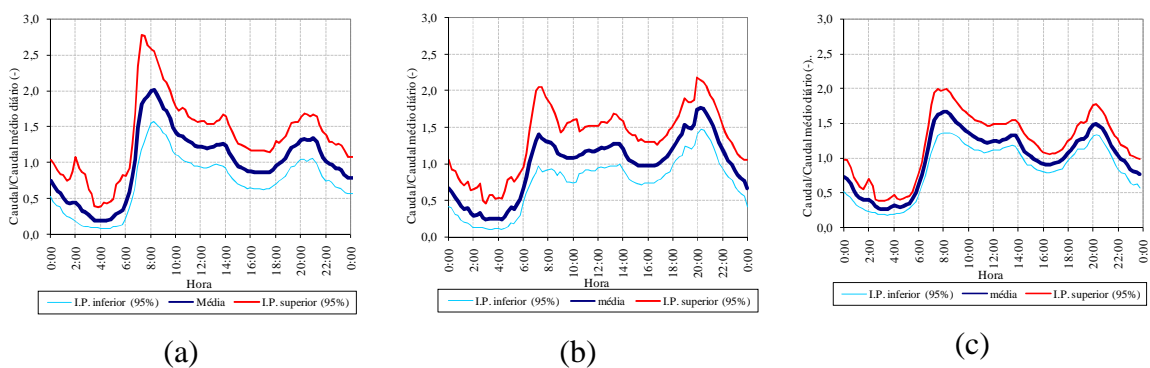


Figura 9.32 – Padrões diários de consumo (adimensional) em dia útil e no cenário sazonal 1 para as ZMC: a) CS, b) BA e c) ZA

Estas duas últimas ZMC, caracterizados por consumos importantes durante a manhã e almoço, podem corresponder a zonas onde a percentagem de pessoas em casa durante o dia é elevada. Os intervalos de predição mais estreitos no caso do sector ZA indicam que se trata de um sector onde os clientes apresentam um comportamento mais regular do que no caso dos sectores CS e BA.

9.6 Classificação e previsão

9.6.1 Obtenção das variáveis explicativas

9.6.1.1 Recolha e combinação de dados

O Quadro 9.3 apresenta uma síntese dos dados recolhidos para identificação de variáveis explicativas que caracterizam as ZMC em análise, a partir de origens diferentes. Os dados dos clientes, do consumo facturado e de rede foram fornecidos pela entidade gestora. Os dados sócio-demográficos, geograficamente referenciados, foram obtidos a partir dos últimos censos, utilizando a aplicação de geoprocessamento apresentada em 5.4.

Quadro 9.3 – Dados recolhidos para tipificação de consumo em ZMC

<i>Categoria de dados</i>	<i>Origem</i>	<i>Período a que se refere</i>	<i>Características</i>
Clientes e facturação	Sistema de facturação e de gestão de clientes	2006-2007	Dados bimestrais com discriminação da categoria de consumo, do número de clientes, leitura/estimativa de consumo por ramal.
Rede	Sistema de informação geográfica	2006-2007	Ramais e condutas Ordens de serviço
Sócio-demográfica	Censos	2001	Unidades estatísticas: edifício, o alojamento, família, núcleo familiar e indivíduo

9.6.1.2 Construção de variáveis

As variáveis explicativas foram agrupadas nas categorias infra-estrutura, facturação e sócio-demográficas.

Variáveis de infra-estrutura

Em termos de variáveis de infra-estrutura (cf. Quadro 4.20), os materiais de conduta predominantes são os materiais plásticos (PVC, PEAD) e o fibrocimento, com percentagens médias de 68% e 26%, respectivamente (Figura 9.33a). A percentagem de condutas metálicas é reduzida (6%).

O valor médio de avarias em condutas é de 49 avarias/100 km/ano, valor que é superior ao intervalo entre 0 e 30 avarias/100 km/ano, correspondente a um boa qualidade de serviço (ERSAR, 2009), indicativo de sistemas com algumas deficiências localizadas, embora a idade média de 22 anos seja indicativo se um significativo esforço da entidade gestora na renovação da rede. No entanto, existem cinco ZMC com mais de 70 avarias/100 km/ano, indicativo de sistemas com algumas deficiências: SA, AZA, AI, CS e MN.

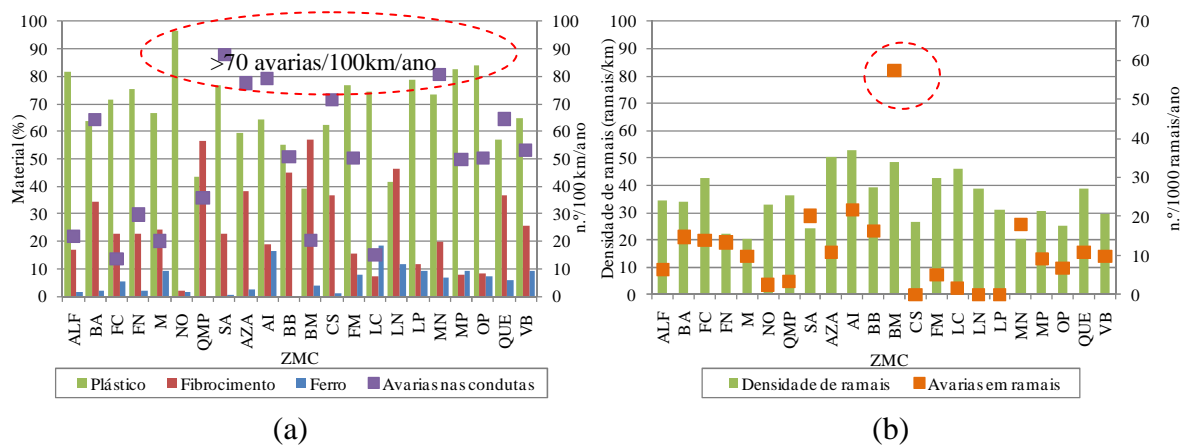


Figura 9.33 – Variáveis de infra-estrutura: a) material das condutas e avarias em condutas, b) densidade de ramais e avarias em ramais

O valor médio de avarias em ramais é de 13 avarias/1000 ramais/ano, sendo o sector BM o que apresenta o valor mais elevado, 51 avarias/1000 ramais/ano (Figura 9.33b).

Variáveis sócio-demográficas

No que se refere às variáveis sócio-demográficas (*cf.* Quadro 4.22), apresenta-se na Figura 9.34 um conjunto de estatísticas descritivas onde se realçam os seguintes aspectos:

- o edificado é consolidado, com mais de 20 anos (vetustez 1 = 41% e vetustez 2 = 41%) sendo significativa a percentagem de edifícios baixos (edifícios com 1-2 pisos = 44%);
- a população tem uma taxa reduzida de população idosa (15%), com um nível de escolaridade relativamente baixo (mobilidade social = 17%, escolaridade obrigatória = 46%), sendo o principal sector de actividade o terciário (mobilidade económica = 79%);
- a taxa de permanência em casa é elevada (pensionistas ou residentes sem actividade económica = 64%), enquanto que a parte da população estudante e trabalhadora tem a sua actividade fora do concelho de residência (estudantes ou trabalhadores no concelho=27%);
- a taxa de famílias grandes é muito reduzida (famílias com mais de 5 elementos = 8%) predominando as famílias pequenas (famílias com 1-2 elementos = 50%). A taxa média de famílias com jovens ou com idosos é muito idêntica (27%) e a taxa média de famílias com desempregados é baixa (10%).

As características relativas aos indivíduos e famílias são em geral pouco variáveis (os coeficientes de dispersão são inferiores a 0,3), indicativo de alguma homogeneidade entre sectores, o que não é inesperado. Relativamente às características do edificado e alojamento, observa-se em geral uma dispersão mais elevada (os coeficientes de dispersão são significativamente superiores a 0,3).

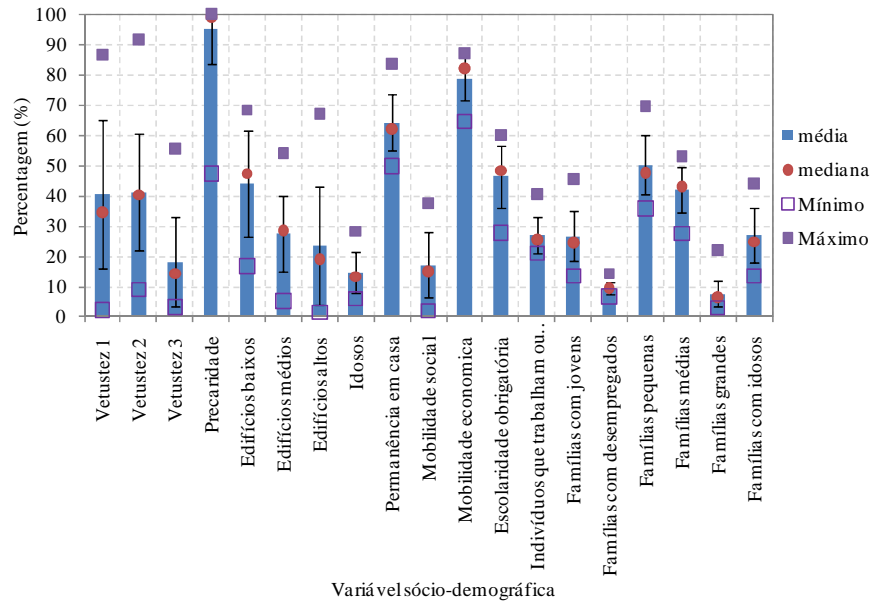


Figura 9.34 – Variáveis sócio-demográficas

Variáveis de consumo facturado

Relativamente ao consumo facturado (cf. Quadro 4.21), a Figura 9.35 apresenta uma síntese das variáveis relativas ao consumo doméstico e não doméstico facturado. Em média, 88% do consumo doméstico total facturado corresponde ao 1.º e 2.º escalões de consumo (Figura 9.35a). No entanto, existe um grupo de 8 sectores onde o consumo dos 3.º e 4.º escalões representa mais de 15% no consumo total facturado no sector: FC, NO, CS, FM, LN, LP, MN, QUE. No caso do sector NO, em que o consumo nos dois escalões mais elevados representa 32% do consumo total doméstico, os alojamentos possuem também espaços ajardinados onde os usos de água para rega podem ser significativos, em particular durante o Verão (Figura 9.35a).

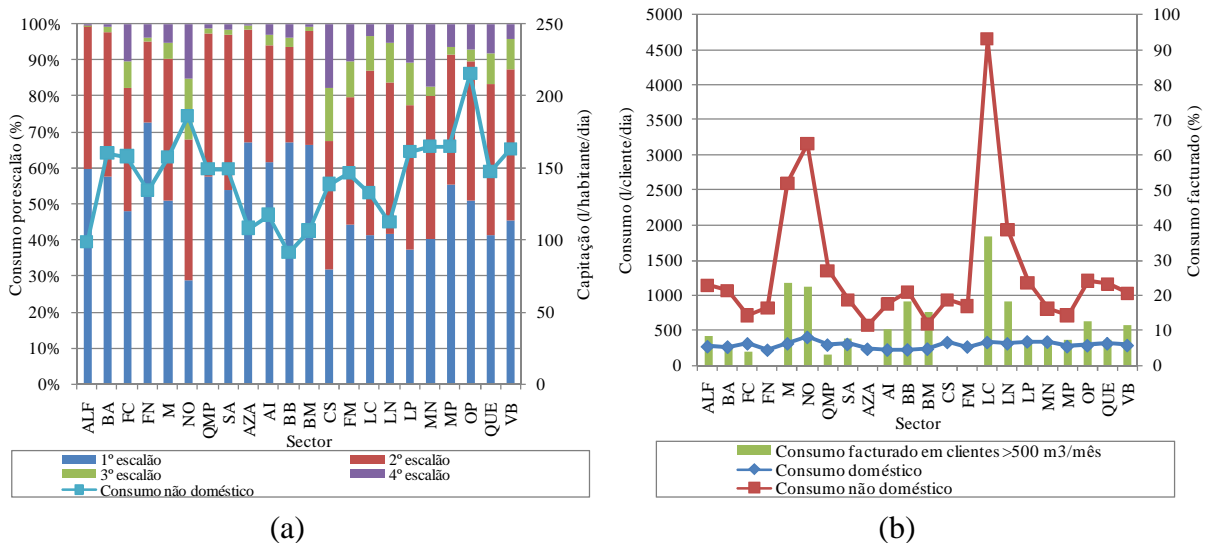


Figura 9.35 – Variáveis de facturação

A capitação média é de 143 l/(habitante.dia) e a sua variabilidade é reduzida (coeficiente de variação =0,20). O valor médio de capitação encontra-se compreendido entre o valor estimado para a região de 130 l/(hab.dia) e o valor médio nacional de 153 l/(hab.dia) (INAG, 2007).

O valor médio de consumo doméstico por cliente é de 288 l/(cliente.dia) e a sua variabilidade é muito reduzida (coeficiente de variação=0,16), indicativo de alguma homogeneidade entre sectores (Figura 9.35b). O consumo médio não doméstico é significativamente mais elevado e variável (consumo não doméstico por cliente =1338 l/(cliente.dia)) e coeficiente de variação=0,73). Nas ZMC M, NO, LC e LN o consumo não doméstico por cliente é superior a 1500 l/(cliente.dia). É também nestas ZMC onde se verifica maior consumo facturado em grandes clientes (traduzido, na figura, pelo consumo facturado em clientes com consumo mensal superior a 500 m³/mês). Removendo estes clientes ao consumo facturado não doméstico, o consumo não doméstico por cliente reduz-se a 761 l/(cliente.dia), e a sua variabilidade baixa (coeficiente de variação=0,43). Tal como observado anteriormente, recomenda-se que futuramente estes clientes sejam monitorizados em contínuo e deduzidos ao consumo total entrado nos sectores, de forma a possibilitar uma melhor caracterização destes sectores.

9.6.1.3 Redução de variáveis

No sentido de desenvolver modelos de previsão de consumos, e face ao conjunto alargado de variáveis de infra-estrutura, sócio-demográficas e de facturação disponíveis, há toda a conveniência em procurar reduzir este número, pelas seguintes razões:

- o desenvolvimento de qualquer modelo deve reger-se pelo princípio da parcimónia, ou seja, deve procurar depender do menor número possível de variáveis independentes que permita representar o comportamento desejado com a precisão requerida;
- as variáveis independentes ou explicativas a incluir no modelo deverão poder ser facilmente obténíveis pelas entidades gestoras a quem se destina;

no caso em análise, o número relativamente reduzido de amostras de ZMC (22 ZMC) limita o número de variáveis independentes para as quais é possível validar o modelo a construir. Assim, houve necessidade de aplicar técnicas que reduzissem o número inicial de variáveis a um conjunto mais reduzido, minimizando a perdas de informação inicial.

Tal como referido em 9.2, aplicou-se o método de análise em componentes principais, que transforma um conjunto de variáveis que podem estar correlacionadas entre si num conjunto menor de variáveis independentes (decorrentes de combinações lineares das variáveis originais) – designadas por componentes principais ou factores (Pereira e Sousa, 2002). Estas componentes ou factores foram utilizadas como novas variáveis para a construção dos modelos de previsão e de classificação, que exigem tipicamente que as variáveis explicativas sejam independentes (Neter *et al.*, 1996; Guimarães e Sarsfield Cabral, 1999).

Variáveis de infra-estrutura

Em termos das variáveis de infra-estrutura (*cf.* Quadro 4.20), foi possível reduzir a informação a duas novas variáveis (ou componentes), que explicam 89% da variância original. As componentes são calculadas por ordem decrescente de importância: a primeira – designada por material de conduta – explica o máximo possível da variância dos dados originais (72%); a segunda – designada por dimensão da conduta – explica o máximo possível da variância ainda não explicada (17%); *etc.*

A análise em componentes principais permite obter um conjunto de componentes principais associados às variáveis em análise. Os critérios adoptados para a selecção do número de componentes a reter foram a exclusão das componentes cujos valores próprios eram menores do que a unidade⁴⁴ e quando, simultaneamente, a percentagem de variância explicada pelas componentes retidas era superior a 80% (Pereira e Sousa, 2002). No caso das componentes principais retidas (material e dimensão da condutas), a percentagem de variância explicada foi de 89%, pelo que foram excluídas as restantes componentes.

As componentes principais podem ser representadas por um sistema de eixos ortogonais (ditos eixos factoriais), onde o primeiro eixo segue a direcção de maior variabilidade dos dados, e o segundo eixo segue a segunda direcção de maior variabilidade, ortogonal ao primeiro eixo (Figura 9.36). A qualidade de representação de uma variável no plano em análise pode ser avaliada pela proximidade à circunferência representada, estando melhor representada aquela que se encontrar mais próxima da referida circunferência. As coordenadas das variáveis num eixo (compreendidas entre -1 e 1) são os coeficientes de

⁴⁴ Significa que a variância explicada pela componente retida será sempre superior à variância explicada em média por uma variável inicial (INE, 2004).

correlação das variáveis com o eixo; quanto maior for o seu valor absoluto, melhor explicada é a variável pelo respectivo eixo.

Deste modo, no caso das novas variáveis de infra-estrutura – material (eixo factorial 1) e dimensão das condutas (eixo factorial 2) – é possível fazer o seguinte tipo de interpretação (Figura 9.36):

- material⁴⁵ (factor 1) – permite explicar 72% da variabilidade dos dados e traduz essencialmente a oposição entre a taxa de condutas em fibrocimento e a taxa de condutas em plástico (*i.e.*, PCV, PEAD) – variáveis que se encontram próximas da circunferência unitária (com coordenada no eixo próxima de 1 em valor absoluto) mas em sentidos opostos. Também positivamente correlacionada com a taxa de condutas em fibrocimento está a densidade de ramais (embora a sua coordenada no eixo 1 seja inferior, indicando que a sua correlação com o factor 1 é menor). Por sua vez a taxa de condutas em plástico está positivamente correlacionada com o ano de instalação das condutas e com o diâmetro, indicativo de que as condutas das redes mais recentes são predominantemente de material plástico e com diâmetro mais elevado. Concluiu-se, assim, que este factor permite caracterizar os principais tipos de materiais das condutas, pelo que foi designado por material.
- dimensão da conduta (factor 2): representa 17% da variabilidade dos dados e revela a oposição entre a densidade de ramais e o diâmetro das condutas (variáveis cujo valor da coordenada no eixo 2 é mais elevado, em valor absoluto). No entanto, verificou-se que a contribuição destas variáveis para os dois primeiros eixos é semelhante. Pelo facto de traduzir essencialmente a oposição entre aquelas duas variáveis (*i.e.*, quanto maior o diâmetro das condutas, menor a densidade de ramais, e vice-versa), este factor caracteriza não só a dimensão como também a função predominante das condutas da rede (distribuição ou transporte).

⁴⁵ Os valores e as oposições das variáveis que mais se correlacionam com cada um dos eixos permite encontrar o significado a atribuir a cada factor.

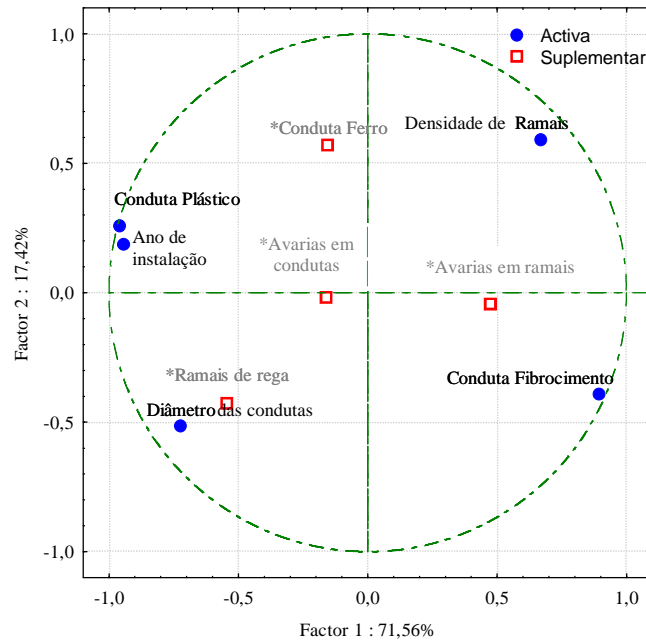


Figura 9.36 – Projecção das variáveis de infra-estrutura no plano factorial 1-2

As variáveis avarias em condutas e avarias em ramais foram consideradas como variáveis suplementares (*i.e.*, não foram utilizadas para a construção dos eixos factoriais), tal como se apresenta Figura 9.36, dado que não se dispunha desta informação para todas as ZMC. A sua inclusão na análise em componentes principais teria reduzido ainda mais o número de casos para análise. De igual modo, as taxas de condutas em ferro e de ramais de rega também foram colocadas em suplementar, uma vez que a sua expressão era reduzida ou nula na maior parte das ZMC (*cf.* Figura 9.33).

Apesar destas variáveis suplementares não terem sido utilizadas para a obtenção dos factores, correlacionam-se com estes. A taxa de ramais de rega correlaciona-se negativamente com o factor 1, indicando que quando maior for a densidade de ramais, maior o diâmetro médio das condutas. No que se refere às avarias em ramais, verifica-se uma correlação positiva com o factor 1, indicando que esta variável tende a aumentar com a taxa de condutas em fibrocimento e com a densidade de ramais, embora a correlação seja fraca ($r=0,48$). No que se refere às avarias em condutas, a correlação com os factores é baixa, pelo que não foi possível explicar o seu comportamento a partir deste conjunto de novas variáveis. Relativamente à taxa de condutas em ferro, esta aumenta com o factor 2, indicando que aumenta com a densidade de ramais e diminui com o aumento do diâmetro, comportamento que não seria expectável uma vez que as condutas em ferro estão associadas a maiores diâmetros e a menores densidades de ramais; este resultado pode

decorrer da reduzida expressão das condutas em ferro nestas redes (taxas de condutas valores inferiores em 10%, na maioria das ZMC).

Conclui-se assim que, a partir de um conjunto inicial de nove variáveis características da infra-estrutura, se obtiveram dois novos factores ou variáveis independentes entre si, permitindo uma redução significativa de conjunto inicial de variáveis. Estas novas variáveis permitiram também extrair informação que seria difícil obter a partir das variáveis originais analisadas isoladamente.

Variáveis sócio-demográficas

Apresenta-se na Figura 9.37 a projecção das variáveis sócio-demográficas no plano factorial 1-2. Face ao elevado número de variáveis sócio-demográficas construídas, optou-se por utilizar para a obtenção das componentes principais as variáveis relativas aos indivíduos residentes e famílias (*cf.* Quadro 4.22), considerando como variáveis suplementares (*i.e.*, variáveis que não foram utilizadas no cálculo das componentes principais) as variáveis do edificado.

Da análise em componentes principais, foram retidos apenas os dois primeiros factores, pois permitiam explicar 84% da variância original, reduzindo significativamente o número de variáveis sócio-demográficas a dois novos factores independentes. Apesar do elevado número de variáveis, os resultados indicam que muitas delas se encontram fortemente correlacionadas entre si, permitindo uma redução significativa do número de variáveis sem perda significativa de informação. Apresenta-se, de seguida, os dois novos factores sócio-demográficos obtidos e o seu significado:

- estrutura familiar (factor 1): representa 57% da variabilidade dos dados e associa os indivíduos idosos aos indivíduos que permanecem em casa (indivíduos com mais de 65 anos, reformados ou sem actividade económica) e às famílias de pequena dimensão ou com idosos (variáveis situadas próximas da circunferência e cujas coordenadas no eixo 1 estão próximas de 1). Estas variáveis, com forte correlação positiva entre si (variáveis dependentes), opõem-se a famílias de maior dimensão (famílias médias, com 3-4 elementos, e famílias grandes, com mais de 5 elementos), a famílias com jovens ou com desempregados e a indivíduos que estudam ou trabalham no concelho, que por sua vez se encontram também positivamente correlacionadas entre si. Assim, este eixo permite clarificar o tipo de estrutura ou a composição familiar dos agregados pertencentes às zonas em análise.

