

# Reutilização de Águas Residuais

Autoria:

Helena Marecos do Monte

António Albuquerque

# Reutilização de Águas Residuais

Autoria:

**Helena Marecos do Monte**

**António Albuquerque**



**ISEL**

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA



Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

# FICHA TÉCNICA

**Título:**

Reutilização de Águas Residuais

**Autoria:**

Helena Marecos do Monte

António Albuquerque

**Comissão de apreciação da ERSAR:**

Eng.º Jaime Melo Baptista

Dr. João Simão Pires

Eng.º João Almeida

Eng.ª Rita F. Ferreira

Dr.ª Isabel Andrade

Dr. David Alves

**Edição:**

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

**Data:**

Janeiro de 2010

**ISBN:**

978-989-8360-01-4

**Depósito Legal:**

304814/10

## PREFÁCIO DA ERSAR

Um dos objectivos estratégicos da ERSAR é o de procurar obter sinergias através de parcerias com as instituições técnicas e científicas mais relevantes do sector, nomeadamente em termos de estudos, de iniciativas de divulgação e de formação. Nesse sentido, foi celebrado um protocolo de cooperação técnica e científica formalizando a colaboração com o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, no sentido de aproveitar as potencialidades de ambas as partes com vista a desenvolver métodos e instrumentos de apoio à regulação.

O presente Guia foi realizado no âmbito desse protocolo, procurando basear-se na reconhecida capacidade técnica dos Autores para detalhar os vários procedimentos necessários à implementação de projectos bem-sucedidos de reutilização de águas residuais tratadas.

A ERSAR, enquanto entidade reguladora das entidades gestoras de serviços de águas e resíduos, tem responsabilidades ao nível da gestão do ciclo urbano da água, da promoção do uso eficiente dos recursos hídricos e da salvaguarda da saúde pública. Nesse quadro, tem seguido uma estratégia de permanente apoio às entidades gestoras na procura de uma melhor gestão global dos recursos hídricos.

A reutilização de águas residuais para fins múltiplos é hoje encarada como um eixo central da gestão sustentável dos recursos hídricos. A conservação dos recursos naturais e o uso eficiente da água constituem objectivos nacionais com grande relevância nos serviços de abastecimento público de água e de saneamento de águas residuais urbanas, não havendo, no entanto, uma prática generalizada de aproveitamento das águas residuais urbanas em Portugal, mesmo em contextos regionais de maior escassez hídrica.

Esta realidade contrasta com a crescente pressão sobre as massas de água e a ocorrência de períodos de seca prolongada, que vêm reforçar a necessidade de procurar alternativas ambientalmente mais adequadas e financeiramente mais atractivas. A existência de tecnologia que possibilita que as águas residuais sejam tratadas até praticamente qualquer nível de qualidade que se pretenda possibilita que a reutilização de água residual tratada seja considerada cada vez mais uma importante solução ambiental como alternativa à sua rejeição nos meios receptores. De facto, uma das estratégias de gestão integrada dos recursos hídricos passa por dinamizar a utilização deste recurso

para usos não potáveis, como sejam a rega, a indústria, a recarga de aquíferos ou os usos recreativos, que representam a grande maioria dos consumos de água e cujos requisitos de qualidade são substancialmente inferiores aos da água para consumo humano.

Com a edição do Guia Técnico n.º 14 - «Reutilização de Águas Residuais», a ERSAR pretende disponibilizar ao sector um instrumento que promova a utilização ambientalmente sustentável e economicamente mais vantajosa deste recurso, salvaguardando a saúde pública. Este manual vem colmatar uma lacuna em publicações em língua portuguesa, sendo nossa expectativa que esta iniciativa venha dotar o sector de mais e melhores qualificações para o desenvolvimento de um número cada vez mais significativo de projectos desta índole.

*Jaime Melo Baptista* (Presidente do Conselho Directivo da ERSAR)

*João Simão Pires* (Vogal do Conselho Directivo da ERSAR)

## PREFÁCIO DO ISEL

O Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ISEL, sendo uma das mais antigas instituições de ensino superior portuguesas (a sua criação remonta a 1852), pode orgulhar-se legitimamente do contributo significativo que tem prestado para o desenvolvimento da engenharia em Portugal, através da elevada competência técnica dos engenheiros diplomados nesta escola.

Juntar o *saber ao saber fazer* constitui um reconhecido apanágio que faz do ISEL um marco do ensino da Engenharia em Portugal, com valências em permanente evolução e de acordo com o desenvolvimento da engenharia em termos mundiais.

Apostando num modelo único e original de ensinar engenharia, que se baseia numa grande proximidade com o que de melhor se tem feito no domínio da engenharia ao longo dos tempos, é possível encontrar no ISEL os melhores profissionais que exercem engenharia presente-mente, lado a lado com académicos conceituados no desenvolvimento de actividades de I&D.

Com este modelo tem sido possível alcançar a excelência em termos de parcerias com outras entidades, suportadas por protocolos celebrados entre o ISEL e outras entidades.

O presente Guia Técnico sobre Reutilização de Águas Residuais constitui um exemplo desta excelência e surge na sequência de um protocolo recentemente celebrado entre o ISEL e a ERSAR. A obra em apreço, através da sua actualidade marcante, procura contribuir para melhorar a eficiência do uso da água em Portugal e conseqüentemente para o desenvolvimento sustentável do país.

Reconhecendo desde já a excelência do trabalho alcançado pelos Autores, pelo qual os felicito, é com orgulho que recomendo vivamente a utilização deste Guia Técnico a todos os interessados no sector.

*José Carlos Quadrado* (Presidente do Conselho Directivo do ISEL)



## NOTA DOS AUTORES

A água é o recurso natural mais valioso do planeta, pelo que a sua conservação constitui um dos mais importantes pilares do desenvolvimento sustentável. Nas regiões em que a escassez de recursos hídricos constitui uma realidade natural e naquelas em que o crescimento demográfico e/ou as alterações climáticas perspectivam essa escassez, a gestão sustentável dos recursos hídricos implica a conservação destes recursos e inclui, por conseguinte, a reutilização da água. Noutras situações de menor escassez de água, a reutilização é praticada por imperativos de protecção ambiental dos meios receptores. Em Portugal, a reutilização da água para usos não potáveis constitui uma estratégia de conservação da água que se revela necessária na actualidade, em face da escassez de água que afecta principalmente extensas áreas das regiões do Alentejo e do Algarve, mas também do nordeste transmontano e do leste da Beira. As previsões relativas às alterações climáticas traçam um cenário de agravamento no sul do país no que toca à disponibilidade de recursos hídricos, onde a reutilização da água constituirá um imperativo, nomeadamente na rega agrícola, na rega paisagística e de campos de golfe.

Portugal dispõe actualmente de uma significativa taxa de cobertura do país com serviço de tratamento de águas residuais urbanas, ao nível de tratamento secundário e terciário, prevendo-se que em 2013, com a execução do PEAASAR, este serviço abranja 90% da população portuguesa. O efluente final das ETAR existentes e a construir no âmbito do PEAASAR representa um apreciável volume de água, o qual pode constituir uma origem alternativa a aproveitar para novas utilizações.

A prática da reutilização da água deve basear-se não só no conhecimento científico e tecnológico do tratamento de águas residuais, mas também num adequado enquadramento institucional e regulamentar, bem como no apoio público a esta estratégia de gestão sustentável dos recursos hídricos.

O presente Guia, cuja elaboração resulta de um protocolo estabelecido entre o Instituto Superior de Engenharia (ISEL) e a Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos (ERSAR), com o apoio da Universidade da Beira Interior (UBI), tem por objectivo contribuir para alicerçar em moldes sustentáveis o desenvolvimento da prática da reutilização de águas residuais no nosso país.



Os Autores manifestam o seu profundo apreço pelo inestimável apoio consultivo prestado durante a elaboração deste Guia pelo Dr. Takashi Asano, Professor Emeritus do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade da Califórnia, em Davis, laureado em 2001 com o Stockholm Water Prize, pelo seu trabalho no domínio da reutilização da água.

O esforço e empenho dedicado pelos Autores à elaboração do presente Guia Técnico será plenamente recompensado se esta publicação for considerada pelos seus utilizadores um instrumento útil de apoio à implementação sustentada de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas.

*Helena Marecos do Monte*  
*António Albuquerque*

# ÍNDICE GERAL

	pág.
FICHA TÉCNICA .....	ii
PREFÁCIO DA ERSAR .....	iii
PREFÁCIO DO ISEL .....	v
NOTA DOS AUTORES .....	vii
ÍNDICE GERAL .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE QUADROS .....	xix
SIGLAS .....	1
PARTE I – INTRODUÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS .....	3
1. A REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS: ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO DA ÁGUA .....	5
1.1 Objectivos do capítulo .....	5
1.2 A conservação da água – princípio de gestão sustentável dos recursos hídricos .....	5
1.3 Recursos hídricos em Portugal .....	7
1.4 A reutilização da água como estratégia de conservação dos recursos hídricos .....	9
1.5 Conceitos e definições .....	10
1.6 Aplicações da reutilização da água .....	11
1.7 Desafios da reutilização da água em Portugal .....	12
1.8 Objectivos do Guia .....	13
1.9 Organização do Guia .....	13
2. EFEITOS AMBIENTAIS E SANITÁRIOS NO PROCESSO DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA ASSOCIADOS ÀS CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS .....	17
2.1 Objectivos do capítulo .....	17
2.2 Características das águas residuais relevantes em reutilização .....	17
2.3 Riscos sanitários e ambientais da reutilização de águas residuais .....	19
2.4 Microrganismos patogénicos veiculados pela água .....	21
2.4.1 Tipologia dos microrganismos presentes em águas residuais .....	21
2.4.2 Concentração de microrganismos presentes nas águas residuais .....	24
2.4.3 Riscos de saúde pública decorrentes das características microbiológicas das águas residuais reutilizadas .....	28
2.5 Poluentes químicos .....	31
2.5.1 Composição química das águas residuais .....	31
2.5.2 Composição química das águas residuais tratadas .....	33
2.5.3 Riscos decorrentes da composição química das águas residuais .....	34
2.6 Conclusões .....	37

3. APLICAÇÕES DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS.....	39
3.1 Objectivos do capítulo.....	39
3.2 Aplicações da reutilização de águas residuais tratadas.....	39
3.3 Reutilização de águas residuais tratadas para a rega agrícola.....	42
3.3.1 Breve descrição da situação mundial.....	43
3.3.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas utilizadas para rega agrícola.....	45
3.3.3 Métodos de rega com águas residuais.....	68
3.3.4 Metodologias de controlo dos SRART para rega agrícola.....	77
3.4 Reutilização de águas residuais tratadas para a rega paisagística.....	80
3.4.1 Breve descrição da situação mundial.....	81
3.4.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas utilizadas para rega paisagística.....	83
3.4.3 Métodos de rega paisagística.....	87
3.4.4 Metodologias de controlo dos SRART para rega paisagística.....	88
3.4.5 Rega de campos de golfe com águas residuais tratadas.....	89
3.5 Reutilização de águas residuais tratadas para a indústria.....	90
3.5.1 Breve descrição da situação a nível mundial.....	91
3.5.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas na indústria.....	95
3.5.3 Metodologias de controlo dos SRART na indústria.....	102
3.6 Reutilização de águas residuais tratadas para a recarga de aquíferos.....	103
3.6.1 Breve descrição da situação a nível mundial.....	104
3.6.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas na recarga de aquíferos.....	108
3.6.3 Metodologias de controlo de SRATR para recarga de aquíferos.....	110
3.7 Reutilização de águas residuais para usos ambientais e recreativos.....	110
3.7.1 Breve descrição da situação a nível mundial.....	111
3.7.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas para usos ambientais e recreativos.....	114
3.7.3 Metodologias de controlo em SRART para usos ambientais e recreativos.....	114
3.8 Reutilização de águas residuais para usos urbanos não potáveis.....	115
3.8.1 Breve descrição da situação a nível mundial.....	116
3.8.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas para usos urbanos não potáveis.....	118
3.8.3 Metodologias de controlo de SRART para usos urbanos não potáveis.....	120
3.9 Conclusões.....	121

4. REQUISITOS DE QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PARA REUTILIZAÇÃO .....	123
4.1 Objectivos do capítulo .....	123
4.2 Tipologia da regulamentação .....	123
4.3 Elaboração de normas de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização .....	125
4.4 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na rega agrícola .....	126
4.4.1 Regulamentação internacional .....	126
4.4.2 A norma portuguesa NP 4434 .....	129
4.5 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na rega paisagística .....	134
4.6 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na indústria .....	135
4.6.1 Aplicações da reutilização de águas residuais na indústria .....	135
4.6.2 Reutilização de águas residuais para água de arrefecimento .....	136
4.6.3 Reutilização de águas residuais para caldeiras de aquecimento .....	138
4.6.4 Reutilização de águas residuais na indústria do papel .....	140
4.6.5 Reutilização de águas residuais na indústria têxtil .....	142
4.7 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na recarga de aquíferos .....	143
4.8 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização em usos recreativos e ambientais .....	146
4.9 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização em usos urbanos não potáveis .....	147
4.10 Conclusões .....	150
5. O CONTEXTO LEGAL E INSTITUCIONAL DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS .....	155
5.1 Objectivos do capítulo .....	155
5.2 A reutilização da água no contexto internacional .....	155
5.3 A reutilização da água no quadro legal português .....	158
5.3.1 Regras relativas ao licenciamento da actividade .....	159
5.3.2 Requisitos de qualidade .....	162
5.3.3 Outros regimes legais com relevância para SRART .....	162
5.3.4 Principais aspectos omissos na regulamentação legal .....	167
PARTE II – ESTRATÉGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA .....	3
6. METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS .....	171
6.1 Objectivos do capítulo .....	171

6.2	Fases de implementação de um projecto de reutilização de águas residuais tratadas.....	171
6.2.1	Definição dos objectivos do projecto.....	171
6.2.2	Planeamento do projecto.....	172
6.2.3	Estudos e projectos.....	178
6.2.4	Construção de SRART.....	179
6.2.5	Operação e manutenção.....	180
6.2.6	Monitorização.....	180
6.3	Conclusões.....	187
7.	ASPECTOS TÉCNICOS DE SISTEMAS DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA.....	189
7.1	Objectivos do capítulo.....	189
7.2	Sistemas de reutilização de águas residuais tratadas.....	190
7.3	Tecnologias de tratamento de águas residuais para reutilização do efluente.....	191
7.3.1	Nota introdutória.....	191
7.3.2	Requisitos de tratamento de águas residuais para reutilização.....	192
7.4	Sistemas de tratamento de águas residuais para reutilização.....	193
7.5	Seleção da fileira de tratamento de águas residuais para reutilização.....	198
7.5.1	Factores a considerar.....	198
7.5.2	Fiabilidade da instalação de tratamento.....	198
7.5.3	Consumo energético das operações e processos de tratamento.....	201
7.6	Operações e processos de tratamento para reutilização da água.....	202
7.6.1	Nota introdutória.....	202
7.6.2	Processos de remoção de microrganismos patogénicos.....	202
7.6.3	Remoção de teores residuais de partículas em suspensão.....	231
7.6.4	Remoção de sólidos dissolvidos.....	241
7.7	Sistemas de armazenamento e distribuição.....	246
7.7.1	Sistemas de armazenamento de águas residuais para reutilização.....	246
7.7.2	Sistemas de transporte e distribuição à aplicação.....	250
7.8	Conclusões.....	253
8.	A ECONOMIA DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	255
8.1	Enquadramento da actividade.....	255
8.2	Enquadramento da formulação de um tarifário para o serviço de fornecimento de águas residuais tratadas.....	255
8.3	Perspectiva da ERSAR quanto ao modelo tarifário a adoptar para o serviço de fornecimento de águas residuais tratadas.....	256
8.3.1	Diferenciação de serviços.....	256
8.3.2	Custos a repercutir no tarifário de águas residuais tratadas.....	257
8.3.3	Repartição de custos entre utilizadores.....	257
8.3.4	Recuperação dos custos de investimento.....	258
8.3.5	Estrutura do tarifário.....	258
8.3.6	Entrada de novos utilizadores.....	261

8.4 A avaliação dos projectos de utilização de águas residuais.....	261
8.4.1 Custos relevantes.....	261
8.4.2 Análise de sensibilidade.....	262
8.4.3 Estratégias de mitigação de risco.....	263
8.4.4 Aspectos qualitativos a considerar.....	264
8.5 Conclusões.....	265
9. PARTICIPAÇÃO PÚBLICA NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA.....	267
9.1 Objectivos do capítulo.....	267
9.2 Necessidade da participação pública em projectos de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas.....	267
9.3 Factores que afectam a aceitação pública de SRART.....	268
9.4 Comunicação com o público em SRART.....	270
9.4.1 Considerações gerais.....	270
9.4.2 Nível de comunicação com o público.....	270
9.4.3 Fases do programa de comunicação.....	271
9.4.4 Conteúdo da comunicação.....	272
9.4.5 Transmissão da informação a comunicar.....	274
9.4.6 Comunicação em situação de crise.....	276
9.5 Conclusões.....	277
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	279
GLOSSÁRIO.....	287
ANEXO I – TABELAS DE TOLERÂNCIA.....	295
ANEXO II – CÁLCULO DA $R_{Na-aj}$ .....	297
ANEXO III – Processos de tratamento terciário para a remoção de nutrientes.....	299
I. Processos avançados para remoção de sólidos em suspensão fina e coloidal.....	299
II. Processos avançados para remoção de sólidos dissolvidos.....	299
ANEXO IV – ESTRUTURA DO TARIFÁRIO DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	317



# ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1-1 – Disponibilidade de ARU tratadas em 2013 .....	9
Figura 1-2 – Ciclo de reutilização da água .....	10
Figura 1-3 – Estrutura geral do Guia .....	15
Figura 2-1 – Bactérias .....	22
Figura 2-2 – Protozoário patogénico .....	23
Figura 2-3 – Ovo de helminta .....	23
Figura 2-4 – Ciclo de vida da <i>Taenia saginata</i> .....	29
Figura 2-5 – Vias de exposição a microrganismos patogénicos em sistemas de reutilização de águas residuais tratadas .....	31
Figura 3-1 – Absorção da água ao longo do comprimento da zona radicular [Marecos do Monte, 1996] .....	50
Figura 3-2 – Efeito da condutividade e da $R_{Na}$ da água de rega sobre a taxa de infiltração do solo [FAO, 1985] .....	52
Figura 3-3 – Diagrama de classificação das plantas em função da tolerância à salinidade da água de rega [Maas, 1984] .....	55
Figura 3-4 – Vias de transmissão de patogénicos num sistema de reutilização de águas residuais para rega agrícola .....	64
Figura 3-5 – Rega por sulcos .....	69
Figura 3-6 – Rega por aspersão .....	70
Figura 3-7 – Rega gota-a-gota .....	70
Figura 3-8 – Rega por microaspersão .....	71
Figura 3-9 – Zona de acumulação de sais no solo em função do método de rega .....	80
Figura 3-10 – Localização dos campos de golfe no Algarve (fonte: [Martins, 2007]) .....	82
Figura 3-11 – Marcação de tubagem de sistemas de reutilização de água .....	88
Figura 3-12 – Rega de campo de golfe por aspersão .....	89
Figura 3-13 – Alternativas de reutilização da água na indústria: a) sem reutilização e sem reciclagem; b) com reutilização; c) com tratamento prévio à reutilização; d) com tratamento prévio à reciclagem (adaptada de [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	93
Figura 3-14 – Sistema típico de reutilização da água para alimentação de caldeira de aquecimento (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	98
Figura 3-15 – Diagrama típico de uma indústria de produção de pasta e papel (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	99



Figura 3-16 – Fluxograma de uma fábrica têxtil (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	101
Figura 3-17 – Componentes de um sistema de recarga (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	105
Figura 3-18 – Métodos de recarga de aquíferos (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	106
Figura 3-19 – Zona húmida para a vida selvagem.....	112
Figura 3-20 – Lavagem de veículos com água reutilizada.....	119
Figura 3-21 – Abastecimento de efluente da ETAR de Mafra em camião-cisterna para reutilizar na construção de autoestrada.....	120
Figura 6-1 – Fases do planeamento de um projecto de reutilização de água.....	172
Figura 6-2 – Área de reutilização de águas residuais para usos urbanos não potáveis na área metropolitana de Tóquio (fonte: [JSWA, 2005]).....	187
Figura 7-1 – Cloragem ao breakpoint.....	209
Figura 7-2 – Esquema da desinfecção de águas residuais por ozonização.....	214
Figura 7-3 – Banda de UV germicida no espectro da radiação electromagnética (fonte: [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	215
Figura 7-4 – Alteração das ligações no ADN por acção dos UV (fonte: [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	216
Figura 7-5 – Interferência dos SS na água coma acção germicida dos UV.....	219
Figura 7-6 – Instalação de desinfecção por UV.....	220
Figura 7-7 – Configuração de reactores de UV – em canal aberto e em conduta fechada.....	222
Figura 7-8 – Infiltração rápida (adaptado de [Metcalf & Eddy, 1991]).....	225
Figura 7-9 – Sistema de lagunagem.....	228
Figura 7-10 – Variação diária de pH e OD numa lagoa aeróbia.....	230
Figura 7-11 – Filtro em pressão.....	233
Figura 7-12 – Filtro contínuo (ETAR de Beirolas. Cortesia da SIMTEJO.).....	233
Figura 7-13 – Esquema de um processo de filtração por membrana.....	237
Figura 7-14 – Diagrama de produção de água ultrapura.....	238
Figura 7-15 – Módulos de OI.....	239
Figura 7-16 – Membranas em espiral para NF e OI.....	243
Figura 7-16 – Representação esquemática do sistema de armazenamento.....	247
Figura 7-18 – Reservatório parcialmente enterrado.....	250
Figura 7-19 – Componentes de um sistema de armazenamento e distribuição de águas residuais tratadas (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	252

## ÍNDICE DE QUADROS

	pág.
Quadro 2-1 – Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens [Metcalf & Eddy, 1991].....	20
Quadro 2-2 – Grupos de patogénicos mais correntes veiculados pela água e doenças associadas.....	25
Quadro 2-3 – Concentração de patogénicos em águas residuais não tratadas....	26
Quadro 2-4 – Eficiência de remoção microbiana por processo de tratamento de águas residuais.....	27
Quadro 2-5 – Características epidemiológicas dos principais microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais urbanas Fonte: [Feachem <i>et al.</i> , 1983].....	30
Quadro 2-6 – Vias de exposição consoante a utilização de águas residuais tratadas.....	32
Quadro 2-7 – Composição típica de águas residuais urbanas não tratadas.....	33
Quadro 2-8 – Eficiência de remoção de poluentes químicos submetidos a tratamento primário, secundário, terciário e avançado.....	35
Quadro 3-1 – Principais factores condicionantes da reutilização de águas residuais tratadas (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	41
Quadro 3-2 – Exemplos no mundo de reutilização de ART para rega na agricultura [US EPA, 2004; ASANO <i>et al.</i> , 2007; EUWI, 2007].....	44
Quadro 3-3 – Características das águas residuais que mais afectam o biosistema solo-planta.....	47
Quadro 3-4 – Valores de Ca a utilizar no cálculo da RNa ajustada.....	48
Quadro 3-5 – Concentração de microelementos em águas residuais tratadas.....	61
Quadro 3-6 – Factores condicionantes da sobrevivência de bactérias patogénicas no solo.....	67
Quadro 3-7 – Tempo de sobrevivência médio de microrganismos patogénicos [Feachem, R. <i>et al.</i> , 1983].....	69
Quadro 3-8 – Comparação dos métodos de rega.....	74
Quadro 3-9 – Exemplos no mundo de reutilização de ART para rega paisagística [US EPA, 2004; ASANO <i>et al.</i> , 2007; EUWI, 2007].....	82
Quadro 3-10 – Tolerância de plantas de ornamentação paisagística à salinidade (Adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	84
Quadro 3-11 – Valores típicos dos coeficientes de plantas paisagísticas.....	87
Quadro 3-12 – Tolerância dos relvados à salinidade.....	90

Quadro 3-13 – Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga (adaptado de [Metcalf e Eddy, 2003; Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	108
Quadro 4-1 – Critérios de qualidade de águas residuais tratadas para rega agrícola propostos em diversos países: culturas de consumo em cru, de consumo após processamento e de culturas industriais [EU, 2006; USEPA, 2004] .....	130
Quadro 4-2 – Critérios de qualidade de águas residuais tratadas para rega de campos de golfe e espaços verdes sem restrição de acesso [EU, 2006; USEPA, 2004] .....	132
Quadro 4-3 – Critérios de qualidade agronómica para água de rega .....	133
Quadro 4-4 – Aplicações da reutilização de águas residuais na indústria .....	135
Quadro 4-5 – Características de qualidade das águas residuais tratadas que afectam a generalidade das aplicações industriais .....	136
Quadro 4-6 – Requisitos de qualidade da água em função do processo de arrefecimento .....	137
Quadro 4-7 – Requisitos de qualidade típicos para água de arrefecimento .....	138
Quadro 4-8 – Valores de Turvação, SST e Coliformes recomendados em água de arrefecimento (adaptado de [EU, 2006]) .....	139
Quadro 4-9 – Padrões de qualidade recomendados pela APAVE para água para caldeiras de aquecimento .....	140
Quadro 4-10 – Padrões de qualidade recomendados nos EUA para água para caldeiras de aquecimento (adaptado de [US EPA, 1992]) .....	141
Quadro 4-11 – Requisitos de qualidade de água para produção de diversos tipos de papel .....	141
Quadro 4-12 – Requisitos de qualidade de água para utilização na indústria têxtil .....	142
Quadro 4-13 – Requisitos de qualidade de água para reutilização na recarga de aquíferos .....	144
Quadro 4-14 – Requisitos de qualidade da água a reutilizar para diversos usos ambientais e recreativos (valores máximos admissíveis) (adaptado de [US EPA 2004; Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	147
Quadro 4-15 – Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas a reutilizar para diversos usos urbanos (valores máximos admissíveis na água) (adaptado de [EPA, 2003; Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	149
Quadro 4-16 – Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas utilizadas em edifícios (descarga de autoclismos e água de serviço) e na lavagem de ruas .....	150
Quadro 4-17 – Critérios de qualidade recomendados para reutilização de águas residuais tratadas em Portugal .....	152

Quadro 5-1 – Legislação comunitária e portuguesa com incidência na reutilização de águas residuais tratadas .....	165
Quadro 6-1 – Recolha de dados de base .....	173
Quadro 6-2 – Requisitos mínimos de monitorização de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola e paisagística (adaptado de NP 4434 e [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	184
Quadro 6-3 – Requisitos de monitorização típicos em SRART para usos recreativos e ambientais (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	186
Quadro 6-4 – Requisitos de monitorização em SRART para usos urbanos não potáveis (adaptado de [US EPA, 2004]) .....	188
Quadro 7-1 – Valores típicos de alguns parâmetros característicos para diferentes tipos de águas residuais urbanas [adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003] .....	194
Quadro 7-2 – Processos de tratamento mais utilizados para a remoção de classes de poluentes em águas residuais tratadas para reutilização (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	196
Quadro 7-3 – Concentração típica de poluentes no efluente consoante o processo de tratamento .....	197
Quadro 7-4 – Factores a considerar na selecção da fileira de tratamento de águas residuais para reutilização (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	199
Quadro 7-5 – Factores de fiabilidade da fileira de tratamento de águas residuais (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]) .....	201
Quadro 7-6 – Diferencial de consumo energético .....	202
Quadro 7-7 – Concentração típica em microrganismos indicadores de contaminação fecal nas ART em função do processo de tratamento .....	203
Quadro 7-8 – Processos de desinfecção de águas .....	204
Quadro 7-9 – Efeitos das características das águas residuais tratadas sobre a desinfecção por cloro, por UV e por ozono .....	207
Quadro 7-10 – Processos emergentes de desinfecção .....	208
Quadro 7-11 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por cloragem .....	209
Quadro 7-12 – Características dos desinfectantes clorados .....	211
Quadro 7-13 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por ozonização (adaptado de [EU, 2006]) .....	213
Quadro 7-14 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por radiação UV (adaptado de [EU, 2006]) .....	218

Quadro 7-15 – Comparação das características operacionais de lâmpadas de UV [EU, 2006; Asano <i>et al.</i> , 2007].....	221
Quadro 7-16 – Características de qualidade de águas residuais tratadas por infiltração rápida no solo [Bower, 1993]de UV.....	227
Quadro 7-17 – Comparação da eficiência de inactivação de patogénicos.....	232
Quadro 7-18 – Características dos materiais do leito filtrante (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	235
Quadro 7-19 – Critérios de dimensionamento de filtros de leito granular.....	235
Quadro 7-20 – Características dos filtros superficiais [Asano <i>et al.</i> , 2007].....	237
Quadro 7-21 – Características dos sistemas de Microfiltração e de Ultrafiltração [Metcalf & Eddy, 2003; Asano <i>et al.</i> , 2007].....	240
Quadro 7-22 – Operações e processos para pré-tratamento de água a tratar por NF e/ou OI.....	245
Quadro 7-23 – Parâmetros operacionais típicos dos processos de NF e de OI (adaptado de [Asano <i>et al.</i> , 2007]).....	245
Quadro 7-24 – Classificação dos sistemas de armazenamento de acordo com vários critérios.....	249
Quadro 9-1 – Guia de relações públicas para engenheiros.....	276

## SIGLAS/ABREVIATURAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
APAVE	Grupo francês dedicado aos riscos técnicos, humanos e ambientais no sector da construção
ART	Águas residuais tratadas
ARU	Águas residuais urbanas
CBO <sub>5</sub>	Carência bioquímica de oxigénio em cinco dias
CEN	Comité Europeu de Normalização
COT	Concentração de ozono transferido (para a água)
CQO	Carência química de oxigénio
CT	Concentração de ozono residual transferido para a água
DALY	Duração de Vida Ajustada em função da Doença (Disability Adjusted Life Years)
DOHS	Department of Health Services (of the State of California)
DR	Dotação de rega
ED	Electrodialíse
EG	Entidade gestora
EN	Norma Europeia
ET	Evapotranspiração
ETA	Estação de tratamento de águas
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
EU	União Europeia
F/M	Rácio alimento/microrganismos (Food/microorganism)
FAL	Fracção de água de lavagem
IPQ	Instituto Português de Qualidade
ISO	Organização Internacional de Normas
MLVSS	Sólidos suspensos voláteis nas lamas activadas (Mixed liquor-volatile suspended solids)

MF	Microfiltração
NAE	National Academy of Engineering (Estados Unidos da América)
NAS	National Academy of Science (Estados Unidos da América)
NDMA	Nitrodimetilamina
NF	Nanofiltração
OI	Osmose inversa
OMS	Organização Mundial da Saúde
PEAASAR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
RDART	Redes de Distribuição de Águas Residuais Tratadas
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SAART	Sistema de Armazenamento de Águas Residuais Tratadas
SAT	Tratamento em aquíferos (Soil aquifer treatment)
SDART	Sistema de distribuição de águas residuais tratadas
SD (T/V/F)	Sólidos dissolvidos (totais/volúteis/fixos)
SIG	Sistema de informação geográfica
SRART	Sistema de Reutilização de Águas Residuais Tratadas
SS (T/V/F)	Sólidos em suspensão (totais/volúteis/fixos)
STDART	Sistema de Transporte e Distribuição de Águas Residuais Tratadas
UF	Ultrafiltração
USEPA	United States Environmental Protection Agency.
WPCF	Water Pollution Control Federation

---

# **PARTE I – Introdução e Conceitos Básicos**

---



# 1 A REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS: ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

## 1.1 Objectivos do capítulo

O primeiro capítulo do **Guia sobre Reutilização de Águas Residuais** apresenta uma descrição geral das razões que têm determinado o desenvolvimento mundial de práticas de reutilização de águas residuais, motivadas essencialmente pela escassez de recursos hídricos e pela protecção dos meios hídricos receptores dos efluentes de estações de tratamento de águas residuais (ETAR). A escassez de recursos hídricos pode ser uma situação natural, decorrente do clima da região ou também uma consequência do crescimento demográfico e do desenvolvimento sócio-económico, evidenciando a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos, na qual se inclui a conservação da água, de que a reutilização constitui uma componente estratégia muito importante.

## 1.2 A conservação da água – princípio de gestão sustentável dos recursos hídricos

Os recursos hídricos de uma região dependem, em primeiro lugar, do seu clima – da precipitação atmosférica, da temperatura e da evapotranspiração – e também da eventual afluência de água proveniente de bacias hidrográficas, que podem ser partilhadas com outros países.

A disponibilidade de recursos hídricos não é constante ao longo do ano, reflectindo a sazonalidade climática. Por outro lado, as necessidades de água para as actividades humanas também não são constantes: alguns factores induzem um permanente aumento das necessidades de água, como o crescimento populacional, a crescente urbanização, o desenvolvimento industrial e a agricultura; outros factores determinam aumentos sazonais de necessidade de água, principalmente a agricultura e o turismo (que determina elevado crescimento de população num prazo muito curto), frequentemente em períodos de baixa precipitação atmosférica e de elevada evaporação. Tais situações podem originar sérios desequilíbrios entre necessidades e disponibilidades de água, que podem atingir níveis graves em anos de uma anormal escassez de precipitação.

A degradação da qualidade das águas naturais, decorrente de insuficiente controlo da poluição de origem antropogénica, introduz limitações ao aproveitamento de alguns recursos hídricos, acentuando os desequilíbrios quantitativos entre a procura e a disponibilidade de água.

Aos problemas de disponibilidade de água, em quantidade e em qualidade suficientes para a satisfação das necessidades, juntam-se as consequências das alterações climáticas. Os estudos sobre as previsões de tais consequências são ainda insuficientes para configurar sobre elas uma clara perspectiva. No entanto, tanto as secas como as cheias, anunciadas como prováveis consequências das alterações climáticas, concorrem para menor disponibilidade de água em quantidade, no caso das secas, e em qualidade, no caso das cheias.

A gestão dos recursos hídricos emerge assim, já no início do século XXI, como um dos paradigmas da sustentabilidade do desenvolvimento sócio-económico. Aplicar o conceito de sustentabilidade à utilização dos recursos hídricos pode traduzir-se como a optimização dos benefícios decorrentes desse uso no presente, sem pôr em risco a possibilidade de as gerações futuras poderem dispor de benefícios análogos. Em termos práticos, a gestão sustentável dos recursos hídricos deve procurar resposta para questões como: Durante quanto tempo será possível assegurar a disponibilidade de origens de água fiáveis para as necessidades de uma região? Como gerir o antagonismo entre a crescente exploração dos recursos hídricos e a conservação do ambiente? Como evitar as consequências desastrosas da escassez de água que ameaçam áreas cada vez mais extensas?

O desenvolvimento tecnológico traz resposta a algumas questões de desenvolvimento dos recursos hídricos, como, por exemplo, a construção de grandes barragens ou a dessalinização de água do mar, mas não é suficiente para assegurar a sustentabilidade da gestão desses recursos. Torna-se necessária a concomitante adopção de outras estratégias, com o objectivo de conservar os recursos hídricos existentes, como sejam a implementação de medidas de uso mais eficiente da água e a reutilização da água. Esta última estratégia – reutilização da água para fins múltiplos – tem emergido nos últimos anos, de forma enfática, como um paradigma da sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos. Torna-se, assim, de interesse relevante a compreensão de alguns conceitos associados à gestão sustentável dos recursos hídricos e à importância da recuperação de águas residuais, através de tratamento adequado, para subsequente utilização para uma ou mais finalidades.

## 1.3 Recursos hídricos em Portugal

Portugal é, aparentemente, um país com abundantes recursos hídricos, dos quais mais de 40%, porém, provêm de Espanha (o que evidencia a importância da gestão das bacias hidrográficas dos rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana).

Se Portugal não regista escassez de recursos hídricos potenciais, o mesmo não se pode dizer quando se consideram os recursos hídricos disponíveis, visto que a utilização das disponibilidades hídricas nacionais é muito dificultada pela irregularidade da sua ocorrência, tanto no espaço territorial como no tempo.

A variabilidade climática do território português é a primeira razão para as acentuadas diferenças espaciais que se observam na disponibilidade de recursos hídricos no nosso país. O balanço hídrico de Portugal continental a sul da zona do Médio Tejo é deficitário, pois a evapotranspiração excede a soma da infiltração e do escoamento superficial [Henriques, A. G., 1985]. Porém, as consequências da diversidade climática sobre a disponibilidade de água são largamente amplificadas por outros factores, nomeadamente as características demográficas e a pressão de algumas actividades económicas importantes.

Segundo os dados do Plano Nacional da Água [INAG, 2001], a agricultura é, de longe, o maior consumidor de água, com 87,3% do consumo total.

O turismo tem registado elevado desenvolvimento em Portugal nas últimas três décadas. No que se refere a recursos hídricos, o problema da actividade turística reside no facto de o consumo de água por turista ser quase o dobro do consumo local, ao que acresce o elevado consumo de água para usos recreativos (campos de golfe, piscinas, parques aquáticos, neve artificial) e o facto de as estâncias turísticas se situarem geralmente em zonas costeiras de escassa precipitação e elevada insolação, coincidindo a época alta, de necessidades mais elevadas, com o estio, de menor disponibilidade hídrica.

A região do Algarve é um exemplo paradigmático em Portugal, por se tratar de uma região em que o turismo e o golfe constituem a base estrutural da sua economia, mas que sofre de acentuada escassez de recursos hídricos, com uma precipitação média anual de aproximadamente 500 mm. A manutenção do Algarve como um destino de eleição para o golfe debate-se com o elevado consumo de água desta actividade, o qual equivalerá, num futuro próximo, a cerca de 200 mil habitantes. A gestão sustentável dos recursos hídricos nesta região é fundamental para o

equilíbrio sócio-económico e ambiental do Algarve e só poderá ser assegurada com a integração dos efluentes das ETAR no cômputo dos recursos hídricos disponíveis para utilização na rega dos campos de golfe.

