

LNES LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

EK

Processos de pré-oxidação e de desinfecção

Maria João Rosa
Margarida Campinas
Elsa Mesquita

Encontro APDA | Processos de oxidação e desinfecção da água para consumo humano e aplicação do regulamento de biocidas

Audatório APA-Amadora | 6 maio 2014

LNES LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

Pré-oxidar e desinfetar a água porquê?

Benefícios vs. desvantagens?

Estratégias a adotar?

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNES | 2

Processos de pré-oxidação e de desinfecção

1. Oxidação química no tratamento de água para consumo humano
2. Agentes biológicos resistentes à oxidação química (FR) e subprodutos da oxidação química (OBP)
3. Estratégias de controlo de FR e OBP

LNES LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNES | 3

Processos de pré-oxidação e de desinfecção

1. Oxidação química no tratamento de água para consumo humano
2. Agentes biológicos resistentes à oxidação química (FR) e subprodutos da oxidação química (OBP)
3. Estratégias de controlo de FR e OBP

Pré-oxidar e desinfetar a água porquê?

LNES LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNES | 4

1. Oxidação química no tratamento de água

⇒ Remoção de espécies inorgânicas (Fe^{2+} , Mn^{2+} , sulfuretos) e de compostos orgânicos sintéticos (e.g., pesticidas, fármacos e outros desreguladores endócrinos)

⇒ Remoção de compostos que conferem cor, cheiro e sabor

⇒ Otimização do desempenho de algumas etapas do tratamento (e.g., coagulação, filtração) e diminuição da dose de coagulante

⇒ Desinfecção → f (tipo e concentração do oxidante, tempo de contacto, matriz da água)

- Formação de subprodutos com potencial carcinogénico
- Formação de produtos que sustentam a proliferação de microorganismos durante o transporte de água
- Ressorubilização de $Mn(II)$ ⇒ água rosa

Cloro, Ozono,
Dióxido de Cloro, Permanganato
de Potássio, Cloraminas,
Oxigénio, Peróxido de Hidrogénio,
(...)

LNES LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNES | 5

1. Oxidação química no tratamento de água

Esquema de ETA convencional – origem subterrânea

Oxidante tário / arejamento

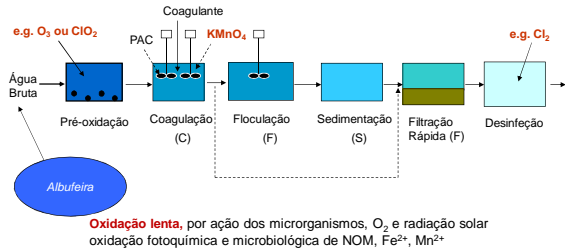
LNES LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNES | 6

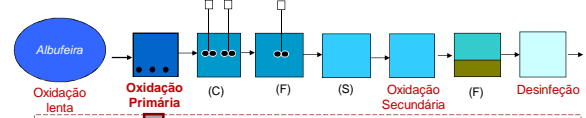
1. Oxidação química no tratamento de água

Esquema de ETA convencional – origem superficial



1. Oxidação química no tratamento de água

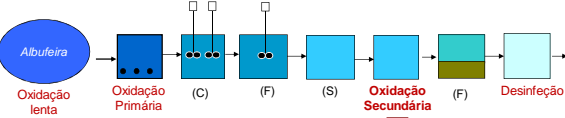
Estágios de oxidação numa ETA



- Objetivos**
- Remover compostos que conferem cor (e.g., ácidos húmicos, Mn²⁺), sabor e cheiro (e.g., sulfuretos, aldeídos saturados e insaturados, Fe²⁺)
 - Oxidar Fe²⁺ e Mn²⁺
 - Inativar microrganismos provenientes na água bruta
 - Controlar a proliferação de microrganismos ao longo do sistema de tratamento
 - Destruir compostos orgânicos sintéticos
 - Optimizar as eficiências da coagulação e filtração
 - Minimizar o potencial de formação de OBPs (*oxidation by-products*)