- **estratificação social (factor 2):** representa 27% da variabilidade dos dados e opõe a escolaridade obrigatória à mobilidade económica e mobilidade social (variáveis cujas coordenadas no eixo 2 se encontram próximas de 1). Conclui-se que este eixo desagrega os indivíduos pertencentes às zonas de análise em termos do seu nível de escolaridade e do tipo de actividade económica que exercem, tendo-se designado por **estratificação social**.

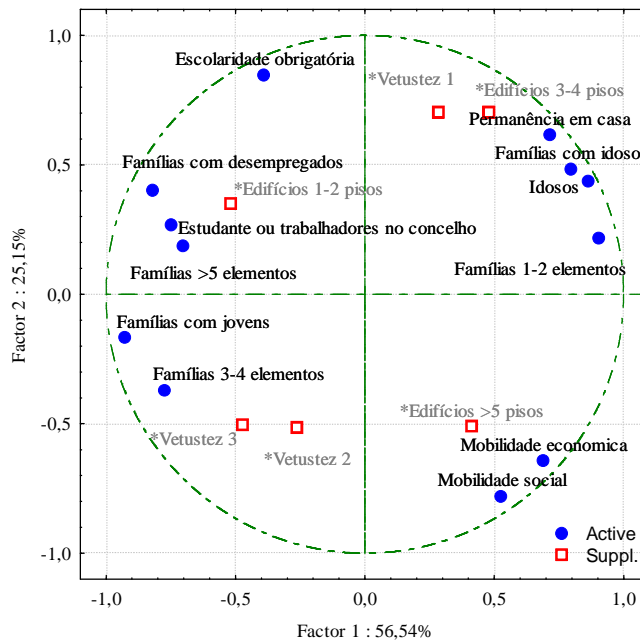


Figura 9.37 – Projecção das variáveis de sócio-demográficas no plano factorial 1-2

Representando em suplementar (*i.e.*, que não contribuíram para a construção dos eixos) as variáveis características do edificado, verifica-se que os edifícios altos (com mais de 5 pisos) se encontram associados aos indivíduos com maior mobilidade social e económica, enquanto os edifícios médios (com 3-4 pisos) e mais antigos (com valores mais elevados de vetustez 1) se encontram associados aos indivíduos mais idosos e a famílias de pequena dimensão. Os edifícios baixos (com 1-2 pisos) estão associados a famílias de maior dimensão. A idade do edificado, em particular a vetustez 1 e 2, encontra-se melhor representada no eixo 2, sugerindo que a escolaridade obrigatória se relaciona com a vetustez 1, ou seja, indivíduos com menor nível de escolaridade vivem em edifícios mais antigos e indivíduos com maior mobilidade social e económica vivem em edifícios mais recentes.

Variáveis de consumo facturado

Considerando as variáveis de consumo doméstico no 1.º, 2.º, 3.º e 4.º escalões e o consumo doméstico por cliente (cf. Quadro 4.21), obteve-se apenas um factor, designado por consumo doméstico equivalente, que explica 81% da variância inicial dos dados. Este factor opõe o consumo no 1.º escalão ao consumo no 3.º e 4.º escalões e ao consumo doméstico por cliente (Figura 9.38), ou seja, à medida que o consumo aumenta, aumenta também o consumo nos escalões de consumo mais elevados, como seria de esperar. Dado que a incerteza associada à estimativa da capitação é maior do que em relação ao consumo por cliente, uma vez que o número de habitantes considerado se refere a 2001 e os dados de consumo se referem a 2006-2007, considerou-se a capitação como variável suplementar, não tendo assim sido utilizada para a construção dos eixos. Verifica-se que esta se correlaciona positivamente com o consumo por cliente e com o consumo nos escalões mais elevados.

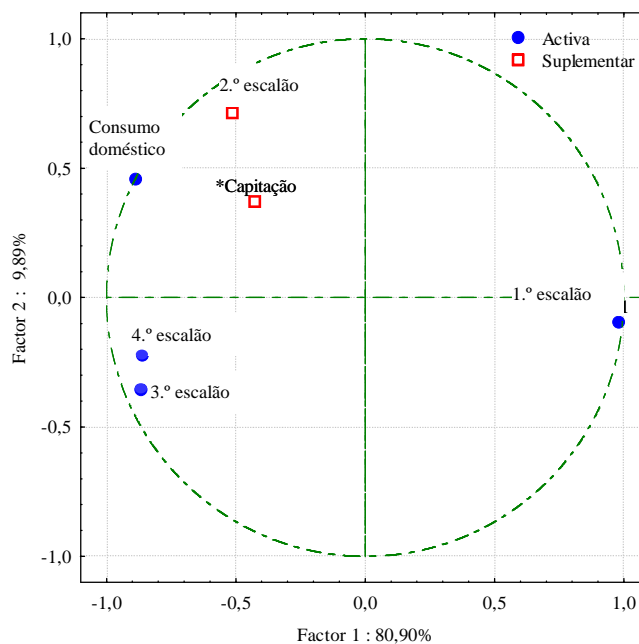


Figura 9.38 - Projecção das variáveis de consumo doméstico no plano factorial 1-2

No caso de consumo não doméstico, não houve necessidade de reduzir o conjunto inicial de variáveis (cf. Quadro 4.21) e consideraram-se como variáveis de consumo não doméstico facturado os consumos facturados nas categorias comércio-indústria, público e colectivo em cada ZMC.

Em síntese, as variáveis utilizadas para a construção dos modelos de previsão e de classificação são apresentadas no Quadro 9.4, assim como as respectivas variáveis originais e os coeficientes de correlação.

Quadro 9.4 – Síntese das variáveis explicativas para previsão e classificação do consumo de água em ZMC

<i>Categoria</i>	<i>Nova variável (componente principal)</i>	<i>Variáveis originais e coeficientes de correlação (pesos ou loadings)</i>
Infra-estrutura	Material, F1 (-)	Densidade de ramais (0,59), Ano de instalação das condutas (-0,94), condutas em fibrocimento (0,87), condutas em plástico (-0,94), diâmetro das condutas (-0,66)
	Dimensão da conduta, F2 (-)	Densidade de ramais (0,67), Ano de instalação das condutas (0,16), condutas em fibrocimento (-0,43), condutas em plástico (0,29), diâmetro das condutas (-0,61)
Sócio-demografia	Estrutura familiar, F3 (-)	Idosos (0,87), permanência em casa (0,73), mobilidade social (0,64), mobilidade económica (0,75), escolaridade obrigatória (-0,54), estudantes ou trabalhadores no concelho (-0,78), famílias com jovens (-0,92), famílias com desempregados (-0,84), famílias com 1-2 elementos (0,88), famílias com 3-4 elementos (-0,78), famílias > 5 elementos (-0,66), famílias com idosos (0,80)
	Estratificação social, F4 (-)	Idosos (0,40), permanência em casa (0,57), mobilidade social (-0,69), mobilidade económica (-0,58), escolaridade obrigatória (0,76), estudantes ou trabalhadores no concelho (0,22), famílias com jovens (-0,19), famílias com desempregados (-0,33), famílias com 1-2 elementos (0,26), famílias com 3-4 elementos (-0,40), famílias > 5 elementos (-0,12), famílias com idosos (0,42)
Facturação	Consumo doméstico equivalente, F5 (-)	Consumo doméstico por cliente (-0,91), consumo doméstico no 1.º escalão (0,98), consumo doméstico no 3.º escalão (-0,91) e consumo doméstico no 4.º escalão (-0,85)
	Consumo comércio e indústria, F6 (%)	Consumo facturado na categoria de consumo comércio e indústria
	Consumo público, F7 (%)	Consumo facturado na categoria de consumo público
	Consumo colectivo, F8 (%)	Consumo facturado na categoria consumo colectivo

Nota: no caso das variáveis utilizadas para obtenção das componentes principais (variáveis F1 a F5), indica-se entre parêntesis o coeficiente de correlação (peso ou *loading*) com a respectiva componente. O sinal (+) indica que a correlação é positiva e o sinal (-) que a correlação é negativa. Assinalam-se a negrito as variáveis originais cujo coeficiente de correlação é mais elevado.

Os resultados obtidos evidenciam o potencial da análise em componentes principais para identificar relações entre variáveis e identificar comportamentos face a um conjunto alargado de dados. No presente caso, um conjunto de 24 variáveis inicialmente consideradas foi reduzido a 8. Ressalva-se que os dados foram obtidos para um conjunto relativamente limitado de ZMC, todas localizadas na mesma região e com fortes afinidades entre si, pelo que a análise deve ser alargada a um maior número de ZMC para que os resultados possam ser extrapoláveis de forma fiável. No entanto, o estudo efectuado é

significativo e constitui um ganho apreciável de conhecimento face ao disponível anteriormente.

9.6.2 Construção do modelo de previsão e de classificação

9.6.2.1 Modelo de previsão do consumo

A construção do modelo de previsão do consumo em ZMC teve por base as variáveis explicativas obtidas anteriormente (*cf.* Quadro 9.4), que correspondiam às variáveis independentes, e o conjunto de variáveis de consumo analisadas em 9.5.1.2, que correspondiam às variáveis dependentes.

Os resultados da previsão do consumo para os cenários global (ano completo), e de dia útil, de sábado e de domingo e feriado – estes no cenário sazonal 1, predominante – são descritos seguidamente. O cenário sazonal 1 é também aquele em que existem dados de um maior número de ZMC para análise, tal como referido em 9.5.1.1, pelo que foi seleccionado para previsão do consumo.

Os resultados da regressão linear múltipla para previsão das variáveis de consumo total em função das variáveis explicativas construídas são apresentados no quadros 9.5 a 9.8, respectivamente para os cenários global (ano completo), de dia útil, de sábado e de domingo e feriado (de acordo com a análise de cenários em 9.5.1.1).

Os parâmetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ representam o aumento (valor positivo) ou diminuição (valor negativo) no valor da variável dependente associado a cada variável independente. A variável dependente toma o valor β_0 quando o valor das variáveis independentes é nulo. Como medidas da qualidade do ajustamento, apresenta-se também o desvio-padrão associado a cada parâmetro, SE , e o coeficiente de determinação ajustado, r_a^2 , que quanto mais próximo este estiver de 1, melhor é qualidade do ajustamento.

As variáveis (ou componentes) obtidas a partir da análise em componentes principais, e que foram utilizadas como variáveis independentes para a construção dos modelos de previsão, resultam da combinação linear das variáveis originais, pelo que a sua interpretação deve atender às variáveis originais que se relacionam de forma positiva e negativa com os respectivos eixos.

Cenário de consumo global (ano global)

No que diz respeito ao modelo de previsão do consumo para o cenário global (ou seja, sem distinguir entre dias da semana), e com excepção das variáveis factor de ponta mensal (F_{pm}), consumo médio (\bar{C}) e consumo mínimo médio (\bar{C}'_{min}), a qualidade do ajustamento foi muito baixa ($r_a^2 < 0,4$). Os resultados para as restantes variáveis de consumo não foram conclusivos, pois os modelos obtidos pouco explicavam o consumo.

O factor de ponta mensal, F_{pm} , aumenta com o consumo colectivo ($\beta_1=0,016$) e com o consumo público ($\beta_2=0,006$). O parâmetro SE representa o desvio-padrão dos parâmetros β_0 , β_1 e β_2 , que é muito reduzido face ao valor dos parâmetros. O coeficiente de determinação (ajustado) foi de 0,62, ou seja a variável F_{pm} é explicada em 62% pelas variáveis explicativas consumo colectivo e consumo público. O modelo obtido para o consumo médio (\bar{C}) é idêntico em termos de variáveis independentes ao obtido para o factor de ponta mensal. Estes resultados indicam a importância do consumo não doméstico, em particular do consumo colectivo e público para o consumo total medido nas ZMC, assim como para a sua variação sazonal do consumo. Parte dos usos neste tipo de clientes doméstico, durante o Verão, refere-se à rega de espaços verdes, ao enchimento de piscinas, a lavagens, entre outros usos, que associados a usos pouco eficientes, podem contribuir para o aumento significativo das variáveis em análise. Os resultados estão também de acordo com Alegre *et al.* (1992), que verificou que o nível sócio-demográfico (traduzido por um conjunto de variáveis sócio-demográficas) não influenciava o consumo médio, mas sobretudo o comportamento ao longo do dia e entre dias da semana.

O consumo mínimo médio, \bar{C}'_{min} , varia inversamente com o material – é maior em ZMC mais recentes e em redes em PVC, o que indica que provavelmente nas ZMC em análise os consumos mínimos elevados são devidos a consumo efectivo e não a perdas reais, como poderia supor-se.

Quadro 9.5 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo (para o ano completo, cenário global) em função das variáveis explicativas

<i>Variável dependente</i>	<i>Variável explicativa</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Estimativa</i>	<i>SE</i>	r_a^2
$F_{pm}(-)$	<i>Constante</i>	β_0	1,050	0,032	0,620
	Consumo colectivo	β_1	0,016	0,003	
	Consumo público	β_2	0,006	0,002	
$F_{pd}(-)$	<i>Constante</i>	β_0	2,053	0,655	0,14
	Consumo doméstico equivalente	β_1	-0,001	0,000	
	Dimensão da conduta	β_2	-0,003	0,002	
$F_p (-)$	<i>Constante</i>	β_0	3,231	0,180	0,15
	Estratificação social	β_1	-0,008	0,004	
$f_{minMax}(-)$	<i>Constante</i>	β_0	2,428	0,164	0,28
	Estrutura familiar	β_1	-0,005	0,002	
$f_{pcmnMax}(-)$	<i>Constante</i>	β_0	2,092	0,111	0,22
	Estratificação social	β_1	-0,006	0,002	
\bar{C}' (l/(cliente.dia))	<i>Constante</i>	β_0	0,000	0,000	0,94
	Consumo doméstico equivalente	β_1	-1,739	0,170	
	Consumo colectivo	β_2	32,526	6,897	
\bar{C}'_{min} (l/(ramal.h))	<i>Constante</i>	β_0	0,000	0,000	0,67
	Material	β_1	-0,015	0,002	

Cenário de consumo para dia útil

Relativamente à previsão do consumo no dia útil, concluiu-se que o factor de consumo médio ao longo dos vários períodos do dia pode ser explicado pelas seguintes variáveis independentes, de acordo com os modelos de regressão obtidos (Quadro 9.6):

- nos períodos nocturno e no PCMN o consumo aumenta directamente com o consumo público e com a estratificação social (*i.e.*, aumenta com níveis de escolaridade dos indivíduos mais baixos) e varia inversamente com a dimensão da conduta (*i.e.*, aumenta em redes com maior diâmetro) e com o consumo doméstico equivalente (*i.e.*, aumenta em redes com consumo médio diário mais elevado); estes resultados indicam que o consumo nocturno pode ser particularmente influenciado por consumos públicos que podem ocorrer durante este período do dia (*e.g.*, lavagem de arruamentos, limpeza de colectores, regas de espaços verdes); o aumento com o consumo doméstico equivalente é também coerente com os resultados obtidos em estudos anteriores (Warren, 2002);
- nos períodos da manhã e do almoço, embora a qualidade do ajustamento seja baixa ($r_a^2 < 0,5$), concluiu-se que o consumo depende das variáveis sócio-demográficas construídas – estratificação social e estrutura familiar; no período da manhã salienta-se o facto de variar inversamente com a estratificação social (aumenta para

os níveis de escolaridade e mobilidade social mais elevados, que correspondem a uma parte da população activa que se levanta cedo para trabalhar); e no período do almoço varia directamente com a estrutura familiar (aumenta para percentagens mais elevadas de idosos, que tipicamente permanecem mais tempo em casa e fazem as refeições em casa), resultados que são coerentes com estudos anteriores (Alegre *et al.*, 1992).

Quadro 9.6 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo em dia útil (cenário sazonal 1) em função das variáveis explicativas

Variável dependente	Variável explicativa	Parâmetro	Estimativa	SE	r_a^2
Factor de consumo médio nocturno entre a 1:00 e as 6:00 (-)	Constante	β_0	1,1973	0,2443	0,738
	Consumo público	β_1	0,0054	0,0014	
	Consumo doméstico equivalente	β_2	-0,0010	0,0002	
	Estratificação social	β_3	0,0024	0,0005	
	Dimensão da conduta	β_4	-0,0043	0,0010	
Factor de consumo médio no período da manhã entre as 7:00 e as 10:00 (-)	Constante	β_0	1,5721	0,0640	0,465
	Estratificação social	β_1	-0,0048	0,0011	
	Estrutura familiar	β_2	0,0014	0,0005	
	Consumo público	β_3	-0,0078	0,0037	
Factor de consumo médio no período do almoço entre 10:00 e 15:00 (-)	Constante	β_0	1,2070	0,0255	0,439
	Estrutura familiar	β_1	0,0011	0,0003	
Factor de consumo médio no período da tarde entre as 15:00 e as 19:00 (-)	Constante	β_0	0,9455	0,0221	0,947
	Consumo comércio-indústria	β_1	0,0053	0,0011	
	Estratificação social	β_2	0,0015	0,0004	
	Estrutura familiar	β_3	-0,0004	0,0002	
Factor de consumo médio no período do jantar entre as 19:00 e as 22:00 (-)	Constante	β_0	1,6647	0,0440	0,850
	Estrutura familiar	β_1	-0,0017	0,0002	
	Consumo doméstico	β_2	0,0011	0,0002	
Factor de consumo médio no período entre as 6.00 e as 7:00 e entre 22:00 e a 1:00 (-)	Constante	β_0	0,8458	0,0225	0,397
	Estrutura familiar	β_1	-0,0007	0,0002	
	Consumo colectivo	β_2	0,0071	0,0029	
Factor de consumo médio no período entre as 3:00 e as 5:00 (-)	Constante	β_0	1,1842	0,2851	0,654
	Consumo público	β_1	0,0062	0,0017	
	Estratificação social	β_2	0,0026	0,0006	
	Dimensão da conduta	β_3	-0,0043	0,0012	
	Consumo doméstico equivalente	β_4	-0,0008	0,0002	

- nos períodos da tarde e do jantar, foram obtidos modelos de regressão com elevada qualidade de ajustamento ($r_a^2 > 0,85$) e em ambos os períodos o consumo médio é influenciado negativamente pela estrutura familiar (aumenta para percentagens mais elevadas de famílias com jovens, com desempregados que estão em casa durante este período do dia); refere-se ainda que o factor de consumo médio, no

período da tarde, aumenta também com o consumo na categoria comércio-indústria – onde que podem ocorrer usos importantes durante este período do dia - e com a estratificação social (aumenta com níveis de escolaridade mais baixos dos indivíduos);

- no período entre as 6:00 e as 7:00 e entre as 22:00 e a 1:00, a qualidade do ajustamento é baixa ($r_a^2 < 0,4$), pelo que os resultados não foram conclusivos.

Cenário de consumo para sábado

No que se refere à previsão do consumo ao sábado, concluiu-se que o factor de consumo médio ao longo dos vários períodos do dia pode ser explicado pelas seguintes variáveis independentes, de acordo com os modelos de regressão obtidos (Quadro 9.7).

Quadro 9.7 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo ao sábado (cenário sazonal 1) em função das variáveis explicativas

Variável dependente	Variável explicativa	Parâmetro	Estimativa	SE	r_a^2
Factor de consumo médio nocturno entre a 1:00 e as 7:00 (-)	Constante	β_0	0,8527	0,2529	0,814
	Consumo doméstico equivalente	β_1	-0,0010	0,0002	
	Consumo colectivo	β_2	0,0058	0,0025	
	Consumo público	β_3	0,0045	0,0013	
	Dimensão da conduta	β_4	-0,0028	0,0010	
	Estratificação social	β_5	0,0014	0,0006	
Factor de consumo médio no período entre as 7:00 e as 8:00 e entre as 22:00 e a 1:00 (-)	Constante	β_0	0,5949	0,0342	0,658
	Consumo doméstico equivalente	β_1	-0,0006	0,0001	
	Consumo colectivo	β_2	0,0069	0,0021	
	Consumo comércio-indústria	β_3	0,0028	0,0012	
Factor de consumo médio no período do almoço entre as 9:00 e as 15:00 (-)	Constante	β_0	1,8381	0,0733	0,626
	Consumo doméstico equivalente	β_1	0,0011	0,0002	
	Consumo colectivo	β_2	-0,0089	0,0035	
	Estratificação social	β_3	-0,0019	0,0007	
	Estrutura familiar	β_4	0,0006	0,0003	
Factor de consumo médio no período entre as 8:00 e as 9:00 e entre as 15:00 e as 22:00 (-)	Constante	β_0	1,2540	0,0251	0,650
	Estrutura familiar	β_1	-0,0006	0,0001	
	Consumo doméstico equivalente	β_2	0,0004	0,0001	
Factor de consumo médio no período de consumo mínimo entre as 4:00 e as 5:00 (-)	Constante	β_0	1,0607	0,3128	0,667
	Consumo público	β_1	0,0059	0,0018	
	Consumo doméstico equivalente	β_2	-0,0011	0,0003	
	Estratificação social	β_3	0,0027	0,0007	
	Dimensão da conduta	β_4	-0,0041	0,0013	

Deste modo, pode concluir-se que:

- nos períodos nocturno e no PCMN, os modelos obtidos permitem obter conclusões semelhantes às de dia útil para estes períodos do dia;
- no período do almoço, o factor de consumo médio aumenta com o consumo doméstico equivalente e com a estrutura familiar (aumenta para percentagens mais elevadas de idosos que apresentam em geral hábitos mais regulares ao longo da semana e realizam tipicamente as refeições em casa) e varia inversamente com a estratificação social (aumenta para níveis de escolaridade e de mobilidade social mais elevados, que correspondem a uma parte da população activa que pode utilizar este período do dia, ao sábado para realizar algumas tarefas domésticas) e com o consumo colectivo;
- no período entre as 8:00 e as 9:00 e entre as 15:00 e as 22:00, o consumo varia inversamente com a estrutura familiar (aumenta para percentagens mais elevadas de famílias com jovens ou com desempregados, indivíduos que podem permanecer mais tempo em casa) e aumenta com o consumo doméstico equivalente.

Cenários de consumo para domingo e feriado

No que se refere à previsão do consumo médio ao domingo e feriado, concluiu-se que o consumo médio ao longo dos vários períodos do dia pode ser explicado pelas seguintes variáveis explicativas, de acordo com os modelos de regressão obtidos (Quadro 9.8):

- nos períodos nocturno e no PCMN, os modelos obtidos permitem obter conclusões semelhantes às de dia útil e de sábado para estes períodos do dia;
- no período do almoço, o consumo médio aumenta com a estrutura familiar (aumenta para percentagens mais elevadas de idosos que apresentam em geral hábitos mais regulares ao longo da semana e realizam tipicamente as refeições em casa) e varia inversamente com o consumo colectivo e público;
- no período da tarde, o consumo médio aumenta com a estratificação social (aumenta com níveis de escolaridade mais baixos, correspondentes a indivíduos com maior probabilidade de permanecer em casa neste dia da semana) e com o consumo na categoria comércio-indústria, e varia inversamente com a estrutura familiar (aumenta para percentagens mais elevadas de famílias com jovens ou com desempregados);
- no período do jantar, o consumo médio varia inversamente com a estrutura familiar (aumenta para percentagens mais elevadas de famílias com jovens ou com

desempregados) e com a estratificação social (aumenta para níveis de escolaridade e de mobilidade social mais elevados, que correspondem a uma parte da população activa) e aumenta com o consumo doméstico equivalente e com a dimensão da conduta.