Em resumo, do ponto de vista quantitativo, pode dizer-se que Portugal dispõe de abundantes recursos hídricos, cuja distribuição territorial e temporal condiciona o seu aproveitamento a um dispêndio de consideráveis investimentos em infra-estruturas hidráulicas, que permitam o seu armazenamento, captação e transporte das zonas com excesso para as zonas mais carenciadas.

Do ponto de vista qualitativo, também ocorrem limitações ao aproveitamento de alguns recursos hídricos disponíveis, em virtude de a qualidade da água não apresentar características compatíveis com algumas utilizações. Esta situação deve-se à expansão urbana e ao desenvolvimento industrial, que não foram acompanhados, ao mesmo ritmo, por medidas de controlo da poluição gerada.

O desenvolvimento dos recursos hídricos em Portugal já não poderá assentar essencialmente nos rios e nos aquíferos menos profundos, de mais fácil acesso, os quais já se encontram largamente aproveitados. Torna-se assim mais evidente a necessidade do desenvolvimento de origens de água alternativas para satisfação do crescimento das necessidades.

Portugal dispõe actualmente de uma significativa taxa de cobertura do país com serviço de tratamento de águas residuais urbanas, o que representa a produção de águas residuais tratadas ao nível de tratamento secundário e terciário de aproximadamente 70% da população portuguesa [INSAAR, 2006]. Com a execução do PEAASAR II prevê-se que 90% da população portuguesa disponha do serviço de tratamento de águas residuais urbanas em 2013.

O efluente final das estações de tratamento de águas residuais urbanas (ETAR) existentes e a construir no âmbito do PEAASAR constitui um apreciável volume de água, superior a 500 milhões de m<sup>3</sup> anuais [Marecos do Monte, 1996], cuja disponibilidade apresenta um paralelismo com a distribuição da população, conforme ilustrado na Figura 1-1.

Este importante volume de água pode constituir uma origem alternativa a aproveitar para novas utilizações, tanto em utilização directa como após um tratamento complementar, consoante já apresentar à saída da ETAR características de qualidade compatíveis com a utilização subsequente ou esta nova utilização requerer ainda a afinação de algumas dessas características.

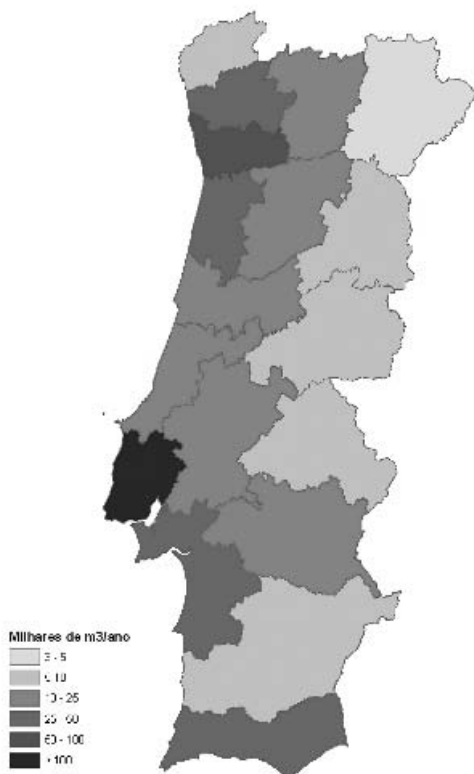


Figura 1-1 – Disponibilidade de ARU tratadas em 2013

## 1.4 A reutilização da água como estratégia de conservação dos recursos hídricos

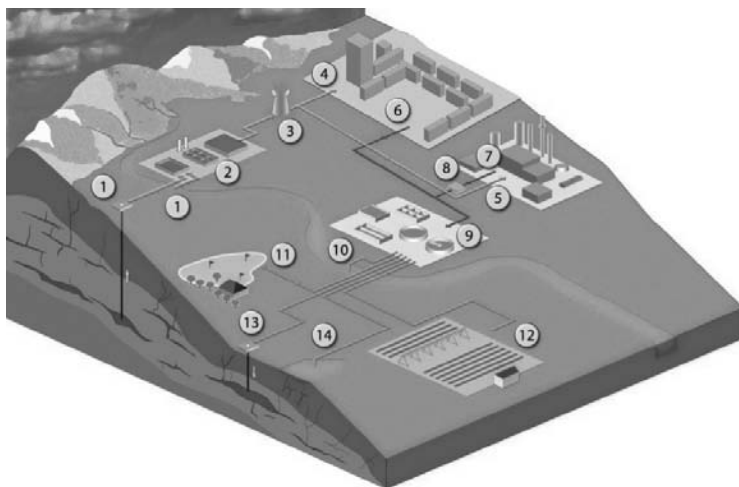
As águas residuais urbanas são águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e pluviais colectadas para a rede de drenagem pública. As águas residuais urbanas resultam, portanto, da utilização de água que foi captada e tratada para assegurar o abastecimento de água potável às populações e às actividades económicas ligadas ao comércio e à indústria.

Após a sua transformação em água residual, a água captada na natureza (subterrânea ou superficial) retorna ao meio natural, através da sua descarga em águas superficiais – doces e costeiras – ou da sua infiltração no solo, desejavelmente após tratamento adequado. A água captada para abastecimento pode, assim, conter águas residuais, o que configura uma situação de reutilização indirecta e não planeada da água bastante frequente, conforme ilustrado na Figura 1-2.

Do que se trata, quando se fala de reutilização da água como estratégia de combate à escassez de recursos hídricos, é de uma reutilização planeada, em que as águas residuais são tratadas e utilizadas para uma aplicação que representa um benefício sócio-económico.

A utilização de águas residuais tratadas contribui para uma gestão dos recursos hídricos mais sustentável, na medida em que:

- a) contribui para aumentar os recursos hídricos necessários para satisfação das necessidades presentes e futuras para usos mais nobres;
- b) ao reduzir o caudal de águas residuais tratadas descarregado nos meios receptores aquáticos, protege os ecossistemas, na medida em que reduz a quantidade de poluentes lançados no meio.



- 1 – Captação de água subterrânea ou superficial; 2 – ETA; 3 – Reservatório;  
4 – Abastecimento urbano; 5 – Abastecimento industrial; 6 – Águas residuais urbanas;  
7 – Águas residuais industriais; 8 – Pré-tratamento; 9 – ETAR; 10 – Descarga no meio receptor; Reutilização de águas residuais tratadas: 11 – Rega paisagística;  
12 – Rega agrícola; 13 – Recarga de aquíferos em furo de injeção directa;  
14 – Recarga de aquíferos em bacias de infiltração.

Figura 1-2 – Ciclo de reutilização da água

## 1.5 Conceitos e definições

O objecto deste Guia é a reutilização planeada da água, como componente estratégica da gestão sustentável dos recursos hídricos. A implementação dessa estratégia deve assentar no claro entendimento dos inerentes conceitos fundamentais, como forma preventiva de interpretações divergentes da mesma situação. Apresentam-se seguidamente as defini-

ções dos conceitos fundamentais associados à problemática da reutilização. Outros conceitos relevantes no âmbito da reutilização constam do Glossário, cuja consulta se recomenda.

A **reutilização da água** consiste na utilização de águas residuais tratadas para qualquer finalidade que constitua um benefício sócio-económico.

O conceito de reutilização da água é portanto perfeitamente sinónimo de **utilização de águas residuais** (tratadas).

Frequentemente emprega-se uma terminologia menos rigorosa, quiçá mais signficante: reutilização de águas residuais, a qual considera implicitamente que estas foram submetidas a tratamento compatível com a sua posterior utilização.

Neste texto utilizam-se indistintamente as três designações como sinónimas – reutilização da água, utilização de águas residuais e **reutilização de águas residuais**.

A água pode ser reutilizada múltiplas vezes e para finalidades diferentes, sempre correspondendo a uma utilização de água tornada residual e geralmente submetida a tratamento. Na literatura da especialidade, designadamente na de língua espanhola, encontra-se frequentemente a expressão «reutilização de água regenerada» em lugar de «reutilização da água», denominação em correspondência mais directa com a terminologia norte-americana «reuse of reclaimed water».

## 1.6 Aplicações da reutilização da água

A utilização de águas residuais tratadas é praticada preferencialmente para usos que requerem maior procura deste recurso e que sejam compatíveis com a qualidade mais corrente dos efluentes de ETAR. A rega agrícola é o grande domínio de aplicação da reutilização de águas residuais, pois a agricultura consome cerca de 65% dos recursos hídricos utilizados [Asano *et al.*, 2007], percentagem que diminui nos países de agricultura mais desenvolvida e aumenta nos restantes. Mas a água é reutilizada para diversas outras finalidades, nomeadamente as seguintes, citadas por ordem decrescente de volume utilizado: a rega paisagística (aplicação na qual se destaca a rega de campos de golfe), a reutilização industrial (principalmente como reciclagem de água de arrefecimento), a recarga de aquíferos, determinados usos recreativos e ambientais, usos urbanos que não obrigam à utilização de água potável e até como reforço de origem de água bruta para produção de água para consumo humano.

## 1.7 Desafios da reutilização da água em Portugal

O desenvolvimento da reutilização da água em Portugal não tem registado o nível que seria de esperar no nosso país, à luz dos factores que a justificam e que se expõem nas secções 1.2 e 1.3. Os motivos que concorrem para que a reutilização de águas residuais tratadas não seja ainda uma prática vulgarizada em Portugal são de índole diversa, mas entre os de maior peso encontra-se, certamente, a existência de um certo receio, associado a algum desconhecimento, por parte dos promotores de projectos de reutilização e até das autoridades envolvidas na aprovação e licenciamento desses projectos, face aos riscos de ordem sanitária e ambiental.

O sistema institucional português associado aos sistemas de águas residuais é praticamente omissivo quanto à implementação de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas, o que, além de não facilitar as iniciativas dos promotores destes sistemas, pode mesmo desincentivá-los, pelos obstáculos e demoras na obtenção de pareceres favoráveis das autoridades competentes.

Em Portugal, os projectos de reutilização de águas residuais tratadas constituem ainda práticas inovadoras, o que só por si justifica alguma relutância na sua aceitação pública. Além disso, trata-se de um tipo de projecto susceptível de gerar alguma controvérsia na sociedade, pela origem e características das águas residuais tratadas. Conseguir a aceitação pública dos projectos de reutilização da água constitui, naturalmente, um desafio importante.

Nos países onde a reutilização da água já constitui uma prática comum, a maior dificuldade geralmente associada ao desenvolvimento de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas reside no seu custo. De um modo geral, a reutilização do efluente de uma ETAR só é economicamente atractiva se os locais de aplicação da água se situarem nas proximidades dessa ETAR, pois de contrário obriga a investimento de vulto em sistemas de transporte dessa água. Obviamente, o peso do factor de custo, determinado pela distância entre a origem da água (ETAR) e o local da sua utilização, depende da pressão da procura da água e da eventual disponibilidade de outras origens de água alternativas, como a água dessalinizada, por exemplo.

Para que a reutilização da água se desenvolva em Portugal de forma sustentada terá que se basear não só no conhecimento científico e tecnológico do tratamento de águas residuais e dos impactes sanitários e am-



bientais da utilização deste tipo de águas, mas também na adaptação do sistema institucional e normativo de gestão da água, de modo a proporcionar um enquadramento adequado a esta estratégia de gestão sustentável dos recursos hídricos, e ainda na aceitação da reutilização da água por parte do público.

## 1.8 Objectivos do Guia

Este guia técnico tem como objectivo orientar as entidades gestoras e os promotores de projectos que decidam pôr em prática uma estratégia proactiva de reutilização da água, mediante a utilização de águas residuais tratadas.

Trata-se de um instrumento didáctico, de cariz prático. Para além da apresentação das diversas aplicações de utilização de águas residuais tratadas – rega, usos urbanos não potáveis, usos ambientais e recreativos, etc. – e dos condicionalismos à sua utilização decorrentes das características de águas residuais brutas e tratadas, o Guia aborda as questões de ordem institucional e legal relacionadas com a implementação de projectos de reutilização, bem como os aspectos económicos e de viabilidade financeira e os assuntos relativos à participação e aceitação pública destes projectos.

## 1.9 Organização do Guia

O texto está organizado em duas partes (Figura 1-3). A primeira é introdutória, enquanto na segunda é apresentada a estratégia para desenvolvimento de projectos de reutilização de águas residuais tratadas. A primeira parte integra a presente introdução e os capítulos 2 a 5. A segunda parte é constituída pelos capítulos 6 a 9.

No capítulo 2 são apresentados os efeitos ambientais e sanitários associados às características das águas residuais antes e após o seu tratamento e que devem ser tidos em consideração no processo de reutilização da água.

O capítulo 3 apresenta as diferentes aplicações da reutilização de águas residuais e trata da caracterização qualitativa dessas águas em relação com os riscos ambientais e de saúde pública que devem ser controlados em projectos de reutilização da água.

O capítulo 4 apresenta as normas de qualidade vigentes em diversos países que as águas residuais tratadas devem satisfazer para serem reutilizadas e recomenda critérios de qualidade para Portugal.

O capítulo 5 descreve o modelo institucional e legal que enquadra a implementação de sistemas de reutilização de águas residuais.

O capítulo 6, que dá início à segunda parte do Guia, trata das fases de implementação de projectos de reutilização, apresentando os aspectos a considerar na fase de planeamento, como a informação a coligir, a identificação e contratualização de potenciais utilizadores e outros assuntos.

No capítulo 7 apresentam-se: os requisitos técnicos do tratamento das águas residuais para assegurar a qualidade compatível com a subsequente reutilização; requisitos de armazenamento e transporte das águas residuais tratadas até ao objecto de reutilização; aspectos construtivos, de operação e manutenção (O&M), e de monitorização de infra-estruturas de reutilização; e impactes ambientais associados a sistemas de reutilização de águas residuais.

O capítulo 8 aborda a problemática dos objectivos conflituantes no estabelecimento de políticas tarifárias, salientando a importância da elaboração de um estudo técnico para avaliar a sustentabilidade económica e financeira de sistemas de utilização de águas residuais e sobre os principais meios de financiamento deste tipo de investimentos. Por fim, reflecte sobre a importância de se estabelecer um enquadramento que permita a tarifação do uso de água potável, do tratamento de efluentes e de água reutilizada em conjunto, como um ciclo de utilização da água em que os vários elementos não podem ser dissociados.

O capítulo 9 apresenta os factores que condicionam a aceitação pública de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas (SRART), descrevendo os aspectos fundamentais para o estabelecimento de um programa de comunicação adequado a um SRART, assim como o nível de comunicação, quando comunicar com o público, o conteúdo da informação a transmitir, como concretizar a transmissão da informação e ainda aspectos da comunicação quando o SRART evidencia uma crise ou a probabilidade de tal ocorrer.

O Guia pode ser utilizado como um texto didáctico, de leitura sequencial, ou como um livro de consulta. No segundo caso, recomenda-se uma leitura prévia do Capítulo 6 (Metodologia para implementação de sistemas de reutilização de águas residuais), onde se sintetiza a metodologia geral recomendada para implementar um sistema de reutilização de água e se apresenta a lógica de apresentação dos diversos capítulos da Parte II.

A terminologia relevante de cada capítulo é definida num glossário no final do volume.

## **PARTE I – INTRODUÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS**

Introdução, efeitos sanitários e ambientais associados às características de qualidade das águas residuais tratadas, aplicações da reutilização de águas residuais tratadas, critérios de qualidade dessas águas para serem reutilizadas e contexto legal e institucional da reutilização da água.

**CAP 1**

**CAP 2**

**CAP 3**

**CAP 4**

**CAP 5**

## **PARTE II – ESTRATÉGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA**

Metodologia para implementação de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas, aspectos técnicos, económicos e de participação pública.

**CAP 6**

**CAP 7**

**CAP 8**

**CAP 9**

**BIBLIOGRAFIA**

**GLOSSÁRIO**

**ANEXOS**

Figura 1-3 – Estrutura geral do Guia



## **2 EFEITOS AMBIENTAIS E SANITÁRIOS NO PROCESSO DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA ASSOCIADOS ÀS CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS**

### **2.1 Objectivos do capítulo**

As águas residuais contêm constituintes químicos e microbiológicos que não são totalmente removidos ou inactivados nas estações de tratamento. O residual de alguns desses constituintes presente nos efluentes tratados pode constituir a causa de alguns riscos para a saúde pública e para o ambiente. O controlo desses riscos baseia-se necessariamente no conhecimento da sua proveniência e dos impactes sobre a saúde humana e no ambiente em geral. O presente capítulo tem por objectivo identificar os constituintes químicos e biológicos com impacte significativo em projectos de reutilização de água que podem provocar consequências adversas para a saúde pública e avaliar esses efeitos.

Assim, este capítulo 2 inicia-se com a descrição dos constituintes das águas residuais não tratadas e a percentagem da sua remoção possível em estações de tratamento, o que permite avaliar as características químicas e microbiológicas das águas residuais tratadas disponíveis para reutilização. Segue-se a descrição dos riscos sanitários e ambientais potencialmente envolvidos em processos de reutilização de águas residuais, para melhor compreensão das metodologias de gestão desses riscos.

### **2.2 Características das águas residuais relevantes em reutilização**

As águas residuais urbanas são águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e pluviais colectadas para a rede de drenagem pública. As águas residuais urbanas podem conter substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas e suspensas na água:

- provenientes de água superficial ou subterrânea que constitui a origem de água bruta para produção de água para consumo humano;

- adicionadas e produzidas em reacções químicas e bioquímicas no decurso do processo de tratamento de água bruta para produção de água potável;
- adicionadas no decurso da utilização da água de abastecimento público para múltiplas actividades: uso doméstico, comercial, industrial e outras;
- carreadas pelas águas pluviais em sistemas de drenagem unitários;
- introduzidas com a água de infiltração nos colectores;
- produzidas por reacções químicas e bioquímicas durante o transporte no sistema de drenagem;
- adicionadas durante o transporte no sistema de drenagem para controlo de cheiro e de corrosão.

As águas residuais urbanas consistem, assim, numa complexa mistura de substâncias, povoada por numerosos microrganismos de diversos tipos, muitos dos quais são de origem fecal e alguns são patogénicos. Nas águas residuais as substâncias dissolvidas e em suspensão coloidal e verdadeira representam apenas 0,1% [Mara, 1978].

O tratamento convencional das águas residuais urbanas, vulgarmente denominado como «tratamento secundário», não remove completamente os constituintes das águas residuais, que assim são lançados no meio receptor, geralmente uma massa de água superficial, mas também o solo em casos menos frequentes, o que permite que possam atingir águas subterrâneas. Deste modo, a captação de água superficial e até subterrânea para abastecimento público, industrial ou agrícola, configura, quase sempre, um caso de reutilização indirecta e não planeada de efluentes de ETAR. Nos projectos de reutilização planeada os constituintes das águas residuais não removidos na ETAR devem ser tidos em consideração, especialmente os microrganismos patogénicos, que podem originar problemas de saúde pública, mas também os compostos não biodegradáveis, mais persistentes no ambiente, alguns dos quais com impactes ambientais cumulativos e adversos para os ecossistemas e mesmo para o homem.

No âmbito da reutilização de águas residuais tratadas é muito importante o conhecimento do caudal disponível e das suas flutuações, bem como das características qualitativas das águas residuais não tratadas, pois tal informação permite prever: a(s) aplicação(ões) da reutilização, que dependem do volume de água disponível; a composição da água a reutilizar, que será em função das características das águas residuais brutas e do

tipo de tratamento que receberam na ETAR ou a que deverão ainda ser submetidas para adequar à(s) utilização(ões) desejada(s).

A caracterização desta complexa entidade que são as águas residuais urbanas é sistematizada em três grandes grupos de características: físicas, químicas e biológicas. No Quadro 2-1 listam-se os principais parâmetros indicadores destas características e as principais vias da sua proveniência.

## 2.3 Riscos sanitários e ambientais da reutilização de águas residuais

As águas residuais, mesmo tratadas, contêm ainda compostos químicos e microrganismos patogénicos em concentração tanto mais reduzida quanto mais elevado o nível de tratamento. **Na maioria das aplicações de reutilização, os riscos sanitários e ambientais decorrentes da presença desses constituintes são considerados praticamente inexistentes**, porque são controlados adequadamente. Porém, há perigos cujo risco deve ser avaliado. Os microrganismos patogénicos podem provocar doenças nos seres humanos e nos animais, algumas de grande gravidade. Também certas substâncias, geralmente removidas de forma insuficiente no processo de tratamento, são perigosas para a saúde humana quando ingeridas, e em alguns casos também por contacto com o corpo humano. A reutilização de águas residuais não representa apenas riscos de saúde pública e animal, pois os seus constituintes também podem afectar o ambiente.

A **avaliação de riscos** de saúde pública é uma disciplina de desenvolvimento relativamente recente, que emergiu nos EUA em meados da década de 80 e é a primeira das três fases de um estudo de **análise de risco**, a qual inclui ainda a fase de **gestão dos riscos** e a de **comunicação dos riscos aos interessados**.

A avaliação de risco compreende: a caracterização dos efeitos expectáveis na saúde (perigos); a estimativa da probabilidade de ocorrência desses efeitos, que está relacionada com o tipo e intensidade de exposição ao factor de risco; o número de casos afectados por tais efeitos; e a proposta (quando possível) de concentração aceitável do constituinte que induz o risco do perigo acontecer.

A avaliação de risco visa proporcionar informação aos gestores do risco, nomeadamente aos legisladores e reguladores, razão pela qual a avaliação do risco e a sua gestão devem ser realizadas por equipas independentes, como actividades separadas.

Quadro 2-1 – Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens [Metcalf&Eddy, 1991]

Características	Origens
<b>Físicas</b>	
Cor	Resíduos domésticos e industriais, decomposição de matéria orgânica.
Cheiro	Decomposição das substâncias dissolvidas e em suspensão.
Temperatura	Águas residuais domésticas e industriais.
Sólidos	Água de abastecimento, águas residuais domésticas e industriais, erosão do solo, infiltração nos colectores.
<b>Químicas Orgânicas</b>	
Carbo-hidratos	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Proteínas	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Óleos e gorduras	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Detergentes	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Pesticidas	Resíduos agrícolas.
Fenóis	Águas residuais industriais.
Compostos voláteis	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Poluentes prioritários <sup>1</sup>	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
<b>Inorgânicas</b>	
Alcalinidade	Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada.
Cloretos	Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada.
Metais pesados	Águas residuais industriais.
Azoto	Águas residuais domésticas e escorrências agro-pecuárias.
Fósforo	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais; escorrências naturais.
pH	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Enxofre	Água de abastecimento, águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Poluentes prioritários	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
<b>Gases</b>	
Ácido sulfídrico	Decomposição de águas residuais domésticas.
Metano	Decomposição de águas residuais domésticas.
Oxigénio	Água do abastecimento público, infiltração de águas superficiais.
<b>Biológicas</b>	
Animais	Cursos de água e ETAR.
Plantas	Cursos de água e ETAR.
Bactérias	Águas residuais domésticas, infiltração de águas superficiais, ETAR.
Vírus	Águas residuais domésticas.

<sup>1</sup> Compostos orgânicos e inorgânicos que se sabe ou se suspeita serem carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos ou de toxicidade aguda.



Apesar de a análise de risco constituir um instrumento de apoio ao processo de tomada de decisão utilizado em diversos domínios, a sua aplicação à reutilização da água sofre de sérias limitações relativas à avaliação do risco de saúde pública, dada a dificuldade de estabelecer relações quantitativas dose-resposta, pois muitas das respostas aos estímulos microbiológicos (contracção de uma infecção) são consequência de contacto pessoa a pessoa e não de exposição a patogénicos transportados em água reutilizada. A elaboração de normas e regulamentação incidente sobre a reutilização de águas residuais tratadas não pode basear-se completamente numa análise de risco, dadas as lacunas de conhecimento da avaliação no campo da reutilização atrás referidas. Apesar disso, é importante conhecer os perigos que podem ser originados por determinados constituintes microbiológicos e químicos, presentes em concentrações mais ou menos elevadas, consoante o tratamento das águas residuais.

Em reutilização da água a origem do risco reside em alguns constituintes microbianos e químicos. Nas secções 2.4 e 2.5 são apresentados os riscos de saúde pública e ambientais associados às características microbiológicas e químicas das águas residuais tratadas aproveitadas para diversos usos.

## **2.4 Microrganismos patogénicos veiculados pela água**

### **2.4.1 Tipologia dos microrganismos presentes em águas residuais**

A eventual presença de microrganismos patogénicos constitui a preocupação dominante em projectos de reutilização, pelo risco de a água reutilizada constituir um veículo de transmissão de doenças e poder, assim, configurar um problema de saúde pública e/ou animal. As águas, como qualquer outra substância, contêm grandes quantidades de microrganismos – bactérias, algas, protozoários, fungos, vírus e até crustáceos – a grande maioria dos quais é ubíqua e inofensiva para o Homem. Porém, alguns microrganismos são patogénicos e a sua presença na água faz desta um veículo privilegiado de transmissão de numerosas doenças, algumas muito perigosas, e é a causa de elevadas taxas de mortalidade nos países subdesenvolvidos, principalmente na população infantil.

Os microrganismos patogénicos presentes nas águas naturais provêm das excreções (fezes e urina) de pessoas infectadas,<sup>2</sup> lançadas nas águas

---

<sup>2</sup> Os microrganismos patogénicos são excretados tanto por pessoas que já desenvolveram a doença, como pelos chamados *portadores sãos* (que, embora infectados, não manifestam sintomas de doença).

residuais domésticas, de certas águas residuais industriais que transportam resíduos análogos de origem animal, designadamente provenientes de matadouros, de indústrias agro-pecuárias e de águas residuais pluviais (em sistemas de drenagem unitários).

Os patogénicos presentes nas águas residuais e susceptíveis de disseminação no ambiente classificam-se nos seguintes grupos: bactérias, protozoários, helmintas e vírus.

As **bactérias** são microrganismos unicelulares, de 1-2  $\mu\text{m}$  de dimensão, que podem apresentar diversos formatos: esféricas (*cocos*), em forma de bastonete (*bacilos*), virgulares (*vibriões*), agrupados em cadeia (*estreptococos*), de fisionomia de cacho de uva (*estafilococos*), com formato helicoidal (*espirilas*) e filamentosas.

A maioria das bactérias são consideradas como aeróbias facultativas, pois são susceptíveis de se desenvolver quer em aerobiose, ou seja na presença do ar e oxigénio livre ( $\text{O}_2$ ), quer em anaerobiose, na sua ausência. Certas espécies desenvolvem-se apenas na presença do ar ou oxigénio livre e denominam-se *aeróbias estritas ou obrigatórias*, enquanto outras só proliferam na ausência de oxigénio livre e morrem na presença deste; são as *anaeróbias estritas*.

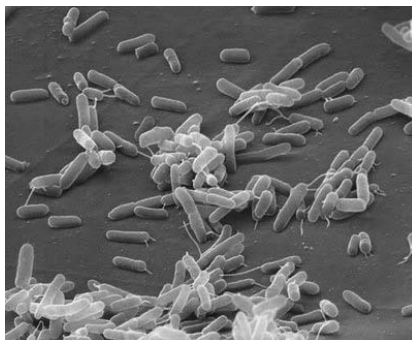


Figura 2-1 – Bactérias

Os **protozoários** são microrganismos unicelulares, que ingerem alimentos num modo de nutrição semelhante ao dos animais – captam, ingerem e digerem internamente massas sólidas ou partículas alimentares. São micróbios relativamente grandes, com diâmetros compreendidos entre 2 e 100  $\mu\text{m}$ . Alguns protozoários são móveis, por poderem desenvolver pseudópodes ou por disporem de cílios. Algumas espécies de protozoários são parasitas de hospedeiros, os quais podem ser desde simples algas até seres humanos.



Figura 2-2 – Protozoário patogénico

Os **helmintas** são vermes parasitas, de que algumas espécies podem assumir grande importância do ponto de vista de saúde pública. A grande maioria não é microscópica, mas os seus ovos ou cistos podem ser microscópicos.

Os helmintas dividem-se em dois grandes grupos: *platelmintas* ou *vermes planos*, e *asquelmintas* ou *vermes cilíndricos*.



Figura 2-3 – Ovo de helminta

Algumas classes destes grupos são parasitas do homem. Como exemplo de platelmintas parasitas citam-se a *Taenia solium* e a *Taenia saginata*.

Os **nemátodos** são os membros mais importantes do grupo dos vermes cilíndricos. Conhecem-se mais de 10 mil espécies de nemátodos. Os de maior interesse, devido às doenças que causam, são a *Trichinella*, o *Necator*, a *Ascaris* e a *Filaria*.

Os **vírus** são partículas de ADN (ácido desoxirribonucleico) ou de ARN (ácido ribonucleico) envolvidas por uma cápsula proteica, e são parasitas

obrigatórios de células vivas de um hospedeiro apropriado – animal, planta ou bactéria –, pois não possuem a capacidade de sintetizar alimentos.

Os vírus são os mais pequenos e mais simples de todos os microrganismos, com um diâmetro compreendido entre 0,01 e 0,3  $\mu\text{m}$ . Na maior parte, são «ultramicroscópicos» (isto é menores do que as partículas que podem ser resolvidas pelo microscópio óptico, portanto com diâmetro inferior a 0,2  $\mu\text{m}$ ).

Quando uma célula parasitada por um vírus morre, dá-se a sua lise, isto é, a célula rompe-se e liberta para o organismo grande número de novos vírus originados por reprodução do vírus parasita. A título de exemplo, note-se que 1 grama de fezes de uma pessoa infectada com o vírus de hepatite contém entre dez mil a cem mil doses infecciosas de vírus de hepatite.

Certas bactérias assemelham-se aos vírus pelo facto de não poderem viver senão no interior das células, mas estes últimos possuem um processo inteiramente diferente de crescimento e reprodução. Os vírus que afectam e parasitam as bactérias tomam o nome de *bacteriófagos* ou simplesmente *fagos*.

No Quadro 2-2 listam-se os géneros de patogénicos mais vulgares nas águas residuais dentro dos quatro referidos grupos, bem como as doenças a que dão origem.

Até há cerca de uma década atrás acreditava-se que algumas doenças provocadas por alguns patogénicos tinham sido, senão erradicadas, pelo menos encontravam-se controladas, como por exemplo a tuberculose (infecção causada pelo bacilo de Koch) e a chamada doença do legionário, provocada pela bactéria *Legionella pneumophila*.

Os surtos surgidos, nos últimos anos, tanto em países desenvolvidos, como os EUA e a Rússia, como em países subdesenvolvidos do continente africano, de doenças que se pensavam controladas, leva a concluir que emergiram novas estirpes resistentes aos fármacos correntes. Tais microrganismos patogénicos são designados **patogénicos reemergentes**.

#### **2.4.2 Concentração de microrganismos presentes nas águas residuais**

A quantidade e a tipologia dos microrganismos presentes nas águas residuais urbanas são muito variáveis de um aglomerado populacional para outro, variando também, no mesmo aglomerado, ao longo dos meses e

Quadro 2-2 – Grupos de patogénicos mais correntes veiculados pela água e doenças associadas

Grupo	Microorganismo patogénico	Doença e sintomas
Bactérias	<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite.
	<i>E. coli</i> patogénica	Enterite, diarreia.
	<i>Salmonella</i> <i>S. typhi</i> <i>S. paratyphi</i> Outras espécies	Febre tifóide. Febre paratífóide. Salmoneloses.
	<i>Shigella</i> spp. <i>Vibrio cholerae</i> Outros vibriões	Desintéria bacilar. Cólera.
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterite e septicemia.
Protozoários	<i>Balantidium coli</i>	Diarreia, desintéria e úlcera do cólon.
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Úlcera do cólon, desintéria amibiana e abscesso do fígado.
	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia e má absorção.
Helmintas	<i>Ancylostoma uodenal</i>	Ancilostomíase.
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase.
	<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiíase.
	<i>Hymenolepis nana</i>	Himenolepiíase.
	<i>Necator americanus</i>	Ancilostomíase.
	<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidíase.
	<i>Taenia saginata</i> e <i>Taenia solium</i>	Teníase.
<i>Trichuris trichura</i>	Tricuríase.	
Vírus	Enterovírus	
	Poliovírus	Paralisia, meningite asséptica.
	Coxsackievírus	A – Paralisia, meningite asséptica, febres, doenças respiratórias. B – Paralisia, meningite asséptica, pericardites, miocardites, doenças cardíacas congénitas, pleurodinia.
	Ecovírus	Infecções respiratórias, meningite asséptica, diarreia, pericardite, miocardite, prurido, febre.
	Reovírus	Doenças respiratórias, gastroenterites.
	Adenovírus	Conjuntivite aguda, diarreia, doenças respiratórias.
	Rotavírus	Gastroenterite infantil.
	Vírus da hepatite A e E	Hepatite A.
Calivírus	Gastroenterites, diarreias.	

Fontes: [Feachem et al., 1983; Asano et al., 2007].

até dos dias. A quantidade e o tipo dos microrganismos presentes nas águas residuais de uma determinada localidade dependem de factores

relacionados com o estado de saúde da população (o que está relacionado com as suas características sócio-económicas) e de factores condicionantes da sobrevivência dos microrganismos nas águas residuais.

A quantidade de microrganismos (patogénicos e não patogénicos) excretada por cada indivíduo é muito elevada, da ordem de muitos milhões por grama de fezes. A sua concentração nas águas residuais não tratadas é reduzida por diluição e pelo decaimento natural dos microrganismos quando se encontram fora do seu *habitat* natural – o organismo de que é hospedeiro –, mas ainda se mede por milhões de microrganismos por 100 mL de águas residuais não tratadas. No Quadro 2-3 apresentam-se os valores da carga excretada e da concentração típica em águas residuais não tratadas de alguns patogénicos comuns em águas residuais.

O tratamento proporcionado em ETAR convencionais tem por primordial objectivo a remoção de poluentes químicos, quantificados em termos de SST, CBO, CQO, azoto e fósforo. Associada à remoção dos poluentes químicos verifica-se também alguma redução da quantidade de microrganismos de origem fecal, mas muito incipiente, da ordem de 1 a 2 unidades logarítmicas.

Quadro 2-3 – Concentração de patogénicos em águas residuais não tratadas

	Microrganismo	Carga excretada (nº/g fezes)	Concentração típica em águas residuais não tratadas (NMP/100 mL)
Bactérias	Coliformes totais		$10^7$ - $10^9$
	Coliformes fecais		$10^5$ - $10^8$
	<i>Clostridium perfringens</i>		$10^3$ - $10^5$
	<i>Enterocci</i>		$10^4$ - $10^5$
	Estreptococos fecais		$10^4$ - $10^6$
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		$10^3$ - $10^6$
	<i>Shigella</i>	$10^7$	$10^0$ - $10^3$
Protozoários	<i>Salmonella</i>	$10^8$	$10^2$ - $10^4$
	Cistos de <i>Cryptosporidium parvum</i>		$10^1$ - $10^5$
	Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	$10^5$	$10^0$ - $10^5$
Helmintas	Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	$10^5$	$10^1$ - $10^4$
	Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	$10^4$	$10^0$ - $10^3$
Vírus	Vírus entéricos	$10^7$	$10^3$ - $10^4$
	Colífagos		$10^2$ - $10^4$

Fontes: [Feachem et al., 1983; Asano et al., 2007].

O lançamento nos meios receptores aquáticos de efluentes secundários constitui, por consequência, uma das principais origens de microrganismos patogénicos nas águas superficiais doces e costeiras. Por maioria de razão, o mesmo se pode dizer da descarga de efluentes primários. Porém, a desinfecção do efluente das ETAR permite reduzir o número de microrganismos de origem fecal até níveis de segurança do ponto de vista do contacto humano com essas águas. No Quadro 2-4 apresenta-se a capacidade de diversos processos de tratamento para inactivar microrganismos presentes em águas residuais.

Quadro 2-4 – Eficiência de remoção microbiana por processo de tratamento de águas residuais

Microrganismos	Remoção de microrganismos por processo de tratamento (unidades logarítmicas)					
	Primário	Secundário		Terciário		Avançado
	Decantação não assistida	Lamas activadas	Leitos percoladores	Filtração	Desinfecção	Osmose inversa
Coliformes fecais	<0,1-0,3	0-2	0,8-2	0-1	1-4	4-7
<i>Salmonella</i>	<0,1-2	0,5-2	0,8-2	0-1	1-4	4-7
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	0,2-0,4	0-1	0,5-2	0-1	1-4	4-7
<i>Shigella</i>	<0,1	0,7-1	0,8-2	0-1	1-4	4-7
<i>Campylobacter</i>	1	1-2		0-1	1-4	4-7
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0,1-1	1		0-3	1-4	4-7
<i>Entamoeba histolytica</i>	0-0,3	<0,1	<0,1	0-3	2-6	>7
<i>Giardia lamblia</i>	<1	2		0-3	2-6	>7
Ovos de helmintas	0,3-1,7	<0,1	1	0-4	2-6	>7
Vírus entéricos	<0,1	0,6-2	0-0,8	0-1	2-6	4-7

Fonte: [Asano et al., 2007]

O Quadro 2-4 mostra que: a diferença de concentração microbiana entre águas residuais não tratadas e um efluente primário é de 1 unidade logarítmica no máximo; um efluente secundário pode reduzir 2 unidades logarítmicas no teor de microrganismos, sendo, portanto, uma água com um potencial contaminante apenas ligeiramente mais baixo que o de águas residuais brutas; os processos de tratamento conhecidos como «processos de membrana», de que a ultrafiltração é um exemplo, têm capacidade para reduzir a quase totalidade dos microrganismos presentes nas águas residuais não tratadas.