1. Oxidação química no tratamento de água

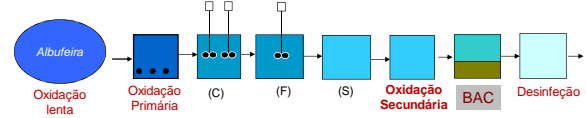
Estágios de oxidação numa ETA



- Objetivos**
- Minimizar a competição entre NOM e contaminantes alvo pelo oxidante (NOM parcialmente removida por O/C/F/S)
 - Pré-oxidação visa fundamentalmente pré-desinfecção (diminui a dose oxid. 1st oxid. 1st oxid. menos reativo ⇒ diminui ressolubilização Mn (MnO₂; água rosa)
 - Oxidar cianotoxinas após remoção de células intactas por C/F/S
 - Converter compostos de elevado peso molecular em compostos orgânicos simples (e.g., aldeídos, ác. carboxílicos,) mais facilmente removidos por sistemas GAC ⇒ potenciar atividade biológica BAC

1. Oxidação química no tratamento de água

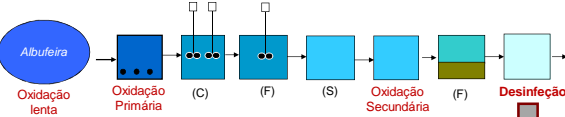
Estágios de oxidação numa ETA



- Objetivos (cont.)**
- Potenciar atividade biológica BAC
 - (+) eficiente remoção de AOC (pouco adsorvível) ⇒ diminui o potencial de formação de OBPs e biofilmes nas redes
 - (+) biodegrada adsorbatos (NOM e micropoluentes) ⇒ bioregeneração contínua do carvão, diminuindo a frequência de regenerações
 - Controlar a proliferação de algas nos filtros

1. Oxidação química no tratamento de água

Estágios de oxidação numa ETA



- Objetivos**
- Garantir a qualidade microbiológica da água produzida
 - Garantir a estabilidade microbiológica na rede de distribuição da água (desinfetante residual)

1. Oxidação química no tratamento de água

Controlo de microrganismos em ETA (desinfecção)

- Processos químicos**
- pré-oxidação (e.g., ozono, dióxido de cloro)
 - desinfecção final (e.g., cloro, dióxido de cloro)

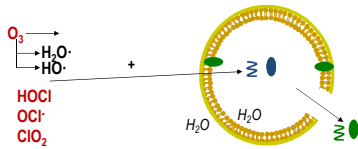
inativação ou remoção de uma parte significativa dos agentes biológicos

- Operações físicas e processos físico-químicos**
- coagulação/floculação/sedimentação e filtração
 - radiação UV
 - filtração por membranas
 - temperatura

1. Oxidação química no tratamento de água

Desinfecção química resulta de reações entre o **desinfetante (agente oxidante)** e **constituintes vitais das células microbianas**

- Oxidação da **parede/membrana celular** (fosfolípidos, proteínas, citocromos)
 - Danos no metabolismo celular (energético e de transporte)
 - Destruição da parede celular → lise celular
- Degradação de **macromoléculas vitais** (e.g., enzimas, ARN, ADN)



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 13

1. Oxidação química no tratamento de água

Eficiência da desinfecção ↔ log redução ↔ f(C t) para os processos de oxidação

N_0 (no./mL)	N (no./mL)	% redução $(N_0 - N)/N_0 * 100$	log redução $-\log(N/N_0)$
100 000	10 000	90,00	1
	1 000	99,00	2
	100	99,90	3
	10	99,99	4

log ↑, C t ↑

N_0 - concentração inicial de células viáveis (n.º cél./mL)

N - concentração pós-desinfecção de células viáveis (n.º cél./mL)

k - constante de reação

C - residual de desinfetante (mg/L)

t - tempo de contato efetivo (min)

$C t$ - dose desinfetante (mg/L . min)

Lei Chick-Watson
(simplificada)

$$\log(N/N_0) = -k C t$$



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 14

1. Oxidação química no tratamento de água

Eficiência da desinfecção ↔ log redução ↔ f(C t) para os processos de oxidação

N_0 (no./mL)	N (no./mL)	% redução $(N_0 - N)/N_0 * 100$	log redução $-\log(N/N_0)$
100 000	10 000	90,00	1
	1 000	99,00	2
	100	99,90	3
	10	99,99	4

log ↑, C t ↑

... para uma determinada log redução, **C t** depende de...