Quadro 9.8 – Parâmetros dos modelos de regressão das variáveis de consumo ao domingo e feriado (cenário sazonal 1) em função das variáveis explicativas

<i>Variável dependente</i>	<i>Variável explicativa</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Estimativa</i>	<i>SE</i>	r_a^2
Factor de consumo médio nocturno entre a 1:00 e as 8:00 (-)	<i>Constante</i>	β_0	1,2590	0,2807	0,735
	Consumo doméstico equivalente	β_1	-0,0013	0,0002	
	Estratificação social	β_2	0,0026	0,0006	
	Dimensão da conduta	β_3	-0,0045	0,0011	
	Consumo público	β_4	0,0047	0,0016	
Factor de consumo médio no período do almoço entre as 10:00 e as 14:00 (-)	<i>Constante</i>	β_0	1,4636	0,0278	0,544
	Consumo colectivo	β_1	-0,0105	0,0034	
	Estrutura familiar	β_2	0,0011	0,0003	
	Consumo público	β_3	-0,0056	0,0020	
Factor de consumo médio no período da tarde entre as 16:00 e as 19:00 (-)	<i>Constante</i>	β_0	1,0305	0,0221	0,590
	Estrutura familiar	β_1	-0,0007	0,0002	
	Estratificação social	β_2	0,0011	0,0004	
	Consumo comércio-indústria	β_3	0,0028	0,0011	
Factor de consumo médio no período do jantar entre as 19:00 e as 23:00 (-)	<i>Constante</i>	β_0	0,7415	0,1830	0,664
	Estrutura familiar	β_1	-0,0006	0,0001	
	Estratificação social	β_2	-0,0016	0,0004	
	Consumo doméstico equivalente	β_3	0,0005	0,0001	
	Dimensão da conduta	β_4	0,0023	0,0007	
Factor de consumo médio no período de consumo mínimo entre as 4:00 e as 5:00 (-)	<i>Constante</i>	β_0	1,2254	0,3307	0,654
	Consumo público	β_1	0,0061	0,0019	
	Consumo doméstico equivalente	β_2	-0,0012	0,0003	
	Estratificação social	β_3	0,0030	0,0007	
	Dimensão da conduta	β_4	-0,0048	0,0013	

Em todos os modelos de regressão foram testados os pressupostos da regressão linear múltipla, que se apresentam no Anexo 1, e verificou-se se existiam observações anómalas que influenciassem significativamente os resultados dos modelos de previsão obtidos. A existência de ZMC com elevado peso do consumo não doméstico no consumo total facturado (como NO, M e LC), a ocorrência de grandes consumidores não telemedidos e o reduzido número de casos para estudo face ao número de variáveis contribuíram para alguns dos problemas de regressão identificados, quer em termos da verificação dos pressupostos da regressão linear múltipla (como seja a normalidade dos erros), quer em

termos de algumas observações anómalas e influentes. A eliminação sucessiva de dados anómalos teria o inconveniente de reduzir ainda mais a amostra, e não iria resolver outros problemas identificados, em particular o da não normalidade dos erros. Uma alternativa, que sai fora do âmbito deste trabalho, consistiria em amortecer a influência de observações anómalas e influentes através da aplicação de um método de regressão robusta, solução que se recomenda em estudos futuros para consolidar os resultados obtidos.

9.6.2.2 Modelo de classificação da variação diária do consumo horário

Previamente à construção de modelos de classificação, investigou-se a ocorrência de comportamentos diários comuns entre as várias ZMC, através da análise de *clusters*. A variação ao longo do dia do consumo horário foi adimensionalizada pelo respectivo consumo médio diário, de forma a eliminar o efeito de escala de cada ZMC e a permitir a análise conjunta das diferentes ZMC. Deste modo, para a análise de *clusters*, o consumo horário de cada ZMC foi caracterizado pelo consumo médio adimensionalizado e pelo coeficiente de variação (razão entre o desvio-padrão e o consumo médio) como medida de dispersão. Pelo mesmo motivo invocado aquando do modelo de previsão de consumo (cf. 9.6.2.1), relativamente à dimensão da amostra disponível, foram aqui utilizados apenas os dados do cenário sazonal 1.

Para o dia útil, os resultados da análise de *clusters* conduziram à obtenção de 4 grupos de comportamentos diários, tal como se ilustra através do dendrograma obtido (Figura 9.39).

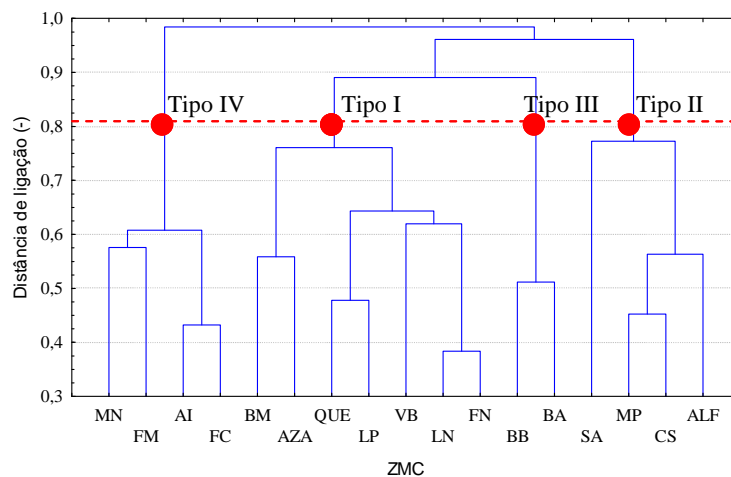


Figura 9.39 – Dendrograma para a variável ZMC em dia útil, cenário sazonal 1 (método de ligação média)

Deste modo, os grupos de comportamentos diários obtidos apresentam as seguintes características:

- Tipo I – consumo elevado durante o dia (*i.e.*, nos períodos da manhã, almoço, tarde e jantar⁴⁶ o factor de consumo médio é em geral superior a 1,0) e os valores máximos dos factores de consumo nos períodos da manhã e jantar são idênticos (~1,5) (Figura 9.40a);
- Tipo II – valor máximo do factor de consumo no período da manhã (~2,0), factores de consumo nos períodos do almoço e da tarde mais baixos, sendo neste último período inferior a 1,0 e consumo no período do jantar significativo (~1,5), mas significativamente inferior ao consumo no período da manhã (Figura 9.40b);

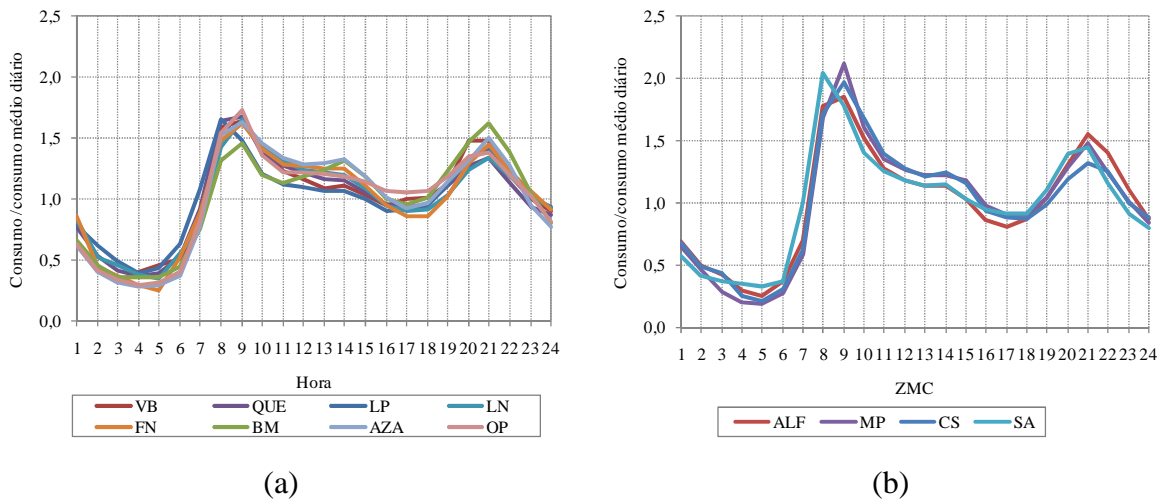


Figura 9.40 – Variação diária do consumo horário em cenário sazonal 1 para dia útil: a) Tipo I, b) Tipo II

- Tipo III – valor máximo do factor de consumo no período do jantar (1,5-2,0) e consumo significativo durante a manhã, almoço e tarde (1,0-1,5);
- Tipo IV – padrão de consumo semelhante ao dos dias de fim-de-semana, com consumo elevado e idêntico no período da manhã e almoço (~1,5) e consumo baixo comparativamente no período do jantar (1,0-1,5).

⁴⁶ Para dia útil, obtiveram-se os seguintes cenários de consumo ao longo do dia: período de transição do período nocturno (6:00-7:00 e 22:00-1:00); período nocturno (1:00-6:00); período da manhã (7:00-10:00); período do almoço (10:00-15:00); período da tarde (15:00-19:00), período do jantar (19:00-22:00) (*cf.* 9.5.1.1).

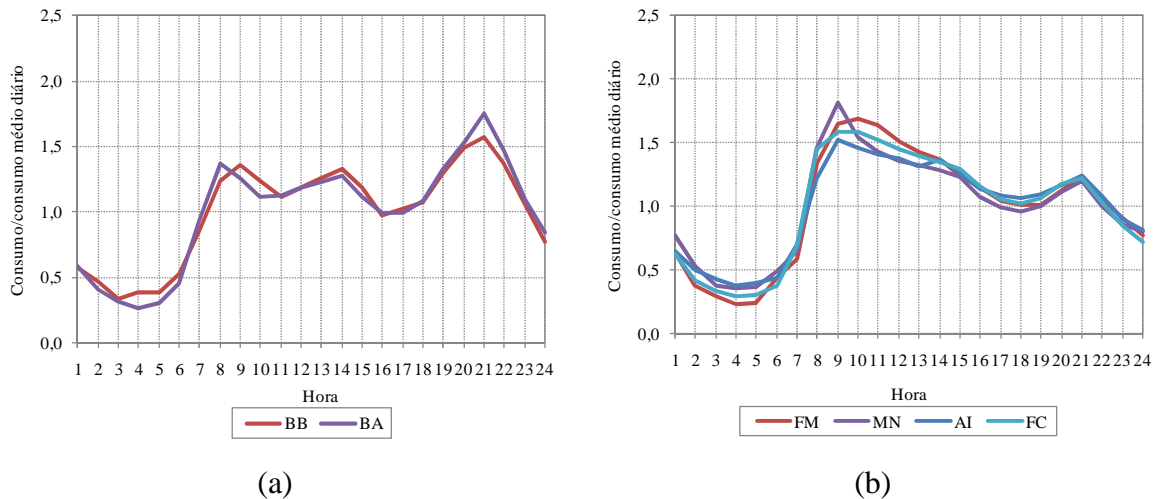
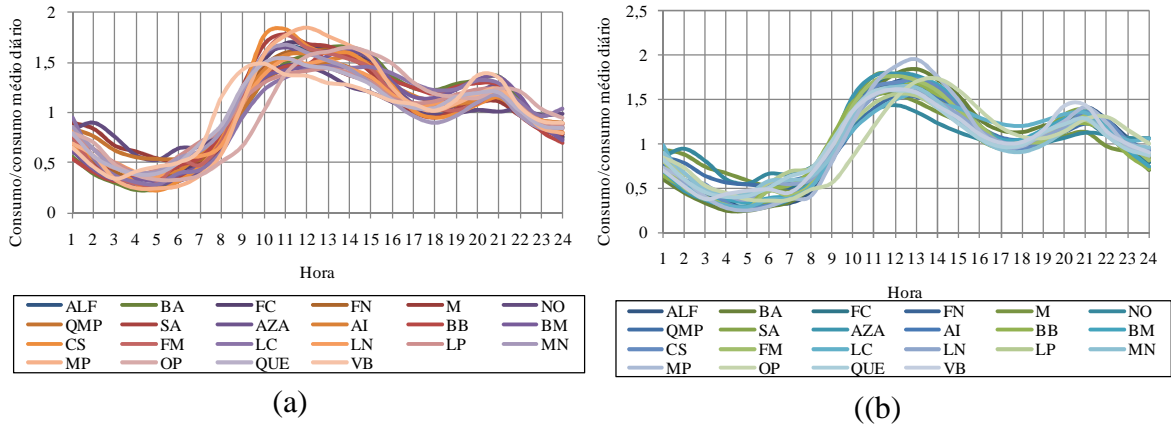


Figura 9.41 – Variação diária do consumo horário em cenário sazonal 1 para dia útil: a) Tipo III, b) Tipo IV

Verifica-se também que não existe distinção clara entre os grupos de padrões durante o período nocturno. Dentro dos padrões do Tipo II, o padrão horário da ZMC SA distingue-se das restantes ZMC em termos da hora de consumo máximo. Nesta ZMC, o período de consumo máximo ocorre entre 7:00-8:00, enquanto nas restantes ZMC ocorre entre 8:00-9:00. Na ZMC SA, factores como uma maior distância casa-trabalho (informação que se encontrava disponível a partir dos dados dos censos recolhidos) e o comportamento de determinados clientes não domésticos podem contribuir para que o período de consumo máximo no período da manhã ocorra mais cedo do que nas restantes ZMC do mesmo grupo.

As ZMC NO, M, LC, QMP e OP apareciam isoladas na análise de *clusters*, pelo que não foram consideradas para a construção do modelo de classificação. As ZMC NO, M e LC caracterizam-se por uma baixa percentagem de consumo doméstico facturado (~50%) pelo que são mais difíceis de tipificar, dado o peso elevado de consumo não doméstico, tipicamente com comportamento mais variável. A ZMC QMP caracteriza-se por consumos mínimos elevados, devidos a perdas reais elevadas, comparativamente com as restantes ZMC. A ZMP OP apresenta um comportamento diferente das restantes ZMC. Estes resultados revelam também a necessidade de alargar a análise a um conjunto mais alargado de ZMC, de forma a obter um maior número de ZMC por tipo de comportamento.

A variação diária do consumo horário para sábado e domingo e feriado (Quadro 9.9) apresentava um comportamento muito idêntico para as várias ZMC em estudo, pelo que não foi possível diferenciar tipos de comportamento para estes dias da semana. Assim, a classificação de comportamentos diários foi feita apenas para dia útil (cenário 1).



Quadro 9.9 – Variação diária do consumo horário em cenário sazonal para a:) sábado, b) domingo e feriado.

A Figura 9.42 apresenta, como exemplo, o resultado da aplicação do método das árvores de decisão para classificar a variação diária do consumo horário em dia útil. Na raiz existiam sete comportamentos diários do tipo I, quatro do tipo II, dois do tipo III e quatro do tipo IV, tal como apresentado nas figuras 9.40 e 9.41. Cada nó interno contém um teste num atributo (ou variável) e cada ramo descendente corresponde a um possível valor desse atributo (ou variável). Cada percurso da raiz até à folha corresponde a uma regra de classificação e cada folha está associada a uma classe, ou seja, um resultado da classificação. A árvore construída utilizou apenas três variáveis para a classificação dos padrões: estratificação social (F4), estrutura familiar (F3) e consumo colectivo (F8) (cf. Quadro 9.4)

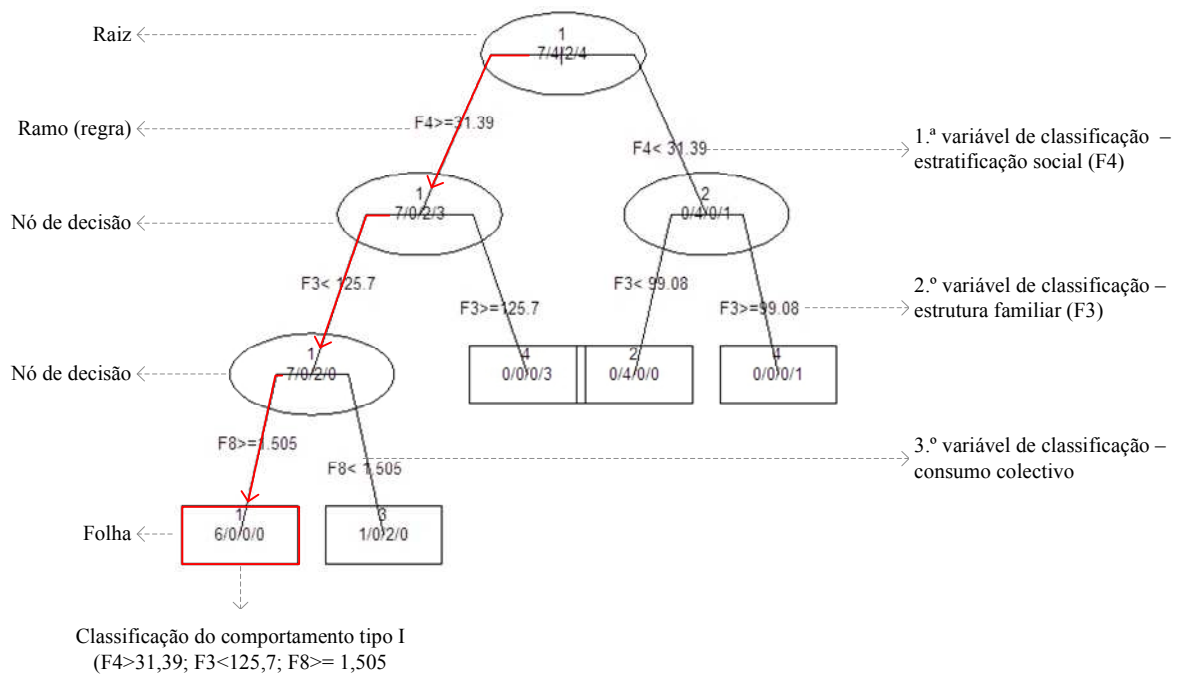


Figura 9.42 – Árvore de decisão para a variação diária do consumo em dia útil (cenário sazonal 1)

Concluiu-se que a primeira variável de decisão, que é também a mais importante, é a estratificação social (F4), que classificou a variação diária do consumo horário segundo as regras $F4 \geq 31,99$ e $F4 < 31,99$. Com estas regras obtiveram-se dois novos nós em que, para $F4 \geq 31,99$, foram obtidos sete comportamentos do tipo I, zero do tipo II, dois do tipo III e três do tipo IV, havendo predomínio dos padrões do tipo I. Para $F4 < 31,99$ foram obtidos os quatro comportamentos do tipo II e um do tipo IV, predominando o comportamento do tipo II.

Prosseguindo na árvore, concluiu-se que a próxima variável a ser utilizada como critério de decisão foi a estrutura familiar (F3). Para $F3 < 99,08$ obteve-se uma classe que inclui exclusivamente os quatro comportamentos do tipo II. Assim, para valores baixos de estratificação social ($F4 < 31,99$) e de Estrutura social ($F3 < 99,08$) obteve-se a classificação dos comportamentos do tipo II (Figura 9.40). Este resultado indica que ZMC com famílias com jovens, de maior dimensão, com maior mobilidade social e económica, estão associadas a padrões com consumo máximo no período da manhã e consumos mais reduzidos durante o resto do dia, pois estão ausentes durante este período do dia para trabalhar. Verifica-se que há um aumento do consumo no período do jantar, mas com consumo mais baixo do que no período da manhã.

Seguindo a regra de decisão $F3 \geq 99,08$, obtém-se uma classe com um único comportamento do tipo IV, que corresponde à ZMC MN, e seguindo a regra de decisão $F3 \geq 125,7$, foram obtidas as restantes três ZMC do tipo IV, que correspondem a zonas envelhecidas (Figura 9.41). O comportamento das zonas envelhecidas distingue-se dos restantes na medida em que é o que se assemelha mais a um comportamento de fim-de-semana, em que o período da manhã praticamente não se distingue do período do almoço, o que pode ser mais característico de indivíduos que permanecem em casa durante o dia.

Para $F3 < 125,7$, a árvore incluiu também a variável consumo colectivo (F8) como variáveis de decisão. Assim, tem-se que para $F8 > 1,5$ (ou seja, o peso do consumo facturado na categoria de consumo colectivo é superior a 1,5%) foram obtidos seis comportamentos do Tipo I; e para valores inferiores de F8 foram obtidos um comportamento do tipo I e dois do tipo III. Conclui-se que o peso do consumo colectivo permite fazer a distinção entre os comportamentos do tipo I e tipo III, pois ambas as classes se caracterizam pelas mesmas regras de decisão relativamente à estratificação social (F4) e à estrutura social (F3). Em termos de características sócio-demográficas, estes dois tipos de comportamentos provêm de populações semelhantes – com níveis de escolaridade obrigatória mais elevados e com

famílias de maior dimensão, com jovens ou desempregados. Ambos os comportamentos se caracterizam por consumos significativos durante o período do jantar, distinguindo-se entre si sobretudo no período da manhã. No caso do comportamento do tipo I, os consumos neste período do dia são mais significativos relativamente ao consumo médio diário do que no caso do tipo III. Esta diferença pode ser devida ao facto de, nas ZMC com comportamento do tipo I, existirem instalações públicas ou privadas, como escolas e organismos públicos, que tipicamente iniciam a actividade diária entre as 8:00 e as 10:00.

Estes resultados evidenciam o potencial do uso das árvores de decisão como método de classificação de comportamentos diários de consumo. No entanto, é necessário alargar a análise a um maior número de casos de estudo, de forma a consolidar os resultados obtidos e a permitir a sua extrapolação para outras zonas de rede sem dados de consumo telemedido. A classificação dos padrões de consumo e respectivos intervalos de predição (9.5.3) constitui também um próximo passo neste tipo de análise.

9.6.3 Exploração do modelo de previsão e de classificação

Embora, neste trabalho, os modelos construídos não tenham sido explorados para previsão do consumo noutras ZMC, exemplifica-se o modo como estes modelos podem ser utilizados.

Previsão do factor de ponta mensal

Mantendo as variáveis explicativas ou as componentes principais (no caso daquelas que resultaram da análise em componentes principais) e os modelos construídos, tem-se que, no caso dos modelos de previsão, as leis obtidas podem ser utilizadas de acordo com o exemplo seguinte. Considere-se como exemplo a relação obtida para estimativa do factor de ponta mensal (Quadro 9.5):

$$F_{pm} = 1,05 + 0,016 \cdot \text{Consumo colectivo} + 0,006 \cdot \text{Consumo público}$$

Suponha-se o caso de uma nova ZMC, com um consumo colectivo facturado de 31% (em relação ao consumo total facturado) e um consumo público facturado de 19%, onde se pretenda prever o factor de ponta mensal. De acordo com a relação acima apresentada, obtém-se $F_{pm} = 1,06$, verificando-se contudo que o factor de ponta mensal é pouco sensível as estas duas variáveis explicativas.

Classificação da variação diária do consumo horário

No caso do modelo de classificação apresentado na Figura 9.42, considere-se como exemplo uma nova ZMC, em que a partir das variáveis sócio-demográficas⁴⁷ e do consumo colectivo se calcula que a variável estrutura familiar (F4) vale 40, a estratificação social (F4) é igual a 80 e o consumo colectivo (F8) é igual a 2. Assim, a partir da raiz da árvore de decisão obtida (Figura 9.42), para $F4 > 31,39$, $F3 < 125,7$ e $F8 > 1,505$ conclui-se ser expectável que o comportamento médio diário para dia útil na nova ZMC seja predominantemente do tipo I.

Assim, com estes modelos de previsão e de classificação é possível estimar, quer um conjunto de variáveis que caracterizam os valores de consumo (*e.g.*, consumo médio, factor de ponta), quer o comportamento médio diário (*e.g.*, variação adimensional diária de consumo horário).