### 2.4.3 Riscos de saúde pública decorrentes das características microbiológicas das águas residuais reutilizadas

A utilização de águas residuais tratadas implica a possibilidade de equipamentos, materiais, pessoas e o ambiente circundante ficarem expostos ao contacto com essa água e aos microrganismos patogénicos que esta contiver. As pessoas e os animais que contactarem com as águas residuais reutilizadas, ou com os equipamentos, materiais ou ambiente circundante molhados por essas águas, podem contactar com patogénicos, podendo esse contacto proporcionar a ingestão directa dos patogénicos, a sua inalação, a sua penetração no organismo por outras vias, como o contacto com lesões corporais.

O risco de saúde inerente à reutilização de águas residuais tratadas pode ser praticamente nulo, mas também pode atingir níveis sérios, dependendo fundamentalmente dos seguintes factores:

- a) Concentração de microrganismos patogénicos na água reutilizada, o que depende do nível de tratamento das águas residuais e da fiabilidade desse tratamento, sendo possível dispor de água para reutilização que vai desde um efluente primário, ou, mais frequentemente, de um efluente secundário típico, que apresentam teores de coliformes fecais da ordem de  $10^6$  UFC/100 mL, até efluentes submetidos a desinfecção, em que o teor deste indicadores apresenta níveis equivalentes ao da água para consumo humano (ver Quadro 2-4).
- b) Características epidemiológicas dos diferentes patogénicos presentes nas águas residuais.
- c) Da exposição da população ao contacto com a água reutilizada, que varia com a finalidade da reutilização, podendo ir da máxima exposição – com a ingestão de vegetais crus regados com essa água – até um exposição praticamente nula, como o caso da certas reutilizações industriais.

#### 2.4.3.1 Características epidemiológicas dos microrganismos patogénicos

Os microrganismos presentes nas águas residuais possuem características epidemiológicas variáveis – persistência, latência e dose infectante –, o que origina riscos potenciais diferentes, embora estes também dependam da susceptibilidade da população exposta, determinada pelo seu estado de saúde e nível de imunidade.

A **latência** define-se como o intervalo de tempo decorrido entre a excreção de um patogénico e a infecção de um novo hospedeiro vertebrado.



Alguns microrganismos – entre os quais se incluem todas as bactérias, protozoários e vírus de origem fecal – não têm período de latência, tornando-se imediatamente infecciosos assim que são excretados. Outros, como os helmintas, apresentam um período de latência mais ou menos longo, dependendo do seu ciclo de vida incluir um ou mais hospedeiros intermediários, podendo tal ser necessário para que a fase excretada se desenvolva para uma fase infecciosa.

A **persistência** é a característica que traduz a viabilidade do microrganismo fora do seu *habitat*, isto é, avalia a rapidez da sua eliminação após a excreção pelo corpo humano ou, dito de outra forma, avalia a sua sobrevivência fora do corpo humano.

A persistência dos microrganismos patogénicos varia com o tipo de organismo e depende das condições ambientais, principalmente da temperatura e da humidade: de um modo geral, os microrganismos persistem mais tempo a temperaturas mais baixas e em ambientes mais húmidos.

Alguns patogénicos conseguem multiplicar-se fora do trato intestinal. É o caso das bactérias do género *Salmonella*, que se multiplicam nos produtos alimentares, e dos helmintas da classe dos tremátodos, que se multiplicam no corpo de caracóis aquáticos.

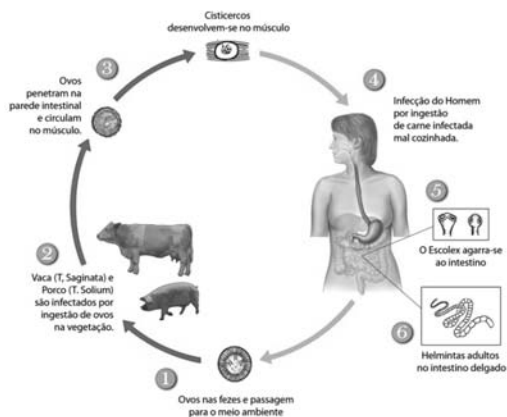


Figura 2-4 – Ciclo de vida da *Taenia saginata*

A **dose infectante** de um determinado patogénico representa a quantidade desse microrganismo que um indivíduo em bom estado de saúde necessitaria de ingerir para ficar doente.

A dose infectante é extremamente variável em função do tipo de microrganismo, sendo relativamente elevada para muitas bactérias e protozoários patogénicos e bastante baixa para outros. O conceito de dose infec-

tante é de difícil quantificação, pois os voluntários para os estudos de quantificação são, em geral, indivíduos adultos, bem alimentados e de áreas não endêmicas. As doses infectantes assim determinadas devem ser cautelosamente extrapoladas para o caso de crianças subnutridas, de zonas endêmicas. Refira-se, a propósito, que nestas regiões muitos indivíduos são portadores sãos, que não manifestam sinais clínicos de doença, mas que excretam no ambiente grandes quantidades de patogénicos.

No Quadro 2-5 apresenta-se um resumo das características epidemiológicas dos principais microrganismos patogénicos presentes em águas residuais urbanas.

Quadro 2-5 – Características epidemiológicas dos principais microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais urbanas. Fonte: [Feachem et al., 1983]

Patogénico	Carga excretada <sup>a</sup>	Latência <sup>b</sup>	Persistência <sup>c</sup>	Dose infecciosa mediana (DI <sub>50</sub> )
<b>VÍRUS</b>				
Enterovírus <sup>d</sup>	10 <sup>7</sup>	0	3 meses	1 – 10
Vírus hepatite A	10 <sup>6</sup>	0	?	Baixa (?)
Rotavírus	10 <sup>6</sup>	0	?	Baixa (?)
<b>BACTÉRIAS</b>				
<i>Campylobacter fetus ssp. jejuni</i>	10 <sup>7</sup>	0	7 dias	Elevada (?)
<i>E. coli</i> patogénica	10 <sup>6</sup>	0	3 meses	10 <sup>6</sup> – 10 <sup>10</sup>
<i>Salmonella typhi</i>	10 <sup>6</sup>	0	2 meses	Elevada
outras salmonelas	10 <sup>6</sup>	0	3 meses	Elevada
<i>Shigella spp.</i>	10 <sup>7</sup>	0	1 mês	10 – 20
<i>Vibrio cholerae</i>	10 <sup>7</sup>	0	1 mês (?)	Elevada
<i>Yersinia enterocolitica</i>	10 <sup>5</sup>	0	3 meses	Elevada (?)
<b>PROTOZOÁRIOS</b>				
<i>Giardia lamblia</i>	10 <sup>5</sup>	0	25 dias	< 20
<i>Entamoeba histolytica</i>	10 <sup>5</sup>	0	25 dias	10 – 20
<i>Balantidium coli</i>	?	0	?	Baixa (?)
<i>Cryptosporidium</i>				1 – 10
<b>HELMINTAS</b>				
<i>Trichuris trichura</i>	10 <sup>3</sup>	20 dias	9 meses	Baixa
<i>Ascaris lumbricoides</i>	10 <sup>4</sup>	10 dias	1 ano	1 – 10
<i>Enterobius vermicularis</i>	*	0	7 dias	Baixa
<i>Hymenolepis nana</i>	?	0	1 mês	Baixa
<i>Taenia saginata</i> e <i>Taenia solium</i>	10 <sup>4</sup>	2 meses	9 meses	Baixa

Baixa (< 10<sup>3</sup>); Média (≈ 10<sup>5</sup>); Elevada (> 10<sup>9</sup>); ? Ainda existe incerteza.

<sup>a</sup> Valor médio de microrganismos por grama de fezes (com excepção dos que ocorrem na urina);

<sup>b</sup> Tempo mínimo médio entre a excreção e a infecção;

<sup>c</sup> Máxima vida estimada da fase infecciosa à temperatura ambiente de 20-30°C;

<sup>d</sup> Incluídos os polio-, eco- e coxaquievírus; e Inclui a *E.coli* enterotoxigénica, a *E.coli* enteroinvasiva e a *E.coli* enteropatogénica.

### 2.4.3.2 Vias de exposição

A exposição dos seres humanos ao risco induzido pela reutilização de águas residuais tratadas pode ser muito variável. Na Figura 2-5 apresenta-se um esquema ilustrativo do percurso do risco associado à presença de microrganismos patogénicos na água a reutilizar. A forma de exposição aos patogénicos varia consoante a finalidade e a forma da reutilização, conforme indicado no Quadro 2-6, podendo ser uma exposição máxima se houver ingestão de culturas regadas com água reutilizada, contacto directo do corpo com superfícies molhadas com essa água ou inalação de aerossóis com essa origem. Mesmo nestas situações de máxima exposição, a intensidade pode ser muito reduzida, se o nível de tratamento das águas residuais reduzir a presença de microrganismos indicadores a teores muito baixos.

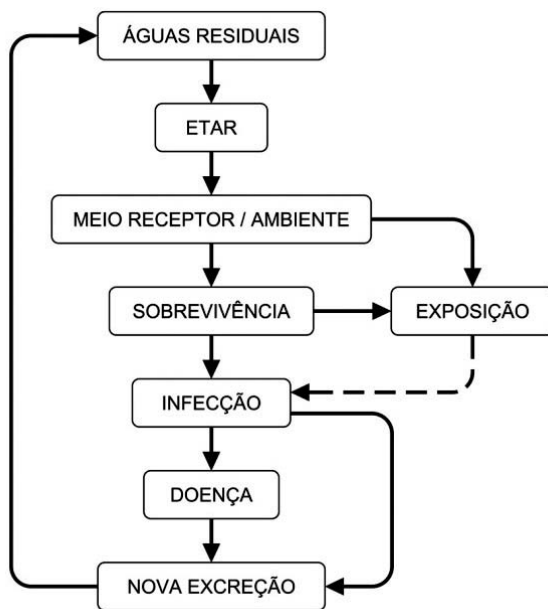


Figura 2-5 – Vias de exposição a microrganismos patogénicos em sistemas de reutilização de águas residuais tratadas

## 2.5 Poluentes químicos

### 2.5.1 Composição química das águas residuais

As características das águas residuais urbanas são extremamente variáveis, dependendo do tipo de rede de drenagem – unitária e/ou separativa –

Quadro 2-6 – Vias de exposição consoante a utilização de águas residuais tratadas

Aplicação	Vias de exposição
Reutilização para rega agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Consumo de plantas regadas com água reutilizada;</li> <li>– Consumo de carne e outros produtos de animais alimentados com plantas regadas com água reutilizada;</li> <li>– Contacto com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada;</li> <li>– Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.</li> </ul>
Reutilização para rega paisagística	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Contacto com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada;</li> <li>– Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.</li> </ul>
Reutilização industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eventual exposição a salpicos de água em operações de lavagem de equipamento, de pavimentos.</li> </ul>
Recarga de aquíferos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abastecimento de água para consumo humano, para rega e para a indústria.</li> </ul>
Usos recreativos e ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Contacto com a água, plantas e animais aquáticos.</li> </ul>
Reutilização para usos urbanos não potáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ligações cruzadas com a rede de abastecimento de água potável;</li> <li>– Exposição a aerossóis formados na lavagem de veículos e no combate a incêndios.</li> </ul>

das características sócio-económicas da população e do seu estado de saúde, variando de um aglomerado populacional para outro, devido à própria natureza da água de abastecimento público de cujas utilizações são originárias e aos diferentes contributos recebidos dos estabelecimentos industriais e comerciais, variando a sua composição até no mesmo aglomerado, não só em termos de concentração, mas também de substâncias dissolvidas. Praticamente é possível encontrar qualquer substância nas águas residuais, considerando-se que cerca de 10 mil novos compostos são anualmente introduzidos no mercado, podendo estes atingir as águas residuais [Metcalf & Eddy, 1991].

A análise química exaustiva da composição das águas residuais torna-se assim impossível, havendo que recorrer aos chamados parâmetros agregados, como a CBO, a CQO, o COT, os SST ou os SDT, que quantificam a concentração do conjunto de compostos com determinada característica comum, como por exemplo: compostos orgânicos biodegradáveis, no caso da CBO, compostos dissolvidos no caso dos SDT. O Quadro 2-7 apresenta os valores de composição química típica de águas residuais urbanas. Nas situações menos típicas alguns parâmetros apresentam valores de concentração bastante mais elevados, como é o caso de localidades costeiras, em que é frequente ocorrer infiltração de água salobra ou salgada nos colectores, originando valores de salinidade das águas residuais muito superiores aos valores típicos.

## 2.5.2 Composição química das águas residuais tratadas

A concentração de poluentes químicos nas águas residuais tratadas é, naturalmente, muito inferior aos valores referentes à composição química típica de águas residuais brutas indicados no Quadro 2-7, dependendo do nível e da eficácia do tratamento nas ETAR. De acordo com a legislação em vigor (Decreto-lei n.º 152/97, de 19 de Junho), as águas residuais urbanas são convencionalmente submetidas a tratamento secundário, excepcionalmente apenas a tratamento primário, e, em outros casos, a tratamento terciário.

O tratamento secundário produz efluentes com qualidade adequada à sua reutilização em algumas aplicações, desde que compatíveis com o elevado

Quadro 2-7 – Composição típica de águas residuais urbanas não tratadas

Poluente	Unidades mg/L	EUA		Portugal	
		Intervalo de variação	Valor típico	Intervalo de variação	Valor típico
Sólidos Totais (ST)	mg/L	390 - 1230	720	980 - 60	715
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	270 - 860	500	210 - 720	550
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)	mg/L	160 - 520	300	–	–
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	mg/L	110 - 340	200	–	–
Sólidos em Suspensão Totais (SST)	mg/L	120 - 400	210	90 - 430	190
Sólidos em Suspensão Fixos (SSF)	mg/L	25 - 85	50	9 - 24	16
Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV)	mg/L	95 - 315	160	34 - 109	72
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	5 - 20	10	–	–
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> )	mg/L O <sub>2</sub>	110 - 350	190	444 - 1338	290
Carência Química de Oxigénio (CQO)	mg/L O <sub>2</sub>	250 - 800	430	746 - 1946	608
Carbono Orgânico Total (COT)	mg/L	80 - 260	140	–	–
Azoto Total (N-tot)	mg/L N	20 - 70	40	53 - 88	60
Azoto Orgânico (N-org)	mg/L N	8 - 25	15	11,8 - 16,0	14
Azoto Amoniacal (N-NH <sub>4</sub> )	mg/L NH <sub>4</sub>	12 - 45	25	32 - 81	38
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> )	mg/L NO <sub>2</sub>	0 - vestígios	0	vestígios - 1,31	0,19
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L NO <sub>3</sub>	0 - vestígios	0	vestígios - 3,3	0,5
Fósforo Total (P-tot)	mg/L P	4 - 12	7	3,5 - 13	8,5
Fósforo Orgânico (P-org)	mg/L P	1 - 4	2	–	–
Fósforo Inorgânico (P-ort)	mg/L P	3 - 10	5	–	9
Cloretos	mg/L	30 - 90	50	120 - 136	128
Sulfatos	mg/L	20 - 50	30	42 - 75	47
Óleos e gorduras	mg/L	50 - 100	90	39 - 475	115

teor de microrganismos de origem fecal ainda presentes nos efluentes secundários e com a presença de alguns constituintes químicos. Porém, certas finalidades de reutilização de água requerem que as águas residuais tratadas apresentem concentrações mais baixas de microrganismos e de compostos químicos considerados nocivos para a saúde humana e animal do que as concentrações típicas de efluentes secundários.

O desenvolvimento tecnológico registado no campo do tratamento de água, nomeadamente no que respeita aos chamados processos de membranas e aos processos de oxidação catalítica, possibilita o tratamento de águas residuais de modo a reduzir o teor de microrganismos e de poluentes químicos com eficiências muito elevadas, se necessário até ao nível susceptível de cumprir todos os requisitos de qualidade de água para consumo humano. A viabilidade de transformar águas residuais em água mais pura que muitas águas naturais captadas para usos vários constitui um elevado factor de segurança no contexto da reutilização da água.

No Quadro 2-8 apresentam-se valores experimentais, recolhidos de casos reais, referentes à eficiência de remoção de diversos constituintes de águas residuais quando submetidas a tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário e tratamento avançado, bem como a eficiência global de uma fileira de tratamento com estes quatro níveis de tratamento [Asano *et al.*, 2007].

A produção de águas residuais tratadas com qualidade adequada à reutilização pretendida é tecnicamente possível, visto existirem soluções tecnológicas para o efeito. Porém, além da disponibilidade dessa tecnologia, será necessário assegurar a elevada probabilidade de as operações e os processos de tratamento seleccionados, para atingir a qualidade da água pretendida em função da sua eficiência depurativa teórica, apresentarem um desempenho eficaz permanente, ou, dito por outras palavras, será necessário assegurar a **fiabilidade** do tratamento das AR (ver capítulo 7).

### 2.5.3 Riscos decorrentes da composição química das águas residuais

A enorme variedade de compostos orgânicos sintéticos constitui uma fonte de preocupação ambiental, pois muitos destes compostos não são biodegradáveis, e alguns têm propriedades conhecidas como carcinogénicas, mutagénicas, teratogénicas e inibidores de fertilidade. Alguns grupos de compostos orgânicos perigosos merecem especial destaque, nomeadamente: os halogenetos orgânicos (AOX), os pesticidas, os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HAP) e os poluentes orgânicos persistentes (POP).

Quadro 2-8 – Eficiência de remoção de poluentes químicos submetidos a tratamento primário, secundário, terciário e avançado

	Remoção do tratamento (%)				
	Primário	Secundário	Terciário	Avançado	Global
CBO	19	74	5	NA	98
SST	40	55	4	NA	99+
COT	21	64	8	7	99+
ST	9	10	6	72	97
Turvação	12	74	14	0	99+
N-NH <sub>4</sub>	5	52	1	39	96
N-NO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0
P-PO <sub>4</sub>	16	28	54	0	98
Arsénio	3	19	30	30	92
Boro	0	0	13	3	17
Cádmio	17	0	67	0	83
Cálcio	3	7	0	88	99
Cloretos	3	0	0	90	94
Crómio	0	32	24	26	83
Cobre	0	33	52	0	83
Ferro	11	59	22	2	94
Chumbo	0	0	93	0	91
Magnésio	1	0	82	13	96
Manganês	4	37	57	0	97
Mercurio	33	33	0	0	67
Níquel	0	33	11	45	89
Selénio	0	16	0	64	80
Prata	0	75	0	0	75
Sódio	3	0	0	91	94
Sulfatos	9	0	0	91	99+
Zinco	6	64	27	0	97

NA – não aplicável.

O desconhecimento sobre a identidade de muitos compostos quantificados de forma agregada, bem como sobre os seus efeitos num processo de reutilização da água, levanta alguns receios e questões de precaução, que só podem ser esclarecidas com base no conhecimento da capacidade dos processos de tratamento de águas residuais para reduzir ou eliminar compostos químicos e grupos de compostos. Estes receios são bem compreensíveis nos casos em que os constituintes da água reutilizada podem entrar na cadeia alimentar humana – designadamente pelo consumo de água (captada, por exemplo, num aquífero recarregado com águas residuais tratadas ou num rio que recebe águas residuais tratadas a montante da captação) –, mas também se colocam noutras situações, em que o que o objecto de eventuais impactes da reutilização de águas

residuais tratadas são as componentes bióticas e abióticas de ecossistemas, quer estes sejam naturais, quer sejam ecossistemas controlados, como as instalações agrícolas. Os grupos de poluentes químicos mais relevantes no contexto da reutilização da água são os seguintes:

- Sais
- Metais pesados
- Substâncias tensioactivas
- Sólidos em suspensão
- Halogenetos orgânicos (AOX)
- Pesticidas
- Disruptores endócrinos
- Produtos farmacêuticos
- Poluentes orgânicos persistentes (POP)

O desenvolvimento dos métodos de análise tem permitido, nos últimos anos, a identificação de alguns compostos químicos denominados **poluentes emergentes**, cuja regulamentação é ainda matéria em consideração. Entre os poluentes emergentes incluem-se os chamados **disruptores endócrinos**, que são compostos de origem antropogénica, e alguns também de origem natural, que alteram o sistema natural de produção de hormonas em animais, o que induz desequilíbrios nos seres humanos e nos animais. São conhecidos casos de feminização de peixes machos. Os disruptores endócrinos conhecidos abrangem algumas centenas de compostos, como hormonas naturais – humanas e animais –, hormonas sintéticas, nomeadamente as pílulas anticoncepcionais, produtos cosméticos, pesticidas, produtos de higiene doméstica, produtos químicos industriais, produtos farmacêuticos e alguns metais.

No âmbito dos poluentes emergentes, merecem ainda especial referência alguns compostos provenientes principalmente da desinfecção por cloração, como a N-nitrosodimetilamina (NDMA) conhecida pelo seu elevado poder cancerígeno, e os percloratos, utilizados no fabrico de explosivos e em pirotecnia, os quais têm poder desfolhante e que se acumulam em plantas regadas com água contaminada por estes compostos e nos produtos lácteos produzidos por animais alimentados com essas plantas.

A aplicação de **regulamentos de descarga de águas residuais industriais em sistemas de drenagem de águas residuais urbanas** constitui um importante instrumento na minimização dos riscos de saúde pública e ambientais associados à composição química das águas residuais reutilizadas, visto que permite conhecer muitos poluentes químicos presentes nas águas residuais não tratadas, bem como controlar a quantidade lançada nos colectores.



De um modo geral, a concentração de poluentes químicos perigosos em águas residuais tratadas é muito reduzida, frequentemente da mesma ordem de grandeza dos valores de concentração encontrados em águas subterrâneas, nomeadamente no que concerne aos metais pesados, pesticidas e produtos farmacêuticos.

A via de exposição aos poluentes químicos é determinante para o nível de risco. A reutilização de água directa para consumo humano representará o limite máximo de risco, que obriga ao recurso a tratamentos potentes para destruição dos poluentes perigosos. A reutilização de águas residuais para recarga de aquíferos obriga também a uma atenção cuidada ao tipo e concentração de poluentes químicos, pois os aquíferos podem constituir origens de água para consumo humano. Porém, a exposição humana aos poluentes químicos é bastante limitada em muitas outras utilizações de águas residuais tratadas. Por exemplo, efluentes secundários e terciários de aglomerados com boa gestão das águas residuais industriais, através da aplicação de regulamentos apropriados, podem ser utilizados para rega, sem qualquer restrição motivada por questões de saúde induzidas pela composição química das águas residuais [Chang *et al.*, 1995].

## 2.6 Conclusões

As águas residuais tratadas contêm concentrações residuais de compostos químicos, bem como numerosos microrganismos, alguns patogénicos, em concentração variável consoante o nível do tratamento. Nos projectos de reutilização de águas residuais, os constituintes das águas residuais não removidos na ETAR devem ser tidos em consideração. Na maioria das aplicações de reutilização os riscos sanitários e ambientais decorrentes da presença desses constituintes são considerados praticamente inexistentes, porque controlados adequadamente. A presença de alguns constituintes representa mesmo um benefício para certas utilizações. O exemplo mais característico é a fertilização proporcionada pela reutilização de águas residuais para rega, devido ao conteúdo das águas residuais em azoto e fósforo.

Por outro lado, os microrganismos patogénicos podem provocar doenças nos seres humanos e em animais, algumas de grande gravidade. Também certas substâncias, geralmente removidas de forma insuficiente no processo de tratamento, são perigosas para a saúde humana quando ingeridas e, em alguns casos, também por contacto com o corpo humano. A reutilização de águas residuais não representa apenas riscos de saúde

pública e animal, pois os seus constituintes também podem afectar a ambiente. A avaliação de riscos de saúde pública e de impactes ambientais em projectos de reutilização de águas residuais é muito difícil, pela dificuldade na obtenção de dados fidedignos que quantifiquem a relação dose-resposta. A referida dificuldade de quantificação dos riscos torna indispensável o conhecimento aprofundado das características qualitativas das águas residuais tratadas e dos perigos associados a algumas dessas características.

A eventual presença de microrganismos patogénicos constitui a preocupação dominante em projectos de reutilização, pelo risco de a água reutilizada constituir um veículo de transmissão de doenças, algumas muito perigosas. Em reutilização de águas residuais tratadas torna-se, pois, importante o conhecimento das características epidemiológicas dos microrganismos patogénicos – latência, persistência e dose infectante –, bem como das vias de exposição, quer aos patogénicos quer a determinados compostos químicos. Alguns microrganismos patogénicos são hoje rotulados como emergentes, seja por serem desconhecidos até há poucos anos, seja por se reconhecer que as doenças por eles originadas deixaram de poder ser consideradas controladas, como é o caso da tuberculose. Também alguns compostos químicos são classificados como emergentes e merecedores de atenção em projectos de reutilização de águas residuais, designadamente determinados compostos formados na desinfecção com compostos de cloro, como a NDMA.

Os desenvolvimentos registados no domínio do tratamento de água permitem, actualmente, a eliminação praticamente completa de qualquer tipo de poluente químico e de microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais, possibilitando a produção de água que satisfaça todos os critérios de qualidade de água para consumo humano a partir de águas residuais. Na grande maioria das aplicações de reutilização de água não é necessária a produção de água potável e o tratamento complementar para possibilitar a reutilização das águas residuais tratadas consiste na sua desinfecção e tratamento preparatório da desinfecção (essencialmente, redução da turvação). Apesar de determinados processos de tratamento avançado, como a microfiltração, se terem tornado economicamente acessíveis, constitui princípio de boa prática de engenharia procurar que as utilizações de reutilização do efluente de uma ETAR sejam compatíveis com a qualidade desse efluente depois de submetido a um tratamento complementar de afinação tão simples e económico quanto possível.

## 3 APLICAÇÕES DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS

### 3.1 Objectivos do capítulo

A água pode ser reutilizada múltiplas vezes e para múltiplos usos, desde que seja tratada de modo a adquirir a qualidade compatível com esses usos e que a utilização seja economicamente viável, ambientalmente segura e aceite pela opinião pública.

O presente capítulo apresenta as utilizações de águas residuais tratadas cuja aplicação em Portugal se afigura de interesse mais provável: a rega na agricultura; a rega paisagística, onde se inclui a rega de campos de golfe, tão importante no panorama turístico e socioeconómico do país; o abastecimento a algumas indústrias, como a têxtil e a do papel, que assumem dimensão significativa no tecido industrial português; a recarga de aquíferos; alguns usos ambientais e paisagísticos, como a criação de lagos de recreio ou a preservação de *habitats* da vida selvagem; e diversos usos urbanos que não necessitam de utilizar água tratada para consumo humano, como sejam a lavagem de ruas, a descarga de autoclismos, o combate a incêndios.

A reutilização para uso potável, mesmo indirecta, por reforço do volume de uma origem de água destinada à produção de água para consumo humano, não é incluída no objecto do presente capítulo, pois não se afigura como de provável interesse em Portugal, pelo menos no futuro próximo e a médio prazo.

**A reutilização de águas residuais não tratadas é totalmente excluída** do âmbito desta publicação, por constituir uma prática incorrecta, que não deve ser tolerada.

Para cada domínio de reutilização de águas residuais com interesse no nosso país é apresentada: uma breve descrição do(s) seu(s) objectivo(s), da extensão da sua prática noutros países e dos diversos factores que, de algum modo, condicionam a implementação de projectos de reutilização para essa finalidade, as características de qualidade relevantes e as principais medidas de controlo dos projectos de reutilização.

### 3.2 Aplicações da reutilização de águas residuais tratadas

O recurso ao aproveitamento de águas residuais tratadas é preferencialmente praticado para satisfazer utilizações que registam maior procura de água em

termos quantitativos e que requerem água com características de qualidade afinadas por meio de tratamento complementar técnica e economicamente exequível, que sejam compatíveis com a qualidade dos efluentes correntes das ETAR.

A rega, com condicionamentos restritivos quanto às espécies vegetais a regar e quanto à metodologia de rega com o efluente utilizado como água de rega, constitui a aplicação em que é mais fácil compatibilizar as características aceitáveis da água com as características das águas residuais tratadas em estações de tratamento convencionais (efluentes secundários e terciários). Trata-se de uma situação favorável, visto ser a rega agrícola o sector que regista maior procura de água, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. Porém, a reutilização da água é comandada não apenas pelo valor quantitativo do vector procura de água para determinada aplicação, como por ex. a rega, mas também pelo vector escassez de recursos hídricos. Quanto mais a escassez de recursos hídricos se acentua, maior é a tendência para o recurso à reutilização da água para outras aplicações além da rega, como sejam a reutilização industrial, certos usos urbanos e outras aplicações indicadas no Quadro 3-1, que na maioria dos casos requerem características qualitativas mais exigentes, obrigando a tratamento complementar.<sup>3</sup>

A descrição das diferentes aplicações para reutilização de águas residuais tratadas evidencia que os factores mais importantes a considerar na selecção da(s) aplicação(ões) a implementar são:

- A qualidade das águas residuais tratadas, o que depende do seu nível do tratamento;
- O tipo de tecnologia associado ao tratamento das águas residuais;
- O equilíbrio entre a procura e a oferta de água para reutilizar, ou seja, entre o volume de água necessário para determinada utilização e o volume disponível de águas residuais tratadas;
- As infra-estruturas necessárias à concretização da reutilização, como reservatórios para armazenamento e sistemas de transporte e distribuição;
- A sustentabilidade económico-financeira do projecto de reutilização;
- A mitigação dos impactes ambientais associados à reutilização.

A qualidade das águas residuais tratadas é o factor mais importante na análise das possíveis aplicações de reutilização, principalmente quando há que considerar impactes na saúde pública e no ambiente. O Quadro 3-1

---

<sup>3</sup> Na literatura norte-americana, o tratamento complementar destinado a compatibilizar a qualidade do efluente de uma ETAR com a qualidade pretendida na utilização subsequente desse efluente é denominado «*water reclamation*». A tradução adoptada em língua espanhola para *reclamation* é «*regeneración del agua*».

sintetiza os principais factores que, de algum modo, condicionam a reutilização de águas residuais tratadas para diversas aplicações.

Quadro 3-1 – Principais factores condicionantes da reutilização de águas residuais tratadas (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

Aplicação		Condicionantes
Rega agrícola	Viveiros de árvores e plantas.	Necessidade de zona tampão.
	Culturas alimentares, forragens, cereais, fibras.	Comercialização das culturas.
	Protecção contra as geadas.	Saúde pública.
	Silvicultura.	Controlo dos aerossóis e drenagem.
Rega paisagística	Campos de golfe.	Controlo da desinfecção.
	Faixas separadoras e margens de auto-estradas.	Saúde pública.
	Parques públicos.	Aceitação pública.
	<i>Campus</i> escolares.	Controlo dos aerossóis.
	Cemitérios.	Drenagem.
	Jardins residenciais.	Ligações cruzadas com rede de água potável.
Indústria	Água de arrefecimento.	Aerossóis. Ligações cruzadas com rede de água potável. Incrustações, corrosão, filmes biológicos.
	Lavagem de equipamento.	
	Combate contra incêndio.	
	Construção pesada.	
	Água de processo.	
Recarga de aquíferos	Reforço dos aquíferos.	Disponibilidade de locais.
	Barreira contra a intrusão.	Contaminação das águas subterrâneas.
	Salina.	Aumento do teor de SDT.
	Armazenamento.	Efeitos toxicológicos devidos a compostos orgânicos.
Usos recreativos e ambientais	Lagos e lagoas artificiais.	Eutrofização.
	Reforço do caudal de cursos de água.	Ligações cruzadas com rede de água potável.
	Reforço de zonas húmidas.	Toxicidade para a vida aquática.
	Neve artificial.	
Usos urbanos não potáveis	Descarga de autoclismos.	Ligações cruzadas com rede de água potável. Incrustações, corrosão, filmes biológicos. Aceitação pública. Saúde pública.
	Fontes e jogos de água ornamentais.	
	Lavagem de veículos.	
	Lavagem de ruas.	
	Lavagem de contentores de RSU.	
	Combate a incêndios.	
	Varrimento de colectores.	
	Fusão de neve.	
Condicionamento de ar.		

### 3.3 Reutilização de águas residuais tratadas para a rega agrícola

A reutilização de águas residuais para a rega na agricultura é uma prática muito antiga [Angelakis *et al.*, 1999]. Na actualidade, é a aplicação que utiliza maior volume de águas residuais tratadas, tanto nos países de agricultura mais desenvolvida como nos países em desenvolvimento.

Durante muitos séculos, as águas residuais foram reutilizadas sem tratamento, com desconhecimento das consequências sobre a saúde pública e o ambiente. No século XX, principalmente na segunda metade do século, a reutilização para rega foi sendo praticada cada vez mais com águas residuais tratadas, sendo o tratamento secundário geralmente reconhecido como o nível mínimo de tratamento prévio à reutilização para rega.

A qualidade de águas residuais tratadas para rega deve satisfazer os requisitos agronómicos e os requisitos de protecção da saúde pública. Do ponto de vista agronómico, a água de rega destina-se a satisfazer as necessidades hídricas das plantas, não devendo ser o veículo de aplicação de substâncias prejudiciais ao seu desenvolvimento (como o excesso de sais dissolvidos, de sódio, de metais pesados, de cloro residual) e podendo transportar substâncias benéficas ao desenvolvimento da planta (como os chamados nutrientes – compostos de azoto e de fósforo –, o potássio, o zinco, o enxofre e boro, por exemplo). A protecção da saúde pública exige que o teor de microrganismos indicadores de contaminação fecal seja compatível com o tipo de exposição humana e animal à rega e aos produtos regados.

A qualidade da água a reutilizar na rega, e, portanto, o tratamento das águas residuais, constitui o factor mais importante, mas não o único, a considerar na reutilização de águas residuais para rega.

O método de rega pode proporcionar o contacto directo com as culturas, como acontece com a rega por aspersão, e, nesse caso, o tratamento das águas residuais a utilizar na rega deve incluir a desinfecção, tratamento que será indispensável em certas aplicações, como, por exemplo, se as culturas forem destinadas a serem consumidas em cru. Compreende-se assim que o **nível de tratamento** das águas residuais, o **método de rega** e o **tipo de cultura** a regar constituam três variáveis dependentes entre si, com as quais é possível controlar os riscos de saúde pública.

Eventuais riscos ambientais decorrentes da reutilização de águas residuais na rega agrícola devem ser controlados, tendo em consideração a caracterização do solo da área a regar, sua topografia e nível freático.

O **custo das infra-estruturas** necessárias para abastecer as explorações agrícolas com água para rega – condutas, reservatórios, estações elevatórias –, que é determinado principalmente pela distância entre o campo agrícola e a ETAR produtora da água a reutilizar, pode constituir um factor decisivo na implementação de um projecto de reutilização de águas residuais para rega.

### 3.3.1 Breve descrição da situação mundial

A rega na agricultura é, em quase todos os países, o sector que consome mais água, representando 70% do consumo de água a nível mundial [Asano *et al.*, 2007]. Nos EUA, país de agricultura desenvolvida, o consumo de água para rega na agricultura atinge cerca de 40% do consumo de água [Huston *et al.*, 2004]. Em Portugal, o sector agrícola consome cerca de 87,3% do total de procura anual de água (estimado em 6.550 milhões de metros cúbicos), a que corresponde um valor económico anual estimado em 524 milhões de euros [INAG, 2001], cerca de 60% do valor económico atribuído ao sector urbano.

Compreende-se, assim, que o recurso a águas residuais tratadas (e até menos tratadas) para a rega agrícola constitua uma prática adoptada em regiões de fracos recursos hídricos, como as zonas áridas e semi-áridas do globo. Deve salientar-se, porém, que nas décadas mais recentes a reutilização para rega agrícola também tem sido praticada em regiões menos pobres em recursos hídricos, constituindo a protecção ambiental das massas hídricas o objectivo primordial de tal reutilização para rega, pela redução parcial ou total da descarga de águas residuais. O estado da Florida (EUA) é um exemplo deste tipo de motivação, pois muitos dos sistemas de reutilização de água implementados neste estado foram desenvolvidos com objectivos de protecção ambiental.

A reutilização de águas residuais para rega na agricultura é largamente praticada nos EUA, principalmente nos estados da Califórnia e da Florida, mas também no Arizona, no Texas e em mais de uma trintena de estados da união norte-americana [US EPA, 2004]. No continente americano, a Argentina e o México dispõem de importantes projectos de reutilização para rega [Asano *et al.*, 2007].

Na Europa são os países da orla mediterrânica – Espanha, França, Itália, Malta, Grécia e Chipre – e Portugal que maior interesse apresentam na implementação de projectos de reutilização para a agricultura [Marecos

do Monte, 2007]. Fora da Europa, mas ainda na bacia mediterrânica, merecem destaque a Tunísia e Israel.

Os países árabes do Médio Oriente, como a Jordânia e os estados do Golfo Pérsico, designadamente o Kuwait e os Emirados, são exemplos de países que implementam intensivamente a reutilização para rega.

A China e a Austrália são dois países que promovem a reutilização para rega na agricultura em larga escala. No Quadro 3-2 apresenta-se uma lista de projectos de reutilização para rega agrícola em alguns países atrás citados, que não pretende ser exaustiva mas apenas exemplificativa de casos relevantes.

Muitos países, incluindo os mencionados no Quadro 3-2, elaboraram normas e recomendações para aplicação de águas residuais tratadas na rega agrícola (ver capítulo 4). Apesar disso, existem ainda países sem qualquer regulamentação, onde o aproveitamento de águas residuais para rega é praticado, frequentemente de forma incorrecta, com riscos para a saúde pública e para o ambiente. A Organização Mundial de Saúde (OMS) tem criado recomendações que podem orientar estes países (ver 4.4.1).