- forma biológica a inativar/remover
- tipo e concentração de desinfetante
- condições de operação - temperatura, pH, tempo de contacto
- qualidade da água - NOM (*natural organic matter*), turvação, iões reduzidos, pH, alcalinidade...



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 15

Processos de pré-oxidação e de desinfecção

- Aplicação da oxidação química no tratamento de água para consumo humano
- Agentes biológicos resistentes à oxidação química (FR) e subprodutos da oxidação química (OBP)
- Estratégias de controlo de FR e OBP



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 16

2.1 Agentes biológicos resistentes à oxidação química

Potenciais contaminantes biológicos em águas

- Bactérias (células vegetativas e endosporos)
- Vírus (víriões)
- Protozoários (cistos, oocistos e esporos)
- Helminhas (ovos)



Grau de resistência à desinfecção é variado



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 17

2.1 Agentes biológicos resistentes à oxidação química

BACTÉRIAS

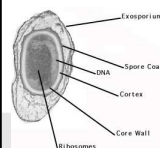
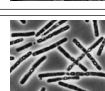
Não-esporuladas
(e.g., coliformes)

Formas vegetativas
(não resistentes)



Endosporos
(formas de resistência)

Esporuladas
(e.g., *Clostridium perfringens*)



Endosporo: forma "dormente" na qual os componentes vitais da célula (e.g., ADN, ribosomas) estão protegidos de agressões exteriores



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 18

2.1 Agentes biológicos resistentes à oxidação química

PROTOZOÁRIOS

Cryptosporidium

Giardia

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita LNEC | 19

2.1 Agentes biológicos resistentes à oxidação química

Organismo (a)						
Forma	células vegetativas	vírus	cistos	oocistos	endosporos	ovos
Dimensão aprox. (µm)	0,5 - 2	0,02 - 0,03	8 - 13	4 - 6	0,25	12-150
CT _{99%} ozono (mg/L·min)	0,02	0,20	0,6	4,4	10	≥ 225

(a) as imagens têm escalas muito diferentes
 (b) um enterovírus da família dos picornavírus
 (c) valores publicados para temperaturas entre 4 °C e 22 °C

↑ Resistência à desinfecção com ozono

Os indicadores de qualidade microbiológica da água podem não ser adequados e mascarar a eficácia da desinfecção (!)

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita LNEC | 20

2.1 Agentes biológicos resistentes à oxidação química

Além das características **morfológicas** das formas biológicas ...

Ct (mg/L · min) →

... outros fatores podem comprometer a eficiência da desinfecção:

- consumo de oxidante pela NOM e matriz inorgânica da água (Fe²⁺, Mn²⁺, ...) ou sólidos suspensos ⇒ **diminuição do desinfetante disponível para desinfecção**
- aderência das formas biológicas a **superfícies** (biofilmes) ou a **partículas** (e.g., sedimentos, flocos) ⇒ **difículta o contacto entre o desinfetante e a forma biológica**

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita LNEC | 21

2.1 Agentes biológicos resistentes à oxidação química

Todos os fatores que confirmam proteção física aos agentes biológicos e que dificultem o seu contacto com os oxidantes diminuem a eficiência da desinfecção

Proteção física dos constituintes vitais da célula contra o oxidante:

- Células no interior de agregados de partículas em suspensão (e.g., flocos)
- Células em formas microbianas que dificultam o acesso do desinfetante
 - agregados microbianos
 - biofilmes
- Células em formas microbianas resistentes
 - endosporos bacterianos
 - cistos e oocistos de protozoários
 - ovos de helmintas

Oxidante apenas atinge camada superficial dos agregados celulares e dos biofilmes

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita LNEC | 22

2.2 Subprodutos da oxidação química

Reagentes	Matriz da água	OBP indesejáveis
Oxidantes	Inorgânicos	Inorgânicos oxidados
Cl ₂	NOM	Compostos halogenados (orgânicos e inorgânicos)
HOCl	Micropoluentes orgânicos	Compostos não halogenados (orgânicos)
NH ₂ Cl	Microrganismos	
ClO ₂		
O ₃		