9.7 Síntese e conclusões

Neste capítulo aplicou-se a metodologia geral para análise do consumo de água em zonas de medição e consumo (ZMC) com o objectivo de prever o consumo (*i.e.*, conjunto de variáveis de consumo e variação diária do consumo horário) em função de um conjunto de variáveis explicativas. A análise teve por base os dados de consumo total de água medido em 22 ZMC.

O módulo de planeamento e implementação da monitorização do consumo foi utilizado para fazer uma análise crítica das zonas para análise e das características do equipamento de medição e sistema de telemetria. No módulo de processamento de dados foram aplicados métodos desenvolvidos neste trabalho para a detecção automática de dados anómalos, que se revelaram adequados para a identificação de problemas no processo de medição e de recolha de dados ou de situações de funcionamento dos sistemas fora do padrão normal. A combinação de dados foi utilizada para deduzir o consumo telemedido dos grandes consumidores ao consumo total em ZMC.

No módulo de produção de informação de caracterização, aplicou-se o método desenvolvido neste trabalho para a identificação de cenários sazonais, de cenários diários e

⁴⁷ No caso das variáveis utilizadas no modelo de classificação corresponderem a componentes principais, os valores destas componentes para uma nova ZMC são obtidas multiplicando o valor de cada variável original para uma nova ZMC pelo seu respectivo peso (resultante da análise em componentes principais e cujo valor se apresenta no Quadro 9.4).

de cenários ao longo do dia e consolidou-se a abordagem proposta em estudos anteriores (Coelho, 1988) para o cálculo de padrões de consumo e dos respectivos intervalos de predição.

No módulo de classificação e de previsão, construiu-se um conjunto de variáveis explicativas (*i.e.*, variáveis sócio-demográficas, variáveis de infra-estrutura e variáveis de facturação) e aplicaram-se métodos de análise multivariada, como a análise em componentes principais, para redução do número de variáveis a serem incluídas nos modelos de previsão e de classificação. Foram construídos modelos de previsão, com base na regressão linear múltipla, para previsão de variáveis de consumo como o factor de ponta mensal e o consumo mínimo, em função das variáveis explicativas obtidas e modelos de classificação para previsão da variação diária do consumo horário, utilizando como exemplo o método das árvores de decisão.

Apresentam-se seguidamente as principais conclusões para os casos de estudo analisados, por cada módulo da metodologia:

Planeamento e implementação da monitorização do consumo

- as zonas de rede obtidas para análise e os equipamentos de monitorização adequavam-se correctamente aos objectivos do presente estudo;

Processamento de dados

- o algoritmo para detecção de dados anómalos revelou-se eficiente para detectar a maior parte dos tipos de dados de consumo anómalos que ocorrem em ZMC;
- a telemedição e dedução do consumo autorizado dos grandes consumidores (clientes com consumos médios elevados e comportamentos muitas vezes distintos dos restantes clientes) ao consumo total na ZMC é fundamental para caracterização do consumo total nestas zonas de análise;

Produção de informação de caracterização

- o método desenvolvido para identificação de cenários de consumo, baseado na análise de *clusters*, foi aplicado com sucesso à selecção de cenários sazonais, diários e ao longo do dia;
- o cálculo de padrões de padrões de consumo em ZMC, com a dimensão

considerada neste trabalho, confirmou o procedimento recomendado por Coelho (1988);

Classificação e previsão

- as variáveis explicativas identificadas para previsão e classificação do consumo caracterizam a infra-estrutura (material, dimensão da conduta), o consumo doméstico equivalente e não doméstico (público, colectivo e comércio-indústria) facturado e o comportamento sócio-demográfico (estrutura familiar e estratificação social);
- o consumo médio, assim como os factores de ponta, são influenciados pelo peso do consumo facturado nas categorias de consumo não doméstico público, colectivo e comércio-indústria e não pelas características sócio-demográficas da população abastecida; tal pode demonstrar a importância de conhecer melhor os consumos dos clientes não domésticos e a identificação de usos mais ineficientes;
- as variáveis estrutura familiar e estratificação social influenciam sobretudo a variação diária do consumo horário ao longo da semana;

O trabalho desenvolvido permitiu validar a metodologia de forma clara, devendo sublinhar-se a necessidade de expandir essa aplicação a um maior número de casos e a variáveis explicativas não utilizadas aqui, como a distância casa-trabalho ou a água não facturada, no sentido de alargar a aplicabilidade dos modelos obtidos. Neste trabalho apresentou-se um exemplo de classificação da variação diária do consumo horário, sendo importante desenvolver novas abordagens para classificação de padrões de consumos e dos respectivos intervalos de predição, que forneçam mais informação sobre a variação diária do consumo.

10 SÍNTESE, CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

10.1 Síntese e contribuições inovadoras

Este trabalho de investigação teve como objectivo principal propor, aplicar e validar uma metodologia que permitisse transformar dados de consumo urbano de água, obtidos a partir de sistemas de telemetria, em informação útil para a gestão dos serviços de água e para os consumidores.

O conhecimento sobre as várias componentes do consumo urbano de água (*i.e.*, doméstico, comercial, industrial, perdas), principal solicitação nos sistemas de abastecimento de água, tem beneficiado do desenvolvimento tecnológico recente de sistemas de telemetria que começam a ser aplicados ao nível domiciliário. No entanto, o volume de dados de consumo de água gerado por estes sistemas de informação pode ser muito elevado. Assim, há necessidade de estabelecer uma abordagem que permita sistematizar um conjunto de procedimentos, desde a selecção das zonas de análise e do sistema de telemetria até à obtenção de modelos de previsão e de classificação, e que tire verdadeiramente partido dos dados gerados e do potencial dos sistemas de telemetria, para reduzir a incerteza sobre o consumo de água.

O tipo de conhecimento que é produzido por abordagens deste tipo, como sejam as leis de previsão de consumo em função de variáveis explicativas, ou a quantificação do efeito da variação de pressão no consumo e nas perdas de água, permite operar (*e.g.*, minimizar as perdas de água, racionalizar o consumo de energia), projectar (*e.g.*, utilizar o conhecimento sobre os factores de ponta em função de variáveis explicativas) e planear (*e.g.*, tirar partido do conhecimento sobre o padrão diário de consumo em ZMC, em grandes consumidores) as redes de forma mais eficiente.

A revisão bibliográfica efectuada evidenciou um acentuado desenvolvimento tecnológico nos domínios dos sistemas de telemetria domiciliária e dos equipamentos de medição e controlo (*e.g.*, medidores e contadores de caudal, válvulas reguladoras de pressão). No entanto, estes sistemas encontram-se particularmente direccionados para objectivos de facturação e gestão comercial, sendo evidente a necessidade de avaliar a sua aplicabilidade para usos de engenharia que, por necessitarem em geral de dados mais pormenorizados

(*e.g.*, para a análise de consumos nocturnos), são mais exigentes em termos de requisitos tecnológicos.

Na modelação do consumo de água, salientam-se os métodos estabelecidos em estudos anteriores para separação do consumo domiciliário telemedido em eventos rectangulares. Estes métodos permitem, para além da individualização do usos domiciliários, extrapolar o consumo telemedido ao nível individual para um conjunto mais alargado de clientes. O estabelecimento ou consolidação de métodos para extrapolação do consumo para conjuntos mais agregados de clientes é fundamental, dado que não é possível dispor de medições em todos os pontos da rede. Foi identificado um conjunto de variáveis que influenciam o consumo de água (*e.g.*, sócio-demográficas, climáticas, técnicas), que podem ser incorporadas nos modelos de previsão e de classificação. No entanto, a inexistência em Portugal de estudos semelhantes, até à realização deste estudo, limitava a aplicabilidade dos modelos existentes, devido ao facto das condições de abastecimento e dos hábitos de consumo poderem ser diferentes daquelas em que foram obtidos.

No que se refere à análise de perdas de água, encontra-se estabelecido um conjunto de metodologias para diagnóstico e controlo de perdas de água. Relativamente ao diagnóstico da rede, a estimativa de perdas reais, a partir da análise do consumo nocturno, tem por base regras expeditas gerais para obtenção das várias componentes de consumo (*e.g.*, doméstico, não doméstico, usos excepcionais). No que se refere ao controlo de perdas de água, a gestão de pressões é referida como uma das medidas mais eficazes para reduzir a perdas reais. No entanto, a existência de dados limitados ao nível de zonas de rede (*i.e.*, ZMC, pequenas áreas de rede, arruamentos ou ramais), que permitam estimar as componentes de consumo nocturno e avaliar o verdadeiro efeito de estratégias de gestão de pressões nas perdas de água e no consumo torna a sua utilização limitada.

Assim, as principais contribuições inovadoras deste estudo foram as seguintes:

- o desenvolvimento de uma **metodologia geral**, estruturada em quatro módulos, que sistematiza um conjunto de recomendações e procedimentos, muitos deles inovadores, que abrangem as etapas desde a definição dos objectivos da análise até à obtenção de modelos de previsão do consumo de água; e que pode ser utilizada para analisar o consumo de água a diferentes níveis de medição – ZMC, pequenas áreas de rede, arruamento ou ramal e cliente individual;
- a **aplicação e validação da metodologia proposta** para caracterização dos

grandes consumidores (com telemedição individual), previsão de consumos domésticos nocturnos (telemedição de arruamento ou ramal), avaliação do efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais (telemedição de pequenas áreas de rede) e previsão do consumo em ZMC (telemedição de ZMC); este conjunto alargado de casos de estudo comprovou o potencial e aplicabilidade das soluções emergentes de sistemas de telemetria para recolha de dados para usos de engenharia, e validou a metodologia proposta para obtenção de dados fiáveis, sobre os quais podem ser alcançados resultados importantes para uma gestão mais eficiente dos sistemas de distribuição de água;

- o desenvolvimento de **modelos para previsão e classificação do consumo doméstico** (consumo nocturno) e do consumo total em ZMC (padrões de consumo, factores de ponta) que permitem prever o consumo em zonas onde não existam dados de telemedição – em função de variáveis sócio-demográficas, de infra-estrutura e de facturação – reduzindo a incerteza na sua estimativa, por comparação com os métodos clássicos, e fornecendo valores de referência anteriormente inexistentes a nível nacional, que podem ser utilizados para planeamento e projecto, assim como para operação e manutenção das redes;
- a **análise do efeito da variação da pressão no consumo e nas perdas reais** permitiu avaliar o impacte significativo do aumento de pressão no agravamento das perdas reais de água (na rede pública e domiciliária), assim como nalgumas componentes de consumo para usos exteriores, fornecendo resultados anteriormente inexistentes na bibliografia, para um conjunto alargado e variado de clientes;
- o **desenvolvimento de procedimentos inovadores** desenvolvidos no âmbito da metodologia, nomeadamente para detecção de dados anómalos, para separação do consumo em eventos rectangulares, para identificação de cenários de consumo e para simulação do consumo no período de consumo mínimo, que permitem a sistematização de um conjunto de abordagens possíveis para apoio ao processamento e análise do consumo de água, entre os quais se salienta; a **ferramenta computacional PROFILER**, desenvolvida para processar e analisar grandes volumes de dados, que incorpora procedimentos como a normalização na escala temporal e do consumo e o cálculo de padrões de consumo possibilitou a

automatização de um conjunto de etapas da metodologia; e a **ferramenta de geoprocessamento**, permitiu a obtenção automatizada das características sócio-demográficas da população abastecida ao nível de ZMC, a partir dos dados dos Censos.

Revêem-se seguidamente os principais desenvolvimentos e conclusões da aplicação da metodologia aos diferentes casos de estudo.

Caracterização dos grandes consumidores

A análise de grandes consumidores teve por base um conjunto de 21 clientes representando comércio, escolas, indústrias e instituições sociais, de lazer e de investigação. O consumo destes clientes foi descrito de acordo com os cenários de consumo obtidos, a análise das variáveis de consumo autorizado e o cálculo de padrões de consumo, no caso de apresentarem comportamento regular, ou de padrões de probabilidade de consumo no caso de comportamento irregular. Estes clientes caracterizam-se por uma grande variabilidade no consumo, mesmo entre aqueles que desempenham actividades semelhantes, o que dificulta grandemente a sua categorização. Verificou-se que as instituições estudadas se caracterizam pelos consumos médios diários e por consumos nocturnos mais elevados, enquanto as indústrias apresentam os maiores factores de ponta. Para além dos hábitos de consumo relativos ao tipo de actividade de cada cliente, aspectos como a existência de reservatórios dentro das instalações (cujo modo de funcionamento condiciona o comportamento do consumo) e a área ocupada por estas (que pode incluir espaços verdes ou de rede domiciliárias extensas) podem influenciar significativamente as características de consumo destes clientes. Os resultados demonstram a importância da caracterização deste tipo de clientes para o dimensionamento das redes de distribuição de água.

- *A análise deverá ser alargada a um maior número de grandes consumidores, acompanhado de uma descrição mais pormenorizada de cada cliente (número de funcionários, existência de reservatórios e de equipamentos com consumo de água particularmente significativos) de forma a consolidar os resultados obtidos.*

Análise do consumo doméstico nocturno

A análise de consumo doméstico no período de consumo mínimo foi efectuada em oito zonas de estudo com a dimensão de arruamento ou ramal (~ 30 clientes). O consumo foi decomposto em eventos rectangulares, que caracterizam os usos domiciliários, em termos

do instante de chegada, duração e intensidade. Através da simulação do consumo, obtiveram-se leis expeditas que permitem prever o valor médio do consumo mínimo doméstico em ZMC com características semelhantes às das zonas de estudo, nomeadamente zonas urbanas consolidadas de edifícios de habitação com vários pisos. Para a selecção do tipo de relação, recomenda-se que sejam utilizados os consumos domésticos facturados em cada escalão, pois podem ser facilmente calculados pela entidade gestora. Uma vez obtido o consumo mínimo médio doméstico numa ZMC, é possível estimar com maior fiabilidade as perdas reais na rede pública, a partir da análise de consumos nocturnos. A abordagem proposta para estimativa do consumo doméstico nocturno constitui assim uma alternativa às leis expeditas existentes de origem britânica. A previsão do consumo doméstico nocturno foi feita para um número limitado de casos de estudo, dificultando a diferenciação entre o consumo durante este período do dia para os diferentes casos de estudo, assim como a identificação das variáveis sócio-demográficas e de facturação que mais influenciam o consumo e limitando a aplicação das leis obtidas a áreas com características sócio-demográficas semelhantes às estudadas.

- *Esta aplicação deve ser alargada a uma maior número de casos de estudo, de forma a abranger um conjunto mais variado de clientes e de alojamentos.*

Avaliação do efeito da variação de pressão no consumo autorizado e nas perdas reais

A avaliação do efeito da variação de pressão nas perdas reais de água e no consumo de água autorizado (*i.e.*, consumo doméstico, consumo não doméstico sem grandes consumidores e grandes consumidores) foi realizada em três pequenas áreas (< 500 clientes), onde todos os contadores domiciliários estavam ligados a um sistema de telemetria (no total de 394 clientes com consumo telemedido), tendo sido também monitorizado o consumo total e a pressão nos pontos de entrada e saída de cada zona. Ao que respeita as perdas reais, o estudo demonstrou que o aumento de pressão na rede potencia o agravamento das fugas ou roturas existentes ou de novas ocorrências desta natureza, quer na rede pública, quer na rede domiciliária. No que diz respeito ao consumo autorizado, os usos interiores revelaram ser praticamente independentes da pressão, enquanto usos exteriores com as regas são particularmente sensíveis à pressão. Os resultados obtidos são importantes para uma operação mais eficiente da rede, pois a redução de pressão, para além contribuir para a redução das perdas reais, pode minimizar eventuais custos de reparação e de interrupção de serviço devido ao agravamento ou

aparecimento de novas fugas e reduzir o consumo de energia associado a níveis elevados de pressão. O facto de se ter verificado que apenas a componente de consumo exterior devida a regas é sensível à variação de pressão, pode constituir uma forte motivação para a implementação de estratégias de gestão de pressões pelas entidades gestoras, uma vez que, em geral, não afecta o consumo facturado devido a usos interiores. A análise dos consumos de rega revelou que estes se caracterizam, em muitos casos, por consumos muito elevados e pouco eficientes, condicionando significativamente os níveis de serviço nas zonas onde se inserem (sobretudo durante o Verão), pelo que é importante para o cliente e para a entidade gestora identificar medidas para o uso mais eficiente (*e.g.*, tipo de dispositivo, período de funcionamento). A avaliação do efeito da variação da pressão nas perdas reais e no consumo autorizado foi feita para redes com materiais semelhantes (predominantemente em PVC) e em bom estado de conservação e para zonas, que embora com características de consumo distintas, pertenciam a uma mesma área geográfica

- *Deste modo, a metodologia deve ser aplicada para avaliar o efeito da variação de pressão em redes com materiais e estado conservação diferentes e em zonas geograficamente distintas.*

Tipificação do consumo em ZMC

A metodologia foi utilizada para análise do consumo total de água em 22 zonas de medição e controlo (ZMC) com o objectivo de prever o consumo (*i.e.*, conjunto de variáveis de consumo e de padrões de consumo) em função de um conjunto de variáveis explicativas (*i.e.*, variáveis de infra-estrutura, variáveis sócio-demográficas, variáveis de facturação). Salienta-se a importância da telemedição dos grandes consumidores – clientes cujo consumo pode ser muito variável e apresentar um forte impacto no consumo total, para que os respectivos consumos possam ser deduzidos ao consumo total, viabilizando a tipificação do consumo na ZMC.

Foram aplicados métodos desenvolvidos no âmbito deste trabalho para a detecção de dados anómalos e obtenção de cenários de consumo e utilizados métodos existentes de análise exploratória de dados (*e.g.*, análise em componentes principais) para redução do elevado número de variáveis explicativas construídas.

Como método de previsão, utilizou-se a regressão linear múltipla e como método de classificação utilizou-se o método das árvores de decisão. Obtiveram-se modelos que permitem prever variáveis de consumo, como o factor de ponta e o consumo médio em

função de variáveis explicativas como o consumo público e colectivo. Foi também possível tipificar padrões diários de consumo e classificá-los em função de variáveis sócio-demográficas como a estrutura etária e a estratificação social. Os resultados obtidos são úteis para prever o consumo em zonas onde não existam dados de consumo, como expansões de rede. Permitem também comparar as características de consumo que são medidas numa dada zona com as que seriam espectáveis de acordo com os modelos obtidos. As diferenças obtidas poderão identificar o impacto de novas zonas urbanas não consideradas no modelo, de grandes consumidores e de zonas que eventualmente não tenham sido devidamente fechadas.

- *A análise deve ser alargada a uma maior número de ZMC de forma a consolidar os resultados obtidos.*

10.2 Principais conclusões

Este trabalho permitiu obter as seguintes conclusões principais:

- a **metodologia** proposta constitui uma base para análise do consumo de água e permite extrair conhecimento útil e precursor sobre a principal solicitação dos sistemas de abastecimento de água – o consumo;
- os **sistemas de telemetria** constituem um sistema de informação com enorme potencial e fiável, capaz de recolher dados de consumo com um pormenor que não é viável por outros meios, e pode ser utilizado para recolha de outras grandezas importantes para o tipo de infra-estrutura estudada neste trabalho, como a pressão, concentração de cloro e pH, ou para a recolha de grandezas características de outras infra-estruturas, como o consumo de gás e de electricidade;
- os resultados da **análise de consumo de água**, a diferentes níveis de medição, demonstraram que o conhecimento obtido permite reduzir significativamente a incerteza associada à estimativa do consumo e melhorar algumas das práticas tradicionais do planeamento, projecto e operação das redes.

Como principais implicações deste trabalho referem-se as seguintes:

- **uso mais eficiente da água** por parte dos clientes abastecidos e das entidades gestora através de um melhor conhecimento sobre as várias componentes do

consumo urbano de água;

- **critérios de projecto e de exploração** da rede mais sustentados utilizando um maior conhecimento sobre as várias componentes de consumo e suas características (*e.g.*, perdas, factores de ponta) e sobre os principais factores que influenciam as diferentes componentes de consumo (*e.g.*, pressão, características sócio-demográficas);
- **especialização técnica de recursos humanos** nas entidades gestoras, responsáveis pela manutenção e integração dos sistemas de telemetria nos respectivos sistemas de informação e pela validação, processamento e análise de dados de telemedição;
- **fluxos urbanos** diários e sazonais melhor conhecidos/caracterizados que podem ser importantes para o planeamento, por exemplo, de novas vias ou de infra-estruturas sociais (*e.g.*, lares, escolas).

10.3 Sugestões de desenvolvimento futuro

O presente trabalho permitiu desenvolver uma metodologia geral e testá-la para quatro aplicações distintas, considerando diferentes níveis de medição do consumo. Face ao trabalho desenvolvido considera-se que é importante explorar a metodologia para outras aplicações que não foram abordadas neste trabalho, nomeadamente o estudo de consumos extremos de água, a tipificação de grandes consumidores e a aplicação da metodologia proposta para análise do consumo em infra-estruturas de gás e de electricidade. A utilização da metodologia para outras aplicações vai permitir consolidar os métodos existentes e estabelecer novas abordagens atendendo a objectivos de análise distintos, assim como a características de consumo diferentes.

Apresentam-se seguidamente alguns tópicos para o prosseguimento e desenvolvimento dos trabalhos de investigação no tema da análise do consumo urbano de água:

Estudo de consumos extremos de água

Os eventos de consumo extremos (*e.g.*, roturas na rede, incêndios, períodos de seca, eventos de consumo excepcionais) são pouco frequentes, mas podem ter um forte impacto no funcionamento da rede, dados os elevados consumos que geram, podendo limitar severamente os níveis de serviço. Este tema é particularmente relevante no estudo da adaptação dos sistemas existentes a alterações climáticas, onde as condições meteorológicas são mais variáveis. A sua identificação e detecção em tempo real permite também actuar de modo mais célere e eficiente na operação da rede (*e.g.*, proceder à localização e reparação de roturas, fechamento de válvulas para combate a incêndio, alterar a gestão dos níveis de reservatórios em caso de consumos excepcionais). Tipicamente, os eventos de consumo extremos são tratados como dados anómalos e eliminados das séries de consumo. Neste trabalho desenvolveram-se métodos para detecção automática de dados anómalos que são sobretudo aplicáveis em séries que apresentem uma maior regularidade como as que se obtêm ao nível de pequenas áreas de rede ou de ZMC e têm por base um conjunto limitado de tipos de anomalias. Assim, para além de ser importante explorar outros métodos para detecção deste tipo de dados e de realizar análises comparativas entre os vários métodos, é importante estabelecer métodos para a sua caracterização e tipificação, e que permitam avaliar a probabilidade de ocorrência e o respectivo risco associado.

Implementação computacional de ferramentas de análise de cenários de consumo

A análise de cenários de consumo (*e.g.*, cenários diários, cenários sazonais, cenários inter- anuais) constitui um instrumento bastante útil para a operação da rede (*e.g.*, gestão de volumes armazenados e de pressões na rede), assim como para o planeamento e dimensionamento de novas redes com características idênticas às de redes em que são conhecidos os cenários de consumo. Este trabalho demonstrou que os cenários de consumo podem ser muito variáveis entre zonas. Por exemplo, em termos de cenários de consumo ao longo do dia, o período de consumo mínimo pode ser bastante variável de zona para zona e com a época do ano (sobretudo devido à ocorrência de regas no Verão) e o seu conhecimento é importante para a realização de testes de rede (*e.g.*, *step tests*) ou para a estimativa de perdas reais através da análise do consumo nocturno. Assim, considera-se que é oportuno testar outros métodos alternativos para análise de cenários de consumo, para além do que foi explorado neste trabalho, e implementá-los computacionalmente para uso pelas entidades gestoras.