Quadro 3-2 – Exemplos no mundo de reutilização de ART para rega na agricultura [US EPA, 2004; ASANO *et al*, 2007; EUWI, 2007]

Exemplo de caso	Aplicação
Monterey, Califórnia	1.500 m <sup>3</sup> /d aplicados na rega de hortícolas, num projecto de Investigação e Desenvolvimento (I&D) de 10 anos.
Cidade do México	45 a 300 m <sup>3</sup> /s de águas residuais são reutilizados na rega de 35.000 ha de culturas agrícolas.
Clermont-Ferrand, França	500.000 m <sup>3</sup> /d de efluente secundário afinado em lagoas de maturação e por desinfecção são reutilizados na rega de 750 ha de milho.
Emilia Romagna, Itália	1.250 m <sup>3</sup> /d de efluente do tratamento das águas residuais de Castiglione, Cesena, Casenatico, Cervia e Gatteo são reutilizadas na rega de 400 ha de área agrícola.
Vitoria, País Basco, Espanha	35.000 m <sup>3</sup> /d de águas residuais tratadas são reutilizadas para rega agrícola.
Drarga, Marrocos	As águas residuais de uma população de 10.000 habitantes são tratadas em lagoas de estabilização e reutilizadas para rega agrícola.
Região Dan e Projecto Kishon, Israel	O volume de águas residuais reutilizadas representa 20% da água utilizada na rega agrícola.
Kuwait	10% das águas residuais tratadas (tratamento terciário) são reutilizadas na rega agrícola e paisagística. 25% da área agrícola é regada com água reutilizada.
Taiyuan, China	500.000 m <sup>3</sup> /d de efluente secundário proveniente de 7 ETAR são reutilizados após recarga do aquífero nas lagoas do Rio Fen.
Virginia, Austrália	120.000 m <sup>3</sup> /d de efluente armazenado no solo distribuídos a 250 agricultores para rega agrícola.



### **3.3.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas utilizadas para rega agrícola**

#### **3.3.2.1 *Água de rega – objectivos agronómicos e impactes sanitários e ambientais***

A rega é a aplicação de água ao biossistema solo-planta com o objectivo de suprir as necessidades hídricas das plantas durante o seu ciclo vegetativo. Quando a água de rega é constituída por águas residuais tratadas, esta água deve satisfazer os requisitos agronómicos e os requisitos de protecção da saúde pública. Algumas características químicas das águas residuais tratadas, como a salinidade, a sodicidade, os elementos tóxicos, cuja concentração é variável,<sup>4</sup> podem, em certas condições, induzir impactos negativos no biossistema solo-plantas.

Por outro lado, as águas residuais também contêm substâncias benéficas para o desenvolvimento das plantas, designadas como macronutrientes e micronutrientes (ver 3.3.2.2.3).

Geralmente, o tratamento das águas residuais é projectado com vista à redução das cargas poluentes de natureza química, principalmente de matéria orgânica. Por consequência, de um modo geral, os efluentes das ETAR contêm quase a mesma quantidade de microrganismos patogénicos que as águas residuais brutas afluentes à estação de tratamento. A rega com efluentes de ETAR pode, assim, constituir um risco de contaminação das culturas irrigadas, do solo e até das águas subterrâneas, configurando um risco de saúde pública.

O conhecimento das características das águas susceptíveis de provocar impactos adversos no biossistema solo-plantas e nos consumidores dos produtos agrícolas permite estudar medidas de minimização ou mesmo de eliminação dos efeitos negativos.

#### **3.3.2.2 *Aspectos agronómicos de qualidade de águas residuais tratadas utilizadas para rega agrícola***

##### **3.3.2.2.1 *Considerações gerais***

Esta secção tem por objectivo analisar, do ponto de vista agronómico, a interacção das características químicas das águas residuais tratadas com as culturas por elas regadas e com o solo de suporte ao crescimento das culturas, e com as águas subterrâneas subjacentes a esse solo.

<sup>4</sup> A concentração de elementos tóxicos depende principalmente da natureza das águas residuais brutas e do tratamento a que estas foram submetidas.

Das características químicas das águas residuais indicadas no Quadro 2-7 somente são relevantes no contexto da utilização para rega as que afectam favorável ou adversamente o biosistema solo-planta e que se indicam no Quadro 3-3.

Os problemas relacionados com a qualidade da água utilizada em rega são de tipo e intensidade variáveis, podendo ser modificados tanto por factores naturais, como o solo, o clima e o tipo de cultura, como pelas técnicas culturais adoptadas pelo agricultor, em função do seu conhecimento sobre o tipo de água e seus efeitos.

### 3.3.2.2 Salinidade

A salinidade de uma água é a característica originada pela presença de sais dissolvidos. Pode ser avaliada por diversos parâmetros (Quadro 3-3), dos quais o mais importante é a condutividade eléctrica (Ce). A unidade habitual da salinidade no Sistema Internacional (SI) é o dS/m (dS/m – deciSiemen por metro), embora ainda seja corrente encontrar valores em mmho/cm, unidade tradicionalmente utilizada na área da agronomia.

Os sólidos dissolvidos totais (SDT), que se podem desdobrar em voláteis (SDV) e fixos (SDF), consoante são de natureza orgânica ou mineral, bem como a concentração de iões específicos, como o Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, B<sup>3+</sup>, por exemplo, dão informação acerca do tipo de sais predominantemente contribuintes para a salinidade.

Uma avaliação completa da salinidade da água engloba a determinação da condutividade, dos SDT e dos iões atrás mencionados. Na prática corrente, utiliza-se quase exclusivamente a condutividade eléctrica (Ce), pois além de poder ser avaliada por um teste bastante expedito, que não demora mais de 5 minutos por amostra, pode ser considerado numericamente equivalente ao teor de SDT [Pettygrove & Asano, 1985], com uma aproximação de ± 10%, de acordo com as equações (3.1) e (3.2):

$$Ce \text{ (dS/m)} \times 640 = \text{SDT (mg/L)} \quad (3.1)$$

$$\text{SDT (mg/L)} \times 1,56 \times 10^{-3} = Ce \text{ (dS/m)} \quad (3.2)$$

O conhecimento da proporção da concentração de sódio relativamente à de cálcio e magnésio constitui uma informação importante, pois águas com valores semelhantes de condutividade podem representar riscos de sodicidade muito diferentes, conforme a condutividade se deve predominantemente à presença de iões Na<sup>+</sup> ou de outros catiões, dos quais o mais abundante é o Ca<sup>2+</sup>, seguido do Mg<sup>2+</sup>. **Razão de Adsorção de**

Quadro 3-3 – Características das águas residuais que mais afectam o biossistema solo-planta

Característica	Parâmetro de avaliação	Efeito
Salinidade/Sais inorgânicos dissolvidos.	SDT. Condutividade eléctrica. Iões específicos (Na, Ca, Mg, Cl, B).	A elevada salinidade prejudica o bom desenvolvimento de muitas plantas; alguns iões podem ser tóxicos para as plantas (Na, B, Cl); o Na pode induzir problemas de permeabilidade no solo.
Sólidos em suspensão.	SST (SSF+SSV).	Concentrações elevadas de SST podem provocar entupimentos nos equipamentos de rega.
Matéria orgânica biodegradável.	CBO, CQO.	Em efluentes tratados o teor de matéria orgânica em geral não causa problemas.
Compostos orgânicos refractários.	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados).	Resistem aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos ⇒ a sua presença pode ser limitativa da utilização do efluente para rega.
Nutrientes	N (N-org + N-NH <sub>4</sub> + N-NO <sub>2</sub> + N-NO <sub>3</sub> ) P, K.	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas ⇒ a sua presença normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicados no solo em quantidades excessivas podem induzir a poluição das águas subterrâneas.
Actividade hidrogeniónica.	pH.	O pH das águas residuais afecta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais pesados.	Elementos específicos (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn).	Alguns acumulam-se no solo ou nas plantas e são tóxicos para as plantas e animais ⇒ podem constituir factor limitante à utilização de águas residuais.
Cloro residual.	Cl livre. Cl combinado.	Teores excessivos de cloro livre podem causar queimaduras nas folhas. O cloro combinado não causa problemas.
Microrganismos patogénicos.	Coliformes fecais. Helmintas. Organismos indicadores.	Transmissão de doenças

**Sódio**, que se representa por  $R_{Na}$  ou por  $RAS^5$  é a grandeza que traduz essa relação e é determinada a partir dos valores das concentrações de sódio, cálcio e magnésio, segundo a fórmula (3.3), onde as concentrações dos iões  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  são expressas em meq/L:

$$R_{Na} = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca]+[Mg]}{2}}} \quad (3.3)$$

Os boletins laboratoriais de análise de águas apresentam, normalmente, dois valores de  $R_{Na}$ : um calculado de acordo com a equação (3.3); e outro,

<sup>5</sup>«SAR», na literatura de língua inglesa.

designado como **Razão de Adsorção de Sódio Ajustada** e representado por  $R_{Na-aj}$ , em que a concentração de iões  $Ca^{2+}$  da fórmula (3.3) não é a determinada por análise, mas sim substituída por  $Ca_x$ , que é o  $Ca^{2+}$  que tem tendência a não precipitar, permanecendo em solução, o que depende principalmente do teor de iões  $HCO_3^-$  presentes. Os valores de  $Ca_x$  estão tabelados (Quadro 3-4), sendo função do valor da condutividade da água e do quociente entre as concentrações de  $Ca^{2+}$  e  $HCO_3^-$  determinados analiticamente [Ayers, S. & Westcot, W., 1976]. No Anexo II apresenta-se um exemplo de cálculo da razão de sódio ajustada.

Quadro 3-4 – Valores de Ca a utilizar no cálculo da  $R_{Na}$  ajustada

	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,2	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	3,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	3,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,0	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,56	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37

### **(a) EFEITOS DA SALINIDADE DA ÁGUA DE REGA NA PLANTA**

Todas as águas de rega contêm sais dissolvidos, induzindo geralmente concentrações mais elevadas nos solos regados do que na própria água de rega. Em geral, as águas residuais contêm mais sais dissolvidos e uma maior proporção de sódio relativamente aos demais cátions dissolvidos ( $R_{Na}$  mais elevada) do que as águas naturais.

A evapotranspiração de parte da água de rega aplicada leva à concentração dos sais dissolvidos na zona do solo molhado. Este processo de acumulação de sais repete-se em cada rega, podendo chegar a impedir a planta de extrair a água de que necessita, mesmo sendo regada. Efectivamente, sendo a extracção de água do solo efectuada pelas raízes da planta por um processo osmótico, através de um ajustamento da concentração de sais nos seus tecidos, se o solo estiver muito seco ou se a concentração de sais na água do solo for muito elevada, a planta é forçada a despende muita energia no seu processo de absorção da água, dispondo de menos energia para o seu crescimento. Por este motivo, à medida que a salinidade da água aumenta, torna-se necessário tomar medidas que contrariem o aumento da concentração de sais na rizosfera, de modo que tais concentrações não atinjam níveis que afectem o bom desenvolvimento vegetativo.

A acumulação de sais provocada pela rega não se processa uniformemente ao longo do comprimento da raiz da planta. Esta, extrai a água preferencialmente nos pontos em que se verificar menor resistência à absorção, o que geralmente coincide com a zona superior da raiz, mais próxima da superfície e, conseqüentemente, mais reabastecida de água, proveniente da rega ou da precipitação atmosférica. Em condições normais de irrigação a planta absorve 40% da água no primeiro quarto da zona radicular mais próximo da superfície, 30 % no segundo quarto, 20% e 10% nos quartos inferiores, conforme representado na Figura 3-1.

Na zona superior da raiz passa, pois, mais água, e dá-se a lavagem dos sais, contrariando a sua acumulação nessa zona. Porém, como a camada superior do solo seca com maior facilidade, devido à maior proliferação de raízes (extractoras de água) e também ao processo natural de evaporação, a planta necessita de compensar a sua necessidade de água nas zonas mais profundas do solo, onde a água do solo apresenta salinidade mais elevada e maior potencial osmótico. Se a quantidade de água aplicada nunca ultrapassar a zona da raiz, dar-se-á uma contínua acumulação de sais na zona radicular, mais concentradamente na zona inferior.

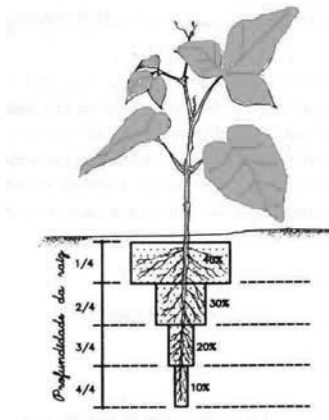


Figura 3-1 – Absorção da água ao longo do comprimento da zona radicular [Marecos do Monte, 1996]

A planta responde à salinidade média da água do solo ao longo da sua raiz e não aos valores encontrados nos seus extremos superior e inferior, pelo que a aplicação de uma quantidade de água que seja suficiente para suprir as necessidades hídricas da planta e para que uma parte ainda percole para a zona do solo abaixo da raiz, arrastando sais que de outro modo se acumulariam na zona radicular, constitui um efectivo **processo de controlo dos efeitos da salinidade da água de rega**.

A parte da água aplicada na rega que não é utilizada pela planta é designada por **fracção de água de lavagem** ou simplesmente por fracção de lavagem (FAL) e define-se segundo a equação (3.4):

$$FAL (\%) = \frac{\text{quantidade de água percolada para zonas abaixo da raiz (mm)}}{\text{quantidade de água aplicada na rega (mm)}} \quad (3.4)$$

A FAL constitui, portanto, uma metodologia de controlo da salinidade nos sistemas de reutilização de águas residuais tratadas para rega.

A salinidade da água do solo, a que a raiz está exposta, é de difícil medição, determinando-se, geralmente, a partir da salinidade do chamado extracto de saturação do solo, a qual normalmente é avaliada em metade do valor daquela [FAO, 1985]. Em regas normais, com uma fracção de água de lavagem da ordem de 15 a 20%, é possível estimar a salinidade da água do solo a partir da salinidade da água de rega, cuja medição laboratorial é muito fácil, através das equações (3.5) a (3.7):

$$Ce_{as} = 3 Ce_a \quad (3.5)$$

$$Ce_s = 1,5 Ce_a \quad (3.6)$$

$$CE_{as} = 2 Ce_s \quad (3.7)$$

em que  $C_{e_{as}}$  – salinidade da água do solo

$C_{e_a}$  – salinidade da água de rega

$C_{e_s}$  – salinidade do extracto de saturação do solo

Além do mecanismo osmótico, a salinidade da água de rega pode afectar o desenvolvimento das plantas em função das condições climáticas, do tipo de iões contribuintes para a salinidade, que poderão induzir problemas específicos de toxicidade a determinado elemento, e, ainda, por alteração das características físicas do solo, provocada por teores elevados de sódio.

As condições climáticas – temperatura, humidade do ar, nevoeiro – alteram a reacção das plantas à salinidade, verificando-se que os efeitos negativos se agravam, especialmente nas plantas sensíveis, quando o clima é quente e seco, o que determina a necessidade de maior frequência de rega e de extracção de água pela planta.

A presença dominante de determinados iões, como o boro, por exemplo, pode originar um mau desenvolvimento da planta, não apenas por acção do mecanismo osmótico, mas principalmente por toxicidade, devido a uma concentração excessiva. Esses iões são também necessários ao bom desenvolvimento da planta, mas em teores muito baixos, que, quando ultrapassados, tornam o ião de nutriente em tóxico. Este aspecto é mais detalhado em 3.3.2.2.3.

#### **(b) EFEITOS DA SALINIDADE DA ÁGUA DE REGA NO SOLO**

As características do solo, relativamente à facilidade de infiltração e de percolação de água, podem ser alteradas em consequência das características de salinidade –  $R_{Na}$  e teor de sódio – da água de rega. A presença de iões  $Na^+$  na água de rega aplicada no solo diminui a **taxa de infiltração** nos solos predominantemente argilosos, pois o ião  $Na^+$ , ao permutar com os catiões dos minerais de argila ( $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Fe^{2+}$ ), provoca a dispersão da argila (desagregação das camadas constituintes), reduzindo a **permeabilidade do solo** ao ar e à água, o que provoca o aparecimento de charcos e de gretas [Botelho da Costa, 1973].

Nos casos em que a qualidade da água de rega provoca uma redução da taxa de infiltração, o problema restringe-se à camada mais superficial do solo, cuja espessura é, geralmente, da ordem de alguns centímetros, sendo, pois, um problema de infiltração e não de permeabilidade, como é referido em alguma literatura.

As características de salinidade da água de rega reflectem-se na taxa de infiltração do solo do seguinte modo: a taxa de infiltração aumenta com o aumento da salinidade da água e diminui com o decréscimo desta e/ou com o aumento do teor de sódio relativamente ao de cálcio e magnésio, isto é, com o aumento da  $R_{Na}$ . Como resultado da ocorrência de um problema de infiltração, a planta disporá de menor quantidade de água, em consequência da salinidade da água, mas por um mecanismo diferente do osmótico, que também conduz a menor disponibilidade de água para a planta.

Os efeitos da salinidade da água de rega (avaliada em termos de condutividade eléctrica) sobre a taxa de infiltração no solo e de  $R_{Na}$  são representados na Figura 3-2.

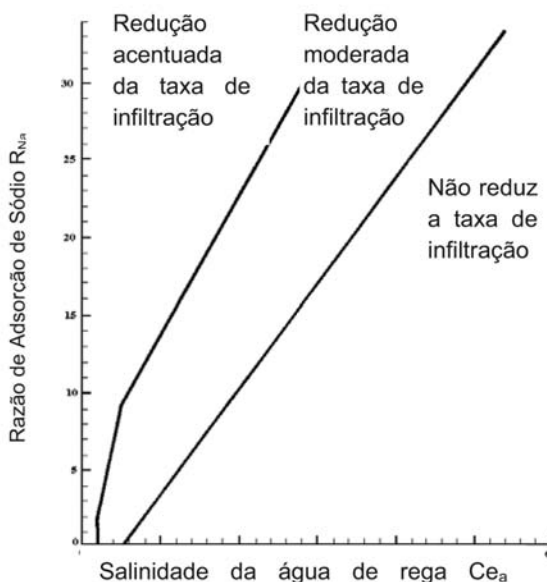


Figura 3-2 – Efeito da condutividade e da  $R_{Na}$  da água de rega sobre a taxa de infiltração do solo [FAO, 1985]

### (c) MEDIDAS PRÁTICAS PARA CONTROLAR O EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA NAS PLANTAS

Os efeitos deletérios que podem ser induzidos a prazo, mais ou menos longo, sobre o biosistema solo-plantas irrigadas podem ser evitados, ou minimizados, conjugando algumas técnicas relativas a:

- tipo de rega;
- drenagem do solo;
- selecção de culturas.



### *Tipo de rega – água de lavagem do solo*

É essencial que, qualquer que seja o tipo de rega utilizado, se preveja uma dotação de rega suficiente para suprir as necessidades hídricas da planta (que são função, nomeadamente, do fenómeno da evapotranspiração) e ainda proporcionar uma FAL impeditiva da acumulação de sais na zona radicular.

A quantidade de água de rega a aplicar pode estimar-se pela expressão (3.8):

$$DR = \frac{ET}{1 - FAL} \quad (3.8)$$

em que DR – dotação de rega

ET – evapotranspiração

Para a determinação da fracção da água de lavagem FAL é necessário conhecer a  $C_{e_a}$  e a tolerância da cultura à salinidade do solo  $C_{e_s}$ , de que existem tabelas para 71 culturas [FAO, 1985].

A lavagem dos sais nem sempre é necessária, bastando, por vezes, efectua-la em sessões de rega alternadas ou até menos frequentemente, devendo ainda contar-se com a precipitação atmosférica como contribuinte desta operação.

### *Drenagem*

A lavagem dos sais da zona radicular só pode ser praticada desde que o solo abaixo dessa zona disponha das condições de drenagem suficientes para evitar que o nível freático suba até atingir as raízes, constituindo ele próprio uma fonte de salinidade para as plantas. Nos terrenos onde o nível freático se situa próximo da superfície (1 a 2 metros de profundidade) é mais difícil controlar a salinidade, pois a água pode subir por capilaridade até atingir as raízes. Em climas áridos e semi-áridos, cujas características climáticas tendem a agravar o problema da concentração de sais no solo, é fundamental assegurar a estabilização do nível freático a mais de 2 metros de profundidade. Por vezes, torna-se necessário a abertura de drenos, abertos ou fechados, ou ainda de poços de drenagem, a fim de transferir parte da água subterrânea salobra para um local que constitua o seu adequado destino final.

### *Seleção de culturas tolerantes à salinidade*

A seleção de culturas constitui outro instrumento de gestão dos efeitos da rega com águas com certa salinidade. Assim, é conveniente conhecer

tanto a salinidade da água de rega como a tolerância das culturas à salinidade. Seleccionando culturas com uma tolerância compatível com a salinidade da água de rega e combinando as medidas de gestão do sistema atrás referidas – FAL e drenagem do solo – é possível, na maioria dos casos, alcançar o objectivo de evitar quebras de produção. A mudança para outras culturas mais tolerantes à salinidade constitui a medida a tomar em último recurso.

Enquanto qualquer cultura pode ser regada, sem quebra de produção, com águas cuja salinidade, avaliada pela sua condutividade, seja inferior a 0,7 dS/m, só culturas tolerantes à salinidade podem ser irrigadas com águas com mais de 3 dS/m de condutividade e desde que se verifiquem certas condições, como a aplicação de água de lavagem em quantidade suficiente e que o solo disponha de boas condições de permeabilidade. Entre os extremos, situam-se as culturas moderadamente sensíveis e as culturas moderadamente tolerantes à salinidade. A Figura 3-3 apresenta o intervalo de  $C_{e_s}$  característico para cada grupo de culturas, relativamente à salinidade do solo.

As linhas que unem os limites inferior e superior de  $C_{e_s}$ , para cada categoria de plantas, são segmentos de recta, pois foi concluído experimentalmente que existe uma relação linear entre o decréscimo do crescimento da planta, verificado quando a salinidade ultrapassa determinado valor, e o aumento da salinidade do solo.

A Figura 3-3 permite duas formas de entrada no eixo das abcissas, consoante se disponha de dados sobre a salinidade do extracto de água no solo  $C_{e_s}$  ou apenas da água de rega  $C_{e_a}$ , pois a primeira pode ser estimada em função da segunda, de acordo com a equação (3.5).

A tolerância das culturas à salinidade é afectada pelo clima e depende, ainda, da fase de crescimento das plantas. As plantas resistem melhor à salinidade da água de rega durante a estação fria, e, em geral, são mais sensíveis a este problema durante as fases de germinação e de crescimento inicial.

No Anexo 3.1 apresenta-se uma lista de culturas em função da sua tolerância relativamente à salinidade.

### ***Medidas de controlo a curto prazo***

As medidas atrás descritas – lavagem do solo, drenagem e selecção de culturas tolerantes – têm por objectivo o controlo dos efeitos da salinidade a longo prazo. No entanto, ao nível de cada ciclo cultural podem ser

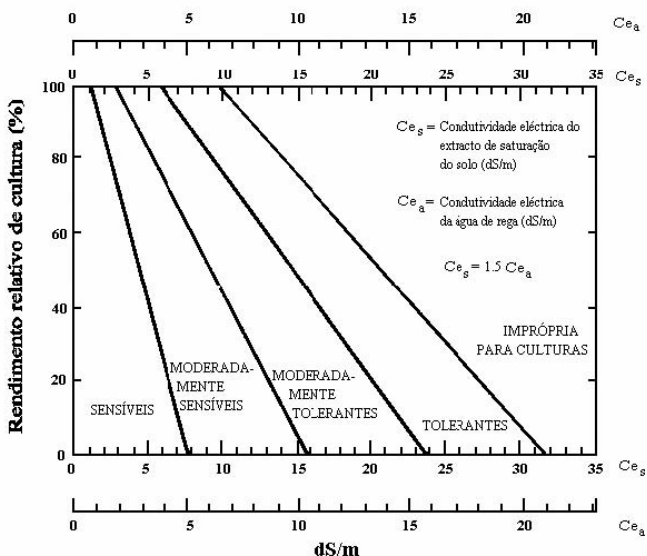


Figura 3-3 – Diagrama de classificação das plantas em função da tolerância à salinidade da água de rega [Maas, 1984]

empreendidas algumas acções com o mesmo objectivo, e que podem beneficiar significativamente o desenvolvimento da planta durante as fases em que esta é mais sensível, com reflexo positivo na produção final em cada ano. Estas acções são inerentes às técnicas culturais e consistem, por exemplo, numa nivelção cuidadosa do terreno, para possibilitar uma distribuição uniforme da água, numa calendarização adequada das regas, na escolha do método de rega que menos prejudique as culturas (ver 3.3.3.2) e outras técnicas, das quais o agricultor deve possuir o saber ou receber a formação adequada.

### 3.3.2.2.3 Nutrientes

#### (a) MACRONUTRIENTES

O azoto é o principal dos 16 elementos considerados como indispensáveis ou pelo menos como úteis ao desenvolvimento das plantas [Que-lhas dos Santos & Cardoso Pinto, 1985], englobados na designação genérica de **nutrientes**, a qual não contempla o carbono (C), o oxigénio (O) e o hidrogénio (H), que são muito importantes por constituírem grande parte dos tecidos vegetais, mas que são obteníveis a partir da atmosfera.

As plantas necessitam de alguns dos 16 nutrientes em quantidades sensivelmente superiores às de outros, pelo que os primeiros são classificados como macronutrientes e os segundos como micronutrientes. Além do azoto (N), os

macronutrientes compreendem o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o enxofre (S), o cloro (Cl) e o silício (Si). De um modo geral, o N, o P e o K, que são correntemente designados como macronutrientes principais, não existem no solo em quantidades suficientes para o desenvolvimento das culturas, o que determina a necessidade da sua adição ao solo.

### **Azoto**

As plantas absorvem o azoto através das raízes, na suas formas inorgânicas, sob a forma de iões  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$  e, no caso das leguminosas, também a partir do azoto molecular  $\text{N}_2$  da atmosfera, através da sua simbiose com bactérias do género *Rhizobium*. Algumas plantas absorvem mais facilmente o azoto amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), outras o azoto nítrico ( $\text{NO}_3^-$ ), parecendo o azoto nitroso ( $\text{NO}_2^-$ ) ser geralmente tóxico para as plantas. No entanto, é reconhecido que o importante para as plantas é o azoto total, independentemente de este elemento se encontrar na forma orgânica ou inorgânica [FAO, 1985], devido à progressiva transformação bioquímica dos compostos orgânicos azotados nas formas inorgânicas, o que equi-para o azoto orgânico existente no solo ou aí aplicado, por meio da rega com águas residuais por exemplo, a uma reserva deste elemento.

As transformações entre formas azotadas que podem ocorrer no solo são as seguintes:

- **Aminização** – transformação de compostos orgânicos azotados, por acção de microrganismos heterotróficos, em formas azotadas mais simples, mas ainda não utilizáveis pelas plantas, como os aminoácidos;
- **Amonificação** – transformação, por acção de microrganismos heterotróficos, dos produtos da aminização em compostos amoniacais (as-similáveis pelas raízes de algumas plantas);
- **Nitrificação** – oxidação dos compostos amoniacais sucessivamente a nitritos e a nitratos, por acção de bactérias autotróficas, conjuntamente designadas por nitrificantes, e cujos géneros mais importantes são as *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*;
- **Desnitrificação** – em condições de anaerobiose, como as que ocorrem em solos encharcados, os nitratos podem ser reduzidos, por acção das chamadas bactérias desnitrificantes, a compostos azotados voláteis ou pouco solúveis na água do solo, de onde se evolvem para a atmosfera. O produto final mais importante da desnitrificação é o azoto molecular  $\text{N}_2$ . Os géneros mais importantes de bactérias desnitrificantes são *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Achromobacter* e ainda *Thiobacillus desnitrificans*.

A predominância do tipo de transformações dos compostos de azoto no solo depende essencialmente do desenvolvimento das populações de microrganismos responsáveis pelas reacções bioquímicas atrás mencionadas. A mineralização do azoto orgânico é um processo lento, que progride à razão de cerca de um terço por ano, o que significa que é necessário contabilizar o azoto remanescente do(s) ano(s) anterior(es), para evitar aplicações excessivas de azoto ao solo [US EPA, 1981].

Nem todo o azoto aplicado no solo aí fica disponível sob qualquer das formas minerais ou orgânicas: parte é perdido para a atmosfera, parte fica retido no solo e outra parte é arrastado pelas águas de infiltração (provenientes da chuva ou da rega) através do solo. A retenção do azoto refere-se principalmente à retenção de azoto amoniacal, pois sendo o amoníaco  $\text{NH}_4^+$  carregado positivamente, é facilmente retido pelo complexo coloidal do solo, cuja superfície é carregada negativamente. A eficiência do mecanismo de adsorção depende da **capacidade de troca catiónica do solo** (a qual, por sua vez, depende do teor de matéria orgânica e do teor de argila) e da quantidade e natureza de outros iões presentes e susceptíveis de competir com o  $\text{NH}_4^+$ .

Os iões nitrito e nitrato, pela sua carga negativa e reduzido tamanho, não são retidos pelo solo e são facilmente arrastados pela água percolada no solo, podendo vir a atingir as toalhas de água subterrâneas, o que pode representar um risco para a utilização desses lençóis freáticos como origem de água para consumo humano, devido à toxicidade dos nitritos.

Não obstante o azoto ser um elemento essencial ao crescimento das plantas, a adição de excessivas quantidades de azoto pode provocar inconvenientes diversos. A sensibilidade das plantas a este elemento varia com a fase do seu desenvolvimento: normalmente a planta necessita de mais azoto nas fases iniciais, mas se a quantidade deste nutriente não for reduzida durante as fases de floração e de crescimento dos frutos poderá ocorrer uma redução da produção. Outros inconvenientes originados pela adição de excesso de azoto podem revelar-se por: um desenvolvimento anormal de ervas espontâneas, podendo mesmo «abafar» as plantas pratenses de interesse; o acamar da cultura (nos cereais de praga); o retardamento do amadurecimento das plantas, cuja qualidade na época normal da colheita não corresponderá aos padrões normalmente esperados, não obstante a grande dimensão que apresentem, induzida pelo sobrestímulo do excesso de nutrientes, etc. Algumas culturas mais sensíveis a este elemento são afectadas por concentrações de azoto superiores a 5 mg/L, enquanto outras só evidenciam efeitos para concentrações superiores a 30 mg/L.

No caso da rega com águas residuais tratadas, em que a aplicação de azoto é contínua enquanto for necessário regar, será da maior conveniência seleccionar culturas menos sensíveis ao azoto, como o milho. Outra medida de gestão do sistema solo-planta regada com efluentes consiste no planeamento de rotações de culturas, de modo a utilizar o azoto remanescente no solo depois do ciclo de rega de uma cultura.

### ***Fósforo***

O fósforo (P) é o segundo macronutriente mais importante para as plantas, principalmente ao nível do desenvolvimento do sistema radicular. O P é absorvido sob diversas formas iónicas, embora o chamado fósforo facilmente assimilável esteja na forma de ortofosfato primário ( $H_2PO_4^-$ ) [Quelhas dos Santos & Cardoso Pinto, 1985]. As formas orgânicas de fósforo são insolúveis na sua maioria e, conseqüentemente, são de difícil absorção pela planta, pelo que a absorção do fósforo orgânico só poderá ser realizada após a sua mineralização bioquímica, o que é favorecido pela presença de matéria orgânica carbonada: desde que a razão C/P > 225, a totalidade do fósforo é utilizada pelos microrganismos do solo [US EPA, 1981].

Em solos com pH < 6, o fósforo tende a precipitar sob a forma de fosfatos de ferro e de alumínio, enquanto para pH > 7 predominam os fosfatos de cálcio. Além do pH, a disponibilidade destes catiões nas águas residuais e no solo representam também um importante factor na formação de precipitados fosforados: o cálcio é bastante mais abundante que o alumínio e o ferro [Marecos do Monte, 1996]. Os solos com valores de pH próximos da neutralidade são, pois, aqueles onde se encontram maiores teores de fósforo disponível.

O fósforo é um elemento de reduzida mobilidade no solo e a sua eventual aplicação em excesso relativamente às necessidades das plantas não causa, em geral, efeitos deletérios, pois estas absorvem apenas as quantidades de fósforo que lhes são necessárias, contrariamente ao seu comportamento perante o azoto, em que, se ocorrer disponibilidade deste elemento, as plantas aumentam o seu consumo, com os eventuais problemas atrás referidos, relacionados com a maturação e qualidade das culturas.

### ***Potássio***

Contrariamente ao que sucede com o azoto e o fósforo, o potássio (K) não é um elemento constituinte dos três principais grupos de compostos existentes nas plantas: prótidos, lípidos e glúcidos. No entanto, tal como

aqueles elementos, o potássio é um macronutriente, pois as plantas necessitam dele em quantidades apreciáveis, sendo o potássio um importante constituinte das plantas, nas quais se encontra em quantidades quase sempre superiores às do fósforo e, por vezes, até às do azoto [Quelhas dos Santos & Cardoso Pinto, 1985]. O potássio influencia diversos mecanismos importantes das plantas, nomeadamente o da regulação das perdas de água por transpiração – que diminuem em condições de adequada disponibilidade em potássio – ou, ainda, a resistência a pragas e doenças.

É sob a forma de ião livre  $K^+$  que este elemento é facilmente utilizável pelas plantas e é sob esta forma que ele é mais abundante nas águas residuais. No solo, o potássio pode existir como ião livre na solução do solo, fixado nas argilas, adsorvido no complexo coloidal do solo ou como constituinte de minerais potássicos, como os feldspatos. Em solos arenosos e pobres de matéria orgânica e, conseqüentemente, pobres de complexo coloidal, o potássio aplicado pela rega com águas residuais será facilmente arrastado, ao passo que as perdas deste elemento em solos com elevada capacidade de adsorção e fixação serão fundamentalmente devidas a fenómenos de erosão.

#### **(b) MICRONUTRIENTES E ELEMENTOS TÓXICOS**

Os micronutrientes são elementos necessários ao desenvolvimento das plantas em quantidades muito reduzidas. São os seguintes os chamados micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), alumínio (Al), cobalto (Co), molibdénio (Mo) e boro (B).

A questão da nutrição das plantas relativamente aos elementos designados por micronutrientes está muito próxima das questões de carência e de toxicidade provocada pelos mesmos elementos, pois um pequeno excesso de um micronutriente relativamente ao nível necessário ao bom desenvolvimento da planta pode induzir um problema de toxicidade, enquanto um ligeiro défice pode originar um problema de carência. Os limites entre os estados de carência, nutrição adequada e toxicidade são muito estreitos, principalmente no que se refere ao boro e ao molibdénio, podendo qualquer desequilíbrio provocar a passagem do estado de nutrição adequada para o de carência ou de toxicidade.

Os problemas de toxicidade resultam da acumulação nas folhas de certos iões transportados na água absorvida pela planta, podendo ser provocados por outros elementos que não os microelementos. Por, tal como os

microelementos, esses estarem presentes em concentrações muito baixas, são denominados **elementos-traço** ou **elementos vestigiais**.

O cloro e o sódio são também elementos causadores de toxicidade e, juntamente com o boro, são os responsáveis pela maioria dos problemas. Os restantes microelementos geralmente não atingem teores preocupantes nos efluentes reutilizados como água de rega.

Em solos ácidos ocorre maior disponibilidade dos microelementos catiónicos que em solos alcalinos. Relativamente aos microelementos aniónicos, que são o boro (sob a forma de borato  $\text{BO}_3^{=}$ ) e o molibdénio (sob a forma de mibdato  $\text{MoO}_4^{=}$ ), verifica-se que este último pode ser facilmente insolubilizado e retido nos solos ácidos. Quanto ao boro, que é facilmente lixiviado, a sua disponibilidade no solo, mais que do pH deste, depende da sua textura, humidade, teor de matéria orgânica e de cálcio.

Em solos arenosos ácidos e em regiões húmidas ou em situações de lixiviação, haverá deficiências de boro no solo, devido à facilidade de arrastamento deste elemento em tais condições. Em solos alcalinos e ricos em cálcio reúnem-se as condições para uma maior fixação e insolubilização de boro.

A revelação do efeito tóxico depende dos seguintes factores: tempo de exposição, concentração na água de rega, quantidade de água absorvida pela planta e sensibilidade da própria planta. Nem todas as plantas são igualmente sensíveis ao mesmo elemento, embora para concentrações elevadas do mesmo elemento todas as plantas evidenciam sensibilidade, que determina a redução da produção e da sua qualidade.

Os problemas de toxicidade acompanham ou complicam com muita frequência problemas de salinidade e também de infiltração, pois todos são induzidos pela presença de substâncias na água absorvida pelas plantas.

A concentração de elementos em solução nos efluentes das ETAR é geralmente superior à das águas naturais, o que à partida obriga à avaliação da sua potencial toxicidade. No Quadro 3-5 comparam-se os teores dos elementos potencialmente tóxicos geralmente encontrados nas águas residuais tratadas mais comuns, que são os efluentes de tratamento secundário e os teores máximos recomendados pela FAO para águas de rega.

Constata-se que, de um modo geral, os teores nos efluentes são inferiores aos recomendados, podendo ser eventualmente excedidos no caso do zinco. No entanto, deve ser referido que, devido a fenómenos de acu-



mulação progressiva, os micronutrientes poderão facilmente atingir níveis susceptíveis de intoxicar as culturas e prejudicar a actividade microbiana do solo, indispensável ao seu equilíbrio ecológico, particularmente em solos ácidos.