Nocivos para a saúde

Comprometem a estabilidade microbiológica da água

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita LNEC | 23

2.2 Subprodutos da oxidação química

OBP halogenados

- Resultam da oxidação dos contaminantes e da NOM presentes na água bruta
- Têm efeitos carcinogénicos, causam desenvolvimentos e reprodução anómala e podem ser mutagénicos (especialmente os compostos de **cloro** e **bromo**)
- A ação tóxica do subproduto pode ser superior à do seu precursor

oxidante	subprodutos halogenados
O ₃	bromato, organobromados
ClO ₂	clorito, clorato
Cl ₂	THM e HAA
Cloraminas	cloro de cianogénio e HAA

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita LNEC | 24

2.2 Subprodutos da oxidação química


Other haloalkanes Chloromethane Dichloromethane Bromochloromethane Dibromomethane Carbon tetrachloride Hexachloroethane 2-bromobutane	Trihalomethanes (THM) Chloroform Bromodichloromethane Bromoform Dibromochloromethane Dichlorodibromomethane Bromochlorodibromomethane	Haloacetic acids (HAA) Bromoacetic acid Bromochloroacetic acid Chloroacetic acid Dichloroacetic acid Dibromoacetic acid Trichloroacetic acid	Haloaldehydes Dichloroacetaldehyde Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate or chloral)
Haloalkenes Pentachloropropene Tetrachlorocyclopentene Hexachlorocyclopentadiene	Haloacetoneitriles Bromodichloroacetoneitrile Bromochloroacetoneitrile Dibromoacetoneitrile Dichloroacetoneitrile Trichloroacetoneitrile	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;"> OBP orgânicos halogenados </div>	Haloaldehydes Dichloroacetaldehyde Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate or chloral)
Haloaldehydes Dichloroacetaldehyde Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate or chloral)	Other Halomonocarboxylic acids 2-Chloropropanoic acid 2,2-dichloropropanoic acid 2,2-dichlorobutanoic acid Isomer of 2,2-dichlorobutanoic acid 5,5,5-trichloro-4-oxopentanoic acid		Other Halonitriles 2-Chloroacetoneitrile 2,2-dichloroacetoneitrile 2,3-dichloro-3-bromopropanoic acid 3,4-dichlorobutanoic acid cis-2,3,4-trichloro-2-butanoic acid trans-2,3,4-trichloro-2-butanoic acid
Unsaturated Haloaldehydes 3,3-dichloropropenoic acid	Other Halonitriles 2-Chloroacetoneitrile 2,2-dichloroacetoneitrile 2,3-dichloro-3-bromopropanoic acid 3,4-dichlorobutanoic acid cis-2,3,4-trichloro-2-butanoic acid trans-2,3,4-trichloro-2-butanoic acid		Haloamides 1-chloroethanamide 2-chloroethanamide
Haloaromatic acids 2,4-dichlorobenzoic acid	Haloaromatic nitriles 2,4-dichlorobenzonitrile		Haloaldehydes Dichloroacetaldehyde Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate or chloral)
Other Haloaromatics Chlorobenzene 1,3-dichlorobenzene 1,4-dichlorobenzene 1,2-dichlorobenzene Chlorobutene (2-chloroethyl)-benzene	MX and analogues 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(SH)-furanone (MX) (E)-2-chloro-3-(dichloromethyl)-4-oxobutenoic acid (EMX) 3-chloro-4-(dichloromethyl)-2-(SH)-furanone (red-MX, for reduced MX) (E)-2-chloro-3-(dichloromethyl)-butenedioic acid (ox-EMX, for oxidized EMX) 2,3-dichloro-4-oxobutenoic acid (mucochloric acid)		Haloaldehydes Dichloroacetaldehyde Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate or chloral)
	Other haloaromatics 5-hydroxy-5-trichloromethyl-2-furanone Isomer of 5-hydroxy-5-trichloromethyl-2-furanone		Haloaldehydes Dichloroacetaldehyde Trichloroacetaldehyde (chloral hydrate or chloral)

adaptado de Richardson (1998)

2.2 Subprodutos da oxidação química

OBP orgânicos não halogenados

- Resultam da conversão de NOM de elevada massa molar em frações mais pequenas, mais hidrofílicas e facilmente assimiláveis pelos microrganismos → podem comprometer a estabilidade microbiológica nos sistemas de distribuição (formação de biofilmes)
- expressam-se em AOC (*assimilable organic carbon*), BDOC (*biodegradable dissolved organic carbon*), ...