Geração de padrões diários considerando diferentes níveis de agregação espacial

O modelo de simulação desenvolvido para estimativa do consumo doméstico mínimo médio em ZMC ou subzonas destas, a partir de dados de consumo ao nível do arruamento ou ramal, pode ser alargado para simulação do comportamento médio diário e das respectivas bandas de predição, constituindo uma ferramenta de grande valia para a estimativa do consumo em pontos da rede sem medições de consumo. Por exemplo, a reabilitação de zonas de rede pode beneficiar de conhecimento sobre estes padrões diários.

Crítérios para tipificação de grandes consumidores

O presente trabalho demonstrou que grandes consumidores se caracterizam por consumos elevados e, nalguns casos, por uma grande variabilidade de comportamento, mesmo entre aqueles que desempenham actividades semelhantes, o que dificulta grandemente a sua categorização. Dado que o impacte causado pelo consumo destes clientes no comportamento hidráulico das redes pode ser bastante significativo, é importante fazer o levantamento dos principais factores que caracterizam os hábitos de consumo destes clientes, identificar das principais famílias de grandes consumidores (*e.g.*, escolas, hospitais, hotéis, centros comerciais) aqueles que podem ser tipificáveis por apresentarem um comportamento regular e caracterizar esse comportamento em função de factores característicos. Estes resultados podem contribuir para a especificação de critérios de

projecto, de requisitos de licenciamento e de regras de operação que minimizem os impactes negativos de variações de consumo significativas. Adicionalmente, alguns destes clientes apresentam perdas reais elevadas e caracterizam-se por usos de água pouco eficientes, pelo que é importante propor um conjunto de medidas que permitam usos de água mais eficientes.

Construção de uma base de dados alargada de consumo em ZMC

A previsão do consumo em ZMC teve por base um conjunto limitado de zonas de análise pertencente a uma mesma zona geográfica, pelo que a aplicabilidade dos modelos obtidos pode ser limitada, dado traduzir características de consumo que podem ser específicas de uma dada região. Actualmente, a nível nacional existe um conjunto alargado de entidades gestoras que possui praticamente a totalidade dos sistemas de distribuição sectorizado em ZMC. Assim, a construção de uma base de dados anónima que é alimentada com dados de consumo válidos e de infra-estrutura em ZMC permite consolidar os modelos de previsão e de classificação obtidos, constituindo um instrumento de grande importância para o planeamento e dimensionamento de novas redes, assim como para a sua operação diária. O alargamento da aplicação para previsão do consumo em ZMC a um maior número de casos de estudo vai permitir também explorar outros métodos de classificação de previsão, como as redes neuronais, para além de avaliar melhor o potencial do método das árvores decisão utilizadas neste trabalho. Estes desenvolvimentos vão permitir consolidar valores para parâmetros de projecto, como os factores de ponta e as perdas de água, assim como ajudar a reflectir sobre inclusão de parâmetros de projecto, como padrões médios diários de consumo em função das variáveis explicativas mais relevantes.

Avaliação do impacte do comportamento estocástico do consumo no funcionamento hidráulico das redes de distribuição de água

Tipicamente para o dimensionamento e simulação do comportamento hidráulico das redes assume-se que o consumo de água se comporta de forma determinística, quer espacialmente (em cada nó da rede), quer temporalmente. Espacialmente, o consumo médio em cada nó é estimado a partir dos dados de facturação (dados anuais) e temporalmente, o comportamento médio em cada nó é idêntico ao comportamento do consumo total para o conjunto dos clientes em análise. Estas hipóteses simplificativas são devidas ao facto do consumo apresentar um comportamento estocástico e de não existirem ainda meios expeditos para incorporar este comportamento no cálculo hidráulico das redes.

No entanto, por exemplo no caso de redes extensas com baixa densidade de clientes por ramal, a probabilidade do consumo num dado troço de rede ser significativamente diferente do respectivo valor médio é elevada, dado o reduzido número de clientes em cada nó, resultando que a distribuição de velocidades, de perda de carga e de pressão real na rede possa ser bastante diferente daquela que se obtém adoptando as hipóteses simplificativas apresentadas. Assim, com a recolha de dados pormenorizados de consumo domiciliário em conjuntos de clientes, representativos do consumo na zona de análise (a partir dos sistemas de telemetria), é possível gerar o consumo em cada nó da rede, a partir das distribuições conhecidas para o instante de chegada, a duração e a intensidade dos eventos e, em seguida, utilizar a simulação hidráulica para obter envolventes para a pressão, perda de carga e velocidade na rede e fazer uma análise comparativa entre ambas as abordagens. Um melhor conhecimento sobre estes parâmetros hidráulicos pode fornecer informação importante para o dimensionamento de redes e de equipamentos (*e.g.*, contadores, bombas) e para a simulação de qualidade da água. A necessidade de desenvolvimento de modelos de simulação eficientes que atendam ao carácter estocástico dos consumos foi identificada também por Alegre (1992) e Blokker *et al.*, (2009). Contudo, só com a disponibilização de mais informação quantificada sobre o comportamento estocástico dos consumos é viável e oportuno prosseguir esta linha de investigação.

Impacto dos grandes consumidores e de eventos extremos nas variações de pressão extremas na rede

O consumo dos grandes consumidores, em especial quando estes disponham de grupos hidropressores e quando coexistam vários na mesma área de rede, induzem no sistema de distribuição variações de pressão extremas, transitórias, que afectam o nível de serviço dos restantes consumidores e podem conduzir à ocorrência de roturas decorrentes de sobrepressões ou de depressões excessivas. O estudo do impacto do consumo dos grandes consumidores nas variações de pressão na rede de distribuição e de medidas que mitiguem este efeito (*e.g.*, volume de reservatórios hidropneumáticos mais elevado, classes de pressão das condutas mais elevadas), em função do tipo de consumidor, das características do consumo (valor médio e frequência), e existência e características de grupos electrobomba é importante para a melhoria dos níveis de serviço do sistema.

Por outro lado, a ocorrência de eventos súbitos e acidentais na rede de distribuição, como sejam roturas, podem também gerar variações de pressão extremas e pontuais cuja análise, tal como para os consumos extremos, permite a sua detecção e identificação. Métodos que permitam detectar estes eventos anómalos, em tempo real, tirando partido, se possível, simultaneamente das variações de consumo e de pressão, podem ser uma mais-valia para uma gestão mais eficiente dos sistemas.

Aplicação da metodologia proposta para análise do consumo em infra-estruturas de gás e electricidade

Os sistemas de telemetria começam também a ser aplicados a larga escala em infra-estruturas de gás e electricidade. Deste modo, uma proposta de desenvolvimento consiste em avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta neste trabalho para análise do consumo de gás e de electricidade, que se encontram em parte também relacionados com os consumos de água e para os quais é também necessário identificar, por exemplo, as componentes de consumo que são menos eficientes, e as características sócio-demográficas mais determinantes do comportamento médio. Adicionalmente, um melhor conhecimento conjunto sobre estas solicitações, vai permitir estabelecer medidas consertadas para uma melhor gestão das várias infra-estruturas e para um uso mais eficiente dos recursos água, gás e electricidade, que são limitados. Este tipo de desenvolvimento vai permitir também uniformizar os requisitos tecnológicos dos sistemas de telemetria e promover a partilha destes sistemas de informação entre as infra-estruturas de água, gás e electricidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. (1994) *Metodologia para elaboração de estudos de caracterização de consumos de água*. Recursos Hídricos, 15(3), 37 - 46.
- Alegre, H., Coelho, S. T., Almeida, M. C. e Vieira, P. (2005) *Controlo de perdas de água em sistemas de adução e distribuição*. IRAR, INAG, LNEC, Lisboa, ISBN 972-99354-4-0.
- Alegre, H. e Covas, D. (2010) *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água: uma abordagem centrada na reabilitação*. ERSAR, LNEC, Lisboa, (em edição).
- Alegre, H., Hirner, W., Melo Baptista, J. e Parena, R. (2004) *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. IRAR, LNEC, Lisboa, ISBN 972-99354-2-4.
- Alegre, H., Machado, P., Craveiro, P. e Coelho, S. T. (1992) *Caracterização dos consumos domésticos de água na cidade de Lisboa*. Relatório 197/92, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Alegre, H., Matos, R., Beja Neves, E., Cardoso, A., Duarte, P. e Baptista, J. M. (2009) *Sistema de avaliação da qualidade dos serviços de água e resíduos prestados aos utilizadores*. IRAR, LNEC, Lisboa, ISBN 978-989-95392-8-0.
- Almandoz, J., Cabrera, E., Arregui, F., Cabrera, J. E. e Cobacho, R. (2005) *Leakage Assessment through Water Distribution Network Simulation*. Journal of Water Resources Planning and Management, 131(6), 458-466.
- Almeida, M. C., Vieira, P. e Ribeiro, R. (2006) *Uso eficiente de água no sector urbano*. IRAR, INAG, LNEC, Lisboa, ISBN 972-99354-9-1.
- Alvisi, S., Franchini, M. e Marinelli, A. (2003) *A stochastic model for representing drinking water demand at residential level*. Water Resources Management, 17, 197-222.
- AMRA. (2004) *2004 AMR Project Report*. Automatic Meter Reading Association, Northbrook.
- Angelos, L. P., Sunisa, K. e Alina, P. (2000) *Weather Effects on Daily Water Use in New York City*. Journal of Hydrologic Engineering, 5(3), 332-338.
- Arbués, F., García-Valiñas, M. A. e Martínez-Espiñeira, R. (2003) *Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review*. Journal of Socio-Economics, 32(1), 81 -102.
- Arregui, F. (1998) *Propuesta de una metodología para el análisis y gestión del parque de contadores de agua en un abastecimiento*. Tese de Doutoramento, Universidade Politécnica de Valência, Valência.
- Arregui, F., Cabrera Jr., E. e Cobacho, R. (2006) *Integrated water meter management*. IWA Publishing, Londres, ISBN 184 3390 345.

- Baptista, J. M., Almeida, M. C., Vieira, P., Silva, A. C. M., Ribeiro, R., Fernando, R. M., Serafim, A., Alves, I. e Cameira, M. R. (2001) *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Estudo elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com apoio do Instituto Superior de Agronomia (ISA), Lisboa.
- Barbeau, B., Ghautier, V., Julienne, K. e Carriere, A. (2005) *Dead-end flushing of a distribution system: short and long-term effects on water quality*. Journal of Water Supply: Research & technology - AQUA, 54(6), 371-383.
- Barberán, R., Inmaculada, V. M. e Arbués, F. (2000) *Water price impact on residential water demand in the city of Zaragoza. A dynamic panel data approach*. 40th European Congress of the European Regional Studies Association, 30-31 de Agosto Barcelona.
- Barnet, V. e Lewis, T. (1994) *Outliers in statistical data*. John Wiley, Chichester, ISBN 0-471-93094-6.
- Bau, J. (1983) *Gestão da procura em sistemas de abastecimento de água a aglomerados urbanos*. Programa de Investigação - Recursos hídricos, LNEC, Lisboa.
- Ben-Gal, I. (2005) *Outlier detection*. In: *Data mining and knowledge discovery handbook: a complete guide for practitioners and researchers*, Springer, Nova Iorque, 131-142, ISBN 978-0-387-24435-8.
- Bilmes, J. A. (1998) *A gentle tutorial of the EM algorithm and its application to parameter estimation for gaussian mixture and hidden markov models*. <<http://www.cs.dartmouth.edu/~tanzeem/teaching/CS188-Winter09/references/em.pdf>> (consultado em 12 de Abril de 2010).
- Blokker, E. J. M., Vreeburg, I. J. H. G., Buchberger, S. G. e Dijk, J. C. v. (2008) *Importance of demand modelling in network water quality models: a review*. Drinking Water Engineering and Science Discussions, 1, 27-38.
- Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. H. G. e Dijk, J. C. v. (2009) *Simulating Residential Water Demand with a Stochastic End-Use Model*. Journal of Water Resources Planning and Management, 136(1), 29-26.
- Borba, R. (2009) *Modelação estatística do consumo nocturno doméstico de água*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Borba, R., Amado, C., Pacheco, A., Loureiro, D., Rebelo, M., Alegre, H., Coelho, S. T., Covas, D. I. C. e Pina, A. (2009) *Modelação estatística do consumo nocturno doméstico de água*. XVII Congresso Anual da Sociedade Portuguesa de Estatística, 30 de Setembro a 3 de Outubro, Sesimbra.
- Box, G. E. e Jenkins, G. M. (1976) *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons, São Francisco, ISBN 978-0-470-27284-8.
- Branco, J. A. (2004) *Uma introdução à análise de clusters*. S. P. d. Estatística. Instituto Nacional de Estatística, Évora, ISBN 972-98619-9-4.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. e Stone, C. J. (1984) *Classification and regression trees*. Chapman & Hall, Florida, ISBN 0-412-04841-8.
- Buchberger, S. e Wells, G. (1996a) *Intensity, duration and frequency of residential water demands*. Journal of Water Resources Planning and Management, 122(1), 11-19.
- Buchberger, S. e Wu, L. (1995) *Model for instantaneous residential water demands*. Journal of Hydraulic Engineering, 121(3), 232-246.

- Buchberger, S. G., Carter, J. T., Lee, Y. e Schade, T. G. (2003) *Random Demands, travel times and water quality in deadends*. Awwa Research Foundation, Cincinnati, ISBN 1 84339869 9.
- Buchberger, S. G. e Nadimpalli, G. (2004) *Leak Estimation in Water Distribution Systems by Statistical Analysis of Flow Readings*. Journal of Water Resources Planning and Management, 130(4), 321-329.
- Buchberger, S. G. e Wells, G. J. (1996b) *Intensity, duration, and frequency of residential water demands*. Journal of Water Resources Planning and Management, 122 (1), 11 - 19.
- Burnell, D. (2003) *Lifestyle and its effects on domestic use*. Conference on Computing and Control for the Water Industry, 15 a 17 de Setembro, Londres, Reino Unido.
- Carver, P. H. e Boland, J. J. (1980) *Short-run and long-run effects of price on municipal water use*. Water Resources Research, 16(4), 609 - 616.
- Cembrano, G., Renalías, J. e Solanas, J. L. (1990) *Short-term modelling of water demand*. IWSA Workshop: Future water demand - New fundamentals and trends - Economic consequences, 6-7 de Fevereiro, Basel, Suíça.
- Censos. (2001) *Censos 2001": o XIV Recenseamento geral da população, IV Recenseamento geral da habitação*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- Chami, P., Antoine, R. e Sahai, A. (2007) *On efficient Confidence Intervals for the log-normal mean*. Journal of Applied Sciences, 7(13), 1790-1794.
- Chicoine, D. L., Deller, S. C. e Ramamurthy, G. (1986) *Water demand estimation under block rate pricing: a simultaneous equation approach*. Water Resources Research, 22(6), 859 - 863.
- Clarke, G. P., Kashti, A., McDonald, A. e Williamson, P. (1997) *Estimating small area demand for water: A new methodology*. Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management, 11(3), 186-192.
- CM, 2005. *Resolução do Concelho de Ministros n.º 113/2005: aprova o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água - Bases e linha orientadoras (PNUEA)*. Diário da República.
- Cobacho, R., Arregui, F., Juan Camilo, P. e Cabrera Jr, E. (2005) *Improving efficiency in water use and conservation in spanish hotels*. 3rd international Conference on efficient use and management of water, 14 a 18 de Março, Santiago, Chile.
- Coelho, S. T. (1988) *A System for Demand Analysis and Forecasting in Water Supply Systems*. Tese de Mestrado, University of Newcastle.
- Coelho, S. T., Alegre, H. e Pinheiro, I. (1994) *Caracterização das origens de perdas nas redes de distribuição de água*. Relatório n.º 196/94, LNEC, Lisboa.
- Coelho, S. T., Loureiro, D. e Alegre, H. (2006) *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água*. IRAR, LNEC, Lisboa, ISBN 972-99354-8-3.
- Coelho, S. T., Loureiro, D. e Alegre, H. (2007) *A Iniciativa Nacional para a Simulação de Sistemas de Abastecimento de Água (INSSAA): a implementação de capacidades de modelação no seio de entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água*. I Conferência INSSAA - Modelação de sistemas de abastecimento de água, 10 - 11 de Maio, Barcelos.

- Coronis. (2009) *Data logger and wireless transceiver for smart metering*. <<http://www.coronis.com/en/waveflow2.html>> (consultado em 16 de Fevereiro de 2009).
- Corral-Verdugo, V., Bechtel, R. B. e Fraijo-Sing, B. (2003) *Environmental beliefs and water conservation: An empirical study*. *Journal of Environmental Psychology*, 23(3), 247-257.
- Dandy, G., Nguyen, T. e Davies, C. (1997) *Estimating Residential Water Demand in the Presence of Free Allowances*. *Land Economics*, 73(1), 125 -139.
- Darby, S. (2006) *The effectiveness of feedback on energy consumption* Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford.
- De Marinis, G., Gargano, R. e Tricarico, C. (2006) *Water demand models for a small number of users*. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de Junho. *Regime económico e financeiro dos recursos hídricos*.
- Decreto Lei n.º 192/2006, Diário da República, 1.ª série, n.º 186, de 26 de Setembro. *Instrumentos de medição*.
- Decreto Lei n.º 194/2009, de 20 de Agosto. *Regime dos serviços municipais de abastecimento de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos*.
- Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto. *Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e drenagem de águas residuais*.
- Dias, S., Alegre, H., Almeida, M. C., Loureiro, D., Lucas, H. e Viriato, M. (2006) *O consumo de água para abastecimento público no Algarve no triénio 2002-2004*. 12º Encontro Nacional de Saneamento Básico, 24 - 27 de Outubro, Cascais.
- Dias, S. L., Lucas, H., Almeida, M. C., Alegre, H. e Viriato, M. (2007) *Identification of opportunities to improve efficiency by water consumption assessment*. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(4), 57-63.
- Domene, E. e Saurí, D. (2006) *Urbanization and water consumption: influencing factors in the metropolitan region of Barcelona*. *Urban Studies*, 43(9), 1605-1623.
- Edwards, K. e Martin, L. (1995) *A methodology for surveying domestic water consumption*. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 9, 477-488.
- EN 60529: 1992. *Specification for degrees of protection provided by enclosures (IP code)*.
- ERSAR. (2009) *Relatório anual do sector de águas e resíduos em Portugal (2008), Volume 3 – Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Lisboa, ISBN 978-989-8360-00-7.
- ERSAR, 2010. *Recomendação ERSAR n.º 02/2010 sobre Critérios de cálculo para a formação de tarifários aplicáveis aos utilizadores finais dos serviços públicos de abastecimento de água para consumo humano, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos (em fase de consulta pública)*.

-
- Fanner, P. (2004) *Assessing real water losses: a practical approach*. <[http://www.iwapublishing.com/pdf/Water21 April 2004 - Water Loss.pdf](http://www.iwapublishing.com/pdf/Water21_April_2004_-_Water_Loss.pdf)> (consultado em 7 de Janeiro de 2010).
- Farley, M. e Trow, S. (2003) *Losses in water distribution networks. A practitioner's guide to assessment, monitoring and control*. IWA Publishing, Londres, ISBN 1900 222 116.
- FCM (2003) *Establishing a Metering plan to account for water use and loss*. <[http://gmf.fcm.ca/Infraguide/Best Practice Reports.asp](http://gmf.fcm.ca/Infraguide/Best_Practice_Reports.asp)> (consultado em 6 de Abril de 2010).
- Ferreira Camacho, S. (2009) *Uso eficiente da água em instalações colectivas e similares - contributo para a caracterização do uso e aumento da eficiência*. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- Filion, Y. R., Adams, B. J. e Karney, B. W. (2006a) *Cross correlation of demands in water distribution network design*. Journal of Water Resources Planning and Management.
- Filion, Y. R., Karney, B. W., Moughton, L. J., Buchberger, S. G. e Adams, B. J. (2006b) *Cross correlation analysis of residential demand in the city of Milford, Ohio*. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Garcia, V. J. (2003) *Modelación de la demanda urbana de agua*. Tese de Doutoramento, Universidade Potécnica de Valencia, Valencia.
- Garcia, V. J., Cabrera, E., Garcia-Serra, J., Arregui, F. e Almandoz, J. (2003) *Stochastic prediction of the minimum night flow demand in a district metered area*. Conference on Computing and Control for the Water Industry, 15 a 17 de Setembro, Londres, Reino Unido.
- Garcia, V. J., Enrique, C. e Cabrera Jr., E. (2006) *The minimum night flow method revisited*. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- García, V. J., García-Bartual, R., Cabrera, E., Arregui, F. e García-Serra, J. (2004) *Stochastic model to evaluate residential water demands*. Journal of Water Resources Planning and Management, 130(5), 386 - 394.
- Garzon-Contreras, F. e Thornton, J. (2006) *Pressure-leakage relationships in urban water distribution systems*. Water Distribution Systems Analysis Symposium, University of Cincinnati, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Greenaway, G., Guanlao, R., Bayda, N. e Zhang, Q. (2006) *Water Distribution Systems Demand Forecasting with Pattern Recognition*. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Guimarães, R. C. e Sarsfield Cabral, J. A. (1999) *Estatística*. McGraw-Hill, Amadora, ISBN 972-8298-45-5.
- Han, J. e Kamber, M. (2006) *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, São Francisco, ISBN 978-989-95392-1-1.
- Henriques, J. D., Palma, J. C. P. e Ribeiro, A. S. (2007) *Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas*. IRAR, Lisboa,
-

- Herrington, P. R. (1998) *Analysis and forecasting peak demands on the public water supply*. Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Management, 12(2), 139-143.
- Hesterberg, T. C. (1998) *Simulation and Bootstrapping for Teaching Statistics*. American Statistical Association Proceedings of the Section on Statistical Education, Alexandria.
- Höglund, L. (1999) *Household demand for water in Sweden with implications of a potential tax on water use*. Water Resources Research, 35(12), 3853 - 3863.
- Howe, C. W. (1982) *The impact of price on residential water demand: some new insights*. Water Resources Research, 18(4), 713-716.
- Howe, C. W. e Linaweaver, F. P. (1967) *The impact of price on residential water demand and its relations to system design and price structure*. Water Resources Research, 3(1), 13 - 32.
- INAG (2001) *Plano Nacional da Água*. <http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pna/pna.html> (Consultado em 12 de Maio de 2007).
- INAG (2007) *Relatório do estado do abastecimento de água e da drenagem e tratamento de águas residuais - sistemas públicos urbanos (campanha INSAAR 2005)*. <<http://insaar.inag.pt>> (Consultado em 15 de Fevereiro de 2008).
- INE. (2001) *Censos 2001: o XIV Recenseamento geral da população, IV Recenseamento geral da habitação*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, ISBN 972-673-610-2.
- INE. (2004) *Tipologia sócio-económica da área metropolitana de Lisboa*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, ISBN 972-673-715-X.
- IRAR (2009) *Formação de tarifários aplicáveis aos utilizadores finais dos serviços públicos de abastecimento de água para consumo humano, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos*. <<http://www.ersar.pt>> (consultado em 20 de Março de 2010).
- Jabob, A. (2006) *Avaliação de perdas em sistemas de distribuição de água: o caso de estudo da ZMC 320 da EPAL*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Javier, M.-S., Pedro, L. I.-R., Rafael, P.-G. e Lopez-Jimenez, P. A. (2008) *Hydraulic Analysis of Peak Demand in Looped Water Distribution Networks*. 134(6), 504-510.
- Johnson, N., Kotz, S. e Balakrishnan, N. (1994) *Continuous univariate distributions*. John Wiley & Sons, Nova Iorque, ISBN 0-471-58495-9.
- Johnson, N., Kotz, S. e Kemp, A. (1992) *Univariate discrete Distributions*. John Wiley & Sons, Nova Iorque, ISBN 0-471-27246-9.
- Jones, C. V. e Morris, J. R. (1984) *Instrumental price estimates and residential water demand*. Water Resources Research, 20(2), 197-202.
- Kendall, M. G. e Stuart, A. (1979) *The Advanced Theory of Statistics, Volume 2: Inference and Relationship*. Oxford University Press, Nova Iorque, ISBN 978-085 2642559.
- Knuth, D. E. (2002) *The Art of Computer Programming, Volume 2: Seminumerical Algorithms*. Addison - Wesley, ISBN 0201 896834.