Quadro 3-5 – Concentração de microelementos em águas residuais tratadas

Elemento	Concentração média em efluentes secundários (mg/L) <sup>a</sup>	Concentração média em efluentes secundários em Portugal (mg/L) <sup>b</sup>	Concentração máxima recomendada em água de rega (mg/L) <sup>c</sup>
Alumínio (Al)	0,1 – 2,0	SD	5,0
Arsénio (As)	0,003	0,0059	0,1
Berílio (Be)	0,01 – 0,02	SD	0,10
Boro (B)	0,30 – 1,80	0,76	0,50 – 2,00
Cádmio (Cd)	0,004 – 0,140	0,002	0,010
Chumbo (Pb)	0,050 – 1,270	0,021	5-0
Cobalto (Co)		< 0,03	0,05
Crómio (Cr)	0,02 – 0,70	< 0,02	0,10
Cobre (Cu)	0,020 – 3,360	0,125	0,200
Estanho (Sn)		SD	
Ferro (Fe)	0,90 – 3,54	0,31	5,00
Flúor (F)	0,05 – 0,70	SD	1,00
Lítio (Li)		SD	2,5
Manganês (Mn)	0,110 – 0,140	0,058	0,200
Molibdénio (Mo)	0,001 – 0,020	0,002	0,010

Fontes: <sup>a</sup>[USEPA, 1991]; <sup>b</sup>[Marecos do Monte, 1996]; <sup>c</sup>[FAO, 1985]

### (c) MEDIDAS PRÁTICAS PARA CONTROLAR O EFEITO DE TOXICIDADE DA ÁGUA NAS PLANTAS

No caso de toxicidade proveniente de certos iões, como o sódio, cloro e boro, pode minimizar-se o impacto de forma análoga à salinidade, isto é, lixiviando o solo através da aplicação de quantidades de água superiores às necessidades hídricas das plantas. Esta solução, por vezes, não é a mais conveniente, pois a FAL pode ter de ser bastante elevada, podendo originar problemas de drenagem. Além disso, se a rega for por aspersão, o aumento da quantidade de água aplicada só agravaria os problemas de toxicidade devidos ao sódio e ao cloro, em contacto directo com as folhas.

Quando possível, a mistura do efluente com água natural, geralmente com menor conteúdo de substâncias dissolvidas, constitui uma medida benéfica, pois permite reduzir a concentração dos elementos potencialmente tóxicos.

A gestão da rega, englobando medidas atrás mencionadas, como a quantidade de água a aplicar, a mistura com outras águas e o próprio método de rega, pode ser complementada com a aplicação de correctivos no solo, como o gesso, a cal, ácido sulfúrico, etc., em função do elemento cuja toxicidade se pretende controlar.

Uma importante medida para minimizar efeitos de toxicidade consiste na selecção de plantas tolerantes aos elementos problemáticos. Na Tabela 1 do Anexo I indicam-se algumas culturas em função da sua tolerância ao boro.

### **3.3.2.3 Aspectos de saúde pública da qualidade das águas residuais tratadas**

#### **3.3.2.3.1 Transmissão de microrganismos patogénicos**

As águas residuais tratadas podem ou não conter microrganismos patogénicos em quantidade suficiente para provocar doenças, dependendo do nível de tratamento a que foram submetidas (ver 2.4.2). A presença de microrganismos patogénicos em águas residuais utilizadas para rega agrícola nem sempre corresponde a um risco de saúde pública. Diz-se que a reutilização de águas residuais constitui um risco real para a saúde pública se forem verificadas todas as seguintes condições [OMS, 1989]:

- O agente patogénico deve estar presente nas águas residuais;
- Este deve sobreviver a todas as operações e processos de tratamento aplicados às águas residuais;
- O campo regado recebe uma dose infectante de um patogénico transportado na água de rega ou o patogénico multiplica-se já no campo, atingindo a dose infectante;
- Um hospedeiro humano, por contacto directo ou indirecto, é atingido por uma dose infectante de um patogénico (ver Quadro 2-5);
- O hospedeiro fica infectado;
- A infecção causa doença no hospedeiro ou este passa a transmiti-la.

O risco será apenas um **risco potencial** se não for verificada a última condição.

A ocorrência de infecção não corresponde necessariamente à ocorrência de doença. A infecção é definida como a resposta imunológica do hospedeiro à dose de microrganismo patogénica recebida sem que evidencie sinais clínicos de doença. A ocorrência de doença depende da dose de patogénicos que atinge o ser humano e das características epidemiológicas de cada microrganismo patogénico, designadamente, a dose infectante, a latência, a persistência e a sua virulência (ver 2.4.3.1).

A ocorrência de doença também depende da susceptibilidade do hospedeiro, a qual é afectada pelo respectivo estado geral de saúde e pela idade: indivíduos debilitados por outras doenças, crianças e pessoas idosas apresentam, geralmente, maior susceptibilidade.

A transmissão de microrganismos patogénicos transportados nas águas residuais utilizadas em rega pode processar-se através das seguintes vias:

- Contacto directo com as águas residuais, com o solo, culturas irrigadas e/ou objectos contaminados;
- Ingestão directa de culturas irrigadas ou indirecta de produtos de consumidores de culturas irrigadas (carne e leite);
- Inalação de agentes infecciosos presentes em aerossóis formados durante a irrigação por aspersão com águas residuais;
- Ingestão de água contaminada por escorrência superficial ou por infiltração das águas residuais no solo.

Constata-se assim que, mesmo que as águas residuais aplicadas na rega não tenham sido submetidas a um processo de tratamento que elimine todos os microrganismos patogénicos, será possível evitar a ocorrência de doença se forem evitadas as vias de transmissão indicadas. A selecção das culturas regadas e do método de rega são pois dois factores muito importantes na minimização do risco.

A Figura 3-4 esquematiza um sistema de reutilização de águas residuais para rega, de modo a ilustrar as principais vias de transmissão de microrganismos patogénicos presentes no efluente aplicado na rega para a população exposta a este risco de saúde, que pode ser real ou potencial.

#### **3.3.2.3.2 Tipos de exposição à contaminação na reutilização de águas residuais para rega agrícola**

A forma como as pessoas contactam com as águas de rega, as culturas e solo regados, objectos em contacto com estes últimos (vestuário, alfaias, etc.) assume graus de risco sanitário muito diversos, que podem reflectir-se nos padrões de qualidade microbiológica, quer exigindo determinados níveis de remoção de patogénicos, quer preconizando medidas tendentes a minimizar a exposição. As formas de exposição estão relacionadas principalmente com o tipo de culturas irrigadas e o método de rega utilizado.

Os agricultores constituem o grupo exposto a maior risco, visto contactarem estreitamente com o solo e as culturas regadas, bem como com objectos eventualmente atingidos pela água de rega. Este risco depende muito da qualidade do efluente e das práticas agrícolas, podendo ser mí-

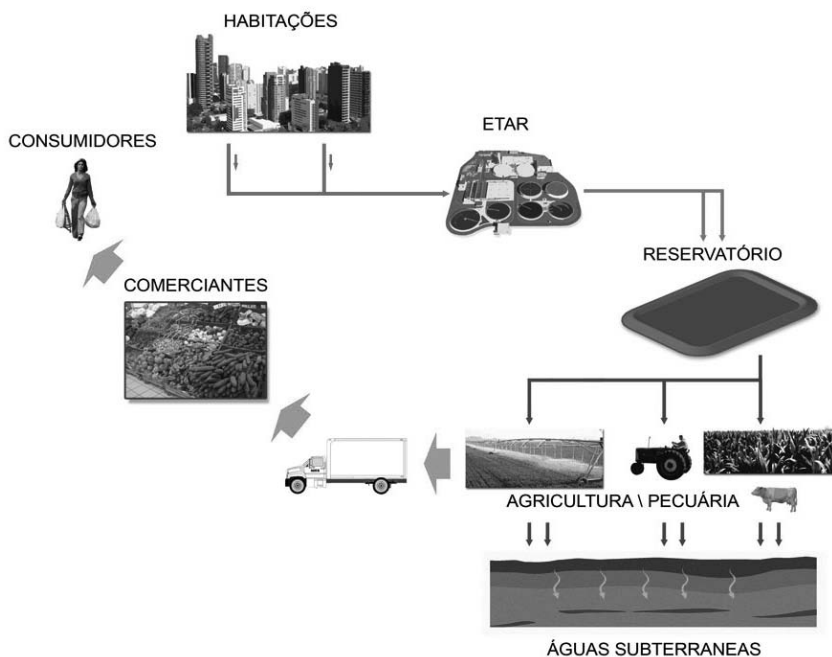


Figura 3-4 – Vias de transmissão de patógenos num sistema de reutilização de águas residuais para rega agrícola.

nimo, no caso de rega localizada com efluente de elevada qualidade microbiológica e em que os agricultores tomam as medidas de higiene adequadas, ou ser máximo, no outro extremo da situação, a que corresponde rega gravítica ou por aspersão, com efluente de baixa qualidade (partindo do princípio de que a rega com águas residuais brutas não é tolerada) e em que não são tomadas precauções higiénicas, tais como não andar descalço sobre o terreno molhado de efluente ou mudar de calçado antes de deixar o campo. Os familiares que coabitam com os agricultores estão igualmente sujeitos a elevado risco potencial, por contacto pessoal com os agricultores.

As pessoas que trabalham no circuito de comercialização, que contactam com as culturas, desde a sua colheita, eventual industrialização e embalagem até à sua comercialização, estão expostas a um risco muito variável, dependente do grau de contaminação das culturas.

O risco incorrido pelos consumidores depende em primeiro lugar de se tratar de consumo directo de culturas regadas com águas residuais ou de consumo indirecto, isto é, do consumo de produtos derivados de animais consumidores directos (carne e leite).

No caso do consumo directo, o risco depende ainda de as culturas serem ingeridas cruas ou pouco cozinhadas, ou de o processo de cozedura assegurar a eliminação de eventuais agentes infecciosos provenientes da rega. Mesmo os produtos que são ingeridos após cozedura não devem apresentar níveis de contaminação superiores aos requeridos para os produtos de consumo em cru, para não transportar microrganismos para a cozinha onde são preparados, podendo vir a contaminar outros alimentos.

A contaminação das culturas destinadas a consumo directo pode ser controlada, em larga medida, através de métodos de rega que minimizem o contacto do efluente de rega com a parte consumível das culturas, podendo incrementar-se a mitigação de risco mediante um intervalo de tempo propiciador do decaimento de microrganismos (ver 3.3.2.3.3).

Não há conhecimento de casos de doença que possam ser directamente relacionados com o consumo de carne ou leite de animais alimentados por culturas irrigadas com efluentes de ETAR [WHO, 1989], embora não se possa afirmar que não existe um risco potencial, que pode ser real, no caso de rega com águas residuais brutas, e, sobretudo, de fertilização com lamas de águas residuais, pois os ovos e cistos de parasitas tendem a sedimentar neste produto.

O principal problema de saúde dos animais com potencial incidência sobre os consumidores da sua carne é o da infecção por *Cysticercus bovis*, a larva da *Taenia saginata*.

Finalmente, há o grupo de pessoas expostas por estarem presentes nas proximidades de campos onde se processa a rega com águas residuais. O risco potencial incorrido por este grupo aumenta consideravelmente quando essa se processa por aspersão (o mesmo sucedendo para os agricultores), devido à possibilidade de inalação de aerossóis, susceptíveis de serem transportados a distâncias variáveis.

### Aerossóis

Os aerossóis são partículas aquosas de diâmetro inferior a 50mm em suspensão no ar. A rega por aspersão com águas residuais provoca a formação de aerossóis, que potenciam um risco de saúde pública, visto poderem conter microrganismos patogénicos, que poderão ser transportados a distância, contaminando as plantas regadas, o vestuário e podendo ser inalados por pessoas e animais. A quantidade de água que é aerossilizada depende essencialmente da pressão de funcionamento e do diâmetro dos aspersores, variando entre 0,1% e 2%, sendo 1% o valor médio [US EPA, 2004].

Os aerossóis de diâmetro inferior a 2 mm podem penetrar profundamente no organismo e atingir mesmo os alvéolos pulmonares, originando infecções respiratórias, enquanto os de dimensões entre 2-5 mm ficam-se geralmente pelo tracto respiratório, podendo ser deglutidos e subsequentemente originar doenças gastrointestinais.

A distância de propagação dos aerossóis é bastante variável, dependendo essencialmente das condições atmosféricas – velocidade do vento, temperatura e humidade do ar. Em tempo quente e seco as partículas dos aerossóis rapidamente se extinguem, devido à tensão superficial se tornar demasiado elevada. Em condições favoráveis, isto é, conjugando baixa temperatura, elevada humidade atmosférica e velocidade do vento, os aerossóis podem ser transportados a distâncias da ordem de algumas centenas de metros. Embora não existam muitos estudos relativos à distância a que os patogénicos são transportados em aerossóis, é de referir que se detectaram coliformes fecais de aerossóis a distância compreendida entre 90 e 130 metros do local de emissão dos aerossóis, quando o vento soprava à velocidade de 1,5 m/s, estimando-se que, se o vento soprasse a 5 m/s, as bactérias poderiam ser transportadas a 400 metros [Marecos do Monte, 1996].

Existem poucos dados sobre os efeitos epidemiológicos do transporte de aerossóis de águas residuais tratadas, mas os estudos publicados não registam uma relação evidente entre os casos relatados de doença e a exposição aos aerossóis, embora o estudo serológico de amostras de sangue da população sujeita a maior grau de exposição aos aerossóis indicasse um número ligeiramente maior de infecções virais (que não chegavam a provocar doença) do que a da população menos exposta [Camann *et al.*, 1986].

#### **3.3.2.3.3 *Persistência dos patogénicos no solo e nas plantas regados com águas residuais***

A persistência é a característica que traduz a capacidade de sobrevivência dos microrganismos fecais. Fora do trato intestinal os microrganismos excretados encontram-se num ambiente hostil e muitos morrem mais ou menos rapidamente, consoante o tipo de microrganismo e os factores que determinam a sua extinção. Poucos microrganismos patogénicos se multiplicam fora do trato intestinal e os que o conseguem (*Salmonella spp.*, por exemplo) não o fazem por muito tempo [Feachem, R. *et al.*, 1983].

Os mecanismos que determinam a morte dos microrganismos são diversos, podendo incluir:

- factores químicos (produtos germicidas);

- factores físicos (temperatura, radiações, diferenças de pressão osmótica, que originem a ruptura da membrana celular);
- factores climáticos (temperatura ambiente, humidade, insolação);
- fenómenos biológicos de predação, competição, etc.

Contudo, pode dizer-se que os factores mais importantes são o tempo decorrido fora do hospedeiro e a temperatura.

### (a) Sobrevivência no solo

A sobrevivência de bactérias patogénicas no solo é condicionada pelos factores listados no Quadro 3-6 [Feachem, R. *et al.*, 1983].

Quadro 3-6 – Factores condicionantes da sobrevivência de bactérias patogénicas no solo

Factor do solo	Efeito na sobrevivência de bactérias
Antagonismo da microflora	Em solo estéril aumenta o tempo de sobrevivência das bactérias entéricas.
Teor de humidade	O tempo de sobrevivência aumenta em solos húmidos e em tempo de chuva.
Capacidade de retenção de água	O tempo de sobrevivência é menor em solos arenosos do que em solos com boa capacidade de retenção de água.
Teor de matéria orgânica	A presença de matéria orgânica favorece a sobrevivência das bactérias, podendo até permitir a sua multiplicação.
pH	O tempo de sobrevivência diminui mais em solos ácidos (pH 3-5) do que em solos alcalinos.
Insolação	O tempo de sobrevivência diminui à superfície do solo, devido às propriedades germicidas da luz solar.
Temperatura	O tempo de sobrevivência aumenta a baixas temperaturas, sendo mais longo no Inverno.

Assim, verifica-se que as condições de solo mais desfavoráveis para a sobrevivência de bactérias patogénicas são as proporcionadas por terrenos arenosos, ácidos, com baixo teor de humidade e durante tempo seco e quente.

O conhecimento que existe sobre a sobrevivência de vírus no solo sugere que a natureza proteica destes microrganismos favorece a sua adsorção à superfície das partículas do solo (principalmente se este for de natureza argilosa), onde ficam protegidos das condições adversas do ambiente. Além da natureza do solo, a temperatura ambiente, humidade do solo e eventual antagonismo com a microflora do solo também influenciam a sobrevivência dos vírus patogénicos de forma análoga à descrita para as bactérias [US EPA, 2004].

Os ovos de helmintas mantêm-se viáveis no solo durante longos períodos, que, embora variáveis de espécie para espécie, podem atingir muitos meses e até vários anos, no caso da *Ascaris*.

### **(b) Sobrevivência nas plantas**

É conhecido que as bactérias sobrevivem menos tempo à superfície das plantas do que no solo, o que se pode atribuir principalmente à acção da luz solar e menor humidade ambiente. Por essas razões se verifica que o tempo de sobrevivência das bactérias é mais longo em culturas que formam densas copas.

É importante salientar que as bactérias e demais microrganismos fecais não penetram nas plantas (salvo se a pele destas se encontrar danificada em algum ponto), mas aderem à superfície da planta. As raízes são mais propícias à contaminação do que outras partes, o que deve ser tido em consideração no caso das raízes comestíveis.

O Quadro 3-7, que compara o tempo de sobrevivência de alguns patogénicos mais vulgares em águas residuais, quando expostos às condições ambientais nas próprias águas residuais, sobre plantas e no solo, mostra que os microrganismos sobrevivem muito menos tempo à superfície das plantas que nas águas que os veiculam ou no solo, o que representa um factor de protecção da saúde pública.

### **3.3.3 Métodos de rega com águas residuais**

#### **3.3.3.1 Principais métodos de rega**

O método de aplicação das águas residuais no solo pode minimizar e mesmo controlar efeitos negativos, tais como a acumulação de sais na zona radicular, ou provocar outros, como, por exemplo, a contaminação de tudo o que estiver exposto a rega por aspersão.

Existem diversos métodos de rega, que devem ser aplicados de acordo com as circunstâncias locais relativas às culturas a beneficiar, topografia e características do terreno, etc. Seguidamente, são sucintamente definidos os métodos de rega mais correntes.

A **rega por sulcos** conduz a água por pequenos canais abertos ao longo das linhas de cultura, conforme ilustrado na Figura 3-5. A água é aplicada somente a uma parte do terreno, infiltrando-se vertical e horizontalmente. A rega por sulcos é apropriada sobretudo para solos de textura média e fina.



Quadro 3-7 – Tempo de sobrevivência médio de microrganismos patogênicos [Feachem, R. *et al.*, 1983]

Patogénico	Tempo de sobrevivência		(dia) em
	Águas residuais	Plantas	Solo
Vírus <sup>a</sup> Enterovírus <sup>b</sup>	< 120, mas geralmente < 50	< 60, mas geralmente < 15	< 100, mas geralmente < 20
Bactérias			
Coliformes fecais <sup>a</sup>	< 60, mas geralmente < 30	< 30, mas geralmente < 15	< 70, mas geralmente < 20
<i>Salmonella spp.</i> <sup>a</sup>	< 60, mas geralmente < 30	< 30, mas geralmente < 15	70, mas geralmente < 20
<i>Shigella spp.</i> <sup>a</sup>	< 30, mas geralmente < 10	< 10, mas geralmente < 5	
<i>Vibrio cholerae</i>	< 30, mas geralmente < 10	< 5, mas geralmente < 2	< 20, mas geralmente < 10
Protozoários			
Cistos de <i>E.histolytica</i>	< 30, mas geralmente < 15	< 10, mas geralmente < 2	< 20, mas geralmente < 10
Helmintas			
Ovos <i>A. lumbricoides</i>	Vários meses	< 60, mas geralmente < 30	Vários meses

<sup>a</sup> O tempo de sobrevivência dos vírus em água do mar é menor e o das bactérias é muito menor do que em água doce.

<sup>b</sup> Inclui os poliovírus, ecovírus e coxaquievírus.



Figura 3-5 – Rega por sulcos.

A **rega por aspersão** simula a chuva.

Adapta-se a quase todos os tipos de culturas, solos e topografias, com exceção dos terrenos muito inclinados. Trata-se de um método muito versátil, tanto no que respeita ao diâmetro dos aspersores e à pressão da água, como à sua disposição no terreno, que pode ser fixa ou móvel (movimento de translação ou de rotação), conforme representado na Figura 3-6.



Figura 3-6 – Rega por aspersão.

A **rega gota-a-gota** é o método de rega localizada mais conhecido. A água é aplicada junto da planta por meio de gotejadores intercalados em tubos de polietileno, nos quais a água se escoia a baixa pressão (da ordem de  $10^2$  kPa); no gotejador a pressão anula-se e a água cai em gotas. O caudal debitado por gotejador é reduzido, variando entre 2 L/h e 8 L/h, pelo que a rega é praticada diariamente, durante algum tempo, mantendo o solo sempre húmido.

A rega gota-a-gota (Figura 3-7) aplica-se a todos os tipos de solo, embora em solos de textura mais ligeira se devam colocar os gotejadores mais espaçados entre si do que nos solos mais densos. Este método de rega



Figura 3-7 – Rega gota-a-gota.

é geralmente aplicado em pomares e culturas vegetais de maior valor comercial, para facilitar a amortização dos custos do equipamento.

De referir ainda o método de rega subterrânea, no qual a água é distribuída por tubagem enterrada, geralmente de plástico, podendo servir para regar no Verão e para drenar no Inverno. Este método, conhecido por **subsuperficial** ou **infiltração ascendente**, é o que minimiza o contacto da planta com a água de rega.



Figura 3-8 – Rega por microaspersão.

### 3.3.3.2 *Seleção do método de rega*

A eficiência de rega, definida como a percentagem da água aplicada na rega que é utilizada pela planta,<sup>6</sup> varia consoante o método de rega. Os métodos de rega superficiais, como os sulcos e as faixas, apresentam baixa eficiência de rega. Já a rega por aspersão é medianamente eficiente, enquanto a rega gota-a-gota e a rega subsuperficial são muito eficientes.

A aplicação de alguns métodos de rega está condicionada à topografia do terreno (ao seu declive), outros requerem um nivelamento cuidadoso do terreno. Assim, enquanto a rega por aspersão semovente (*pivots*, canhões de rega) pode ser aplicada em solos relativamente declivosos, a rega por sulcos e por faixas exige declives mais suaves e até o nivelamento do terreno.

<sup>6</sup> A água aplicada é utilizada para a sua evapotranspiração, para lavagem dos sais na rizosfera. É perdida a água arrastada pelo vento e a que se infiltra pelo solo inferior à rizosfera por excesso de volume aplicado.

Outro factor importante na consideração do método de rega a adoptar é a textura do solo. De um modo geral, a rega superficial, como os sulcos, canteiros e faixas, não são adequados a solos de textura fina. A rega por aspersão é menos dependente da textura do solo.

A qualidade da água também interfere com a escolha do método de rega, nomeadamente quando se trata de reutilização de águas residuais tratadas. Além da potencial contaminação das plantas e do solo com microrganismos presentes na água, a rega por aspersão pode provocar problemas de toxicidade foliar, causada pelo teor de cloretos, de boro e de outros elementos. A presença de sólidos suspensos pode provocar entupimento em determinados equipamentos de rega, como os microaspersores e os gotejadores. A precipitação de carbonatos também pode contribuir para o problema dos entupimentos, principalmente na rega gota-a-gota. A matéria orgânica presente nas águas residuais tratadas alimenta o crescimento de filmes biológicos nos equipamentos de rega, contribuindo para a sua colmatação.

Por outro lado, a adequada selecção do método de rega pode constituir uma excelente medida de mitigação de impactes ambientais e de saúde pública associados à reutilização de águas residuais na rega agrícola.

Todos os métodos de rega são susceptíveis de utilização para distribuição de águas residuais aos terrenos agrícolas, havendo porém que compatibilizar a eficiência de rega e o custo do equipamento de irrigação com a protecção sanitária dos grupos de risco, que incluem os agricultores e seus familiares, manipuladores das culturas (comerciantes), consumidores directos (das culturas) e indirectos (da carne e do leite de animais alimentados pelas culturas irrigadas) e os habitantes e passantes nas proximidades dos campos irrigados com águas residuais.

Uma das medidas para controlar os riscos potenciais de saúde pública inerentes à prática de utilização de águas residuais em irrigação consiste em condicionar o método de rega às culturas a irrigar, de modo a minimizar a superfície das partes consumíveis da planta em contacto com estas águas. Depois da rega subsuperficial, de reduzida aplicação prática, a rega gota-a-gota aparece de imediato como o método de rega que maior protecção sanitária oferece, pois limita ao mínimo o contacto da parte aérea da planta com a água de rega, que praticamente só contacta com a rizosfera, ao mesmo tempo que a área de solo contaminado é também mínima comparativamente aos demais métodos de rega.

Em situações de utilização de efluentes do tratamento de águas residuais nem sempre é possível, ou mesmo aconselhável, o emprego de rega

gota-a-gota, pelo custo do equipamento, que se torna demasiado alto em culturas de elevada densidade, quando cultivadas em grandes áreas. A rega por aspersão é mais utilizada nestes casos, ou mesmo a rega gravítica, não obstante a sua menor eficiência de rega. Estes dois métodos de rega proporcionam maior contacto entre a água de rega e a planta, pelo que os riscos sanitários são também maiores, principalmente no caso da rega gravítica, em que é maior a superfície do solo em contacto com a água. No entanto, podem ser aplicados com sucesso na rega com efluentes, desde que se observe uma restrição apropriada das culturas a regar.

### **3.3.3.3 Minimização dos impactes ambientais sobre o solo e as águas subterrâneas**

A reutilização de águas residuais para rega pode implicar impactes ambientais que dependem não só da qualidade da água de rega, mas também do método de rega. Os impactes ambientais mais relevantes incidem sobre as características do solo regado e sobre as águas subterrâneas. Por sua vez, estes impactes podem ter impacte agronómico, reflectindo-se na produção agrícola. É o caso da salinização do solo e das águas subterrâneas provocado pela aplicação de águas com elevada concentração de sólidos dissolvidos, que podem chegar a atingir as águas subterrâneas, se o volume de água de rega for excessivo. No Quadro 3-8 sintetizam-se os principais factores a considerar na selecção do método de rega a adoptar num projecto específico de reutilização de águas residuais tratadas para rega.

### **3.3.3.4 Programação da rega**

As necessidades hídricas das plantas são específicas de cada planta. A rega tem por objectivo completar o fornecimento de água transmitido pela precipitação atmosférica. Por consequência, o volume de água de rega necessário durante o ciclo vegetativo da planta depende das condições climáticas da região – precipitação, evapotranspiração potencial, temperatura, vento e insolação, variando ao longo dos meses. Além disso, as necessidades hídricas das plantas não são constantes, variando com as fases do seu desenvolvimento.

O volume de água de rega que é necessário fornecer à planta, para completar o recebido pela precipitação atmosférica e para mitigar os problemas de salinidade, é quantificado pela chamada **dotação de rega**, definida como o volume anual de água aplicada por unidade de área para desenvolver uma cultura. A dotação de rega é aplicada por regas, cuja frequência e volume de água aplicado variam ao longo do ciclo vegetativo da cultura.

Quadro 3-8 – Comparação dos métodos de rega.

Método e rega	Condições de utilização e características					Notas
	Culturas	Topografia	Eficiência	Solos		
Pequenos canteiros	Arroz, algodão, milho, vegetais, pomares, luzerna.	Terrenos de declive suave. Dentro dos canteiros o terreno tem que ser nivelado.	30 – 80 % ou mais em sistemas bem controlados.	Vários tipos de solos; não se deve usar em terrenos com tendência para encharcar.		Baixo custo. Perdem-se áreas consideráveis nos combros e canais. Interfere com a mecanização. Requer protecção sanitária dos agricultores, intermediários e consumidores. Pouco adequado à utilização de águas residuais tratadas.
Canteiros grandes	Arroz, vegetais, luzerna, milho.	Terrenos planos. Têm que ser nivelados.	30 – 80 %	Solos de textura fina com taxa de infiltração < 50 mm/hora.		Problemas sanitários, combros de dimensão apreciáveis. Interfere pouco com a mecanização. Requer protecção sanitária dos agricultores, intermediários e consumidores. Pouco adequado à utilização de águas residuais tratadas.
Canteiros de nível	Arroz, pastagens, amendoim, milho.	Declive < 0.5 %	30 – 50 %	Textura média a fina com elevadas capacidades de campo > 100 mm/m.		Canteiros construídos segundo o nível. Interfere com a mecanização. Compatível com efluente secundário. Requer restrição de culturas. Requer protecção sanitária dos agricultores, intermediários e consumidores.
Faixas estreitas 1 – 5 m	Pastagens, cereais, luzerna, vinhas e pomares.	Declive < 7 %	30 – 80 % em solos bem nivelados.	Maioria dos solos excepto solos muito grosseiros, por provocar excessiva percolação profunda.		As faixas devem ser feitas na direcção do maior declive. Exige nivelamento preciso. Não interfere com a mecanização. Compatível com efluente secundário. Requer restrição de culturas. Requer protecção sanitária dos agricultores, possivelmente dos intermediários e dos consumidores.
Faixas largas 5 – 30 m	Cereais, luzerna, pomares, pastagens.	Declive < 5 %	30 – 80 % em solos bem nivelados.	Solos de textura fina e profundos.		Exige grandes caudais de rega (ordem dos 2.000 m <sup>3</sup> /h). Não interfere com a mecanização. Compatível com efluente secundário. Requer restrição de culturas. Requer protecção sanitária dos agricultores, e possivelmente dos intermediários e dos consumidores.
Sulcos	Vegetais, culturas em linha, pomares, vinhas.	Declives uniformes < 2 %	30 – 70 % em solos bem nivelados.	Solos de textura média e fina.		Custo relativamente baixo. Não interfere com a mecanização. Compatível com efluente secundário. Requer restrição de culturas. Requer protecção sanitária dos agricultores, intermediários e consumidores.

Quadro 3-8 – Comparação dos métodos de rega. (Cont.)

Método e rega	Condições de utilização e características				
	Culturas	Topografia	Eficiência	Solos	Notas
Aspersão clássica	Todas.	Decide < 20 % taxa de aplicação deve ser regulada para não provocar erosão.	50 – 90 %	Todas as texturas.	Custo médio a elevado. Pressão necessária: 0,2 – 0,5 kg/cm <sup>2</sup> . Distância tampão até locais habitados, estradas e origens de água para consumo humano. Formação de aerossóis. Requer protecção sanitária dos agricultores, possivelmente dos intermediários e dos consumidores. Requer restrição de culturas e/ou de tratamento das águas residuais.
Canhão semovente	Cereais, milho, leguminosas, algodão, pastagens.	5 a 10 %	70 – 85 %	Não apropriado a solos de textura muito fina.	Custo médio a elevado. Parcelas rectangulares. Pressão necessária 7,0 a 12,0 kgf/cm <sup>2</sup> . Distância tampão até locais habitados, estradas e origens de água para consumo humano. Formação de aerossóis. Requer protecção sanitária dos agricultores, e possivelmente dos intermediários e dos consumidores. Requer restrição de culturas e/ou de tratamento das águas residuais.
«Pivot» central	Todas as culturas de altura < 3 m.	< 20 %	85 – 95 %	Todas as texturas.	Parcelas circulares ou quadradas nos pivots equipados com sistemas «corner». Pressão necessária: 1,5 a 5,0 Kgf/cm <sup>2</sup> . Distância tampão até locais habitados, estradas e origens de água para consumo humano. Formação de aerossóis. Requer protecção sanitária dos agricultores, possivelmente dos intermediários e dos consumidores. Requer restrição de culturas e/ou de tratamento das águas residuais.
Gota-a-gota	Culturas em linha: hortícolas, pomares, vinhas.	Sem restrições.	90 – 97%	Todas as texturas.	Custo elevado. Elevado nível de protecção sanitária.
Subirrigação	Viveiros, hortícolas, pomares, vinhas.	Sem restrições.	70-90%	Todas as texturas.	Elevado custo. Nível de protecção sanitária muito elevado.

A necessidade de água para rega não é constante ao longo do ano, apresentando mesmo maior procura em tempo seco, quando a precipitação atmosférica é mais reduzida ou mesmo nula e a evaporação é mais elevada. Por outro lado, a produção de águas residuais tratadas numa ETAR é relativamente constante, não obstante a sua variação de caudal. Coloca-se assim a questão da compatibilização entre a procura de águas residuais para reutilizar na rega e a oferta dos efluentes das ETAR. O armazenamento temporário das águas residuais tratadas pode constituir a solução para maximizar os benefícios derivados da reutilização.

No planeamento de um projecto de reutilização de águas residuais para rega na agricultura importa não só conhecer as dotações de rega das culturas previstas, mas também a calendarização das regas. Quando não é possível obter esta informação directamente dos potenciais utilizadores das águas residuais (os agricultores), pode-se proceder a uma estimativa baseada nas características climáticas (essencialmente a evapotranspiração) e na fracção da água de lavagem, de acordo com a equação 3.8. O conhecimento das culturas praticadas e de interesse na região permitirá estimar a distribuição da procura de águas residuais para rega ao longo do tempo e assim avaliar o interesse do eventual armazenamento.

### **3.3.3.5 Armazenamento**

Os sistemas de armazenamento de águas residuais têm por objectivo fundamental garantir volumes de água destinados às seguintes finalidades: operação dos SRART, satisfação das aplicações a servir; gestão de volumes sazonais; gestão de volumes para situações de emergência; e controlo de caudais.

O objectivo do armazenamento operacional consiste em garantir volumes de água para compensar a flutuação dos consumos horários ao longo do dia e de dia para dia (volante de regularização), e permitir o bom funcionamento das redes de distribuição, a regularização do funcionamento das bombagens, o equilíbrio de cargas piezométricas e reservas para emergências. Normalmente, as infra-estruturas de armazenamento têm funções de volante de regularização, alimentando directamente os sistemas de distribuição e permitindo compensar as flutuações do consumo face a um regime constante ou intermitente do sistema de adução.

Os sistemas de armazenamento permitem também a gestão de volumes de água sazonais, através do confinamento de longa duração. Normalmente os consumos de água em reutilização para rega são mais elevados do que a média nos meses de Verão e inferiores à média nos meses de Inverno. O armazenamento de longa duração de volumes gerados no



Inverno para reutilização no Verão torna-se, assim, bastante frequente. O armazenamento de longa duração durante o Verão para ser utilizado no Inverno justifica-se quando as tipologias e oportunidades de reutilização são limitadas e em áreas onde a possibilidade de descarga de efluentes tratados no meio receptor, durante os períodos de estiagem, é muito limitada por restrições de ordem ambiental.

As reservas para emergências pretendem precaver situações acidentais, como a paragem de ETAR ou de estações elevatórias, quer por avaria mecânica, quer por falta de energia, bem como variações pontuais na qualidade.

O armazenamento pode realizar-se em tanques-reservatórios, em lagos e lagoas (solução muito apropriada à rega de campos de golfe) e até em aquíferos confinados.

### **3.3.4 Metodologias de controlo dos SRART para rega agrícola**

#### **3.3.4.1 *Minimização dos impactes ambientais sobre o solo e as águas subterrâneas***

A reutilização de águas residuais para rega pode implicar impactes ambientais que dependem não só da qualidade da água de rega, mas também do método de rega. Os impactes ambientais mais relevantes incidem sobre as características do solo regado e sobre as águas subterrâneas. Por sua vez, estes impactes podem ter impacte agronómico, reflectindo-se na produção agrícola. É o caso da salinização do solo e das águas subterrâneas provocado pela aplicação de águas com elevada concentração de sólidos dissolvidos, que podem chegar a atingir as águas subterrâneas, se o volume de água de rega for excessivo. O problema da salinização do solo torna-se mais grave quando parte dos sólidos dissolvidos na água são sais de sódio (ver 3.3.2.2.2).

O método de rega pode induzir o agravamento dos riscos de toxicidade das plantas, devido à presença de determinadas substâncias na água. O exemplo mais típico é a toxicidade provocada pela presença de sódio e de cloretos na água, quando esta é aplicada por aspersores semoventes a baixa velocidade, o que favorece a evaporação da água entre duas passagens consecutivas do aspersor, concentrando sobre as folhas os sais dissolvidos na água de rega, os quais são depois absorvidos pelas folhas, que apresentam necroses semelhantes a queimaduras.

Este problema é agravado em climas quentes e secos, podendo ser atenuado pela rega nocturna.

#### **3.3.4.1.1 Salinização**

É do conhecimento geral que o método de rega condiciona o modo como se processa a acumulação de sais, sendo, por conseguinte, um importante factor a considerar nos projectos de utilização de águas residuais em que estas apresentam valores de condutividade eléctrica particularmente elevados.

Nos métodos de rega em que a água é distribuída de uma maneira bastante uniforme sobre o solo – alagamento, aspersão e, até certo ponto, as caldeiras – os sais acumulam-se na zona inferior da rizosfera, conforme ilustrado na Figura 3-9. A acumulação de sais em solo regados pelo método gota-a-gota é geralmente mais atenuada, devido à humidade permanentemente mantida na zona radicular, que provoca uma ligeira, mas contínua lavagem de sais. A acumulação de sais também ocorre, mas na periferia da esfera de influência de cada gotejador e à superfície do solo, entre gotejadores, devido à evaporação. Deste modo, a acumulação de sais é exterior à zona de desenvolvimento das plantas.

#### **3.3.4.1.2 Drenagem do excesso de água de rega**

A mitigação do problema da salinização do solo à custa da aplicação de um excesso de água para lavagem da rizosfera pode induzir outros impactes negativos sobre as águas subterrâneas e superficiais: a salobridade das águas subterrâneas, a sua poluição e contaminação; e as linhas de águas superficiais em cuja bacia se situa o campo regado com águas residuais podem ser atingidas por escorrências da água de rega.

A drenagem do solo e o estabelecimento de uma faixa de protecção em torno do perímetro de rega constituem as medidas para mitigar o impacte sobre as águas subterrâneas.