biofilme "por dentro" da nossa torneira de distribuição de água

2.2 Subprodutos da oxidação química

Monocarboxylic acids 2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-2-methyl propanoic acid) Butanoic acid 2-methylbutanoic acid Pentanoic acid Hexanoic acid Heptanoic acid Octanoic acid Nonanoic acid Decanoic acid Undecanoic acid Dodecanoic acid Tridecanoic acid Tetradecanoic acid Pentadecanoic acid Hexadecanoic acid Heptadecanoic acid	Aliphatic aldehydes Formaldehyde Acetaldehyde	Aromatic carboxylic acids Benzoic acid 3-hydroxybenzoic acid 3-methylbenzoic acid 4-methylbenzoic acid 3,4-dihydroxybenzoic acid Trihydroxybenzoic acid Phenylacetic acid 1,2-benzenedicarboxylic acid 1,3-benzenedicarboxylic acid 1,4-benzenedicarboxylic acid Methylbenzenedicarboxylic acid (2 isomers) Dimethylbenzenedicarboxylic acid (2 isomers) 1,2,3-benzenetricarboxylic acid 1,2,4-benzenetricarboxylic acid 1,3,5-benzenetricarboxylic acid Methylfuranedicarboxylic acid
Dicarboxylic acids Propanedioic acid cis-butenedioic acid trans-butenedioic acid 2,2-dimethyl butanedioic acid Perilanedioic acid 2-methylpentanedioic acid 2,2-dimethyl pentanedioic acid Hexanedioic acid (+2 isomers) Heptanedioic acid Octanedioic acid Nonanedioic acid Isomer of nonanedioic acid Tridecanedioic acid	Ketones 3-methyl-2-pentanone 3-methyl-1,2,4-cyclopentanetrione	Heterocyclic carboxylic acids 5-methyl-2-furanicarboxylic acid Methylfuranedicarboxylic acid
Alcohols 1-ethoxy-1-hydroxyethane 1-hydroxy-2-methyl-2-propanone	Benzaldehyde Benzaldehyde Benzaldehyde	Heterocyclic carboxylic acids 5-methyl-2-furanicarboxylic acid Methylfuranedicarboxylic acid
Other heterocyclic compounds 1,4-dioxane 1,4-benzodioxin	Alcohols 1-ethoxy-1-hydroxyethane 1-hydroxy-2-methyl-2-propanone	Other aromatic compounds Benzene Toluene C3-benzene (2 isomers)

adaptado de Richardson (1998)

2.2 Subprodutos da oxidação química

USEPA (USEPA, 2009)	MCL (µg/L)	OMS (WHO, 2011)	Valor guia (µg/L)
THM - total (média anual)	80	Clorofórmio	300
Ác. haloacéticos (HAAs)	60	Bromodiodorometano	60
Bromato	10	Dibromodiorometano	100
Clorito	1000 (1 mg/L)	Bromofórmio	100
+		Ác. monocloroacético (monocloroacetato)	20
Controlo de precursores (antes cloragem) (DBP rule)		Ác. dicloroacético (dicloroacetato)	50
TOC < 2 mg C/L ou		Ác. tricloroacético (tricloroacetato)	200
SUVA < 2 L/(mg.m) (..)		Bromato	10
		Clorito	700 (0,7 mg/L)
		Clorato	700 (0,7 mg/L)
		Dicloroacetoneitrilo	20
		Dibromoacetoneitrilo	70
		2,4,6-Triclorofenol	200
		N-Nitrosodimetilamina	0,1

MCL = maximum contaminant level
 TOC = total organic carbon
 SUVA = specific UV absorbance (UV₂₅₄/DOC)

2.2 Subprodutos da oxidação química

Portugal		
OBP	DL n.º 306/2007	Recomendação ERSAR 2/2011
THM-total	100 µg/L	80 µg/L
Bromato	10 µg/L	10 µg/L
Clorito		0,7 mg/L
Clorato		0,7 mg/L
Ác. cloroacéticos - total		100 µg/L
Dicloroacetoneitrilo		20 µg/L
Dibromoacetoneitrilo		70 µg/L
2,4,6- triclorofenol		200 µg/L
Controlo de precursores antes da cloragem		TOC < 2 mg C/L ou SUVA < 2 L/(mg.m)

Processos de pré-oxidação e de desinfecção

- Aplicação da oxidação química no tratamento de água para consumo humano
- Agentes biológicos resistentes à oxidação química (FR) e subprodutos da oxidação química (OBP)
- Estratégias de controlo de FR e OBP

Estratégias a adotar?