- Lambert, A. (1994) *Accounting for losses - the burst and background concept*. Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management, 8(2), 205-214.
- Lambert, A. (2010) *Recent developments in pressure management*. Water Loss 2010, 6 a 9 de Junho, São Paulo, Brasil.
- Lambert, A., Brow, T. G., Takizawa, M. e Weimer, D. (1999) *A review of performance indicators for real losses from water supply systems*. Journal of Water Supply: Research & technology - AQUA, 48, 227-237.
- Lambert, A. e Hirner, W. (2000) *Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measurements*. IWA The blue pages.
- Lambert, A. e Morrison, J. A. E. (1996) *Recent developments in application of "Bursts and background estimates" concepts for leakage management*. Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management, 10(4), 100-104.
- Lee, Y. H. e Buchberger, S. G. (1999) *Modeling indoor and outdoor residential water use as the superposition of two rectangular pulse process*. ASCE 26h National Conference on Water Resources Planning and Management, 6 a 9 de Junho, Tempe, Arizona.
- Lei n.º 12/2008, Diário da República, 1ª série, n.º 40, de 26 de Fevereiro. *Lei dos serviços públicos essenciais*.
- Lei n.º 58/2005, Diário da República, I Série-A, n.º 249, de 29 de Dezembro de 2005. *Lei da água*.
- Liemberger, R. (2005) *Accuracy limitations of the ILI - Is it an appropriate indicator for developing countries?* Leakage 2005, 12 a 14 de Setembro, Halifax, Canadá.
- Liu, H., Shah, S. e Jiang, W. (2004) *On-line outlier detection and data cleaning*. Computers & Chemical Engineering, 28(9), 1635-1647.
- Loh, M. e Coghlan, P. (2003) *Domestic water use study*. <http://water.com.au/files/publicationsregister/12/Domestic_water_use_study.pdf> (consultado em 12 de Abril de 2007).
- Lopes, A. (2008) *Gestão e controlo de perdas em sistemas de distribuição de água*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- Loureiro, D., Alegre, H. e Murinello, E. (2008) *Requirements of water meters and telemetry systems used to monitor night flow consumption: case study and recommendations*. Water Loss Management, Telemetry and SCADA in Water Distribution Systems, 9 a 10 de Junho, Ohrid, Macedónia.
- Loureiro, D., Coelho, S. T., Machado, P., Santos, A., Alegre, H. e Covas, D. (2006) *Profiling residential water consumption*. Water Distribution Systems Analysis Symposium, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Loureiro, D., Coelho, S. T., Ramalho, P., Alegre, H., Covas, D. I. C. e Pina, A. (2009) *Correlating water consumption behaviour with billing, infra-structure and socio-demographic factors*. CCWI 2009, Sheffield.
- Lucas, H., Viriato, M., Dias, S. L., Alegre, H., Almeida, M. C. e Loureiro, D. (2008) *Análise dos consumos de água para abastecimento público no Algarve – Relatório Final Global*. Relatório LNEC n.º 243/2008, Lisboa.

- Lyman, R. A. (1992) *Peak and Off-Peak Residential Water Demand*. Water Resources Research, 28(9), 2159 - 2167.
- Magini, R., Pallavicini, I. e Guercio, R. (2008) *Spatial and Temporal Scaling Properties of Water Demand*. Journal of Water Resources Planning and Management, 134(3), 276-284.
- Maidment, D. R. e Miaou, S. P. (1986) *Daily water use in nine cities*. Water Resources Research, 22(6), 845 - 885.
- Maimon, O. e Rokach, L. (2005) *Data mining and knowledge discovery handbook*. Springer, Nova Iorque, ISBN 978-0-387-24435-8.
- Mak, S. e Radford, D. (1995) *Design Considerations for implementation of large scale automatic meter reading systems*. IEEE Transactions on Power Delivery, 10(1), 97-103.
- MAOTDR, 2007. *Plano estratégico de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais 2007-2013*.
- Marshallsay, D. (2010) *Understanding domestic water use in the context of demand management and forecasting*. <http://www.idswater.com/Common/Paper/Paper_13/Understanding%20domestic%20water%20use%20in%20the%20context.htm> (consultado em 29 de Março de 2010).
- Mayer, P. W., DeOreo, W. B., Optiz, E. M., Kiefer, J. C., Davis, W. Y., Dziegielewski, B. e Nelson, J. O. (1999) *Residential end uses od water*. AWWA research Foundation e American Water Works Association, Estado Unidos, ISBN 1-583 21-016-4.
- McDonald, A., Bellfield, S. e Flrtcher, M. (2003) *Water demand: A UK Perspective*. Conference on Computing and Control for the Water Industry, 15 a 17 de Setembro, Londres, Reino Unido.
- Mclachlan, G. J. e Peel, D. (2000) *Finite Mixture Models*. John Wiley & Sons, Nova Iorque, ISBN 0-471-00626-2.
- Menold, P. H., Pearson, R. K. e Allgower, F. (1999) *Online outlier detection and removal*. Proceedings of the 7th Mediterranean Conference on Control and Automation, 28-30 de Junho, Haifa.
- Mitchell, G., McDonald, A. e Williamson, P. (2000) *A SIC coded strategic planning model of non-househld water demand for UK regions*. journal Chactered Institute of Water and Environmental Management, 14(3), 226-233.
- Moore, D. S. (1986) *Tests of chi-squared type*. In: *Goodness-of-Fit Techniques*. R. B. D'Agostino and M. A. Stevens, eds., Marcel Dekker, Nova Iorque,
- Morrison, J., Tooms, S. e Rogers, D. (2007) *DMA Mangement Guidance Notes*. <<http://www.iwahq.org>> (consultado em 31 de Março de 2007).
- Moughton, L. J., Buchberger, S. G., Bocelli, D. L., Filion, Y. R. e Karney, B. W. (2006) *Effect of time Step and data aggregation on cross correlation of residential demands*. 8th Annual Symposium on Water Distribution System Analysis, 27-30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Murdock, S. H., Albrecht, D. E., Hamm, R. R. e Backman, K. (1991) *Role of socio-demographic characteristics in projections of water use*. Journal of Water Resources Planning and Management, 117(2), 235 - 251.

- Nauges, C. e Thomas, A. (2000) *Privately operated utilities, municipal price negotiation, and estimation of residential water demand: the case of France*. Land Economics - University of Wisconsin Press, 76(1), 68 - 85.
- Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. e Wasserman, W. (1996) *Applied linear statistical models*. Irwin, ISBN 0-25611736-5.
- Nieswiadomy, M. L. e Molina, D. J. (1989) *Comparing residential water demand estimates under decreasing and increasing block rates using household data*. Land Economics - University of Wisconsin Press, 65(3), 280 - 289.
- Nixon, M. S. e Aguado, A. S. (2008) *Feature extraction and image processing*. Elsevier, Oxford, Reino Unido, ISBN 978-0-12732-538-7.
- NP EN 14154-1:2008, *Contadores de água, Parte 1: especificações gerais*.
- NTG. (2009) *How we use water*. <<http://www.nt.gov.au/nreta/water/wise/pdf/howweusewater.pdf>> (consultado em 29 Março de 2009).
- Oracle. (2007) *Oracle Utilities meter data management standard edition*. <http://www.oracle.com/industries/utilities/oracle_utilities_meter_data_management_standard_edition.pdf> (consultado em 1 de Março de 2010).
- Oracle. (2010) *Testing the water: Smart metering for Water utilities*. <http://blogs.oracle.com/OracleUtilities/2010/01/oracle_releases_the_testing_th.html> (consultado em 1 de Março de 2010).
- Orazio, G., Daniele, L. e Andrew, F. C. (2009) *Deterministic versus Stochastic Design of Water Distribution Networks*. Journal of Water Resources Planning and Management, 135(2), 117-127.
- Palau, C. V., Arregui, F. e Ferrer, A. (2004) *Using multivariate principal component analysis of injected water flows to detect anomalous behaviours in a water supply system. A case Study*. Water Science & Technology: Water Supply, 4(3), 169-181.
- Pearson, R. K. (2002) *Outliers in process modeling and identification*. Control Systems Technology, IEEE Transactions on, 10(1), 55-63.
- Pedroso, V. M. R. (2000) *Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagem de águas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, ISBN 972-49-1849-1.
- Pereira, H. G. e Sousa, A. J. (2002) *Análise de dados para o tratamento de quadros multidimensionais*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Polebitski, A. S. e Palmer, R. N. (2010) *Seasonal Residential Water Demand Forecasting for Census Tracts*. Journal of Water Resources Planning and Management, 136(1), 27-36.
- Primayer. (2009) *Socrates - Night flow and leakage analysis*. <http://www.primayer.com/wsm_local_socrates.htm> (consultado em 11 de Abril de 2010).
- Quevedo, J. e Cembrano, G. (1986) *Water demand forecasting through time series analysis*. Eau et Informatique, 28-30 de Maio, Paris.
- Rencher, A. C. (2002) *Methods of multivariate analysis*. John Wiley & Sons, Nova Iorque, ISBN 0-471-41889-7.

- Rizzo, A., Pearson, D., Matthew, S. e Harper, N. (2004) *Apparent water loss control: a practical approach*. <http://www.iwapublishing.com/pdf/June_2004.pdf> (consultado em 1 de Janeiro de 2010).
- Russac, D. A. V., Rushton, K. R. e Simpson, R. J. (1991) *Insights into domestic demand from a metering trial*. *Water and Environment Journal*, 5(3), 242 - 351.
- Schleich, J. e Hillenbrand, T. (2008) *Determinants of residential water demand in Germany*. *Ecological Economics*.
- Seem, J. E. (2005) *Pattern recognition algorithm for determining days of the week with similar energy consumption profiles*. *Energy and Buildings*, 37(2), 127-139.
- Seem, J. E. (2007) *Using intelligent data analysis to detect abnormal energy consumption in buildings*. *Energy and Buildings*, 39(1), 52-58.
- Sensus. (2010) *Automatic Meter Reding Systems*. <<http://www.sensus.com/>> (Consultado em 1 de Março de 2010).
- Shvartser, L., Shamir, U. e Feldman, M. (1993) *Forecasting Hourly Water Demands by Pattern Recognition Approach*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(6), 611-627.
- Smith, A. e Ali, M. (2006) *Understandal the impact of cultural and religious water use*. *Water and Environment Journal*, 20, 203-209.
- Stasinopoulos, M. e Rigby, B. (2010) *Distributions to be used for GAMLSS modelling*. <<http://cran.r-project.org/web/packages/gamlss.dist/gamlss.dist.pdf>> (Consultado em 1 de Junho de 2010).
- Stedman, L. (2006) *Motivations for metering*. *Water* 21, Abril 2006, 27-28.
- Syme, G. J., Shao, Q., Po, M. e Campbell, E. (2004) *Predicting and understanding home garden water use*. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), 121-128.
- Tan, P., Steinbach, M. e Kumar, V. (2006) *Introduction to data mining*. Pearson Education, Boston, ISBN 0-321-42052-7.
- Therneau, T. e Atkinson, E. (1997) *An introduction to recursive partitioning using the RPART routines*. Mayo Foundation. (Distribuído com a biblioteca Rpart)
- Thomas, J. F. e Syme, G. J. (1988) *Estimating residential price elasticity of demand for water: A contingent valuation approach*. *Water Resources Research*, 24(11), 1847 - 1857.
- Thornton, J. (2003) *Manage Leakage by managing pressure*. *Water* 21, Outubro 2003.
- Thornton, J. e Lambert, A. (2005) *Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships*. IWA Conference Leakage 2005, Halifax, Canadá.
- Tricarico, C., de Marinis, G., Gargano, R. e Leopardi, A. (2005) *Peak water demand for small towns*. Conference on Computing and Control for the Water Industry 5 a 7 de Setembro, Exeter, Reino Unido.
- Trow, S. (2010) *A summary of experience in the use intelligent pressure management systems*. *Water loss 2010*, 6 a 9 de Junho, São Paulo, Brasil.
- Tuckey, J. W. (1977) *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley, ISBN 0-201-07616-0.

- Twort, A. C., Ratnayaka, D. D. e Brandt, M. J. (2000) *Water Supply*. IWA Publishing, Londres, ISBN 0 340 72018 2.
- UK Water Industry. (1994a) *Managing leakage: interpreting measured night flows*. Report e, WRc, Reino Unido.
- UK Water Industry. (1994b) *Managing leakage: using night flow data*. Report f, WRc, Reino Unido.
- Ulanicki, B., Bounds, P. L. M., Rande, J. P. e Reynolds, L. (2000) *Open and closed loop pressure control for leakage reduction*. *Urban Water*, 2, 105-114.
- Van Zyl, H. J., Ilemobade, A. A. e Van Zyl, J. E. (2006) *An evaluation of domestic and non-domestic water consumption in South Africa*. Water Distribution System Analysis Symposium 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Van Zyl, J. E. e Clayton, C. R. I. (2006) *The effect of pressure leakage in water distribution systems*. Water Distribution Systems Analysis Symposium, University of Cincinnati, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Vickers, A. (2001) *Handbook of water use and conservation: homes, landscapes, businesses, industries, farms*. WaterPlow Press, ISBN 1-931579-07-5.
- Vieira, P., Almeida, M. C., Baptista, J. M. e Ribeiro, R. (2007) *Household water use: a Portuguese field study*. 4th Specialist Conference on Efficient Use and Management of Urban Water Supply, 20 a 23 de Maio, Jeju, Korea.
- Vieira, P., Moura e Silva, A., Melo Baptista, J., Almeida, M. C. e Ribeiro, R. (2002) *Inquérito aos hábitos de utilização e consumos de água na habitação*. 10º Encontro Nacional de Saneamento Básico, 16 a 19 de Setembro, Braga, Portugal.
- Vreeburg, I. J. H. G. e Boxall, D. J. B. (2007) *Discolouration in potable water distribution systems: A review*. *Water Research*, 41(3), 519-529.
- Walski, T. M., Chase, D. V. e Savic, D. A. (2003) *Advanced Water Distribution Modeling*. Haestad Methods Press, EUA,
- Warren, R. (2002) *Household night consumption*. Report n.º 02/WM/08/27, UK Water Industry Research, Londres.
- Warren, R. e Cunningham, A. (2007) *Leakage Methodology Review: variation in per capita consumption estimates*. Report n.º 97/WM/08/10, UK Water Industry Research, Londres.
- Whitcomb, J. B. (1991) *Water reductions from residential audits*. *Water Resources Bulletin*, 27(5), 761-767.
- White, S., Robinson, J., Cordell, D., Jha, M. e Milne, G. (2003) *Urban Water Demand Forecasting and Demand Management*. Institute for Sustainable Futures - University of Sydney Technology.
- Williams, G. e Huang, Z. (1997) *Mining the knowledge mine*. In: *Advanced Topics in Artificial Intelligence*, 340-348,
- WRc. (1994) *Report f: Using night flow data*.
- WRc, WSA e WCA. (1994) *UK water industry: managing leakage* Water Research Centre, Water Services Association e Water Companies Association.

- Yee, T. W. (2010) *Vector generalized linear and additive models*. <<http://www.stat.auckland.ac.nz/~yee/VGAM/doc/VGAM.pdf>> (Consultado em 22 de Junho de 2010).
- Young, D., Benaglia, T., Chauveau, D., Elmore, R., Hettmansperger, T., Hoben, D. H. e Xuan, T. F. (2009) *Package mixtools - Tools for analyzing finite mixture models*. <<http://cran.r-project.org/web/packages/mixtools/mixtools.pdf>> (Consultado em 1 de Janeiro de 2010).
- Zhang, J., Song, R., Bhaskar, N. R. e French, M. N. (2006) *Short-term water demand forecasting. A case study*. 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, 27 a 30 de Agosto, Cincinnati, Estados Unidos.
- Zhang, X. e Buchberger, S. G. (2005) *A new look at peaking factors*. Conference on Computing and Control for the Water Industry 5 a 7 de Setembro, Exeter, Reino Unido.
- Zhang, X., Buchberger, S. G. e van Zyl, J. E. (2005) *A Theoretical Explanation for Peaking Factors*. World Water Congress 2005, ASCE, Alaska, USA.
- Zhou, S. L., McMahon, T. A., Walton, A. e Lewis, J. (2002) *Forecasting operational demand for an urban water supply zone*. Journal of Hydrology, 259, 189-202.

ANEXO 1 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS DE APOIO À METODOLOGIA

A1.1 Distribuições de probabilidade, estimadores dos seus parâmetros e valores esperados e variância

i) Distribuição de *Poisson* (Johnson et al., 1992)

Uma população X , com suporte \mathbb{N}_0 tem distribuição de *Poisson* com parâmetro λ , se for definida pela seguinte função massa de probabilidade (f.m.p.):

$$P[X = k] = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, k \geq 0, \lambda > 0 \quad (\text{A. 1})$$

e sendo o estimador de máxima verosimilhança (EMV) de λ , $\hat{\lambda}$, dado pela média da amostra aleatória (a.a.) \bar{X} :

$$\hat{\lambda} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{A. 2})$$

Onde X_i pertencem a uma a.a. de dimensão n proveniente da população X .

O valor esperado e a variância de uma variável com distribuição de *Poisson* são:

$$E[X] = \lambda, \quad (\text{A. 3})$$

$$Var[X] = \lambda. \quad (\text{A. 4})$$

A distribuição de *Poisson* pode ser derivada como um caso limite da distribuição binomial. No caso da medição do consumo ao nível de um arruamento, existem N apartamentos ou vivendas que estão a consumir água num dado instante com probabilidade p . Assumindo a independência entre apartamentos, o número de eventos de consumo pode ser modelado por uma distribuição binomial com parâmetros N e p . Durante o período nocturno, o parâmetro p é muito reduzido e como tal poder-se-á aproximar esta distribuição binomial a uma distribuição de *Poisson* de parâmetro Np . Uma regra prática que valida esta aproximação é a verificação das seguintes condições: $N > 20$ e $p > 0,1$.

ii) Distribuição de *Poisson* zero modificada (Johnson et al., 1992)

Como alternativa à distribuição de *Poisson*, a distribuição de *Poisson* zero-modificada, de parâmetros λ e ω surgiu devido à existência de muitos conjuntos experimentais com excesso (ou escassez) de zeros quando comparados com os que seriam de esperar para uma

distribuição de *Poisson* com mesma média (Johnson *et al.*, 1992). Assim, a distribuição ZMP é obtida aumentando a proporção de zeros e diminuindo a proporção dos restantes valores (ou vice-versa), tendo a seguinte f.m.p.:

$$P[X = k] = \begin{cases} \omega + (1 - \omega)e^{-\lambda}, & k = 0 \\ \frac{(1 - \omega)e^{-\lambda}\lambda^k}{k!}, & k \geq 1 \end{cases}, \lambda > 0, -\frac{e^{-\lambda}}{1 - e^{-\lambda}} \leq \omega \leq 1 \quad (\text{A. 5})$$

Diferentes valores de ω levam a diferentes modificações da distribuição de *Poisson*, onde a proporção adicional de zeros, ou de zeros em falta, é dada por:

$$\omega + (1 - \omega)e^{-\lambda} - e^{-\lambda} = \omega(1 - e^{-\lambda}) \quad (\text{A. 6})$$

Se $0 < \omega < 1$ significa que há mais zeros que os esperados pela distribuição de *Poisson*, designando-se este modelo por Zero-Inflated *Poisson* (ZIP).

Os EMV dos parâmetros da distribuição ZIP, ω e λ são, respectivamente:

$$\hat{\lambda} = \bar{X}^* - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{j^{j-1}}{j!} (\bar{X}^* e^{-\bar{X}^*})^j,$$

$$\hat{\omega} = \frac{P_0 - e^{-\hat{\lambda}}}{(1 - e^{-\hat{\lambda}})}. \quad (\text{A. 7})$$

Onde \bar{X}^* corresponde à média dos valores não nulos da a.a. e $P_0 = 1 - \frac{\bar{X}}{\bar{X}^*}$ é a proporção de zeros na a.a.

O valor esperado e a variância de uma variável com distribuição *Poisson* modificada são obtidos de acordo com:

$$E[X] = (1 - \omega)\lambda,$$

$$Var[X] = (1 - \omega)(1 - \omega\lambda)\lambda. \quad (\text{A. 8})$$

iii) Distribuição Exponencial, Log-normal e Pareto (Johnson *et al.*, 1994)

A distribuição Exponencial de parâmetro, θ , e a distribuição Log-normal de parâmetros μ e σ são referidas por Garcia (2003) e por Buchberger e Wells (1996a), respectivamente, como as que melhor se ajustam às durações de eventos rectangulares de consumo ao nível de clientes individuais. Para a distribuição Exponencial, com suporte \mathbb{R}^+ , a f.d.p. é definida por:

$$f(y; \theta) = \theta e^{-\theta y}, \theta > 0 \quad (\text{A. 9})$$

O EMV do parâmetro da distribuição Exponencial é dado pela seguinte equação:

$$\hat{\theta} = \frac{1}{\bar{y}} \quad (\text{A. 10})$$

O valor esperado e a variância de uma variável do tipo Exponencial são:

$$\begin{aligned} E[Y] &= \frac{1}{\theta}, \\ \text{Var}[Y] &= \frac{1}{\theta^2}. \end{aligned} \quad (\text{A. 11})$$

Para a distribuição Log-normal, com suporte \mathbb{R}^+ , a f.d.p. é definida por:

$$f(y; \mu, \sigma) = \frac{1}{y\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(\ln y - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (\text{A. 12})$$

Os EMV dos parâmetros da distribuição Log-normal são:

$$\begin{aligned} \hat{\mu} &= \frac{\sum_k \ln y_k}{n}, \\ \hat{\sigma}^2 &= \frac{\sum_k (\ln y_k - \hat{\mu})^2}{n}. \end{aligned} \quad (\text{A. 13})$$

O valor esperado e a variância de uma variável com distribuição Log-normal são:

$$\begin{aligned} E[Y] &= e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}, \\ \text{Var}[Y] &= (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}. \end{aligned} \quad (\text{A. 14})$$

No decurso do trabalho verificou-se, através de testes de ajustamento, que as distribuições Exponencial e Log-normal não se ajustavam adequadamente às durações dos eventos, pelo que foi também estudada a distribuição Pareto, de parâmetros y_m e γ , que têm suporte em $[y_m; +\infty[$ e f.d.p. definida por:

$$f(y) = \frac{\gamma y_m^\gamma}{y^{\gamma+1}}, y > y_m > 0, \gamma > 0 \quad (\text{A. 15})$$

Os EMV dos parâmetros da distribuição Pareto são obtidos de acordo com as seguintes equações:

$$\begin{aligned} \hat{x}_m &= \min_i \{y_i\} \\ \hat{\alpha} &= \frac{n}{\sum_i (\ln y_i - \ln x_m)}. \end{aligned} \quad (\text{A. 16})$$

O valor esperado e a variância de uma variável com distribuição Pareto são:

$$E[Y] = \frac{\alpha x_m}{\alpha - 1},$$

$$\text{Var}[Y] = \left(\frac{x_m}{\alpha-1}\right)^2 \frac{\alpha}{\alpha-2}. \quad (\text{A. 17})$$

Neste trabalho, uma vez que as durações do eventos de consumo se encontram agrupadas (*i.e.*, o passo de tempo entre registos é de 1 min.), os estimadores dos parâmetros das distribuições não possuem uma expressão explícita, e é necessário redefinir a função de verosimilhança,

$$L(\theta_1, \dots, \theta_p | x) = \prod_{i=1}^k (F^+(i) - F^-(i))^{O_i}, \quad (\text{A. 18})$$

em que $F^+(i)$ e $F^-(i)$ correspondem à função distribuição, respectivamente, no extremo superior e no extremo inferior da i -ésima das k classes, O_i é a frequência observada nessa mesma classe, $\theta_1, \dots, \theta_p$ são os parâmetros a serem estimados e x representa a amostra agrupada. Os estimadores dos parâmetros, designados também por estimadores de máxima verosimilhança, são aqueles que maximizarem $L(\theta_1, \dots, \theta_p | x)$.

iv) Mistura de normais (logaritmo das intensidades)(Mclachlan e Peel, 2000)

A f.d.p. de mistura de normais consistiu em ajustar duas normais aos logaritmos dos valores das intensidades dos eventos de consumo. A f.d.p com suporte \mathbb{R} , com parâmetros $p_1, p_2, \mu_1, \mu_2, \sigma_1$ e σ_2 pode ser definida pela seguinte equação:

$$f(z; p_1, p_2, \mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2) = p_1 \cdot f_1(z; \mu_1, \sigma_1) + p_2 \cdot f_2(z; \mu_2, \sigma_2) \quad (\text{A. 19})$$

Onde f_1 e f_2 são f.d.p. normais. Os estimadores dos parâmetros da mistura de normais podem ser obtidos utilizando o algoritmo EM (Expectation-Maximization) (Bilmes, 1998). Este algoritmo encontra-se implementado no *software* R (biblioteca de funções “mixtools”, função `normalmixEM`) e foi utilizado para estimativa dos parâmetros da mistura (Young *et al.*, 2009).

$$E[Z] = p_1\mu_1 + p_2\mu_2 \quad (\text{A. 20})$$

v) Distribuição Weibull (Johnson *et al.*, 1994)

Garcia (2003) verificou que a distribuição Weibull, com parâmetros k e λ , era a que melhor se ajustava às intensidades dos eventos rectangulares de consumo. Esta função tem suporte \mathbb{R}^+ e é definida pela seguinte f.d.p.:

$$f(x; k, \lambda) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0 \end{cases} \quad (\text{A. 21})$$

onde $k > 0$ é o parâmetro de forma e $\lambda > 0$ é o parâmetro de escala da distribuição.