#### **3.3.4.2 Minimização dos impactes sanitários**

A gestão dos riscos de saúde pública em sistema de reutilização de águas residuais para rega agrícola ou paisagística pode basear-se na eliminação dos patogénicos na água de rega, através de processos de desinfecção. Porém, é possível atingir um adequado controlo de risco, equivalente a este meio extremo de desinfecção, de forma menos dispendiosa, através de:

- minimização de contacto das plantas com águas de rega constituídas por águas residuais submetidas a desinfecção parcial, o que se consegue através do método de rega;
- selecção de plantas cuja parte consumível não contacta com a água e rega.

A selecção do método de rega representa um importante instrumento de controlo dos riscos para a saúde pública decorrentes da rega com águas residuais tratadas. O método de rega deve atender não só às conveniências de ordem agronómica, mas também à contaminação de culturas, solo, agricultores, etc., que pode advir do modo como a água é aplicada.

A rega por aspersão é o método que maior risco de disseminação dos microrganismos patogénicos apresenta, pois a água contacta directamente todas as partes da cultura e o solo, dando ainda origem a aerossóis, os quais podem atingir os agricultores e passantes nas proximidades do campo irrigado. Consequentemente, a rega por aspersão deverá ser praticada com efluentes de elevada qualidade microbiológica e, de preferência, durante a noite, para evitar atingir pessoas. As zonas habitadas devem situar-se a uma distância com reduzida probabilidade de serem atingidas pelos aerossóis.

A rega por escoamento superficial (em sulcos, mais vulgarmente) pode não contaminar a parte consumível das culturas, se estas forem convenientemente seleccionadas. Não deve, porém, ser esquecido que o solo irrigado pode ficar contaminado (dependendo essencialmente da qualidade microbiológica do efluente utilizado na rega), e que o regante pode contaminar-se ou ser agente de transmissão de contaminação, por pisar o solo, transportando os patogénicos na sola dos seus botins e na roupa de trabalho.

A parte comestível de certas culturas hortícolas não contacta com a água de rega, no caso de rega superficial, ou com o solo molhado, como, por exemplo, o tomateiro, o feijoeiro ou o pimento. Porém, há a tendência de aproveitar muitos dos frutos que caem no chão e se apresentam em melhor estado, o que pode ser uma prática perigosa para a saúde dos consumidores. Dada a dificuldade de convencer os agricultores a rejeitar os frutos caídos no solo e a impossibilidade de controlar tais práticas, é preferível exigir que tais culturas só possam ser regadas com efluentes de elevada qualidade microbiológica.

O método de rega que menos risco de contaminação oferece é indiscutivelmente a rega subsuperficial, a qual, no entanto, é pouco praticada, devido ao custo de investimento na tubagem de rega. Em termos práticos, é a rega gota-a-gota que assegura menor risco de contaminação das plantas e do solo, pois a água contacta apenas com a raiz da planta e uma pequena porção do solo, não ocorrendo qualquer contacto com o agricultor ou passantes.

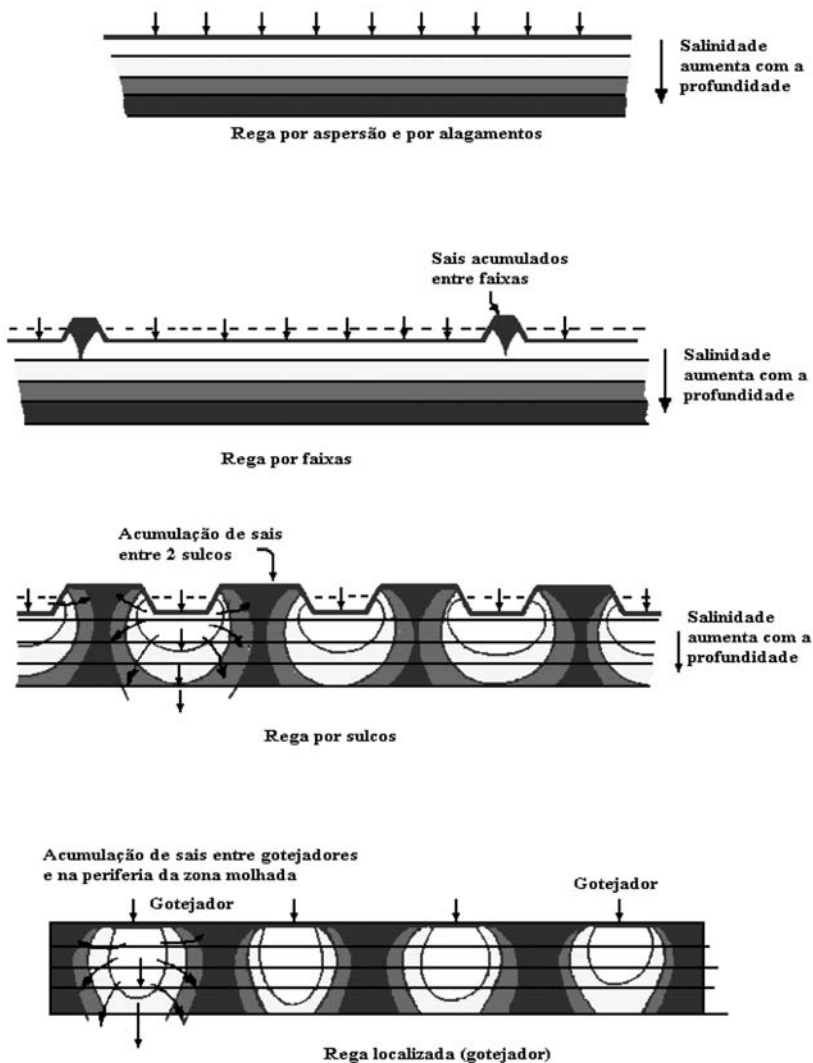


Figura 3-9 – Zona de acumulação de sais no solo em função do método de rega.

### 3.4 Reutilização de águas residuais tratadas para a rega paisagística

A chamada rega paisagística consiste na rega de espaços verdes ornamentais, como: parques e jardins, separadores de auto-estradas, relvados de campos desportivos, nomeadamente de campos de golfe.

Em termos de volume de água, a rega paisagística constitui a segunda maior aplicação de reutilização de águas residuais tratadas em países de-

senvolvidos. Os EUA são o grande exemplo de reutilização para rega paisagística, a qual tende a aumentar significativamente noutras regiões, como a Europa e o Extremo Oriente. Em Portugal assiste-se a um interesse crescente pela reutilização de águas residuais tratadas na rega de campos de golfe, principalmente nas regiões do Algarve e do Oeste.

Os factores que condicionam a reutilização para rega paisagística são os mesmos referidos para a rega agrícola, isto é, características químicas favoráveis ao desenvolvimento das plantas regadas e características microbiológicas compatíveis com a adequada protecção da saúde pública, embora geralmente este último aspecto seja considerado primordial, dada a elevada probabilidade de contacto humano com os relvados, nomeadamente no caso dos campos de golfe e também pelo facto de não estar em causa o valor da produção agrícola.

#### **3.4.1 Breve descrição da situação mundial**

Na categoria de reutilização de águas residuais para rega paisagística inclui-se a rega de parques e jardins, faixas de separação de pistas em auto-estradas, relvados de campos desportivos, nomeadamente de campos de golfe. Esta aplicação da reutilização da água atinge uma expressão relevante em alguns estados norte-americanos, principalmente na Florida, seguida da Califórnia, onde se encontram numerosos exemplos de diversos tipos de reutilização para rega paisagística, alguns dos quais citados no Quadro 3-9.

Um tipo particular de reutilização para rega paisagística – a rega de campos de golfe – tem suscitado um interesse significativo, não só nos EUA, mas também em muitos países europeus, designadamente em Portugal e Espanha, visto que se trata de uma aplicação em projectos de investimento de elevado valor sócio-económico. Pela importância desta aplicação para a economia portuguesa, o tema é abordado especificamente na secção 3.4.5.

O interesse da reutilização para rega paisagística pode ser determinado predominantemente por motivos de índole económica, como no caso dos campos de golfe e dos empreendimentos imobiliários em zonas onde se verifica uma elevada procura de água para uso paisagístico e onde esta, por conseguinte, atinge custos elevados; mas também pode ser estimulado por razões de protecção ambiental, que exijam a redução da descarga de efluentes nos meios receptores em que só são licenciadas descargas de águas residuais submetidas a tratamento muito exigente, que poderão, em alternativa, ser reutilizados.

Quadro 3-9 – Exemplos no mundo de reutilização de ART para rega paisagística [US EPA, 2004; ASANO *et al.*, 2007; EUWI, 2007]

St. Petersburg, Florida	Cerca de 40 milhões de m <sup>3</sup> /ano reutilizados na rega de espaços verdes residenciais e comerciais e de campos de golfe. O projecto inclui também reutilização para combate a incêndios em zonas não residenciais.
El Paso, Texas	Rega de campos de golfe, parques municipais e recintos escolares com efluentes secundários e terciários.
El Dorado Hills, Califórnia	58 mil m <sup>3</sup> /d aplicados na rega de jardins residenciais e 2 campos de golfe.
Chipre	60% do volume de águas residuais produzidas nas cidades de maior dimensão são reutilizadas na rega de jardins, parques, recintos de hotéis, campos de golfe.
Irvine Ranch Water District, Califórnia	41 milhões de m <sup>3</sup> /ano reutilizados para rega de parques, campos de golfe e outros campos desportivos, recintos escolares.
Denver, Colorado	41 milhões de m <sup>3</sup> /ano para rega de parques, campos de golfe, recintos escolares.
Consorti de la Costa Brava, Catalunha, Espanha	5,7 milhões de m <sup>3</sup> /ano (15% das águas residuais produzidas) reutilizados em 13 projectos, na rega de campos de golfe, rega de espaços verdes urbanos, rega agrícola, recarga de aquíferos.
Sainte-Maxime, França	10000 m <sup>3</sup> /d de efluente terciário reutilizado na rega de campo de golfe.

O foco do interesse da reutilização da água para rega paisagística em Portugal centra-se actualmente na rega de campos de golfe, com particular destaque nas regiões do Algarve e do Oeste. Na primeira destas regiões existem 31 campos de golfe, estando prevista a instalação de mais 18 em breve [Martins *et al.*, 2007]. A autorização para instalação das novas unidades tem sido condicionada à reutilização dos efluentes das ETAR.

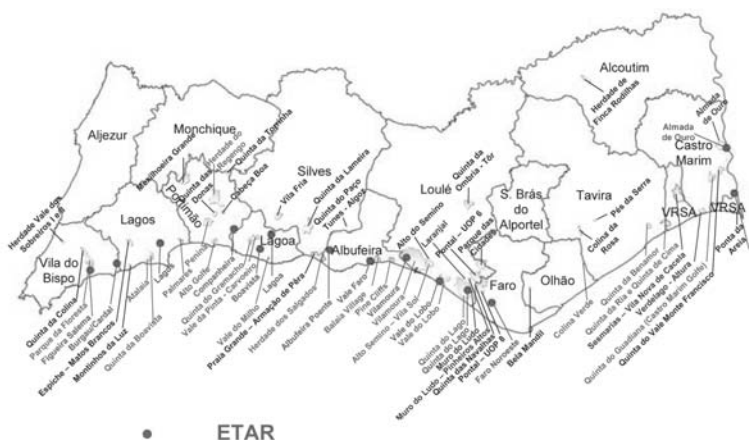


Figura 3-10 – Localização dos campos de golfe no Algarve (fonte: [Martins, 2007])

### **3.4.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas utilizadas para rega paisagística**

#### **3.4.2.1 Nota preliminar**

Um sistema de reutilização de águas residuais para rega paisagística é análogo a um sistema de reutilização para rega agrícola, com a diferença de as plantas serem, neste caso, de interesse ornamental. A água de rega deve satisfazer as necessidades hídricas das plantas, proporcionar o seu bom desenvolvimento vegetativo (qualidade agronómica) e, quando forem utilizadas na rega águas residuais tratadas, a qualidade dessas águas deve cumprir os requisitos de protecção da saúde pública.

#### **3.4.2.2 Aspectos agronómicos da qualidade de águas residuais tratadas utilizadas para rega paisagística**

Do ponto de vista agronómico, os requisitos de qualidade das águas residuais a utilizar na rega paisagística são análogos aos da rega agrícola (ver 3.3.2.2). A salinidade é a característica mais relevante, sendo importante que as plantas seleccionadas para um projecto paisagístico, cuja água de rega provenha de uma ETAR, sejam pelo menos medianamente tolerantes à salinidade.

No Quadro 3-10 apresenta-se uma lista de plantas ornamentais e da sua tolerância a esta propriedade [Asano *et al.*, 2007]. A manutenção de boa aparência é importante nos espaços paisagísticos, pelo que devem ser evitados problemas de fitotoxicidade. O boro é o elemento mais susceptível de provocar efeitos a curto prazo. Outros elementos tóxicos, como certos metais pesados – cádmio, cobre, níquel –, encontram-se presentes apenas em teores vestigiais, pelo que só a longo prazo poderão originar impactes.

Merecem ainda consideração as características químicas relacionadas com a possível geração de odores ofensivos, que pode ocorrer durante a estagnação da água em condutas e reservatórios, mais provavelmente quando a concentração de sulfatos for superior a 50 mg/L  $\text{SO}_4^{=}$  e a CQO exceder 20 mg/L [Asano *et al.*, 2007].

O baixo teor de matéria orgânica e de nutrientes é importante para prevenir o desenvolvimento de algas nos reservatórios abertos (campos de golfe, por exemplo) e de biofilmes nas condutas.

O controlo dos efeitos da salinidade no solo e nas águas subterrâneas orienta-se pelos mesmos fundamentos expostos em 3.3.2.2.2 para a reutilização para a rega agrícola.

O controlo de elementos tóxicos para as plantas efectua-se de forma análoga à descrita em 3.3.2.2.3 para a rega agrícola

Quadro 3-10 – Tolerância de plantas de ornamentação paisagística à salinidade (Adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

Nome comum	Nome botânico	Tolerância à salinidade					
		Muito sensível	Sensível	Medianamente		Tolerante	Muito tolerante
				sensível	tolerante		
Pinheiro do alepo	<i>Pinus halepensis</i>				✓		
Aradeira	<i>Hedera canariensis</i>		✓				
	<i>Cordyline indivisa</i>				✓		
Buganvília	<i>Bougainvillea spectabilis</i>					✓	
Mirtilo vermelho	<i>Syzygium paniculatum</i>					✓	
Abrunheiro dos jardins	<i>Prunus cerasifera</i>			✓			
Rosa da china	<i>Hibiscus Rosa-sinensis</i>		✓				
Vassoura-vermelha	<i>Dodonaea viscosa</i>			✓			
Palmeira das vassouras	<i>Chamaerops humilis</i>				✓		
Abélia	<i>Aelia x grandiflora</i>		✓				
Alfenheiro do Japão	<i>Ligustrum lucidum</i>			✓			
Avenca japonesa	<i>Nandina domestica</i>		✓				
Pinheiro-manso	<i>Pinus pinea</i>					✓	
Pinheiro preto japonês	<i>Pinus thunbergiana</i>			✓			
Buxo	<i>Buxus microphylla var. japonica</i>			✓			
Faia da Holanda	<i>Pittosporum tobira</i>		✓				
Folhado dos Açores	<i>Viburnum Tinus</i>		✓				
Karanda	<i>Carissa grandiflora</i>					✓	
Bauínia-de-hong-kong	<i>Bauhinia purpurea</i>			✓			
Loendro	<i>Nerium oleander</i>				✓		
Maónia	<i>Mathonia aquifolium</i>	✓					



Quadro 3-10 – Tolerância de plantas de ornamentação paisagística à salinidade (Adaptado de [Asano *et al.*, 2007]) (Cont.)

Nome comum	Nome botânico	Tolerância à salinidade					
		Muito sensível	Sensível	Medianamente sensível	Medianamente tolerante	Tolerante	Muito tolerante
Biota da China	<i>Platycladus orientalis</i>			✓			
Photínia	<i>Photinia x fraseri</i>	✓					
Goiaba-serrana	<i>Feijoa Sellowiana</i>		✓				
Cacto-margarida	<i>Lamprathus productus</i>						✓
Espinho de Fogo	<i>Pyracantha fortuneana</i>			✓			
Roseira	<i>Rosa sp.</i>		✓				
Alecrim	<i>Rosárinus officinalis</i>				✓		
Magnólia	<i>Magnolia grandiflora</i>			✓			
Evónio dos jardins	<i>Euonymus japónica</i>				✓		
Jasmim estrelado	<i>Trachelospermum jasminoides</i>	✓					
Medronheiro	<i>Arbutus Unedo</i>		✓				
Liquidambar da América	<i>Liquidamber Styraciflua</i>				✓		
Oleagno	<i>Elaeagnus pungens</i>			✓			
Tulipeiro	<i>Liriodendron Tulipifera</i>		✓				
Calistemon	<i>Callistemon viminalis</i>				✓		
Cambará	<i>Lantana camara</i>			✓			

### 3.4.2.3 Aspectos de saúde pública na qualidade de águas residuais tratadas utilizadas para rega paisagística

Os riscos de saúde pública associados à rega paisagística com águas residuais tratadas podem ser originados por:

- Exposição humana à água de rega e contacto com plantas e superfícies molhadas pela mesma;
- Ligações cruzadas entre os sistemas de abastecimento de água de rega e de água para consumo humano.

De um modo geral, as águas residuais utilizadas em rega paisagística são tratadas ao nível de tratamento terciário, menos frequentemente a tratamento secundário, e quase sempre submetidas a um processo de desinfecção. Consequentemente, neste tipo de reutilização e com águas residuais tratadas a este nível, são muito reduzidos os riscos de saúde pública por ingestão acidental da água de rega ou por contacto com plantas e superfícies regadas.

Não obstante, é possível distinguir dois níveis de risco, aos quais se pode atribuir requisitos de qualidade microbiológica diferentes, consoante os espaços regados são de acesso sem restrições ou de acesso limitado. Entre os espaços paisagísticos de acesso sem restrições encontram-se os seguintes:

- Parques públicos;
- Relvados de campos desportivos;
- Espaços verdes de ornamentação paisagística em instalações públicas e comerciais;
- Jardins de residências individuais e multifamiliares;
- Campos de golfe.

Os espaços paisagísticos de acesso limitado incluem:

- Faixas laterais e separadoras de auto-estradas;
- Espaços verdes de ornamentação paisagística em instalações industriais;
- Cemitérios.

A protecção da saúde pública assegura-se por meio das seguintes iniciativas:

- Utilização de água de rega com qualidade microbiológica adequada, o que pressupõe tratamento apropriado e operação fiável;
- Minimização da exposição humana aos factores de risco.

Este último factor é conseguido pelos seguintes meios:

- Gestão do processo de rega – desde a selecção do próprio método de rega, procurando os que minimizam contacto da água de rega com os operadores de rega e com o público em geral e evitando os métodos que originam a formação de aerossóis, até à execução das regas durante a noite;
- Estabelecimento de restrições de acesso, como a vedação de canteiros regados com águas residuais tratadas.

### 3.4.3 Métodos de rega paisagística

Os princípios de projecto de um sistema de rega paisagística são análogos ao da rega agrícola, na medida em que o objectivo é fornecer a água necessária ao bom desenvolvimento das plantas, o que depende das condições climáticas do local e do tipo de planta.

A determinação da dotação de rega pode fazer-se segundo a eq. 3.8, afectando a evapotranspiração  $ET_0$  de um coeficiente  $K_L$  que traduz as especificidades do local do espaço paisagístico: o efeito da diversidade das espécies<sup>7</sup> ( $k_s$ ); o efeito da densidade da vegetação ( $k_d$ ); o efeito do microclima do local ( $k_{mc}$ ).

$$K_L = k_s \times k_d \times k_{mc} \quad (\text{eq. 3.9})$$

$$ET_L = K_L \times ET_0 \quad (\text{eq. 3.10})$$

Embora a selecção das plantas seja da responsabilidade de técnicos paisagistas, será recomendável a opção, tanto quanto possível, por espécies resistentes à salinidade e ao boro, dada a proveniência da água de rega.

No Quadro 3-11 apresentam-se valores de  $k_s$ ,  $k_d$  e  $k_{mc}$  para cálculo de  $K_L$  [Asano *et al.*, 2007].

Quadro 3-11 – Valores típicos dos coeficientes de plantas paisagísticas.

Valor	Factor relativo a		
	Espécies de plantas $k_s$	Densidade $k_d$	Microclima $k_{mc}$
Elevado	0,7 – 0,9	1,1 – 1,3	1,1 -1,4
Moderado	0,4 – 0,6	1,0	1,0
Baixo	0,1 – 0,3	0,5 – 0,9	0,5 – 0,9
Muito baixo	< 0,1		

Os métodos de rega correntemente utilizados neste domínio da rega paisagística são a aspersão, a gota-a-gota e a rega subsuperficial. A rega por aspersão é muito utilizada nos relvados. Desde que bem projectados e adequadamente mantidos, qualquer destes métodos de rega pode apresentar elevadas eficiências de rega, da ordem de 65 a 90%.

O sistema de distribuição deve ser dimensionado de modo a disponibilizar as pretendidas condições de caudal e de pressão aos diversos utilizadores, sendo importante avaliar as solicitações de ponta, bem como a possível necessidade de capacidade de armazenamento.

<sup>7</sup> Um espaço verde de ornamentação paisagística inclui geralmente uma mistura de espécies, enquanto a produção agrícola se refere ao cultivo de plantas da mesma espécie.

### 3.4.4 Metodologias de controlo dos SRART para rega paisagística

Tal como referido para a rega agrícola, a gestão da rega, em termos de método de rega, volume de água aplicada, frequência das regas e método de rega, constitui uma ferramenta versátil na mitigação de impactes sanitários e ambientais. As águas residuais tratadas utilizadas em rega paisagística passam geralmente por uma exigente fileira de tratamento, minimizando assim eventuais impactos adversos, tanto ambientais como de saúde pública. O tipo de método de rega pode também concorrer para minimizar a exposição aos constituintes da água de rega, excepto no caso da rega de aspersão. Neste caso, a interdição da rega quando o vento soprar a velocidades moderadas a elevadas [NP 4434, 2005] constitui uma eficaz medida de controlo dos riscos para a saúde pública. Além disso, a gestão do horário das regas pode eliminar a exposição à água de rega, pois é possível programar a temporização das regas para horários nocturnos (por exemplo a partir das 22 horas até às 6 da manhã).

Algumas aplicações de reutilização para rega paisagística, como os jardins de residências individuais ou colectivas, dispõem também de sistemas de abastecimento de água potável. Nesses casos, podem ocorrer ligações cruzadas entre os dois sistemas de abastecimento, risco que é necessário prevenir.

Para isso, a tubagem e acessórios do sistema de abastecimento de águas residuais tratadas devem ser claramente identificados com marcação do fluido que transporta (água reutilizada) e com uma cor distinta da tubagem da água potável. Sendo a cor da púrpura adoptada nos EUA para a tubagem de transporte de águas residuais tratadas para reutilização, é recomendável que, por uma questão de uniformização tendente à padronização, seja também esta a cor adoptada em Portugal para a tubagem dos sistemas de distribuição de água reutilizável.



Figura 3-11 – Marcação de tubagem de sistemas de reutilização de água.

A distância das áreas regadas com águas residuais a zonas habitadas constitui outra barreira que se deve considerar na protecção da saúde pública.

### 3.4.5 Rega de campos de golfe com águas residuais tratadas

A rega de campos de golfe constitui a aplicação de rega paisagística que mais água consome, embora o consumo de água dos campos de golfe dependa, logicamente, das características climáticas da região. Em alguns estados norte-americanos é obrigatória a utilização de águas residuais tratadas na rega de campos de golfe [Asano *et al.*, 2007].

Em Portugal, onde os campos de golfe constituem um atractivo muito importante para a actividade turística, o consumo médio anual consumido na rega de campos de golfe de 18 buracos é de 0,3 hm<sup>3</sup>, valor que chega a duplicar no mês de máxima necessidade de rega [Martins *et al.*, 2005].

O sistema de rega de um campo de golfe inclui o sistema de distribuição da água, reservatórios de armazenamento (geralmente constituídos por pequenos lagos), o sistema de rega (por aspersão) e o sistema de drenagem (Figura 3-12).

As espécies de relva são quase todas tolerantes a águas com salinidade até 3 dS/m (ou cerca de 2000 mg/L de SDT), o que significa que os efluentes das ETAR não são problemáticos quanto a esta característica, pois em média a sua salinidade é da ordem de 1,235 dS/m [Marecos do Monte, 1996]. No entanto, deve ser tido em conta que a relva dos *tees* e dos *greens* é mais sensível à qualidade da água de rega, pois são plantas sujeitas a mais *stress*, por serem mais pisadas e mais curtas. No Quadro 3-12 apresenta-se a tolerância à salinidade de diversas espécies de relva utilizadas em campos de golfe (adaptado de [Sala e Millet, 1997]).



Figura 3-12 – Rega de campo de golfe por aspersão

Quadro 3-12 – Tolerância dos relvados à salinidade.

CE da água de rega (dS/m)	Espécies de relva	Tolerância
3 – 8	<i>Synodon dactylon</i>	Tolerante
	<i>Zoysia spp.</i>	
	<i>Agrostisstolonifera</i>	
	<i>Festuca arundinacea</i>	
	<i>Lolium perene</i>	
0,7 – 3	<i>Festuca rubra var. rubra</i>	Medianamente tolerante
	<i>Festuca rubra var. commutata</i>	
	<i>Festuca ovina</i>	
	<i>Agrophirum smithii</i>	
0,7	<i>Poa pratensis</i>	Sensível
	<i>Poa trivialis</i>	
	<i>Poa annua</i>	
	<i>Agrotis tenuis</i>	

Do ponto de vista agronómico, os relvados dos campos de golfe são bem compatíveis com efluentes secundários, embora os efluentes terciários sejam mais apropriados. De facto, a redução de nutrientes assegurada pelo tratamento terciário minimiza o indesejável crescimento de algas nas lagoas de armazenamento da água de rega. O inconveniente, associado ao tratamento terciário, da perda de valor fertilizante do efluente a reutilizar na rega pode ser relevante, devendo ser considerado na análise do quadro de qualidade a satisfazer pelas águas residuais tratadas a reutilizar como água de rega.

Não obstante a boa qualidade agronómica, a qualidade do efluente pode ter de ser afinada para prevenir problemas de corrosão na rede de rega.

A preservação da boa qualidade da relva pode obrigar à instalação de um sistema de drenagem, para prevenir a salinização do solo, especialmente na zona dos *greens* e dos *tees*. Ocasionalmente, pode fazer-se uma rega de lavagem do solo com água doce. A água recolhida no sistema de drenagem contem sais, pesticidas e fertilizantes, pelo que deve ser enviada para a estação de tratamento ou considerado o seu lançamento nos reservatórios de armazenamento.

### 3.5 Reutilização de águas residuais tratadas para a indústria

Em termos quantitativos, a reutilização industrial representa a terceira principal aplicação de reutilização de águas. Na indústria, a água é fre-

quentemente reutilizada para a mesma utilização, sem necessidade de ser submetida a qualquer tipo de tratamento, quando muito uma adição de um certo volume da mesma água, para repor perdas por evaporação. Isto é o que se designa como **reciclagem** da água, cujo exemplo prático mais importante é o caso da água de arrefecimento.

As indústrias grandes consumidoras de água, como centrais de produção de energia térmica ou nuclear, refinarias de petróleo, siderurgias e outras indústrias transformadoras, são as que mais esforços têm realizado no sentido de reciclar e reutilizar água, principalmente como água de arrefecimento. Como outros exemplos de reutilização de água na indústria citam-se: actividades de limpeza, sistemas de extracção de inertes, água de processo, construção pesada.

Os padrões de qualidade da água para reutilização industrial são muito específicos do tipo de indústria. Algumas aplicações requerem água de elevada qualidade, como a produção de vapor, outras são compatíveis com águas menos tratadas, como a construção pesada. Na água de arrefecimento são importantes as características que podem dar origem a fenómenos de corrosão ou de incrustação (nomeadamente o teor de sólidos dissolvidos totais, os cloretos, o oxigénio dissolvido), ou à formação de filmes biológicos nas condutas (como os resíduos de matéria orgânica).

Os factores relevantes na reutilização da água na indústria são, além da qualidade da água, o balanço entre as necessidades da indústria e a disponibilidade.

### **3.5.1 Breve descrição da situação a nível mundial**

A disponibilidade de água para abastecimento às instalações industriais constitui um factor determinante para a sua implantação numa dada região, sobretudo para as indústrias que necessitam intensivamente de elevados volumes de água, como: centrais de produção de energia termoeléctrica e de energia nuclear, fábricas de pasta de papel e de papel, fábricas de têxteis, indústria química, refinarias de petróleo, indústrias alimentares e extracção de minérios. Compreende-se, assim, facilmente, que o desenvolvimento sócio-económico de uma região dependa da possibilidade de abastecimento de água à indústria.

As necessidades de água para a indústria variam largamente, tanto em quantidade como em requisitos de qualidade, consoante o tipo de indústria. A partir da década de 90, a indústria começou a evidenciar um inte-

resse generalizado na alteração das suas práticas, procurando conjugar a adopção de processos de produção de custos mais baixos com a conservação dos recursos hídricos e a conseqüente protecção do ambiente. Com esse duplo objectivo, a indústria tem procurado implementar tecnologias menos poluentes e menos consumidoras de água, bem como a introdução de hábitos para a utilização eficiente da água a nível interno.

O estabelecimento de normas de descarga e de objectivos de qualidade mais exigentes para os meios receptores, e a perspectiva de se caminhar para o objectivo de descarga zero de águas residuais industriais, tem obrigado as indústrias a reduzirem os custos do tratamento de águas residuais, nomeadamente através da sua reutilização, em especial em práticas que exigem água de menor qualidade, e que, portanto, necessitam de um grau de tratamento mais acessível.

É neste contexto que ganha interesse a reutilização da água na indústria, induzida pela necessidade de redução de custos relacionados com o consumo de água tratada nos sectores de transformação e com a captação de água para sistemas de arrefecimento em indústrias produtoras de energia e de transformação de crude. Efectivamente, a reutilização da água diminui a dependência das indústrias em relação às origens de abastecimento tradicionais, que podem limitar as suas actividades, em especial em alturas de escassez ou quando é necessário dar prioridade a outras utilizações.

Nalguns casos, a água pode ser reutilizada directamente dentro do próprio processo industrial, noutros requer tratamento de adequação, noutros ainda pode ser usada água de menor qualidade proveniente de outros processos. Segundo a US EPA (2004), as indústrias com sistemas de arrefecimento, usuais consumidoras de elevados volumes de água, são as que mais beneficiam da reutilização deste recurso, por poderem utilizar uma origem de qualidade inferior para aquela finalidade. A utilização de sistemas fechados (com recirculação) pode reduzir ainda mais os volumes a captar, uma vez que apenas é necessário repor as perdas por evaporação, apresentando, contudo, a necessidade de incluírem torres de arrefecimento. Figura 3-13 ilustra um conjunto de esquemas possíveis para a reutilização da água na indústria, que vão desde o não aproveitamento de águas residuais, até à reciclagem<sup>8</sup> e à reutilização, precedidas ou não de tratamento de compatibilização da qualidade das águas residuais industriais à utilização subsequente.

---

<sup>8</sup> A reciclagem da água consiste na reutilização de uma água para a mesma finalidade da sua prévia utilização.



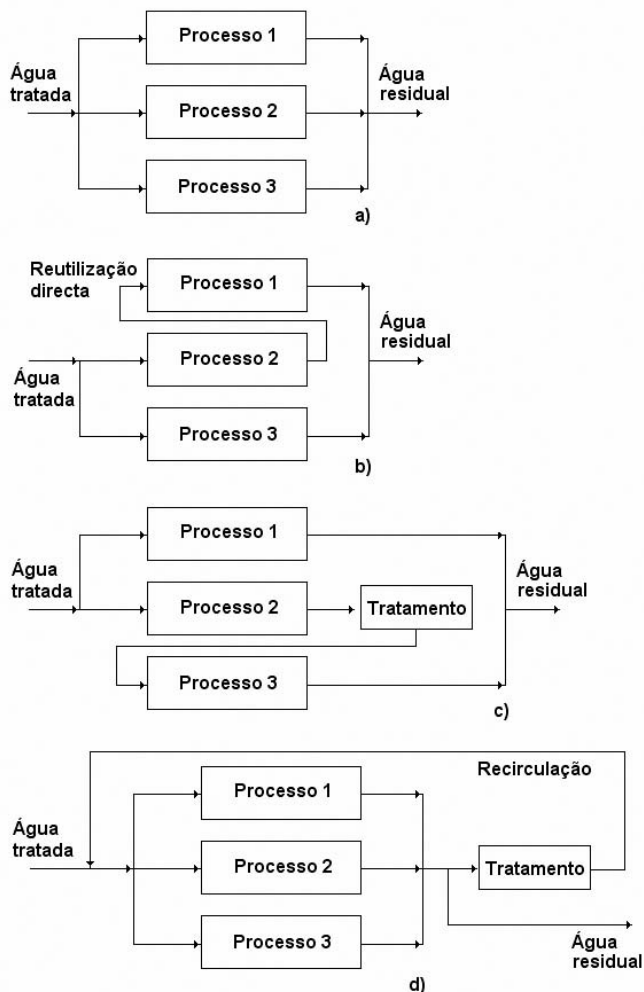


Figura 3-13 – Alternativas de reutilização da água na indústria: a) sem reutilização e sem reciclagem; b) com reutilização; c) com tratamento prévio à reutilização; d) com tratamento prévio à reciclagem (adaptada de [Asano *et al.*, 2007])

Em Portugal, estima-se que cerca de 380 milhões de metros cúbicos de água são consumidos anualmente pela indústria, volume correspondente a um valor económico estimado em 485 milhões de euros anuais [INAG, 2001] e cuja origem principal é a captação própria (84%), em poço, furo ou águas superficiais, sendo a restante (16%) proveniente da rede de abastecimento público. Os maiores consumos de água registam-se ao nível dos sectores de transformação [INAG, 2001], nomeadamente no fabrico de pasta de papel, papel e cartão (39%), produtos alimentares e

bebidas (20%), metalúrgicas de base (11%), produtos químicos (10%) e têxteis (4%).

A reutilização de águas residuais é uma prática vantajosa para a generalidade dos sectores industriais, uma vez que, além das vantagens económicas e ambientais já referidas, se enquadra nas estratégias de gestão eco-eficiente que a generalidade das indústrias utiliza no âmbito da implementação de sistemas de gestão ambiental. As unidades que podem tirar maior benefício desta prática são as que produzem maiores volumes de efluentes, destacando-se as seguintes: cerâmica, curtumes, extracção, tratamento e transformação de pedra natural, petroquímica; produção de tintas, vernizes e cola; produção de material eléctrico e electrónico; química; tratamento e transformação de madeiras; tratamento de superfície.

Entre as utilizações mais comuns destacam-se as lavagens de espaços e equipamentos, a preparação de matérias-primas, os sistemas de aquecimento e refrigeração e em vários níveis de produção. As práticas de reutilização utilizam normalmente efluentes gerados nos próprios processos de produção, embora possa ser aproveitada água reutilizável de outra origem (ETAR municipais), desde que sejam garantidas as exigências de qualidade mínimas e que haja viabilidade técnica e económica para a sua aplicação.

Na secção 3.5.2 apresentam-se as características de qualidade relevantes nas aplicações industriais em que a reutilização pode ter mais interesse em Portugal: água de arrefecimento, indústria têxtil e do papel.

A reutilização industrial de águas residuais é uma opção técnico-económica em que o benefício de dispor de uma origem de água alternativa pode não compensar o custo da sua disponibilização. Na avaliação dos custos incluem-se as seguintes parcelas:

- a) construção ou beneficiação de infra-estruturas: instalações de tratamento eventualmente necessário para possibilitar a reutilização; sistemas de distribuição; reservatórios de armazenamento;
- b) aquisição e reabilitação de equipamentos electromecânicos;
- c) custos de O&M, incluindo consumíveis e gestão de resíduos (lamas, concentrados de sais, por exemplo);
- d) custos de pessoal (técnico especializado e administrativo);
- e) controlo de qualidade do efluente.

O tratamento necessário para reutilizar a água na indústria é muito variável, mas condiciona em larga medida todos os factores atrás indicados.

### **3.5.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas na indústria**

#### **3.5.2.1 Requisitos de qualidade gerais de águas utilizadas na indústria**

Cada tipo de indústria tem requisitos específicos de qualidade para a água que utiliza. Porém, alguns requisitos de qualidade da água são praticamente comuns, como sejam a necessidade de prevenir fenómenos de corrosão e de incrustação, bem como o desenvolvimento de biofilmes nas condutas e equipamentos acessórios.

Os requisitos inerentes à protecção da saúde pública também podem constituir um objectivo de qualidade, nomeadamente nos casos em que poderá ocorrer exposição humana às águas residuais ou a aerossóis das mesmas.

A corrosão é um fenómeno complexo, que consiste num ataque aos metais provocado por reacções físico-químicas entre o metal e o ambiente em que está mergulhado. Consoante a natureza das reacções que a provocam é possível distinguir dois tipos de corrosão: a corrosão originada por reacções electroquímicas e a corrosão induzida por águas com elevados teores de sais dissolvidos, caracterizadas por elevados valores de condutividade eléctrica.

A corrosão electroquímica ocorre quando se forma uma pilha galvânica, entre zonas da superfície metálica que funcionam como um ânodo, libertando electrões dos átomos do metal, e zonas que funcionam como cátodo, e recebem esses electrões para neutralização dos hidrogeniões  $H^+$  presentes na água com a qual o metal está em contacto, o que provoca a dissolução do metal e a libertação de hidrogénio gasoso  $H_2$ . Alguns fenómenos de corrosão electroquímica, como a tuberculização das condutas de ferro, podem ser induzidos ou acelerados por reacções bioquímicas.