3. Estratégias de controlo de FR e OBP





desinfetante

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 31

3. Estratégias de controlo de FR e OBP


Artigo 9.º (DL 306/2007)
Tratamento da água destinada ao consumo humano

(...)

2 — A água distribuída deve ser submetida a um processo de desinfecção.

3 — As entidades gestoras podem ser dispensadas pela autoridade de saúde do cumprimento do disposto no número anterior se, através do histórico analítico, demonstrarem não terem tido incumprimentos aos parâmetros microbiológicos sem recurso à desinfecção.

4 — Compete às entidades gestoras **assegurar a eficácia da desinfecção e garantir, sem comprometer a desinfecção, que a contaminação por subprodutos da água seja mantida a um nível tão baixo quanto possível** e não ponha em causa a sua qualidade para consumo humano.



desinfetante

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 32

3. Estratégias de controlo de FR e OBP

Artigo 9.º (DL 306/2007)
Tratamento da água destinada ao consumo humano

(...)

2 — A água distribuída deve ser submetida a um processo de desinfecção.

3 — As entidades gestoras podem ser dispensadas pela autoridade de saúde do cumprimento do disposto no número anterior se, através do histórico analítico, demonstrarem não terem tido incumprimentos aos parâmetros microbiológicos sem recurso à desinfecção.

4 — Compete às entidades gestoras **assegurar a eficácia da desinfecção e garantir, sem comprometer a desinfecção, que a contaminação por subprodutos da água seja mantida a um nível tão baixo quanto possível** e não ponha em causa a sua qualidade para consumo humano.

De acordo com a OMS, **a eficiência da desinfecção nunca deve ser comprometida**

- ⇒ minimizar a formação de subprodutos potencialmente perigosos (otimização dos processos de tratamento)
- ⇒ minimizar o teor de NOM antes da aplicação do oxidante

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 33

3. Estratégias de controlo de FR e OBP

Considerar...

- Características/qualidade da água a tratar
- Termodinâmica e cinética dos oxidantes químicos
- Etapas críticas e aspetos/condições críticas do tratamento implementado

Estratégias de controlo...

- Minimização**
 - controlo na fonte
 - controlo de precursores na ETA
 - seleção do oxidante
 - controlo das condições críticas de operação
- Remoção**
 - tecnologias convencionais apresentam limitações
 - usar processos avançados "à medida"



M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

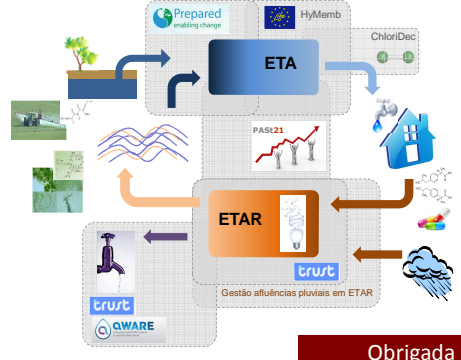
LNEC | 34



Obrigada !
mjrosa@lneec.pt

M.J. Rosa, M. Campinas, E. Mesquita

LNEC | 35



adsorption

advanced treatment

benchmarking

biofiltration

water treatment

cyanobacteria

cyanotoxins

disinfection

dissolved air flotation

drinking water

emerging contaminants

energy efficiency

full scale studies

lab and pilot tests

membrane technology

MF, UF, NF, RO

natural organic matter

PAC/UF

performance indicators

process modelling

stormwater

water quality

water reuse

WTPs| WWTPs

Obrigada !
mjrosa@lneec.pt

UQTA | Unidade de Qualidade e Tratamento de Água
Water Quality and Treatment Unit

LNEC | 36