Os estimadores de máxima verosimilhança não têm expressão explícita. O valor esperado e a variância associados a esta distribuição são:

$$E[Z] = \lambda T \left(1 + \frac{1}{k}\right), \quad (\text{A. 22})$$

$$\text{Var}[Z] = \lambda^2 T \left(1 + \frac{2}{k}\right). \quad (\text{A. 23})$$

A1.2 Testes de ajustamento Qui-Quadrado de Pearson (Kendall e Stuart, 1979; Moore, 1986)

Para a realização de testes de ajustamento do Qui-quadrado, a amostra de dados de consumo tem de ser previamente dividida em classes. Para a divisão em classes considerou-se a regra de Sturges ($k = 1 + \log_2 n$) e a regra ($k = \sqrt{n}$)

O teste de ajustamento do Qui-Quadrado de Pearson considera como hipótese nula, H_0 , que os dados seguem uma distribuição teórica particular. A estatística de teste sobre a validade de H_0 , T_{H_0} , é a seguinte:

$$T_{H_0} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \sim \chi_{k-m-1}^2 \quad (\text{A. 24})$$

onde k é o número de classes, O_i é a frequência observada na classe i , E_i é a frequência que se espera pela distribuição especificada na classe i e m é o número de parâmetros estimados. Rejeita-se a hipótese nula ao nível de significância α se o valor observado da estatística de teste for superior ao quantil de probabilidade $(1-\alpha)100\%$. de uma estatística χ^2 com $k-m-1$ graus de liberdade. Os testes foram sempre realizados com a inclusão do valor- p). Este corresponde à probabilidade da estatística de teste tomar um valor igual ou mais extremo do que aquele que é de facto observado, dado que a hipótese nula, H_0 é verdadeira.

Na aplicação do teste Qui-quadrado deve-se ter especial atenção às estimativas das frequências esperadas, E_i , pois valores muito pequenos conduzem a que a estatística de teste apresente valores muito elevados. Deste modo, consideram-se as seguintes regras práticas:

$$\hat{E}_i \geq 1;$$

$$\hat{E}_i \geq 5 \text{ em pelo menos } 80\% \text{ das classes.}$$

Caso estas condições não sejam verificadas, deve proceder-se à agregação de classes e realizar o teste com um número mais reduzido de classes.

A1.3 Análise de *clusters*

A análise de *clusters* tem como objectivo um agrupamento de um conjunto de objectos em grupos ou *clusters*, cujos elementos sejam mais semelhantes ou próximos entre si do que em relação a outros elementos pertencentes a outros grupos. A análise de *clusters* foi utilizada para apoio no estabelecimento dos cenários de consumo. O consumo varia ao longo do dia, da semana e ao longo do ano e a identificação de cenários de consumo permite tipificar o seu comportamento.

As principais fases de uma análise de *clusters* são: i) selecção dos objectos ou variáveis a agrupar e a transformação de variáveis, ii) construção da medida de dissemelhança/semelhança, iii) escolha do método a aplicar aos dados e, iv) discussão e apresentação de resultados. Para mais pormenores sobre o método consultar Branco (2004).

Uma medida de dissemelhança traduz o grau de afastamento ou de divergência entre dois objectos (quanto mais distintos forem maior é dissemelhança entre eles) e uma medida de semelhança mede o grau de proximidade entre objectos (quanto mais parecidos maior é a semelhança entre eles). No caso de variáveis quantitativas, a medida de dissemelhança mais conhecida é a distância euclidiana (a maior parte dos métodos de análise de *clusters* usam algoritmos que operam sobre dissemelhanças). Seja $X = [x_{ij}]$ $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, p$ a dissemelhança entre o objecto i e o objecto j é definida por

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (\text{A. 25})$$

Se as variáveis são medidas em unidades diferentes, se têm variâncias muito diferentes ou ainda se são correlacionadas, esta medida de dissemelhança pode não fornecer resultados satisfatórios. Neste sentido podem ser usadas diversas variantes da distância euclidiana tais como a distância euclidiana média, estandardizada ou ponderada.

O agrupamento em *clusters* pode ser obtido através de métodos hierárquicos ou de métodos não hierárquicos. Os primeiros dividem-se em procedimentos aglomerativos e divisivos. Dos métodos não hierárquicos, os que mais se distinguem são os métodos de partição.

Utilizaram-se neste estudo os procedimentos hierárquicos aglomerativos, onde inicialmente existem n *clusters*, cada um contendo um objecto, que vão sendo unidos os que estão mais próximos até se ter um *cluster* com n elementos. O procedimento aglomerativo, comum a todos os métodos utilizados segue os seguintes passos:

1. Inicia-se considerando os n objectos como n grupos individuais. A matriz de dissemelhanças $D = \llbracket d_{ij} \rrbracket$, onde d_{ij} é a dissemelhança entre os objectos i e j , representa as dissemelhanças entre os grupos.
2. Procura-se o valor mais pequeno da matriz D que identifica os grupos mais próximos. Sejam esses grupos A e B e d_{AB} a dissemelhança entre eles.
3. Une-se A e B , formando um novo cluster (AB), e actualiza-se D eliminando as linhas e colunas correspondentes a A e B e introduzindo-se nova linha e coluna para (AB) com as dissemelhanças aos restantes *clusters*.
4. Repete-se, $n-1$ vezes os passos 2 e 3 até se ter apenas 1 cluster, que vai incluir todos os objectos.

No passo 3, define-se a distância (dissemelhança) entre dois grupos, que equivale a determinar o método hierárquico aglomerativo que lhe fica associado. No estudo testaram-se vários métodos aglomerativos, apresentando-se os resultados para o método de ligação média. De acordo com Branco (2004) trata-se de um método relativamente robusto.

Os algoritmos aglomerativos partem de n objectos iniciais, encarados como grupos com um só objecto, e vão formando novos grupos por aglutinação sucessiva de grupos formados anteriormente. Para evidenciar os sucessivos grupos que se vão formando a longo do processo hierárquico utilizam-se os dendrogramas, também conhecidos por diagramas de árvore, onde os nós internos representam os *clusters* e a altura dos troncos indicam a distância a que os *clusters* se ligam. Alturas pequenas indicam que a aglutinação é feita entre *clusters* razoavelmente homogéneos.

Utilizou-se para análise o *software* de análise estatística STATISTICA®.

A1.4 Análise em componentes principais

A análise em componentes principais foi utilizada para reduzir o número de variáveis a relacionar com o consumo e teve por base a matriz de correlações uma vez que as variáveis possuíam escalas diferentes.

Este método de análise multivariada parte de p variáveis iniciais, X_1, \dots, X_p observadas num conjunto de n objectos e encontra p combinações lineares, Y_1, \dots, Y_n , em que

$$Y_i = a_{i1}X_1 + \dots + a_{ip}X_p \quad (\text{A. 26})$$

Sendo os coeficientes a_{ij} os pesos ou *loadings*. Não são correlacionadas entre si. A inexistência de correlação significativa significa que as novas variáveis medem diferentes dimensões da estrutura de dados, sendo em muitos casos possível interpretar essas dimensões, atribuindo significado físico. As novas variáveis chamam-se Componentes Principais e são construídas de tal forma que aparece ordenadas segundo a magnitude da sua variância, isto é

$$\text{var}Y_1 \geq \text{var}Y_2 \geq \dots \geq \text{var}Y_n \quad (\text{A. 27})$$

Através da análise em componentes principais espera-se que a variância de muitas das novas variáveis, ou componentes principais, sejam tão pequenas que possam ser desprezadas sem que a variabilidade total do sistema inicial de p variáveis fique significativamente reduzida. De forma a garantir que numa segunda análise de mantenham os mesmos factores, a amostra deve ser suficientemente grande, tendo-se adoptado como critério indicativo que o quociente n/p seja superior a 5.

Descreve-se seguidamente o algoritmo da análise em Componentes principais normada que tem por base matrizes X de dados originais, de dimensão (n,p) que representam os valores tomados por p propriedades em n indivíduos. Para mais pormenores sobre o método consultar Rencher (2002).

1. Transformação da matriz dos dados originais, tornando as variáveis adimensionais com média nula e variância unitária, dado que estas apresentam unidades de medida diferentes:

$$x_{ij} = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{q_{ij} - \bar{q}_j}{s_j} \quad (\text{A. 28})$$

em que x_{ij} é a valor é valor tomado pela variável propriedade (propriedade) j no caso (amostra) i , q_{ij} é valor tomado pela j -ésima variável no indivíduo i , \bar{q}_j é a média aritmética dos valores tomados pelas variável j e s_j e o desvio-padrão da variável j .

2. Cálculo da matriz de correlação R , cujo elemento genérico é dado por:

$$r_{jj'} = \sum_{i=1}^n x_{ij} x_{ij'} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(q_{ij} - \bar{q}_j)(q_{ij'} - \bar{q}_{j'})}{s_j s_{j'}} \quad (\text{A. 29})$$

em que $r_{jj'}$ é o coeficiente de correlação entre as variáveis j e j' .

3. Diagonalização da matriz de correlações de que resultam p valores próprios λ_α e p valores vectores próprios u_α :

4. Cálculo das coordenadas das variáveis nos eixos factoriais, dadas por:

$$f_{j\alpha} = \sum_{i=1}^n x_{ij} v_{i\alpha} \quad (\text{A. 30})$$

5. Cálculo das projecções dos indivíduos nos eixos factoriais, dadas por:

$$W_{i\alpha} = \sum_{j=1}^p x_{ij} u_{j\alpha} \quad (\text{A. 31})$$

6. Selecção da dimensão do sub-espço, cuja inércia acumulada explique uma percentagem suficiente da inércia total.

7. Projecção eventual de indivíduos e variáveis em suplementar.

8. Interpretação de resultados.

Para o estabelecimento do número de eixos α a reter tiveram-se em conta dois critérios principais. O número de eixos deve ser tal que $\lambda_\alpha \geq 1$ e percentagem de inércia total explicada superior a 80%.

A1.5 Modelos de regressão linear

A aplicação dos modelos de regressão linear envolve duas etapas principais: i) selecção das variáveis explicativas (também designadas por variáveis independentes ou preditoras), ii) diagnóstico do modelo. No caso da regressão linear simples, existe apenas uma variável explicativa e não é necessário realizar a primeira etapa. A segunda etapa tem como objectivo avaliar se o modelo é adequado para os dados existentes (Neter *et al.*, 1996).

Suponha-se que se tem n observações de uma variável aleatória Y e também n observações de um conjunto de $p-1$ variáveis, X (tipicamente não aleatórias), e que a variável Y_i , $i=1, \dots, n$, pode ser escrita como combinação linear (nos parâmetros $\beta_0, \dots, \beta_{p-1}$) das variáveis X mais um termo aleatório, $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$, isto é:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \quad (\text{A. 32})$$

onde:

Y_i é a variável (aleatória resposta associada à i -ésima prova.

$X_{i1}, \dots, X_{i,p-1}$ são constantes conhecidas, designando o valor da variável explicativa na i -ésima prova.

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}$ são os parâmetros.

ε_i é um termo independente aleatório do erro, com valor médio $E(\varepsilon_i)=0$, variância $\text{Var}(\varepsilon_i)=\sigma^2$.

Como etapas preliminares pode ser necessário transformar variáveis qualitativas em variáveis quantitativas, como seja através de variáveis indicadoras que tomem o valor 0 ou 1. Por outro lado, a visualização gráfica de relações entre a variável independente e cada variável dependente, permiti avaliar se o tipo de relação é do tipo linear ou não. A não linearidade obriga a aplicar transformações às variáveis dependentes ou independente, para que o modelo de regressão linear fosse aplicável.

Para a selecção das variáveis explicativas deve começar-se por analisar a matriz de correlações. Nos casos em que o número de variáveis é muito elevado (como ordem de grandeza, o número de casos deve ser 5 vezes superior ao número de variáveis explicativas) podem utilizar-se métodos que seleccionam de forma automática as variáveis mais relevantes (*e.g.*, método progressivo – *forward*, método regressivo – *backward*).

O diagnóstico do modelo de regressão linear pressupõe a verificação de um conjunto de pressupostos, assim a avaliação da adequabilidade do modelo aos dados. Seguidamente apresentam-se os pressupostos relativos aos resíduos:

- normalidade dos resíduos, isto é, $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$, onde $N(0, \sigma^2)$ representa simbolicamente a distribuição normal com valor médio nulo e variância σ^2 ;
- variância dos resíduos é constante (homocedasticidade dos resíduos);
- resíduos não correlacionados, isto é, $\sigma(\varepsilon_i, \varepsilon_j)=0$, ($\forall i, j; i \neq j$) e $i=1, \dots, n$;

Adicionalmente, as variáveis explicativas devem ser não correlacionadas (hipótese de ausência de multicolinearidade entre as variáveis explicativas).

Normalidade do erro aleatório

A normalidade dos resíduos pode ser avaliada de várias formas, como seja a partir dos testes Qui-quadrado de Pearson ou do teste de Kolmogorov-Smirnov (Guimarães e Sarsfield Cabral, 1999). Esta condição pode ser também verificada através de gráficos de

probabilidade normal, utilizados neste caso para avaliar a proximidade da distribuição dos dados relativamente à distribuição normal.

Variância dos resíduos constante

A análise de covariância nula ou da não autocorrelação (ρ) dos resíduos pode ser feita através do teste de Durbin-Watson, cujas hipóteses alternativas são:

$H_0: \rho = 0$, existe independência

$H_a: \rho \neq 0$, não existe independência

Calcula-se a estatística de Durbin-Watson e compara-se com os valores críticos da tabela de Durbin-Watson, d_l e d_u (Neter *et al.*, 1996).

Outro aspecto importante na fase de diagnóstico do modelo é a identificação de observações anómalas ou extremas. Estas observações podem influenciar o modelo, designando neste caso por influentes. Assim, uma observação é influente se a sua exclusão do modelo causar alterações significativas no modelo de regressão (Neter *et al.*, 1996). No entanto, as observações anómalas podem conter informação importante e apenas são eliminadas quando existem razões evidentes para concluir se resultam de erros no processo de medição, de situações de mau funcionamento da rede, *etc.*

Uma das medidas para identificar observações anómalas influentes é a distância de Cook, utilizada neste trabalho. A comparação da distância de Cook com o valor da distribuição $F(p, n - p)$, para o percentil 50, permite identificar as observações que são influentes (Neter *et al.*, 1996).

A eliminação sucessiva de dados anómalos influentes reduz o número de casos para análise e pode não resolver os problemas identificados, nomeadamente a normalidade dos erros. Uma alternativa, que sai fora do âmbito deste trabalho, consiste em amortecer a sua influência de dados anómalos através da aplicação de métodos de regressão robusta que permitem atenuar a influência destes dados. No presente estudo é feita apenas a identificação dos dados influentes.

Para avaliar a qualidade do ajustamento podem utilizar-se medidas absolutas e relativas. Como medidas absolutas obtém-se o desvio-padrão dos parâmetros do modelo e como medidas relativas obtém-se o coeficiente de correlação R de Pearson, o coeficiente de determinação R^2 e o coeficiente de determinação ajustado R_a^2 .

A qualidade do ajustamento deve também ser analisada através de testes que validam, quer o modelo global obtido, quer os parâmetros do modelo.

Para testar se existe um modelo de regressão entre a variável Y e o conjunto de $p-1$ variáveis X_1, \dots, X_{p-1} as hipóteses alternativas são:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{p-1} = 0$$

$$H_a: \text{nem todos os } \beta_k (k = 1, \dots, p - 1) \text{ são iguais a zero} \quad (\text{A. 33})$$

A estatística de teste F^* segue uma distribuição F . Se F^* for maior que o percentil $1-\alpha$ da distribuição F , com parâmetros $p-1$, $n-p$ rejeita-se H_0 . Isto significa que o conjunto de variáveis explicativas contribui pouco para a explicação da variação da variável dependente.

Ocasionalmente, uma variável explicativa particular X_i pode não ser muito útil, isto é, a sua influência sobre a variável dependente não é significativa. Para saber se é este o caso, testa-se a hipótese nula de que o coeficiente para esta variável é nulo:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_a: \beta_i \neq 0 \quad (\text{A. 34})$$

A estatística t^* segue uma distribuição t -Student. Se t^* for maior que o percentil $1-\alpha$ da distribuição t -Student, com parâmetros $n-p$ rejeita-se H_0 . Se a hipótese nula for rejeitada então tem-se evidência de que $\beta_i \neq 0$, isto é, a variável explicativa X_i é útil na predição do valor da variável dependente. Se a hipótese nula não for rejeitada então a variável explicativa X_i é geralmente retirada da equação de regressão pois não influencia significativamente a variável resposta Y . Para aplicação dos métodos de regressão linear utilizou-se o *software* STATISTICA.

A1.6 Árvores de decisão

Para classificação da variação diária do consumo horário em ZMC, utilizou-se o método das árvores de decisão como exemplo de método de classificação. Este método foi implementado no *software* R, através da biblioteca de funções *rpart*. Para mais informação sobre o uso desta biblioteca consultar Therneau e Atkinson (1997). O método das árvores de decisão é uma técnica de análise de dados que produz resultados de fácil visualização e interpretação. Para mais detalhes sobre este método de classificação consultar Tan *et al.* (2006) e Breiman *et al.* (1984).

ANEXO 2 - VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Objectivo

Descreve-se neste Anexo o conjunto de variáveis calculadas, assim como os dados necessários a partir dos Censos.

Quadro A 1 – Variáveis sócio-demográficas: edificado

<i>Variável</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Dados dos Censos</i>
Vetustez 1 (edifícios construídos antes de 1970)	$\frac{E1919 + E1945 + E1960 + E1970}{TTE}$	TTE - Total de edifícios E1919 - Edifícios construídos antes de 1919 E1945 - Edifícios construídos entre 1919 e 1945 E1960 - Edifícios construídos entre 1946 e 1960 E1970 - Edifícios construídos entre 1961 e 1970
Vetustez 2 (edifícios construídos entre 1971 e 1990)	$\frac{E1980 + E1985 + E1990}{TTE}$	E1980 - Edifícios construídos entre 1971 e 1980 E1985 - Edifícios construídos entre 1981 e 1985 E1990 - Edifícios construídos entre 1986 e 1990
Vetustez 3 (edifícios construídos entre 1991 e 2001)	$\frac{E1995 + E2001}{TTE}$	E1995 - Edifícios construídos entre 1991 e 1995 E2001 - Edifícios construídos entre 1996 e 2001
Edifícios com 1-2 pisos	$\frac{PV2}{TTE}$	PV2 – Edifícios com 1-2 pisos
Edifícios com 3-4 pisos	$\frac{PV4}{TTE}$	PV4 – Edifícios com 3-4 pisos
Edifícios com 5 pisos ou mais	$\frac{PV5}{TTE}$	PV5 – edifícios com 5 ou mais pisos

Quadro A 2 – Variáveis sócio-demográficas: indivíduos residentes

<i>Descrição</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Dados dos Censos</i>
Idosos	$\frac{HR65 + MR65}{TTR}$	HR65 – Homens residentes com 65 ou mais anos MR65 – Mulheres residentes com 65 ou mais anos TTR – Total de indivíduos residentes
Permanência em casa	$\frac{IR_PR + IR_SAC}{TTR}$	IR_PR – Indivíduos residentes pensionistas ou reformados IR_SAC – Indivíduos residentes sem actividade económica
Mobilidade social	$\frac{IRQA_300 + IRQA_400}{TTR}$	IRQA_300 – Indivíduos residentes com um curso médio completo IRQA_400 – Indivíduos residentes com um curso superior completo
Mobilidade económica	$\frac{IR_ST + IR_EP}{TTR}$	IR_ST – Indivíduos residentes empregados no sector terciário

		IR_EP – Indivíduos residentes empregados
Escolaridade obrigatória	$\frac{IRQA_{110} + IRQA_{120} + IRQA_{130}}{TTR}$	IRQA_110 – Indivíduos residentes com o 1º ciclo do ensino básico completo IRQA_120 – Indivíduos residentes com o 2º ciclo do ensino básico completo IRQA_130 – Indivíduos residentes com o 3º ciclo do ensino básico completo
Indivíduos que trabalham ou estudam no concelho	$\frac{IR_TCR + IR_ECRP}{TTR}$	IRP_TCR – Indivíduos residentes presentes a trabalharem no concelho de residência IRP_ECR – Indivíduos residentes presentes a estudarem no concelho de residência

Quadro A 3 – Variáveis sócio-demográficas: famílias

<i>Descrição</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Dados dos Censos</i>
Famílias com indivíduos com menos de 15 anos	$\frac{FCPME15}{TTFC}$	FCPME15 – Famílias clássicas com pessoas com menos de 15 anos TTFC – Total de famílias clássicas
Famílias com desempregados	$\frac{FCD_0}{TTFC}$	FCD_0 – Famílias clássicas sem desempregados
Famílias com 1-2 elementos	$\frac{FCR1_2}{TTFC}$	FCR1_2 – Famílias clássicas com 1-2 pessoas
Famílias com 3-4 elementos	$\frac{FCR3_4}{TTFC}$	FCR3_4 – Famílias clássicas com 3-4 pessoas
Famílias com mais de 5 elementos	$1 - \left(\frac{FCR1_2}{TTFC} + \frac{FCR3_4}{TTFC} \right)$	-
Famílias com indivíduos com mais de 65 anos	$\frac{FCPMA65}{TTFC}$	FCPMA65 – Famílias clássicas com pessoas com 65 ou mais anos

ANEXO 3 - CAMPANHA PRELIMINAR

Objectivo

A realização de campanhas preliminares, de curta duração, no módulo sobre selecção dos casos de estudo, dos equipamentos e sistemas de telemetria tem como objectivo obter um melhor conhecimento sobre os consumos reais que ocorrem, apoiando no dimensionamento dos contadores, e testar as características e aplicabilidade do equipamento de telemetria existente aos objectivos do estudo. A campanha a que se refere este anexo foi realizada no âmbito da análise de consumos domésticos nocturnos para avaliação das perdas de água (Capítulo 7).