A corrosão originada por águas de elevada condutividade eléctrica deve-se à presença na água de iões altamente reactivos – como sulfitos, sulfatos e cloretos – e é agravada pela presença de oxigénio dissolvido, variações de pH e de alcalinidade.

O problema das incrustações traduz-se num resultado inverso da corrosão, pois corresponde ao aumento de substâncias depositadas sobre as superfícies em contacto com a água, geralmente devido à precipitação de óxidos, carbonatos de cálcio e/ou de magnésio e outros. Incrustações de fosfato e de sulfato de cálcio são menos abundantes. As incrustações em condutas reduzem o diâmetro das condutas e a sua capacidade de transporte.

Os constituintes da água que afectam os fenómenos de corrosão e de incrustação, e que, de um modo geral, são relevantes na viabilidade da reutilização industrial da água, são as seguintes:

- Teores elevados de sólidos em suspensão;
- Ferro, cálcio e magnésio (podem originar incrustação em condutas e caldeiras);
- Sulfatos e sulfureto de hidrogénio (podem originar corrosão);
- Compostos orgânicos, oxigénio dissolvido e amoníaco (precursores do desenvolvimento de biofilmes em condutas, sistemas de armazenamento, permutadores de calor e sistemas de arrefecimento).

Os parâmetros mais frequentemente utilizados para avaliar a tendência corrosiva ou incrustante de uma água são o **Índice de Saturação de Langelier** ( $I_L$ ) e o **Índice de Estabilidade de Ryznar** ( $I_R$ ).

O  $I_L$  é definido como a diferença entre o pH de uma amostra de água ( $pH_A$ ) e o correspondente à saturação de carbonato de cálcio dessa amostra ( $pH_S$ ), este último condicionado pela da temperatura, sólidos dissolvidos totais, dureza cálcica e alcalinidade [MWH, 2005].

$$I_L = pH_A - pH_S \quad (3.11)$$

Águas incrustantes apresentam  $I_L > 0$ , enquanto que águas agressivas apresentam  $I_L < 0$ .

O  $I_R$  é calculado através da diferença entre o dobro do  $pH_S$  e o da amostra de água ( $pH_A$ ).

$$I_R = 2pH_S - pH_A \quad (3.12)$$

Valores de  $I_R$  entre 4 e 5 são característicos de águas fortemente incrustantes, entre 5 e 6, de águas ligeiramente incrustantes, entre 6 e 7, de águas ligeiramente incrustantes ou corrosivas, entre 7 e 7,5, de águas significativamente corrosivas, entre 7,5 e 8,5, de águas fortemente corrosivas, e superior a 8,5, de águas extremamente corrosivas [MWH, 2005].

### **3.5.2.2 Reutilização da água em caldeiras de aquecimento**

Muitas fábricas utilizam água quente e vapor, produzidos em caldeiras de aquecimento para accionar turbinas e para aquecer outros materiais. As águas residuais tratadas podem constituir uma origem de água atraente para utilização em caldeiras de aquecimento, visto que:

- Constituem uma origem de água segura em termos quantitativos (a produção é razoavelmente constante);

- A água alimentada às caldeiras de aquecimento é sempre submetida a uma extensa linha de tratamento, mesmo quando a água bruta é de origem natural – superficial ou subterrânea –, pois as impurezas presentes na água podem reduzir significativamente a eficiência do processo, por fenómenos de incrustação e/ou de corrosão dos materiais;
- As unidades industriais situam-se na periferia dos aglomerados urbanos, onde também se localizam as ETAR.

As características de qualidade especificamente relevantes na reutilização de água para caldeiras de aquecimento são as seguintes:

- Gases dissolvidos: em particular o oxigénio dissolvido ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e sulfureto de hidrogénio ( $H_2S$ ), que poderão provocar corrosão e potenciar o desenvolvimento de biofilme;
- Sólidos dissolvidos: normalmente compostos químicos que são responsáveis por incrustações, como o sulfato de cálcio, sulfato de bário, fosfato de cálcio, hidróxido de magnésio, fosfato de zinco, hidróxido de ferro, sílica e carbonato de cálcio, sendo este último a fonte mais comum;
- Sólidos suspensos: normalmente associados a matéria orgânica ou precipitados químicos, que podem provocar entupimento e potenciar o desenvolvimento de biofilme e de odores;
- pH e temperatura: quando o pH é baixo (valores inferiores a 7,3) e a temperatura é elevada (superior a  $25^\circ C$ ), criam-se condições para o desenvolvimento de corrosão, que será mais importante para condições extremas e na presença de gases dissolvidos.

A Figura 3-14 apresenta um esquema simplificado de um sistema de caldeira de aquecimento alimentado com águas residuais tratadas.

### **3.5.2.3 Reutilização da água na indústria da pasta, papel e cartão**

A indústria da pasta, papel e cartão envolve a produção de pastas (processos de desfibracção, refinação e depuração) e a fabricação e transformação de diferentes tipos de papéis e cartões (formação da folha, prensagem, secagem, bobinagem e canelagem), estendendo-se a sua actividade desde a produção de matérias-primas (produção florestal) até ao tratamento dos produtos no fim de vida (reciclagem ou valorização energética de papéis recuperados).

A reutilização de água na indústria de produção de pasta, papel e cartão pode ser uma opção vantajosa, quer para actividades de lavagem de

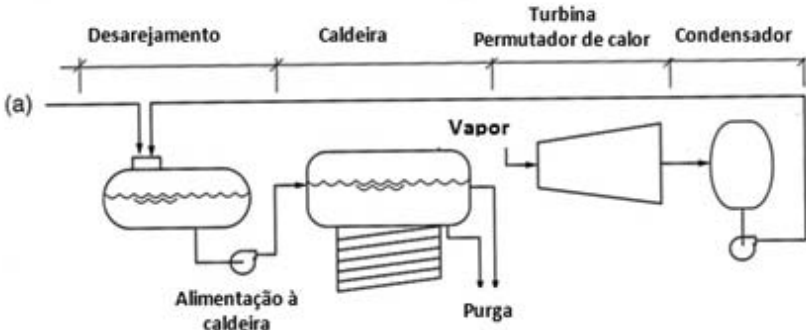
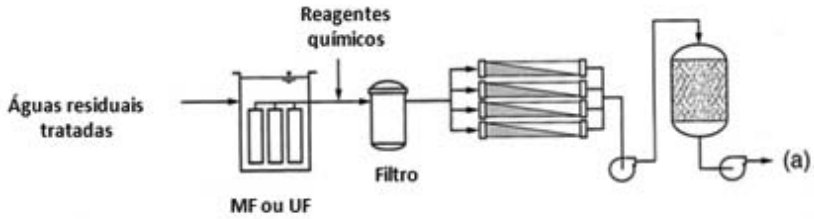


Figura 3-14 – Sistema típico de reutilização da água para alimentação de caldeira de aquecimento (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

equipamentos e espaços e de refrigeração, quer no próprio processo de produção, sendo fortemente incentivada no Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais – PNPRI [INETI, 2001a & 2001b]. A maior parte da água reutilizada provém do próprio processo, o que permite um melhor controlo da qualidade e quantidade daquele recurso a utilizar nos vários níveis de produção (Figura 3-15).

A qualidade dos efluentes gerados nos vários níveis de produção é variável, podendo os de lavagem da matéria-prima (produção de pasta) e do produto final (produção de vários tipos de papel e cartão) ou da secagem do papel e cartão (vapores) serem reutilizados com menor grau de tratamento, uma vez que a carga poluente é relativamente baixa. A água de elevada qualidade é, normalmente, utilizada nos processos de branqueamento e produção de papel, representado cerca de 40% e 25% do consumo total, respectivamente; a água de menor qualidade pode ser utilizada para lavagens, que representam cerca de 9% do consumo total. Como as exigências de qualidade para utilização também são diferentes, o conjunto produção-tratamento-utilização de água carece de uma gestão integrada. A presença de fosfatos, compostos tensioactivos e iões metálicos pode afectar negativamente as reacções de branqueamento, teores ele-

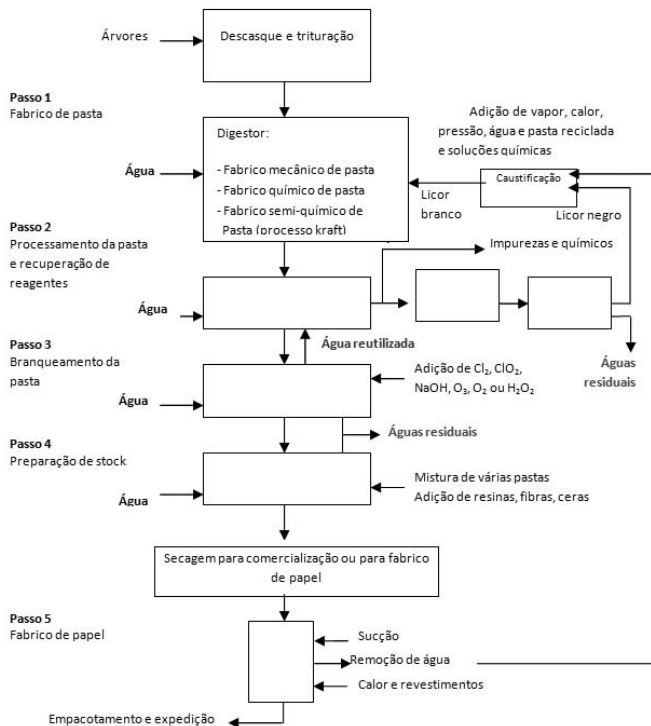


Figura 3-15 – Diagrama típico de uma indústria de produção de pasta e papel (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

vados de óxidos de ferro e manganês e SST podem interferir com a qualidade do papel causando a sua descoloração.

Os efluentes do processamento e branqueamento da pasta são objecto de tratamento local, normalmente a um nível secundário e terciário. O custo acrescido de investimento e O&M para a afinação do efluente final para reutilização na própria indústria é compensado pela diminuição do custo associado à utilização de volumes de água tratada de outras fontes [Metclaf & Eddy, 2003; US EPA, 2004].

Nos EUA estima-se que a reutilização de água neste sector tenha contribuído para uma diminuição do consumo de água do abastecimento público ou de captações próprias em cerca de 88% (de 600 m<sup>3</sup>/ton para 70 m<sup>3</sup>/ton de pasta de papel produzida) [Asano *et al.*, 2007]. Em Portugal, a definição de estratégias de reutilização da água deve também ter em atenção a previsível variação de volumes de efluentes produzidos no sector que, de acordo com

o PNPRI [INETI, 2001<sup>a</sup>], será de menos 28% para as indústrias gráficas e de transformação do papel (de 9090 ton/ano, em 2000, para 6555 ton/ano, em 2015), mantendo-se a evolução constante nos volumes de efluente produzidos nas indústrias de produção de pasta, papel e cartão (cerca de 19 ton/ano). De acordo com Baptista *et al.* (2001), a viabilidade económica da reutilização da água neste sector é variável, em função do caudal de águas residuais dos processos, passíveis de reutilização para outro fim e dada a multiplicidade de aplicações em que pode ser implementada.

#### **3.5.2.4 Reutilização da água na indústria têxtil**

A indústria têxtil é um dos principais sectores industriais do País, representando 20% da produção industrial nacional [INETI, 2001<sup>a</sup>], sendo fortemente caracterizada pela utilização excessiva de água. O processo de fabrico pode englobar os seguintes níveis de produção: preparação da matéria-prima, fição, tecelagem ou tricotagem, preparação para tingimento, estamparia, acabamentos químicos e mecânicos e confecção.

A reutilização de água na indústria têxtil já é reconhecida como uma opção vantajosa, quer para actividades de lavagem de equipamentos e espaços, quer no próprio processo de produção (preparação da matéria-prima, tingimento, estamparia e acabamento), sendo fortemente incentivada no PNPRI [INETI, 2001a & 2001b]. A recuperação dos efluentes de lavagem da lã (entre 35 e 65 m<sup>3</sup>/ton), de acordo com aquele Plano, poderá atingir os 90%, apresentando, contudo, um custo acrescido em energia eléctrica. A maior parte da água reutilizada provém do próprio processo, o que permite um melhor controlo da qualidade e quantidade daquele recurso a utilizar nos vários níveis de produção (Figura 3-16).

A qualidade dos efluentes gerados nos vários níveis de produção é variável, sendo possível a reutilização dos efluentes da preparação da matéria-prima e refrigeração com menor grau de tratamento, uma vez que a carga poluente está praticamente associada à presença de SST. Os efluentes do tingimento, estamparia e acabamento necessitam de um tratamento mais exigente, normalmente a um nível secundário e terciário, dada a presença de teores elevados de matéria sólida em suspensão e dissolvida e matéria orgânica, sendo os corantes os compostos de mais difícil remoção. A afinação final de efluentes para reutilização incorre num custo acrescido em termos de investimento e O&M, que pode ser significativo em função das adaptações necessárias, mas que será recuperável a médio prazo [Metclaf & Eddy, 2003; EPA, 2004].



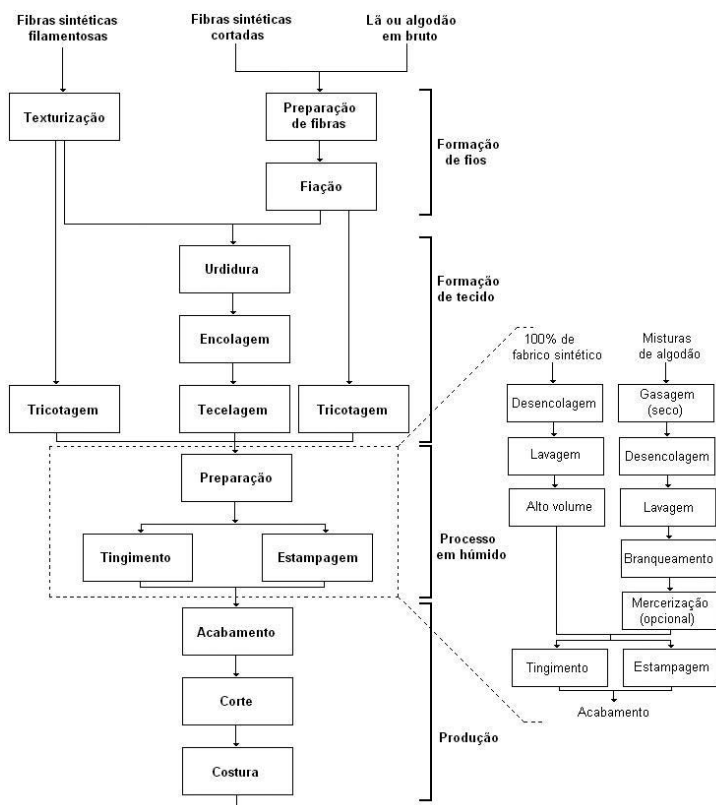


Figura 3-16 – Fluxograma de uma fábrica têxtil (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

Como as exigências de qualidade para utilização também são diferentes (água de elevada qualidade é, normalmente, utilizada nos processos de tingimento, estamparia e acabamento; enquanto que água de menor qualidade pode ser utilizada para lavagens e preparação da matéria-prima), o conjunto produção-tratamento-utilização de água carece de uma gestão integrada. A presença de turvação, corantes, compostos tensoactivos e iões metálicos pode afectar negativamente a operação de tingimento, ao passo que a dureza da água pode favorecer a precipitação de corantes. Os volumes de água necessários para cada nível de produção estão estimados [Asano *et al.*, 2007] em 25 – 185 L/kg (preparação da matéria-prima), 1800 L/kg (tingimento), 25 L/kg (estamparia) e 5 L/kg (acabamento). A reutilização da água na indústria têxtil apresenta uma viabilidade económica variável, dependendo do caudal de águas remanescentes ou residuais dos processos passível de reutilização para outra finalidade e da multiplicidade dessas finalidades [Baptista *et al.*, 2001].

### **3.5.3 Metodologias de controlo dos SRART na indústria**

#### **3.5.3.1 Nota preliminar**

O controlo dos sistemas de reutilização de águas residuais tratadas na indústria tem que seguir metodologias diversificadas, consoante o tipo de utilização da água reutilizável nas diversas indústrias. Do ponto de vista químico, os principais problemas que se colocam na generalidade das aplicações industriais consistem em corrosão de superfícies metálicas, no desenvolvimento de incrustações e de biofilmes. Os riscos de saúde pública podem ser controlados pela limitação do contacto do grupo exposto (geralmente os trabalhadores na unidade industrial) com a água reutilizável.

#### **3.5.3.2 Corrosão**

Os problemas de corrosão estão, essencialmente, associados à presença de iões agressivos na água, como cloretos, sulfuretos e sulfatos, bem como aos valores de pH, alcalinidade, OD, dióxido de carbono. Por exemplo, o revestimento em zinco aplicado a tubagens de ferro galvanizado pode sofrer corrosão significativa se a água apresentar temperatura superior a 20°C, pH superior a 7,3 e elevada condutividade.

A corrosão e a incrustação em sistemas de aquecimento ou refrigeração, armazenamento e distribuição podem ser minimizadas através do controlo da qualidade da água, nomeadamente mantendo o índice de Ryznar no intervalo  $6 < I_r < 7$  ou o valor do  $I_L=0$ .

As soluções mais comuns para o controlo da corrosão incluem a utilização de materiais de protecção internos e externos (e.g. resinas epoxy e películas de poliuretano) e a adição de inibidores da corrosão (e.g. inibidores anódicos, como os cromatos de sódio e zinco e os nitratos de cálcio e potássio; compostos não oxidantes, como os tungstatos de cálcio e magnésio e os fosfatos de zinco e cálcio). A protecção catódica constitui uma solução alternativa aplicável a estruturas em aço.

#### **3.5.3.3 Incrustação**

Os problemas de incrustação estão, essencialmente, associados à presença de compostos químicos como o sulfato de cálcio, sulfato de bário, fosfato de cálcio, hidróxido de magnésio, fosfato de zinco, hidróxido de ferro, sílica e carbonato de cálcio, sendo este último a fonte mais comum. Os casos mais graves estão associados à cristalização de carbonato de cálcio em sistemas de aquecimento, transporte e armazenamento de

água com elevada dureza e dióxido de carbono dissolvido, dado que a solubilidade do hidrogenocarbonato diminui com o aumento da temperatura naquelas condições.

As soluções mais comuns para o controlo da incrustação incluem [Metclaf e Eddy, 2003; Asano *et al.*, 2007] a remoção dos compostos incrustantes a montante da utilização, por precipitação química, permuta iónica, osmose inversa ou outros processos de membranas, a adição de reagentes inibidores da incrustação, como o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), o nitrilotriacetato (NTA), polímeros ou sais de sódio, e a substituição do incrustante por espécies solúveis (por exemplo, sais de sódio). Todos estes métodos são eficazes, mas alteram a química da água, além de elevarem os custos de O&M. Uma solução alternativa consiste na aplicação de campos magnéticos a montante dos sistemas de aquecimento, o que tem como efeito, por um mecanismo ainda pouco conhecido, a alteração da solubilidade dos carbonatos. [Poço *et al.*, 2004].

#### **3.5.3.4 Biofilmes**

A redução do desenvolvimento de biofilmes não é uma tarefa fácil, uma vez que existem espécies de microrganismos que se adoptam a quaisquer características da água. Assim, o seu controlo [MWH, 2005; Asano *et al.*, 2007] passa pela utilização de biocidas (e.g. glutaraldeído, sais de amónio, hipoclorito de sódio), que também permitem minimizar o desenvolvimento de algas. A utilização da cloragem apresenta custos de O&M mais reduzidos, mas pode induzir a formação de compostos organoclorados. Normalmente, uma aplicação periódica de uma dose elevada de cloro (10 mg/L), durante um período curto de tempo (4 horas), é suficiente para evitar o desenvolvimento ou permitir mesmo a remoção de biofilmes.

### **3.6 Reutilização de águas residuais tratadas para a recarga de aquíferos**

A recarga de aquíferos é utilizada com um ou mais dos seguintes objetivos:

- Impedir ou atenuar o rebaixamento do nível freático em zonas de escassez de águas subterrâneas ou sujeitas a elevada pressão de extracção;
- protecção de aquíferos nas zonas costeiras contra a intrusão salina;
- armazenamento de água no solo – água da precipitação atmosférica e/ou águas residuais tratadas – para utilização futura.

Deste modo, a recarga de aquíferos constitui uma forma de aumentar a disponibilidade de água subterrânea, acabando por configurar, em muitos casos, uma forma indirecta de reutilização para produção de água potável.

Os poluentes mais importantes na recarga de aquíferos com águas residuais tratadas são: os microrganismos patogénicos, nomeadamente os vírus entéricos, certos compostos orgânicos, como produtos farmacêuticos e de higiene pessoal e compostos persistentes, que podem actuar como disruptores endócrinos, os metais pesados e os sais [Marecos do Monte, 2005].

Na reutilização de águas residuais tratadas para recarga de aquíferos é importante ter presente que as águas subterrâneas constituem uma parcela importante das captações para abastecimento público e industrial e para actividades agrícolas. Por consequência, a prática desta recarga deverá ser rigorosamente controlada e monitorizada. Assim, a concepção de projectos de recarga de aquíferos deve avaliar criteriosamente diversos aspectos técnicos, nomeadamente os associados à variação do nível freático e disponibilidade de água no solo, às solicitações para consumo e requisitos de qualidade.

### **3.6.1 Breve descrição da situação a nível mundial**

A recarga de aquíferos de forma planeada constitui a quarta maior aplicação da reutilização da água, que tem sido praticada principalmente nos EUA e nos países áridos do Médio Oriente, mas que nos anos mais recentes tem sido objecto de crescente interesse na Europa [Asano, 2001].

A reutilização da água para recarga de aquíferos tem como principal aplicação o reforço do volume de água subterrâneo, especialmente em zonas de escassez daquele recurso ou sujeitas a elevada pressão de extração, podendo ainda satisfazer diversos outros objectivos, designadamente:

- A criação de uma barreira hidráulica contra a intrusão salina em zonas costeiras;
- O tratamento complementar das águas residuais por meio do solo – através do chamado *soil aquifer treatment* (SAT);
- O armazenamento de água no solo, que funciona como um reservatório subterrâneo.

Durante o seu percurso de infiltração através do solo as características qualitativas da água sofrem um tratamento de afinação natural proporcionado por mecanismos de filtração, adsorção e biodegradação, resultando

na redução de partículas em suspensão, de teores residuais de compostos orgânicos e de microrganismos, nomeadamente vírus.

Deve salientar-se que a recarga de aquíferos não planeada ocorre nos sistemas de infiltração a jusante das fossas sépticas, nas instalações de tratamento no solo e nos sistemas de rega.

O sistema de recarga normalmente é composto por um sistema de tratamento e as infra-estruturas de armazenamento ou injeção, antes da recarga, e uma componente subterrânea, que inclui o sistema de introdução da água residual no solo (directo ou indirecto), conforme esquematizado na Figura 3-17.

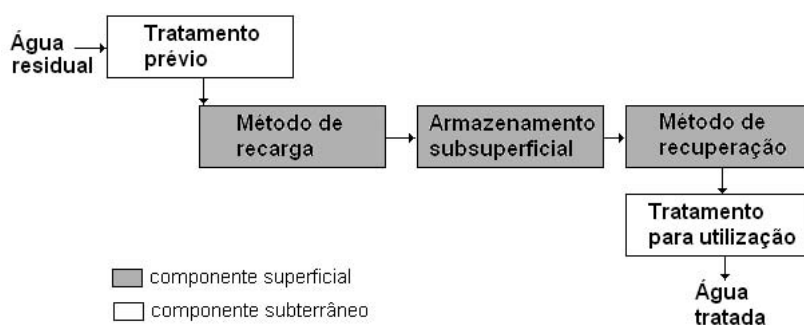


Figura 3-17 – Componentes de um sistema de recarga (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

O método de recarga depende do tipo de aquífero (confinado ou livre). A afinação da qualidade do efluente infiltrado depende do tempo de armazenamento e da forma de escoamento no solo. O nível de tratamento pré-recarga é definido em função da qualidade exigida para a sua utilização. A recarga de aquíferos com águas residuais tratadas pode processar-se de três modos:

- Recarga directa no aquífero, cujos primeiros projectos foram executados no Arizona, nos EUA, na última década do século XX;
- Recarga indirecta pressupondo a utilização de um sistema de infiltração no solo, como bacias de infiltração;
- Recarga indirecta: por furos de injeção no solo, na zona não saturada acima do nível freático, praticada desde os anos 60.

No método de recarga directa, o efluente é introduzido directamente abaixo do nível freático, em aquíferos confinados ou livres (Figura 3-18). Os furos de recarga directa podem ser utilizados não só para a recarga, mas também para a extracção da água armazenada no aquífero.

A recarga directa de aquíferos pode ser uma prática vantajosa em zonas de elevada inclinação do terreno ou onde a disponibilidade de área e o seu custo inviabilizam economicamente a utilização de um sistema de infiltração no solo. Trata-se de um método mais adequado quando se pretende uma regularização rápida do nível freático ou uma acção rápida para a protecção de aquíferos contra a intrusão salina. Entre as principais desvantagens destacam-se os custos associados a gastos de energia, processos para afinação do efluente (destinados a prevenir o risco de alteração da qualidade da água do meio receptor), estruturas para armazenamento ou compensação, especialmente úteis em situações de escassez ou de extracção excessiva.

Na **recarga indirecta por infiltração**, o efluente, após passar por uma camada de material poroso, é introduzido no solo, normalmente, na zona não saturada. As estruturas mais utilizadas são as bacias de infiltração (Figura 3-18), naturais ou construídas, com ou sem vegetação, de fluxo vertical, horizontal ou subsuperficial (neste caso, o nível do liquido ocupa cerca de 50% da altura da camada de meio poroso). As camadas filtrantes podem ser constituídas por material natural, do próprio solo ou de empréstimo (e.g. areia ou areão), ou produzido industrialmente (e.g. argila calcinada expandida), compactadas de acordo com as velocidades de infiltração desejadas.

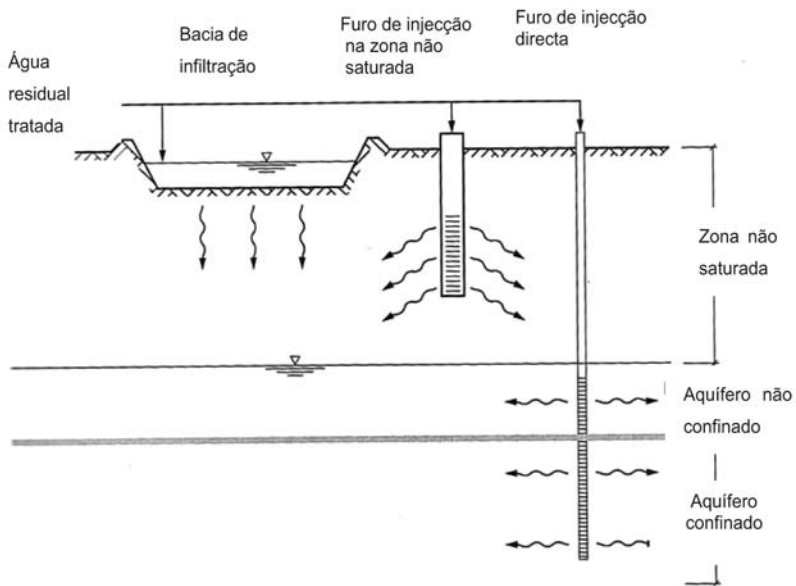


Figura 3-18 – Métodos de recarga de aquíferos (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

A recarga indirecta por infiltração é um método interessante para a gestão de volumes extraídos em zonas de sobreexploração do recurso, além de funcionar como processo de tratamento. As principais desvantagens deste método residem na necessidade de remoção de lamas ou de substituição da camada filtrante e o controlo do desenvolvimento excessivo de vegetação.

A **recarga indirecta por furos de injeção** exige a existência de uma zona não saturada acima do nível freático e é uma solução vantajosa em áreas urbanas onde a pouca disponibilidade de terreno, associado ao seu elevado custo, são factores limitantes para a implantação de zonas de infiltração ou tratamento. Apresenta as vantagens acrescidas da afinação do efluente na zona não saturada e de poderem ser utilizados vários pontos de injeção, o que, comparativamente com a solução centralizada de infiltração no solo, pode resultar na minimização de custos.

Nos projectos de recarga de aquíferos têm que ser avaliados criteriosamente diversos aspectos técnicos, nomeadamente os associados à hidrologia das águas subterrâneas, a procura para utilização e respectivos requisitos de qualidade, entre os quais assumem primordial importância os aspectos relacionados com a protecção da saúde pública. Sob este aspecto, as questões a considerar são equivalentes ao que se passa com a reutilização da água não planeada para uso potável, problema de crescente acuidade, na medida em que tem aumentado enormemente o volume de águas residuais tratadas descarregadas em águas superficiais a montante de captações de água para abastecimento público, que deve satisfazer os critérios de qualidade sanitária mais exigentes.

Em termos de saúde pública, os poluentes mais importantes na recarga de aquíferos com águas residuais tratadas são os microrganismos patogénicos, nomeadamente os vírus entéricos, certos compostos orgânicos, como produtos farmacêuticos e de higiene pessoal e compostos persistentes, que podem actuar como disruptores endócrinos, os metais pesados e os sais. A qualidade exigida ao efluente deve ser máxima no caso de recarga directa, uma vez que o risco de contaminação da água subterrânea é elevado. No caso de recarga indirecta é necessário avaliar o grau de remoção de poluentes que deve ser aplicado ao efluente, tendo em atenção que existem compostos que são removidos com dificuldade em meio poroso (e.g. nitratos, alguns metais pesados e algumas espécies de vírus e bactérias). A constituição do meio poroso (solo natural ou leito filtrante), o nível freático em tempo seco e em tempo húmido e a profundidade das camadas acima do nível freático, são factores relevantes para

a avaliação da redução de poluentes proporcionada pela infiltração. Em qualquer caso, é importante ter presente que as águas subterrâneas constituem uma parcela importante das captações para consumo público e industrial e para actividades agrícolas – portanto, a prática de recarga deverá ser rigorosamente controlada e monitorizada.

Independentemente do método utilizado para a recarga, a sua localização deve estar afastada dos pontos de extracção de água, não só para garantir uma adequada mistura do efluente tratado no aquífero e uma regularização da qualidade da água, como para minimizar a eventual rejeição da utilização da água pelo público.

Os factores que com maior peso na utilização desta tipologia de reutilização ou a selecção de um dos três métodos de recarga são as características hidrogeológicas do aquífero e a disponibilidade de terreno, como se pode observar no Quadro 3-13.

Quadro 3-13– Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga (adaptado de [Metcalf e Eddy, 2003; Asano *et al.*, 2007])

Parâmetro	Recarga directa	Recarga indirecta com infiltração	Recarga indirecta por furos de injeção
Tipo de aquífero	Confinado e livre	Livre	Livre
Ponto de injeção	Zona saturada	Zona não saturada	Zona não saturada
Tratamento a montante	Secundário, terciário e de afinação	Secundário	Secundário <sup>1</sup>
Taxa de aplicação	2.000 – 6.000 m <sup>3</sup> /furo.d	1.000 – 20.000 m <sup>3</sup> /ha.d	1.000 – 3.000 m <sup>3</sup> /furo.d
Disponibilidade de terreno	Baixa	Elevada	Baixa
Tempo de vida médio (anos)	25 – 50	> 100	5 – 20
Manutenção	Desinfecção e rebaixamento de nível	Remoção de lamas e de vegetação morta	Limpeza e desinfecção

<sup>1</sup> Pode ser necessário tratamento adicional se as características da zona não saturada não garantirem a afinação do efluente

### 3.6.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas na recarga de aquíferos

As águas residuais a introduzir no solo devem ser tratadas de modo que não poluam nem contaminem as águas subterrâneas, não reduzam a capacidade de infiltração do solo, nem solubilizem excessivamente o solo.



As características qualitativas das águas residuais tratadas relevantes para estes objectivos são:

- Características microbiológicas;
- Sólidos dissolvidos totais;
- Fosfatos e outros constituintes susceptíveis de precipitar durante a passagem pelo solo;
- Elementos tóxicos, como metais pesados;
- Nutrientes;
- Compostos orgânicos vestigiais.

A remoção de microrganismos patogénicos previamente à recarga dos aquíferos não é de importância tão fundamental quanto possa parecer à primeira vista, pois os mecanismos de filtração, adsorção e biodegradação são eficientes na remoção de bactérias e de parasitas. A maior preocupação reside no percurso dos vírus ao longo da profundidade do solo. Não é indispensável proceder à desinfecção dos efluentes, embora seja aconselhável, desde que o público não tenha acesso a instalação de recarga e o grupo exposto a risco nessas circunstâncias – os operadores da instalação – tomem as precauções pertinentes.

As águas infiltradas no solo podem conter teores de oxigénio dissolvido muito baixos, visto que estão ao abrigo do ar e o oxigénio que continham pode ter sido consumido na biodegradação de compostos orgânicos residuais que ocorre na camada superficial do solo. As condições anóxicas que ocorrem na água que se infiltra no solo são favoráveis à dissolução de constituintes do solo como o  $\text{Fe}^{2+}$ , o  $\text{Mn}^{2+}$  e o  $\text{As}^{3+}$ .

O desenvolvimento de microalgas, potenciado pela exposição à luz solar nas bacias de infiltração e pela presença de nutrientes, deve ser impedido, dado que contribuem para colmatar os interstícios do solo e reduzir drasticamente a taxa de infiltração e a recarga do aquífero.

Nos métodos de recarga indirecta a remoção de formas de azoto pode ser potenciada pela utilização de ciclos húmidos e secos. Durante os ciclos húmidos, a remoção de azoto amoniacal ocorre, predominantemente, por adsorção, podendo, no entanto, ocorrer nitrificação associada a oxigenação do meio pela entrada de efluente. O amónio permanece nas camadas superiores da camada filtrante, uma vez que a sua mobilidade em meio poroso é lenta. Neste ciclo pode ser permitida a entrada de efluentes com concentração de amónio até  $10 \text{ mg/L NH}_4$ , desde que a concentração de nitrato não seja superior a  $10 \text{ mg/L NO}_3$ . No ciclo seco, beneficiando da entrada de oxigénio por difusão na camada filtrante, o amónio é

oxidado a nitrito e nitrato, iões que apresentando maior mobilidade no solo, se movimentam para a zona não saturada, onde podem ser removidos biologicamente, desde que existam condições anóxicas e teores de matéria orgânica adequadas para promover a desnitrificação (de acordo com Asano *et al.*, 2007, para a remoção de 10 mg/L de nitrato serão necessário cerca de 40 mg/L de CBO).

Os compostos orgânicos vestigiais, maioritariamente compostos sintéticos (e.g. resíduos de detergentes, halogenetos orgânicos, pesticidas e substâncias farmacêuticas activas), alguns compostos inorgânicos dissolvidos (e.g. sulfatos e cloretos) e metais pesados, não são removidos nos processos de tratamento convencionais, sendo necessário apetrechar os sistemas de tratamento a montante com processo de afinação. Alguns daqueles compostos são tóxicos (e.g. metais pesados como o cádmio, o selénio e o mercúrio) para a generalidade dos serem vivos, enquanto outros são agentes cancerígenos (e.g. metais pesados como o arsénio, HAP e bromatos) ou disruptores endócrinos (e.g. HAP e pesticidas).

### **3.6.3 Metodologias de controlo de SRATR para recarga de aquíferos**

Nos métodos de recarga indirecta, a taxa de infiltração é controlada através da manutenção da pressão hidrostática e da área efectiva de infiltração, que se altera continuamente em função da colmatação das camadas filtrantes e zona não saturada. No método de injeção em zona não saturada a utilização de infiltrómetros permite uma melhor regularização dos volumes introduzidos.

As taxas de infiltração, no caso da injeção em zona não saturada, são estimadas de acordo com as características do solo e altura da camada não saturada – camada filtrante. A presença de concentrações elevadas de SST e matéria orgânica pode contribuir para a colmatação rápida da zona de injeção na camada não saturada, dado que se trata de um ponto de recarga de área reduzida. Para estes casos, sugere-se a redução da concentração de SST à entrada para valores inferiores a 100 mg/L [Metcalf e Eddy, 2003], a fim de ser reduzida a colmatação das camadas (meio filtrante e zona não saturada) e a necessidade de remover a camada filtrante nos sistemas que utilizam estruturas de infiltração.

O desenvolvimento de algas nas estruturas de infiltração pode ser minimizado através da remoção de nutrientes a montante ou, no caso de impossibilidade de alterar o processo de tratamento, através do seu esvaziamento e limpeza.

Uma forma prática de avaliar a colmatção das camadas filtrantes e do solo, no método com recurso a estruturas de infiltração, consiste na colocação de piezómetros em vários pontos da bacia e na avaliação da perda de carga ao longo do tempo.

No caso da recarga directa, o controlo da injeção realiza-se por meios mecânicos (infiltrómetro), sendo necessário manter um volume de efluente adequado a montante e o controlo do nível do aquífero através de piezómetros.

Para evitar o desenvolvimento de biofilme e algas no sistema de injeção, deve ser mantida uma concentração residual de cloro no efluente de 2 mg/L [Asano *et al.*, 2007].

### **3.7 Reutilização de águas residuais para usos ambientais e recreativos**

A reutilização da água para uso recreativo e ambiental consiste na reutilização de águas residuais em massas de águas naturais e artificiais, com vista à prática de actividades recreativas e/ou à preservação ou desenvolvimento de habitats. Entre estas aplicações contam-se os seguintes usos:

- Alimentação de lagos e lagoas naturais ou artificiais, destinados à pesca e desportos náuticos;
- Conservação ou reabilitação de zonas húmidas naturais ou artificiais;
- Reforço do caudal de cursos de água;
- Produção artificial de neve.