Do ponto de vista metodológico, a abordagem adoptada pode ser facilmente adaptada a outras situações que requeiram a elaboração de campanhas preliminares. Envolveu a colaboração da empresa Contar, Lda., responsável pelo desenvolvimento e fornecimento de sistemas de telemetria. A campanha teve uma duração total de 1 mês e foi realizado na área de estudo FN-s.

Equipamento

O contador foi instalado no arruamento, junto ao passeio, e destinava-se à medição do consumo em 32 clientes na área de estudo FN-s . Foi instalado um contador volumétrico Janz (modelo MSV 3525), com um diâmetro nominal de 25 mm ($Q_{min}=26,25$ l/h, $Q_t=40,25$ l/h, $Q_n=3,5$ m³/h, $Q_{max}=7$ m³/h). A jusante do contador foi também instalado um sensor de pressão. Os emissores de impulsos eram do tipo *Reed*, com uma resolução de 1 impulso/l. Foram testados dois tipos de *dataloggers*, um com aquisição de dados por tempo fixo e outro com aquisição de dados por tempo entre impulsos.

O *datalogger* Contar MS-log Water (*datalogger* com aquisição de dados por tempo fixo) usava 2 canais (digital a analógico) para adquirir dados de pressão e de consumo com capacidade de 100000 registos por canal. O passo de tempo adoptado foi de 1 min.

No *datalogger* Contar MS-log Pulse time (*datalogger* com aquisição de dados por tempo entre impulsos) apenas se utilizou o canal digital (para medição de consumo) com capacidade para 170000 registos. Este *datalogger* permite recolher dados com uma frequência máxima de 50Hz (*i.e.*, permite reportar até 50 eventos por segundo).

A Figura A 1 localiza a área de estudo FN-s e apresenta o equipamento instalado.

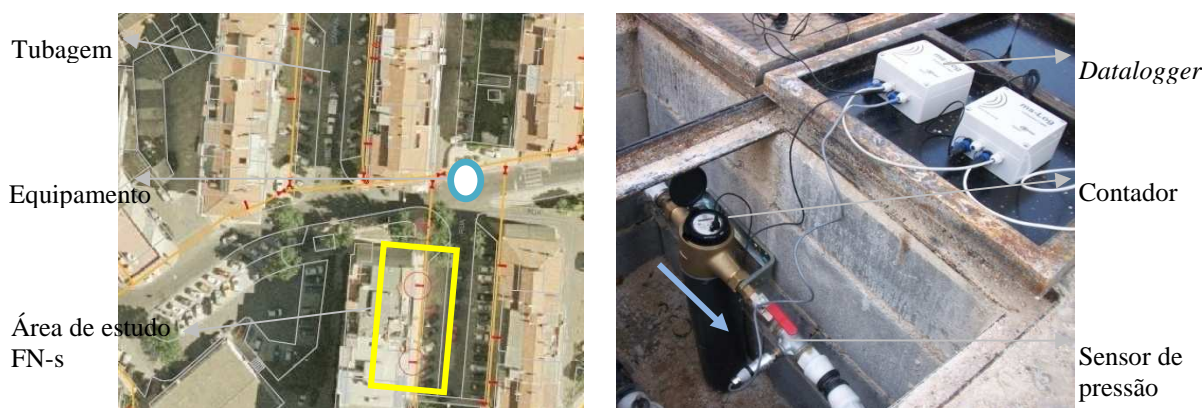


Figura A 1 – Área de estudo FN-s: a) localização do equipamento, b) equipamento instalado na pré-campanha.

Recolha de dados

Os dados do *datalogger* Contar MS-log Water foram enviados remotamente via GSM e descarregados a partir do sítio www.contar.pt/amr. Dados o elevado volume de informação recolhido pelo *datalogger* Contar MS-log Pulse time, os dados eram descarregados localmente.

O Quadro F 1 apresenta exemplos dos ficheiros de dados recolhidos por tempo entre impulsos e por tempo fixo.

Quadro F 1 – Exemplos de ficheiros de dados recolhidos.

Aquisição de dados de consumo por tempo entre impulsos			Aquisição de dados de consumo por tempo fixo (passo de tempo = 1 min.)	
Data e hora de início	Tempo (s)	Impulso (l)	Data e hora	Consumo (l/h)
22-09-2007 0:00	40,79	1	22-09-2007 0:00	60
22-09-2007 0:01	13,2	1	22-09-2007 0:01	180
22-09-2007 0:01	12,32	1	22-09-2007 0:02	300
22-09-2007 0:01	30,47	1	22-09-2007 0:03	60
22-09-2007 0:02	12,23	1	22-09-2007 0:04	60
22-09-2007 0:02	8,61	1	22-09-2007 0:05	180
22-09-2007 0:02	7,67	1	22-09-2007 0:06	120
22-09-2007 0:02	7,77	1	22-09-2007 0:07	180
22-09-2007 0:02	14,6	1	22-09-2007 0:08	60
22-09-2007 0:02	59,96	1	22-09-2007 0:09	0
22-09-2007 0:03	50,84	1	22-09-2007 0:10	60
22-09-2007 0:04	35,69	1	22-09-2007 0:11	480
22-09-2007 0:05	14,77	1	22-09-2007 0:12	0

No caso da aquisição de dados de consumo por tempo entre impulsos sabe-se exactamente o tempo que demorou a ocorrer um dado impulso, por oposição à aquisição de dados por tempo fixo. No caso da aquisição de dados de consumo por tempo entre impulsos, para uma resolução de 1 l/impulso, a leitura de um consumo máximo de 7500 l/h requer que a frequência de leitura seja pelo menos de 2Hz (*i.e.*, 2 eventos por segundo), o que neste caso estava garantido dado que a frequência máxima era de 50 Hz (*i.e.*, 50 eventos por segundo).

A análise de dados obtidos a partir dos dois *dataloggers* incidiu sobre três aspectos principais: consumo mínimo, consumo máximo e volume de informação armazenada. A análise comparativa foi feita para o período entre 22-09-2007 e 04-10-2009.

Resultados

Verificou-se que o *consumo mínimo* obtido por tempo entre impulsos era reduzido, mas variável entre 4 l/h e 52 l/h (Figura A 2a). Comparando estes valores com as características metrológicas do contador, em que $Q_{min}=26,25$ l/h, verifica-se que a medição do consumo mínimo pode estar associada a uma incerteza elevada. Uma vez que o consumo mínimo é utilizado para identificar possíveis perdas de água que são deduzidas ao consumo total medido, é importante uma medição fiável nesta gama de valores, pelo que o contador a ser seleccionado deve apresentar um valor de consumo mínimo mais reduzido. No caso da aquisição por tempo fixo, valores abaixo de 60 l/h não são registados, pelo que o consumo mínimo foi sempre nulo ao longo da campanha. Adoptando este tipo de *datalogger*, verifica-se que com uma resolução de 1 impulso/l não é possível obter uma descrição pormenorizada dos consumos mínimos, pelo que uma resolução superior é recomendada (*e.g.*, 1 impulso/0,1 l).

Verificou-se que o *consumo máximo*, obtido a partir do *datalogger* com aquisição de dados por tempo fixo, não excedeu 4140 l/h (Figura A 2b). Comparando com os valores obtidos por tempo entre impulsos, para o período em que existem registos nos dois *dataloggers*, verifica-se que houve em média um decréscimo de 40% no consumo máximo obtido por tempo fixo. Estes eventos têm uma duração inferior a um minuto e a intensidade é amortecida ao se considerar um passo de aquisição de 1 min. Reduzindo o passo de tempo de aquisição para 1 s permitiria uma melhor aproximação ao consumo máximo. No entanto, dado o objectivo do estudo, centrado no estudo dos consumos nocturnos, não é crítica a diferença obtida em termos do consumo máximo.

Embora a campanha tenha tido uma curta duração, verificou-se também que os valores máximos obtidos são inferiores ao consumo máximo do contador ($Q_{max} = 7000$ l/h), assim como ao valor de projecto no caso de instalações prediais de 14400 l/h. Este resultado, ainda que preliminar, indica que a ocorrência de consumos iguais ou superiores a 7000 l/h, capazes de afectar o funcionamento mecânico do contador, é reduzida.

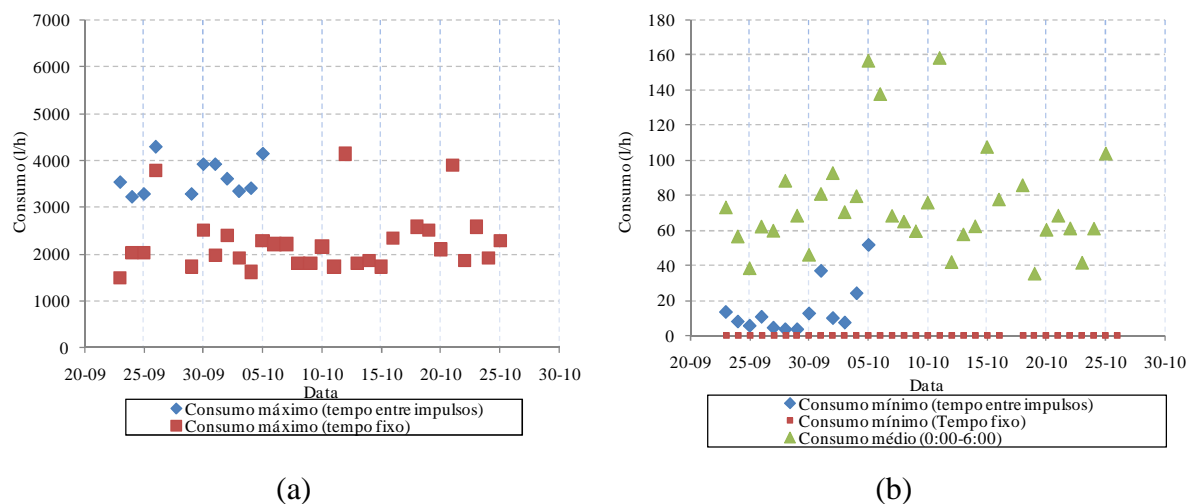


Figura A 2 – Dados de consumo obtidos com aquisição de dados por tempo fixo e por tempo entre impulsos: a) consumo mínimo, b) consumo máximo

No caso da aquisição por tempo entre impulsos, o volume de informação recolhido foi cerca de 4 vezes superior à aquisição de dados por tempo fixo, razão pela qual a recolha de dados neste *datalogger* foi feita localmente e não remotamente. Durante a campanha preliminar não se registaram problemas de comunicação. A Figura A 3 apresenta um exemplo do histórico de dados de consumo e de pressão recolhidos a partir dos dois *dataloggers*.

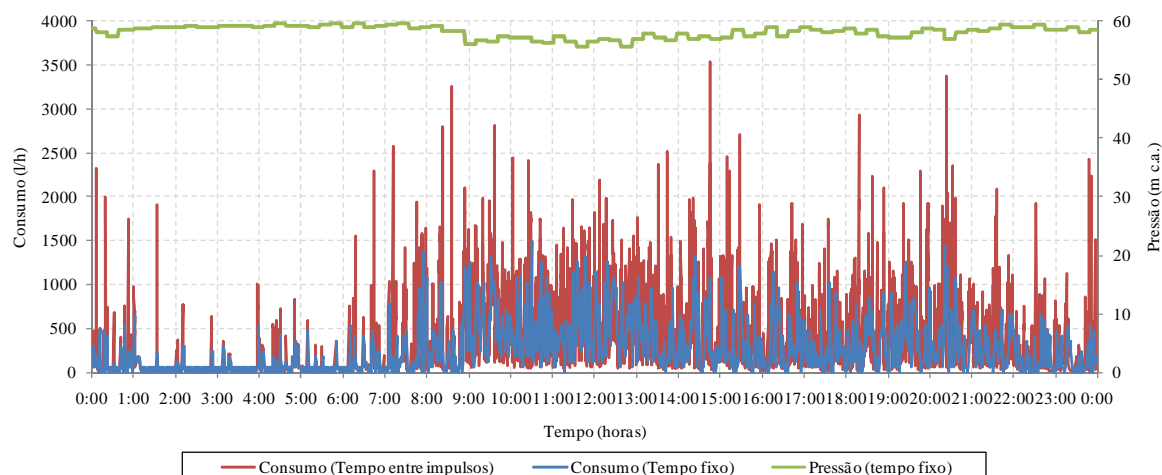


Figura A 3– Dados de consumo e de pressão em 22-09-2007 na área de estudo FN-s.

ANEXO 4 - CAMPANHA PARA ESTIMATIVA DE PERDAS DE ÁGUA

Objectivo

Esta campanha foi realizada no âmbito do caso de estudo 2 (Capítulo 7), para poder diferenciar a componente de perdas a jusante de cada contador domiciliário das perdas que ocorrem a jusante destes e que são devidas a perdas na rede pública (*i.e.*, perdas na condutas e perdas em ramais). Esta campanha insere-se na etapa de combinação de dados do Módulo 2 da metodologia geral proposta e foi executada pelos SMAS de Oeiras e Amadora na zona de estudo NO-s e ZA-s. Nesta zona, a conduta da rede de distribuição tem um comprimento de 429 m e inclui 24 ramais. Foi também a zona de estudo onde as perdas estimadas eram mais elevadas. Na zona ZA-s, a conduta da rede de distribuição tem um comprimento de 59 m e inclui 4 ramais.

Descrição da campanha

Na **zona NO-s**, a campanha consistiu, numa primeira fase, em fechar todos os ramais (durante cerca de 20 min.) para detectar eventuais perdas na conduta da rede de distribuição. Numa segunda fase, abriu-se de forma alternada cada um dos ramais durante cerca de 5 min. A campanha decorreu entre as 2:00 e as 4:41 do dia 24 de Junho de 2010 (Figura A 4). Os dados de consumo telemedido referem-se a um passo de tempo de 5 min. e não a um passo de 1 min. como seria desejável. Este alteração foi devida a problemas de configuração no sistema de telemetria.

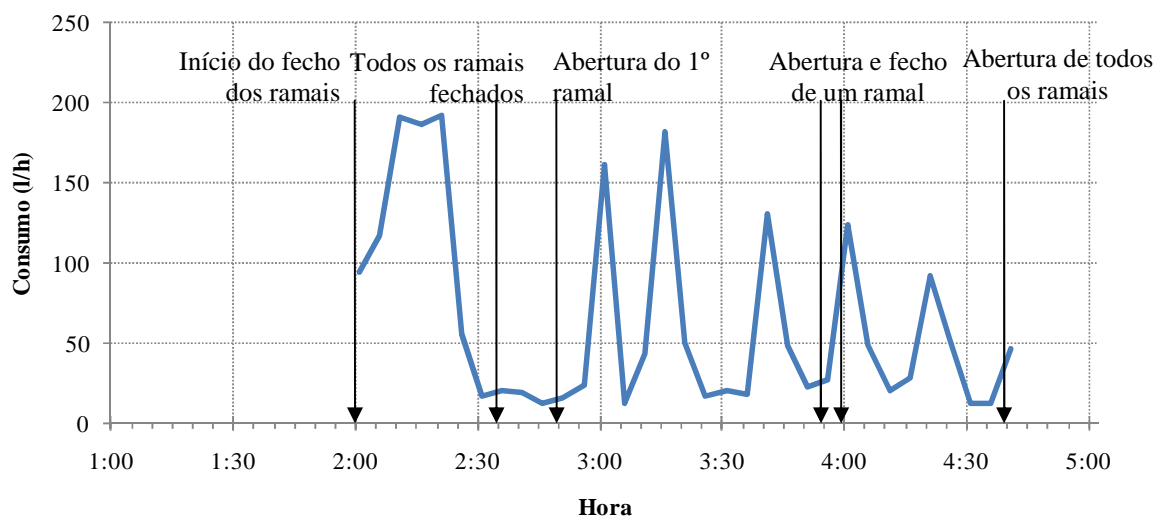


Figura A 4 - Diagrama da série de consumo durante a campanha na zona NO-s

Na **zona ZA-s**, a campanha consistiu, numa primeira fase, em fechar todos os ramais da zona de estudo durante ~30 min., seguido de abertura alternada de cada ramal durante 15 min. A campanha decorreu entre as 3:04 e as 4:54 do dia 17-06-2010.

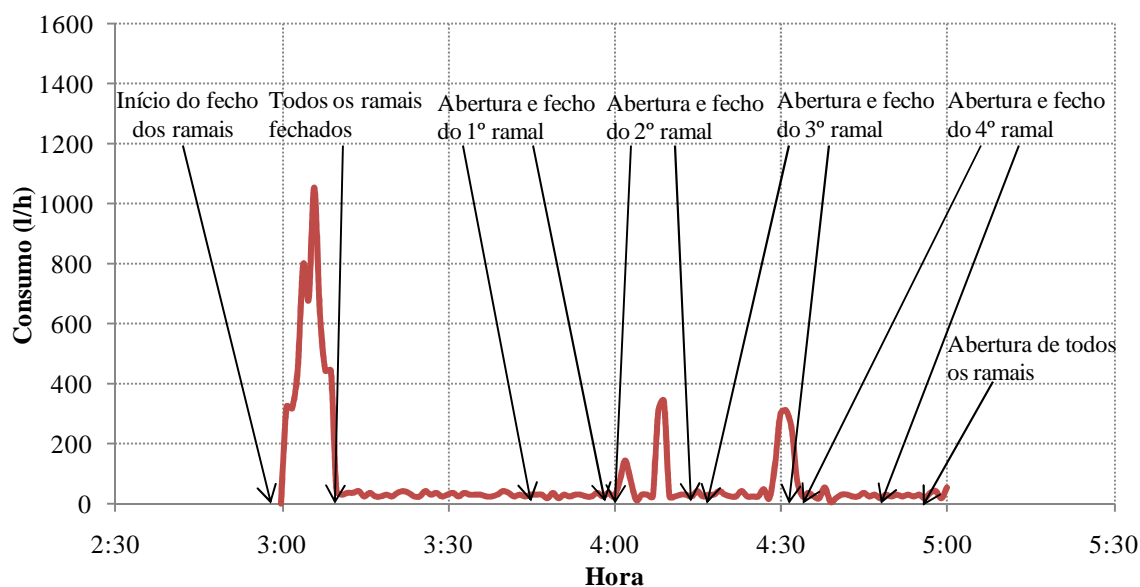


Figura A 5 - Diagrama da série de consumo durante a campanha na zona ZA-s

Resultados

Para a **zona NO-s**, com todos os ramais fechados, verificou-se que o consumo mínimo era de 13,2 l/h. Considerando que este valor de consumo mínimo se refere a perdas físicas na conduta e nos ramais, tem-se que este valor é inferior ao valor de 38,6 l/h estimado pelo BABE⁴⁸ (Lambert, 1994; Morrison *et al.*, 2007), para redes em bom estado (com uma pressão média de 50 m c.a.).

Deduzindo este valor de consumo mínimo aos registos de consumo obtidos durante a fase de abertura alternada cada ramal, tem-se as perdas físicas que ocorrem no ramal de ligação ao prédio, na rede predial e na rede domiciliária (admitindo que durante a fase de abertura não houve consumo devido a usos domiciliários) (Figura A 6). Neste caso, uma vez que o contador domiciliário se localiza no muro de cada propriedade, as perdas no ramal de ligação ao prédio, na rede predial e na rede domiciliária ocorrem a jusante deste contador.

⁴⁸ Para uma infra-estrutura em boas condições e para uma pressão média de 50 m c.a. tem-se que as perdas de base em l/h podem ser estimadas de acordo com $0,02 \times \text{metros de conduta} + 1,25 \times \text{n.º de ramais} + 0,033 \times \text{comprimento de conduta privada (ramal de ligação ao prédio e rede predial)} + 0,25 \times \text{n.º de clientes}$.

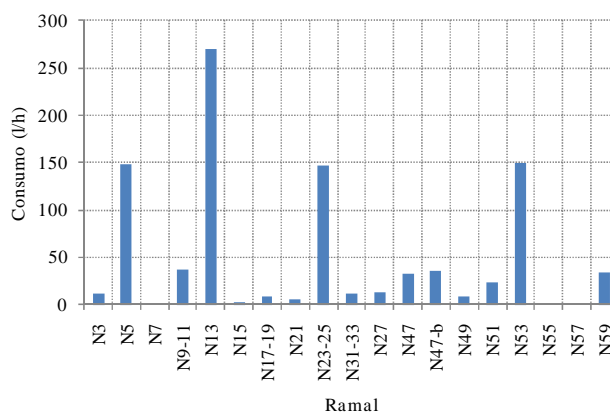


Figura A 6 – Consumo médio em cada ramal da zona NO-s

Verifica-se que o consumo em cada ramal é variável e que nalguns casos, como no N5, N13, N23-25 e N53 o consumo foi elevado (≥ 150 l/h), indicativo de ter havido nestes ramais consumo efectivo no período em que o ramal esteve aberto. Considerando apenas os ramais com consumo mais baixo (< 10 l/h) - N7, N15, N17-N19, N21, N49, N55 e N57 tem-se que o respectivo consumo médio é de 3,7 l/h. No que se refere aos restantes ramais não foi possível obter informação, uma vez que os dados recolhidos com um passo de tempo de 5 min. não permitem diferenciar as perdas dos consumos efectivos durante a abertura de cada ramal.

Comparando este valor com o estimado pelo BABE de 0,58 l/h para perdas na rede privada e domiciliária verifica-se que é bastante superior. Esta zona caracteriza-se por vivendas com espaços ajardinados onde os ramais de ligação (enterrados) com maior comprimento ou em pior estado de conservação podem contribuir para o aumento das perdas reais a jusante dos contadores domiciliários. Por outro lado, o mau funcionamento de certos dispositivos, como seja autoclismos, ou a existência de reservatórios domiciliários podem originar valores de consumos muito reduzidos e de longa duração.

Na **zona ZA-s**, após fechamento de todos os ramais, o consumo mínimo era de 24 l/h, valor que era superior ao valor estimado de acordo com BABE⁴⁹ (Lambert, 1994; Morrison *et al.*, 2007), para perdas nas condutas e ramais em redes em bom estado (com uma pressão média de 50 m c.a.) – 6 l/h. Deduzindo o valor de consumo mínimo obtido (24 l/h) ao

⁴⁹ Para uma infra-estrutura em boas condições e para uma pressão média de 50 m c.a. tem-se que as perdas de base em l/h podem ser estimadas de acordo com $0,02 \times \text{metros de conduta} + 1,25 \times \text{n.º de ramais} + 0,033 \times \text{comprimento de conduta privada (ramal de ligação ao prédio e rede predial)} + 0,25 \times \text{n.º de clientes}$.

consumo registado no período em que cada ramal esteve aberto, concluiu-se que as perdas na rede predial e domiciliária eram desprezáveis.