A qualidade das águas a reutilizar para usos recreativos e ambientais depende essencialmente da massa de água onde são lançadas e do tipo de contacto humano com essas águas. A turvação, o teor de SST e coliformes fecais são parâmetros de qualidade relevantes neste tipo de reutilização.

#### **3.7.1 Breve descrição da situação a nível mundial**

A descarga de efluentes de ETAR no meio receptor é autorizada segundo licenças de descarga mais exigentes, que exigem cada vez mais que o tratamento das águas residuais seja mais eficiente e fiável. Tem sido observado que, uma consequência da descarga nos meios receptores aquáticos de efluentes de melhor qualidade consiste na recuperação dos ecossistemas aquáticos nas proximidades da descarga.

A sociedade actual valoriza a localização de espaços naturais nas proximidades dos aglomerados, como factor de qualidade de vida. Tal valora-



Figura 3-19 – Zona húmida para a vida selvagem.

ção estimula os projectos de reutilização de águas residuais tratadas para usos ambientais.

Entre as aplicações ambientais da reutilização de águas residuais tratadas, citam-se: o embelezamento paisagístico de empreendimentos urbanos, a conservação ou reabilitação de zonas húmidas (naturais ou artificiais), o reforço do caudal de cursos de água; e a preservação ou desenvolvimento de habitats naturais.

Assim se compreende que a reutilização da água para usos ambientais e recreativos seja o 5.º domínio de aplicação de reutilização de água nos países desenvolvidos, como os EUA, o Japão e a região autónoma da Catalunha, em Espanha. Um bom exemplo ilustrativo deste interesse é o estado da Califórnia, onde 10% das águas residuais reutilizadas são para usos recreativos [US EPA, 2004].

A reutilização de águas residuais tratadas para alimentar zonas húmidas é bastante interessante, não só porque permite o desenvolvimento de habitats para a vida selvagem e a implementação de actividades de lazer e turísticas (e.g. passeios de barco), como possibilita a depuração adicional das águas residuais antes do lançamento no meio receptor, podendo servir ainda como bacia de retenção em tempo de chuva.

Em certa medida, a reutilização da água para fins ambientais também encerra em si uma componente de uso recreativo, embora restrito, que consiste na observação da vida selvagem ou no uso da água para a pesca.

A reutilização da água para uso recreativo consiste na reutilização de águas residuais em massas de águas naturais e artificiais, com vista à prática de actividades recreativas. Entre estas aplicações podem contar-se os seguin-

tes usos: a alimentação de lagos e lagoas (naturais ou artificiais) destinados à pesca e desportos náuticos (canoagem, banho e outros); a produção artificial de neve.

A reutilização da água para usos recreativos pode ser classificada como podendo ser de uso restrito e uso sem restrições.

– *Uso recreativo sem restrições*: relativo à reutilização de águas residuais em domínios em que é provável e não controlado o seu contacto com o público, ainda que sejam observadas boas práticas de aplicação.

Dado o elevado risco para a saúde pública, o nível de qualidade a exigir ao efluente deve ser máximo.

As aplicações de reutilização de águas residuais tratadas em usos recreativos não restritos podem incluir: a alimentação de lagos e lagoas artificiais, embelezamento paisagístico de empreendimentos urbanísticos, e alimentação de áreas para a prática de desportos náuticos e banhos.

– *Uso recreativo restrito*: pressupõe a reutilização de águas residuais em domínios em que, apesar de ser possível o seu contacto com o público, este é passível de ser controlado, desde que sejam observadas boas práticas de aplicação.

Entre as aplicações de uso recreativo restrito destacam-se as actividades piscícolas e aquícolas.

A qualidade das águas residuais tratadas a reutilizar para usos ambientais e recreativos depende essencialmente da massa de água onde são lançadas e do tipo de contacto humano com essas águas.

As utilizações ambientais associadas à conservação e recuperação de habitats e ecossistemas aquáticos podem traduzir-se de formas diversas, como por exemplo:

- Reforço de caudal de linhas de água praticamente secas no Verão, de modo a criar pegos ou mesmo escoamento suficiente para conservar espécies aquáticas em vias de extinção;
- Criação de zonas húmidas artificiais ou reforço de zonas húmidas naturais para refúgio de aves aquáticas selvagens.

Nestas utilizações é importante que as águas residuais tratadas não transportem substâncias tóxicas para a vida aquática, como cloro residual ou azoto amoniacal. É importante o apoio técnico de biólogos especializados em espécies a proteger. Quando estas linhas de água e zonas húmidas são também utilizadas para fins de recreio e lazer, haverá ainda

que considerar, prioritariamente, a possibilidade de contaminação dessas águas com microrganismos patogénicos.

Nas aplicações de reutilização da água para usos recreativos, mesmo restrito, o factor mais importante é a salvaguarda da saúde pública. Assim, os parâmetros de qualidade microbiológica são de fundamental importância. A qualidade da água deve ser monitorizada durante um período longo, da ordem de 3 anos, antes de se concluir que essa qualidade é compatível com as normas de qualidade estabelecidas para tais usos (banho, desporto náuticos, actividades piscícolas, etc.).

### **3.7.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas para usos ambientais e recreativos**

A turvação, o teor de SST e de coliformes fecais são os parâmetros de qualidade mais relevantes no âmbito da reutilização de águas residuais tratadas para usos recreativos e ambientais. Para esta última utilização pode ainda ser interessante monitorizar a concentração de metais pesados, de compostos orgânicos residuais, pois tendem a acumular-se em níveis elevados nos tecidos de alguns membros da cadeia alimentar, como os peixes e as aves. O pH, o OD e os nutrientes também podem ser parâmetros de interesse relevante.

A maior parte das aplicações focadas não tem grandes exigências em termos de sistemas de transporte, elevação e armazenamento, desde que estejam localizadas em locais próximos da estação de tratamento e que seja possível o transporte gravítico. Contudo, como as características de qualidade são diferentes, para algumas aplicações pode ser necessário um tratamento complementar. Nos Quadros 4.13 a 4.15 apresentam-se as características máximas a admitir para as três tipologias consideradas.

### **3.7.3 Metodologias de controlo em SRART para usos ambientais e recreativos**

Comparativamente a outros tipos de reutilização, o uso de águas residuais tratadas para fins ambientais centra-se mais nas implicações associadas à protecção dos ecossistemas, enquanto a sua utilização para fins recreativos levanta maiores preocupações em termos de saúde pública. O sucesso destas práticas depende da operação dos sistemas envolvidos, nomeadamente em termos de gestão da água em tempo seco e húmido, controlo de vectores de doenças (e.g. mosquitos e ratos), de odores e de vegetação infestante, bem como dos aspectos de segurança.

O controlo de volumes em lagos, lagoas ou zonas húmidas pode ser realizado através da inclusão de sistemas de controlo de nível e de descarga (e.g. descarregadores ou válvulas de seccionamento), a fim de não serem inundadas áreas necessárias para outras actividades (em tempo húmido) ou de ser condicionada a saída de efluente (em tempo seco). Esta gestão passa pelo estudo hidrológico do local, nomeadamente no que refere à precipitação e à evapotranspiração média anual.

A remoção de vegetação infestante pode ser conseguida por inundação temporária de lagos, lagoas ou zonas húmidas, normalmente em tempo seco. Outras medidas passam pelo tratamento periódico dos taludes e faixa envolvente daquelas estruturas. Como último recurso, podem ser utilizados herbicidas.

O controlo de vectores de doenças (e.g. mosquitos e ratos) pode exigir a aplicação de agentes químicos (insecticidas e raticidas). No entanto, uma boa manutenção dos taludes e o controlo sobre a vegetação infestante permitem minimizar a sua presença.

A minimização de odores pode ser conseguida através da redução do teor de matéria orgânica na massa líquida e do aumento das condições de mistura (e.g. através de alimentação e saída em vários pontos) e de oxigenação do meio (e.g. criando zonas de queda com descarregadores).

### **3.8 Reutilização de águas residuais para usos urbanos não potáveis**

As águas residuais tratadas podem ser aplicadas em algumas utilizações urbanas que consomem água potável sem que exista a necessidade de usar água de tão elevada qualidade, designadamente: descarga de autoclismos, lavagem de ruas, lavagem de contentores de resíduos urbanos, lavagem de veículos, varrimento de colectores, embelezamento paisagístico de empreendimentos urbanísticos por meio de lagos, fontes, cascatas de água, combate a incêndios, ar condicionado.

Em cidades superpovoadas do Extremo-Oriente (Singapura, Japão, por exemplo), alguns edifícios já são equipados com rede predial dupla: para abastecimento de água potável e de águas residuais tratadas para a descarga de autoclismos.

Essencialmente, os factores condicionantes da reutilização da água para fins urbanos não potáveis estão relacionados com o custo e com a qualidade da água, e consequentemente, com o tratamento das águas residuais.

Por razões económicas, a reutilização para usos urbanos não potáveis pratica-se nas proximidades da ETAR.

### 3.8.1 Breve descrição da situação a nível mundial

As águas residuais tratadas podem ser aplicadas em algumas utilizações urbanas que utilizam água potável sem que, efectivamente, seja necessário o consumo de água de tão elevada qualidade, designadamente:

- a) combate a incêndios;
- b) descarga de autoclismos;
- c) construção pesada;
- d) varrimento de colectores;
- e) lavagem de pavimentos, passeios e vias;
- f) lavagem de espaços e equipamentos de apoio à construção;
- g) humedecimento do solo em obras de terra;
- h) produção de materiais de construção (e.g. cimento e estuque);
- i) fontes e espelhos de água;
- j) sistemas de ar condicionado;
- k) lavagem de equipamentos e meios de transporte (veículos, comboios e aviões).
- l) fusão de neve.

Algumas destas utilizações correspondem a consumos elevados: por exemplo, 40% do volume de água utilizado no interior das habitações é destinado a descarga de autoclismos [U.S. EPA, 1992]. Em edifícios comerciais e públicos a fracção da água utilizada nos sanitários chega a atingir 90% do consumo total de água nesses edifícios [Asano *et al.*, 2007].

O abastecimento de águas residuais tratadas para reutilização em alguns dos usos urbanos não potáveis pode ser assegurado por transporte em camião-cisterna, como por exemplo no caso da lavagem de ruas e a construção pesada. Para a maioria das outras utilizações o abastecimento requer a instalação de uma rede própria para as águas residuais tratadas, o que praticamente significa a duplicação do investimento, visto que a rede de água potável é sempre necessária, embora possa ter troços de menor diâmetro. O custo do sistema de abastecimento duplo pode constituir o grande factor limitante, excepto quando a reutilização para usos urbanos não potáveis se pratica nas proximidades da ETAR origem do efluente.

Pela mesma razão, a instalação de rede dupla para descarga de autoclismos em edifícios só tem viabilidade económica em edifícios a construir de raiz. Em diversas cidades superpovoadas do Extremo Oriente (Singapura,



Japão, por exemplo), muitos edifícios já são equipados com rede predial dupla: uma para abastecimento de água potável e outra para abastecimento de águas residuais tratadas para a descarga de autoclismos. Só no Japão existem cerca de três milhares de edifícios equipados com esta facilidade. Nos EUA existem também diversos exemplos e até na Europa, onde merece referência, pelo seu carácter de demonstração, a Millennium Dome, em Greenwich, nos arredores de Londres, onde as águas residuais produzidas e tratadas nas suas instalações são reutilizadas para a descarga de autoclismos.

A utilização das chamadas **águas cinzentas** de um edifício constitui uma particularidade interessante da reutilização de águas residuais em edifícios individuais para fins urbanos não potáveis, pois não tem necessariamente que implicar a duplicação da rede predial, se o fim em vista for, por exemplo, a rega de espaços verdes ou a lavagem de espaços e equipamentos próximos do edifício.

A reutilização de águas residuais tratadas para **combate a incêndios** constitui uma aplicação praticada nos EUA, na Austrália e em Espanha (Catalunha). O abastecimento aos autotanques dos bombeiros faz-se a partir de bocas-de-incêndio instaladas nas condutas de águas residuais tratadas. Deste modo, o caudal de projecto das condutas de água potável pode ser mais reduzido. Em termos de disponibilidade de caudal, a fiabilidade do sistema de abastecimento de água reutilizável para combate a incêndios tem de ser a mesma de um sistema de água potável, isto é, o abastecimento deve estar disponível ininterruptamente, o que implica a necessidade de reservatório de armazenamento para assegurar o caudal de ponta diário e horário.

Em Portugal afigura-se interessante a reutilização de águas residuais tratadas para combate a incêndios florestais, visto este ser um flagelo que tem consumido a floresta do país, com graves prejuízos não só materiais mas também ambientais. Com este objectivo, podem os efluentes das ETAR ser armazenados em reservatórios constituídos por barragens de terra ou serem utilizados para este fim os reservatórios de águas residuais tratadas destinados a reutilização para rega agrícola ou paisagística.

Os equipamentos de **condicionamento de ar** necessitam de um fluido de arrefecimento. Nos grandes edifícios, como centros comerciais, edifícios públicos e outros, geralmente a água é esse fluido de arrefecimento, o que representa uma parcela importante do consumo de água nesses edifícios, a qual pode ser reduzida pela reutilização de águas residuais tratadas no sistema de ar condicionado.

Geralmente as torres de arrefecimento do sistema de condicionamento de ar são instaladas no topo dos edifícios. A necessidade de instalação de rede dupla de abastecimento de água levanta a mesma dificuldade referida para a reutilização de águas residuais para descarga de autoclismos: limitação apenas a novos edifícios.

Além da conservação da água, esta reutilização poderá trazer outra vantagem ambiental: a redução de compostos refrigerantes secundários que contribuem para as alterações climáticas, como o amoníaco e os hidrofluorcarbonetos (contribuem para o efeito de estufa e chuvas ácidas) e os clorofluorcarbonetos (contribuem para a destruição da camada de ozono).

A reutilização de águas residuais tratadas para usos comerciais tem reduzida expressão quantitativa, cingindo-se praticamente à lavagem de veículos, comboios e aviões e a lavandarias. Também na lavagem de veículos é necessário prever uma origem separada de água para o enxaguamento final dos veículos, a fim de evitar a formação de pequenas manchas.

Outros usos urbanos em que é viável reutilizar águas residuais tratadas são os pequenos lagos, fontes, repuxos e cascatas, instalados para efeitos ornamentais em espaços públicos, comerciais e residenciais.

No norte do Japão utilizam-se águas residuais tratadas para proceder à fusão da neve acumulada nas ruas e estradas. Neste país também a tradição de aspergir as ruas com água para controlar o calor está a adoptar águas residuais tratadas em substituição de água potável.

A lavagem de ruas e o controlo de poeira na construção de estradas são outros exemplos de reutilização de águas residuais praticados em diversos países.

### **3.8.2 Critérios de qualidade de águas residuais tratadas reutilizadas para usos urbanos não potáveis**

A reutilização de água residuais tratadas para usos urbanos tem interesse quando justificada por um significativo volume de água pretendido para as diversas aplicações inventariadas e quando estas não se localizam a grande distância da ETAR.

O custo da instalação de rede dupla – para abastecimento de água para reutilização e de água potável – constitui a limitação mais séria à reutilização da água em aplicações urbanas não potáveis, pois só se viabiliza em novos empreendimentos.



Figura 3-20 – Lavagem de veículos com água reutilizada.

Porém, o custo de outras infra-estruturas, como reservatórios de armazenamento e instalações de tratamento complementar, também podem pesar significativamente nos custos do projecto.

A fiabilidade do abastecimento da água a reutilizar em qualidade é sem dúvida um factor condicionante da sua reutilização. O mesmo se pode dizer da fiabilidade do fornecimento da água em volume, que é mesmo crucial no caso da reutilização para combate a incêndios.

A qualidade da água constitui, naturalmente, um factor condicionante, diferente de utilização para utilização. Se a construção pesada e a fusão de neve podem ser compatíveis com efluentes secundários, desde que utilizados de acordo com práticas correctas para protecção dos operadores, já a água reutilizada para descarga de autoclismos, condicionamento de ar e combate a incêndios deve apresentar características de qualidade que não favoreçam a ocorrência de crescimento de biofilmes nas paredes das tubagens, fenómenos de corrosão e incrustações.

A precipitação de sais é o factor condicionante mais importante na reutilização da água como fluido de arrefecimento, como nos equipamentos de ar condicionado.

A salvaguarda da saúde pública e de quem opera com os sistemas de reutilização da água é um factor condicionante em todas as aplicações urbanas não potáveis, mas especialmente importante quando existe a possibilidade de as crianças contactarem com estas água, o que acontece na reutilização para descarga de autoclismos e nas utilizações ornamentais.

Alguns parâmetros organolépticos, como a cor e o odor, são importantes para a aceitação da utilização de águas residuais, nomeadamente na reutilização para descarga de autoclismos.



Figura 3-21 – Abastecimento de efluente da ETAR de Mafra em camião-cisterna para reutilização na construção de autoestrada.

No capítulo 4 apresentam-se critérios de qualidade de águas residuais tratadas para utilizações urbanas não potáveis.

### **3.8.3 Metodologias de controlo de SRART para usos urbanos não potáveis**

Os principais factores que podem condicionar a reutilização de águas residuais para usos urbanos não potáveis são a necessidade de infra-estruturas para afinação, armazenamento e transporte do efluente, a manutenção da qualidade da água, a redução de riscos para a saúde pública e a aceitação pública.

Os vários tipos de utilização urbana deverão ser devidamente identificados com sinalética apropriada, em particular em domínios em que é provável e não controlado o contacto do efluente com o público (e.g. lavagem de espaços e equipamentos públicos, rega de espaços verdes de acesso livre, fontanários e espelhos de água, cemitérios, sistemas de ar condicionado e redes de combate a incêndios).

Na operação e manutenção de redes duplas para utilização doméstica não potável devem ser adoptados procedimentos semelhantes aos utilizados nas redes de abastecimento, nomeadamente a inclusão de sistemas para controlo de pressão, para monitorização da qualidade da água e para a eventual necessidade de injeção de cloro para reforço da desinfectação. Os sistemas de armazenamento devem ser geridos de forma a garantir os volumes de água necessários para fins operacionais (abastecimento), bem como para utilização sazonal (armazenamento em tempo

húmido, para utilização em tempo seco) e, eventualmente, para situações de emergência (e.g. combate a incêndios).

O bom desempenho dos sistemas de armazenamento é crucial para compensar a flutuação dos consumos ao longo do dia, bem como de dia para dia, e ainda para permitir o adequado funcionamento das redes de distribuição e a regularização das bombagens, bem como para o equilíbrio de cargas piezométricas. Ou seja, as infra-estruturas de armazenamento devem manter funções de volante de regularização, disponibilizando água suficiente para as solicitações da rede de distribuição, independentemente do regime constante ou intermitente do sistema de adução.

Em caso de armazenamento prolongado do efluente, sugere-se a utilização de sistemas cobertos e a drenagem e eventual tratamento dos gases gerados, bem como a localização das estruturas em zonas com cortina arbórea e afastados das residências, a fim de ser minimizada a libertação de odores. Os usos domésticos, em especial em urinóis e autoclismos de casas de banho públicas ou em habitações, podem também originar a libertação de odores indesejáveis, que podem ser controlados através da utilização de uma supercloragem periódica (10 mg/L de solução de hipoclorito de sódio, de acordo com Metcalf e Eddy, 2003), que simultaneamente evita o desenvolvimento de biofilme nos sistemas de abastecimento e utilização.

Os sistemas de combate a incêndio devem ser accionados periodicamente e inspeccionados, pelo menos de seis em seis meses, a fim de remover depósitos de material sólido e observar eventuais focos de incrustação ou corrosão em hidrantes e bocas-de-incêndio.

O controlo da qualidade da água é outro aspecto importante, devendo estabelecer-se campanhas de monitorização periódicas. Em utilizações domésticas não potáveis e para lavagem de espaços e equipamentos públicos devem ser adoptadas as frequências de amostragem e análises que usualmente são utilizadas nas redes de abastecimento de água potável. Assim, parâmetros como o pH, turvação, cloro residual e coliformes fecais e totais devem ser analisados diariamente, enquanto outros deverão ser objecto de análise semanal (e.g. SST, azoto amoniacal, CBO e *Closteridium*) ou mensal (e.g. sulfatos, metais pesados, THM, PAH e enterococos).

### 3.9 Conclusões

A reutilização da água é praticada, na maioria dos casos, como uma estratégia de conservação de água em regiões onde os recursos hídricos

são escassos, mas também por motivos ambientais, para preservar a qualidade da água de meios receptores, reduzindo a descarga de efluentes de estações de tratamento.

As águas residuais tratadas podem ser utilizadas em diversas aplicações, como a rega agrícola e paisagística, usos industriais (água de arrefecimento, água de processo, água para lavagens), usos urbanos (lavagem de ruas, de contentores de RSU, autoclismos, combate a incêndios, lavagem de veículos, recarga de aquíferos, aplicações recreativas e ambientais.

Utilizações tão diversas requerem água com características de qualidade adequada, nem sempre compatíveis com as características dos efluentes típicos das ETAR (efluentes secundários e terciários), o que pode implicar a necessidade de um tratamento específico para permitir a reutilização do efluente tratado.

Pela sua natureza, a reutilização de águas residuais tratadas pode implicar alguns impactes de ordem sanitária e/ou ambiental, cuja gestão deve ser prevista. As medidas de gestão de tais impactes são naturalmente específicas da aplicação, embora algumas possam ser de recomendação geral, como por exemplo a implementação de múltiplas barreiras para redução da exposição ao contacto directo com a água reutilizada, para redução dos impactes sobre a saúde, ou a redução da concentração de constituintes até a um nível aceitável, por diluição com águas naturais quando possível.

## 4 REQUISITOS DE QUALIDADE DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS PARA REUTILIZAÇÃO

### 4.1 Objectivos do capítulo

O estabelecimento dos requisitos de qualidade das águas residuais tratadas destinadas a reutilização constitui uma pedra angular no desenvolvimento de projectos de reutilização, por ser específica dos mesmos, visto que os requisitos relativos a outros aspectos dos projectos, como operações e processos de tratamento de águas residuais, equipamentos, etc., são comuns a outros projectos de engenharia sanitária e ambiental (ver capítulo 5).

Para serem reutilizadas com sucesso as águas residuais devem ser tratadas de modo a apresentar características de qualidade que satisfaçam à utilização pretendida, minimizando eventuais impactes ambientais adversos e não contribuindo para riscos de saúde das pessoas expostas (trabalhadores dos sistemas de reutilização, utilizadores da água reutilizada, público em geral). Estes desideratos podem ser conseguidos pela especificação de valores para os parâmetros de qualidade das águas (turbacão, coliformes fecais, etc.) – sob a forma de normas, recomendações técnicas e critérios de qualidade – em eventual conjugação com especificações de processo ou de nível de tratamento e ainda de requisitos de controlo de operação.

O presente capítulo apresenta uma revisão de regulamentação<sup>10</sup> adoptada em diversos países relativa a qualidade de águas residuais tratadas e reutilizadas para diversas aplicações, cuja análise comparativa permite fundamentar linhas de orientação na implementação em Portugal de SRART para aplicações diversas da rega agrícola e paisagística, já que para este caso existem linhas de orientação (NP 4434).

### 4.2 Tipologia da regulamentação

O termo «regulamentação» tem sido utilizado em sentido genérico, e sob essa designação coexistem, entre outros, normas, regulamentos, recomendações técnicas, critérios e requisitos, cujo significado convém clarificar.

<sup>10</sup> O termo «regulamentação» é aqui utilizado num sentido genérico, que engloba normas, recomendações técnicas, critérios de qualidade, etc.

A designação de **norma**<sup>11</sup> aplica-se a um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido (por exemplo, o Instituto Português de Qualidade [IPQ], o Comité Europeu de Normalização [CEN] e a Organização Internacional de Normas [ISO]), que fornece regras, linhas directrizes ou características, para actividades ou seus resultados, garantindo um nível de ordem óptimo num dado contexto.

De referir que as normas europeias (EN) são válidas em qualquer país aderente ao CEN – que inclui países europeus externos à União Europeia, como a Noruega e a Suíça, por exemplo –, independentemente de serem traduzidas para a língua de cada país.

Por definição, as normas são em princípio voluntárias, salvo se existe um diploma legal que as torne de cumprimento obrigatório.

**As recomendações técnicas**<sup>12</sup> consistem num conjunto de orientações, critérios, regras ou procedimentos considerados aconselháveis, embora não de cumprimento obrigatório.

A inexistência de normas, ou o facto de se encontrarem ultrapassadas, não constitui impeditivo para o desenvolvimento dos projectos. A disponibilidade de dados científicos e de experiência permite que uma entidade, mesmo não oficial, defina um quadro de referência para a qualidade da água, produzindo assim **critérios de qualidade**. Estes podem não ser de aplicação geral, mas sim relativos a condições específicas avaliadas por essa entidade. Geralmente os critérios de qualidade são valores numéricos estabelecidos para a concentração de um constituinte presente na água em função de determinado efeito ambiental, mas também podem ser parágrafos de texto, como por exemplo a afirmação de que «o efluente necessita de ser desinfectado para poder ser reutilizado para determinada aplicação».<sup>13</sup>

Os **requisitos** (técnicos, legais, financeiros e outros) consistem na descrição de decisões de uma entidade com competências no controlo da actividade, e podem incluir normas, critérios ou outras exigências, como procedimentos de monitorização, por exemplo, aplicáveis ao caso concreto.

Quando as normas, recomendações técnicas ou critérios de qualidade são adoptados e publicados por um organismo com poder legislativo ou normativo, como um parlamento ou um ministério, adquirem carácter

<sup>11</sup> *Standards*, na terminologia inglesa.

<sup>12</sup> *Guidelines*, na terminologia inglesa.

<sup>13</sup> Geralmente, o requisito de desinfectação está associado a um valor numérico relativo ao número de microrganismos indicadores aceitável na água desinfectada.



obrigatório, sob a forma de lei ou regulamento, vinculando de forma geral e abstracta todos os respectivos destinatários. Um exemplo é o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, publicado pelo Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 13 de Agosto.

A regulamentação pode incidir sobre aspectos muito variados, desde características de qualidade da água consoante o uso, até requisitos de equipamentos, disposições construtivas, fiabilidade técnica, viabilidade económica, etc. No âmbito dos sistemas de reutilização da água, assume importância específica a regulamentação relativa à qualidade da água a reutilizar, que pode geralmente revestir a seguinte forma:

- Especificações de processo ou de nível de tratamento (requerendo, por exemplo, desinfecção por UV ou por ozonização);
- Especificações da qualidade das águas residuais tratadas (por exemplo, em termos de turvação e coliformes fecais.);
- Especificações de controlo do projecto e da operação (por exemplo, estabelecendo requisitos de fiabilidade do tratamento, formação certificada dos operadores).

### **4.3 Elaboração de normas de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização**

A definição de valores para os parâmetros que quantificam as características de qualidade da água baseia-se geralmente em todos ou alguns dos seguintes factores:

- Prática estabelecida;
- Viabilidade técnica e económica para atingir a qualidade requerida;
- Informação epidemiológica e toxicológica;
- Tipo de exposição dos seres humanos, animais e ambiente em geral;
- Dados sobre nível de eficiência de processos de tratamento de águas residuais;
- Simulação em modelos matemáticos;
- Avaliação e análise de risco (especialmente para substâncias presentes em quantidades vestigiais).

O processo de elaboração de regulamentação sobre qualidade da água é um processo dinâmico, naturalmente sujeito a revisões, mais ou menos periódicas, à medida que o avanço do conhecimento científico e tecnológico disponibiliza informação relevante.

Os factores que determinam que o efluente de uma ETAR é compatível com determinada utilização, não provoca impactes ambientais adversos nem induz riscos de saúde pública, variam consoante a aplicação de reutilização. Consequentemente, os parâmetros de qualidade de águas residuais tratadas a considerar na elaboração de normas dependem da finalidade da reutilização, conforme descrito no capítulo 3. De salientar o facto de que nesses requisitos de qualidade raramente são incluídos aqueles não associados à protecção da saúde pública e do ambiente.

Nas secções seguintes apresenta-se uma sùmula de requisitos de qualidade de águas residuais, tendo em vista diversas utilizações.

## **4.4 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na rega agrícola**

### **4.4.1 Regulamentação internacional**

A rega agrícola é, de longe, a aplicação que reutiliza maior volume de águas residuais, prática de que há notícia desde a Antiguidade [Angelakis *et al.*, 1999], mas que se desenvolveu a partir dos finais do século XIX, com a implementação dos primeiros sistemas de águas residuais. Não surpreende por isso que muitos países disponham de normas de qualidade de águas residuais para reutilização na agricultura (ver 3.3).

A rega com águas residuais tratadas tem por objectivo fornecer à planta a água indispensável, dando-lhe ainda macro e micronutrientes de que necessita, o que representa um benefício. Porém, da rega com águas residuais, mesmo tratadas, também podem advir alguns impactos ambientais adversos (sobre o solo e as águas subterrâneas), que geralmente só se revelam a longo prazo. Os factores que intervêm nesta problemática planta-água-solo e seres humanos e animais expostos às águas residuais utilizadas na rega, cujo controlo se procura assegurar por meio de regulamentação, são descritos no Quadro 3-3.

Quando se trata de reutilização para rega, os constituintes microbiológicos assumem uma importância significativamente maior que os compostos químicos, pois não se trata de reutilização directa ou indirecta para produção de água potável, em que a presença no efluente recuperado de determinados compostos, nomeadamente muitas moléculas orgânicas complexas, potencialmente cancerígenas, representa também um risco significativo para a saúde pública. Por esta razão, não existem critérios de saúde pública relativos à qualidade química dos efluentes reutilizados para rega, considerando-se que a composição química das águas resi-

duais utilizadas em irrigação pode afectar significativamente o sistema solo-planta, por absorção de substâncias fitotóxicas através das raízes ou das folhas (critérios de qualidade agrónomicos), mas não implica geralmente risco significativo para a saúde pública por essa via, embora se saiba que alguns elementos tendem a acumular-se nas plantas, podendo atingir níveis tóxicos para os animais consumidores [Marecos do Monte, 1996]. Pelo contrário, existem diversos critérios de qualidade relativamente aos constituintes microbiológicos das águas residuais tratadas reutilizadas na rega, produzidos nos numerosos países onde a reutilização destas águas é praticada, com este fim, desde há longos anos. Daqui resulta uma certa sobreposição do significado de «critérios de saúde pública na qualidade de águas residuais para rega» com o de «critérios microbiológicos de qualidade de águas residuais para rega».

O objectivo básico do estabelecimento de critérios de qualidade microbiológica de águas residuais para irrigação deve ser o de assegurar a protecção da saúde pública sem desencorajar, desnecessariamente, a recuperação das águas residuais. Neste sentido, e considerando o exposto sobre as características epidemiológicas dos microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais (ver 3.4.4), num contexto do seu aproveitamento para rega, e ainda o referido acerca de indicadores microbiológicos de contaminação fecal, pode inferir-se que os critérios de avaliação da qualidade microbiológica de efluentes de ETAR com vista à sua utilização para rega, salvaguardando a saúde pública, devem especificar valores adequados para os indicadores de contaminação considerados mais adequados, atendendo aos factores de exposição ao risco, relacionados com os seguintes aspectos:

- a) *tipo de utilização das culturas regadas* (consumo directo, pastagens, pomares, campos de recreio, culturas industriais, entre outras) – determina a proximidade do contacto e o tempo decorrente entre a última rega e a utilização;
- b) *método de rega* – condiciona a exposição das culturas, do solo e dos agricultores;
- c) *características epidemiológicas dos microrganismos patogénicos* – determinam a sobrevivência dos patogénicos excretados aos processos de tratamento e à exposição em meios que lhe são adversos, como o solo e as culturas (persistência e latência) e a sua capacidade para infectar e causar doença (dose infectante, patogenicidade e virulência);
- c) *tipologia dos processos de tratamento das águas residuais e seu eventual armazenamento* – determina a qualidade expectável para o efluente.

Os critérios de avaliação da qualidade microbiológica de efluentes de ETAR podem ser mais ou menos completos, conforme se limitem à especificação de padrões de qualidade do efluente em função das finalidades da irrigação, ou abrangem ainda aspectos tais como os requisitos a satisfazer pelos processos de tratamento das águas residuais, regras de amostragem do efluente para efeitos de controlo e fiscalização, procedimentos analíticos, requisitos sobre as condições operacionais de utilização dos efluentes para rega (métodos de rega, por exemplo) e regras de higiene dos operadores de rega.

Muitos estados norte-americanos e muitos países, entre os quais Portugal [IPQ, 2005; Marecos do Monte, 2007], dispõem de regulamentação referente à reutilização de águas residuais tratadas na agricultura. Na maior parte dos casos, esta regulamentação atende às características de qualidade microbiológica da água que podem afectar a saúde pública e animal, para o que agrupam as culturas em classes, nomeadamente: culturas de consumo em cru, culturas ingeridas cozinhadas, culturas para processamento industrial, culturas para alimentação animal.

Merecem especial referência as recomendações publicadas pela OMS em 1973, revistas em 1989 e em 2006. A regulamentação da OMS constitui uma escola baseada na filosofia do risco aceitável, que se opõe à escola norte-americana, guiada pela filosofia do risco nulo. Considera a OMS que a melhor quantificação do que representa a doença é dada pela DALY<sup>14</sup> (Duração de Vida Ajustada em função da Doença). O risco de doença no qual incorre quem consome em cru culturas irrigadas com águas residuais tratadas deve ser idêntico ao risco aceitável para o consumo de água para consumo humano, cifrado em  $\leq 10^{-6}$  DALY por indivíduo e por ano [Shuval, 2007]. Isto é equivalente a um risco de infecção por rotavírus de  $10^{-3}$  por indivíduo por ano, que por sua vez equivale a regar culturas comestíveis com águas residuais tratadas até 6 a 7 unidades logarítmicas de remoção de microrganismos patogénicos [Mara, 2007]. A OMS aceita que, do ponto de vista das bactérias patogénicas, a rega de culturas com águas residuais com um teor de coliformes fecais até 1000 unidades por 100 mL assegura suficientemente a protecção da saúde pública, não sendo necessário estabelecer restrições do tipo de cultura (consumo em cru ou outro) ou do método de rega. Mas a OMS acrescenta outro parâmetro indicador de contaminação fecal, que torna os seus critérios de qualidade mais exigentes – a presença de ovos de parasitas inferior a um ovo por litro.

---

<sup>14</sup> DALY – *Disability Adjusted Life Years*.

No Quadro 4-1 apresenta-se uma smula das normas relativas à qualidade microbiológica de águas residuais tratadas para serem reutilizadas na rega agrícola de culturas alimentares de consumo em cru, de consumo após processamento e de culturas industriais. Constata-se que nos EUA a presença de ovos de parasitas entéricos (helminthas)  um parâmetro de qualidade de água para rega pouco frequente, contrariamente ao critério adoptado em muitos países europeus, no México e recomendado pela OMS e que, por outro lado, os critérios de qualidade bacteriológica norte-americanos são muito restritos. Alguns critérios de qualidade vigentes nos EUA referem-se a coliformes totais, o que os torna mais restritivos do que se referidos ao grupo dos coliformes fecais. A principal razão desta diferença deve-se ao facto de terem sido esses estados norte-americanos, entre os quais se destaca a Califórnia, os pioneiros no estabelecimento de regulamentação sobre reutilização de águas residuais para rega, adoptando então uma atitude mais conservativa na especificação dos seus requisitos. Estudos posteriores, nomeadamente aqueles promovidos pela OMS, baseados em evidência epidemiológica, mostraram o interesse de outros indicadores de qualidade microbiológica, designadamente a presença de ovos de parasitas.

A qualidade agronmica é geralmente avaliada com base em critérios apresentados pela FAO [FAO, 1985; Pettygrove & Asano, 1985], que se apresentam no Quadro 4-3. O sucesso agronmico da rega com águas residuais depende não são de a água satisfazer os critérios indicados no Quadro 4-3, como também da tolerância das culturas a determinadas características químicas preponderantes em águas residuais tratadas, como o boro e a salinidade (ver Anexo I).

#### **4.4.2 A norma portuguesa NP 4434**

A norma portuguesa (NP) 4434:2005 foi elaborada pela subcomissão técnica SC 3 «Reutilização de guas Residuais» da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização CT 90 «Sistemas de Saneamento Básico», por mandato do Instituto Português da Qualidade. A NP 4434 aplica-se exclusivamente à reutilização de águas residuais urbanas na rega de culturas agrícolas, florestais, ornamentais, viveiros, relvados e outros espaços verdes. No que se refere aos requisitos de qualidade agronmica das águas residuais tratadas a utilizar na rega a NP 4434 adoptou os critérios indicados no Anexo XVI do Decreto-lei não 236/98, de 1 de Agosto, os quais correspondem, de um modo geral, aos padrões recomendados pela FAO.

Quadro 4-1 – Critérios de qualidade de águas residuais tratadas para rega agrícola propostos em diversos países: culturas de consumo em cru, de consumo após processamento e de culturas industriais [EU, 2006; USEPA, 2004]

ESTADO	Coliformes totais	Coliformes fecais	<i>E. coli</i> UFC/100 mL	<i>Salmonella</i>	Ovos de helmintas	Ovos de nemátodos	Giardia	SST	Turvação		Observações
								mg/L		NTU	
Portugal	-	10 <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup> 10 <sup>4</sup>	-	-	1	-	-	-	-	-	Proibida em produtos hortícolas consumidos crus, cuja parte comestível esteja em contacto com o solo.
Espanha	-	-	10 <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup> 10 <sup>4</sup>	-	-	0,1 0,1 0,1	-	20 35 35	10 - -	-	<i>Legionella</i> 0/100 mL
França	-	10 <sup>3</sup> - -	-	-	-	1 1 1	-	-	-	-	Segue a OMS, mas com requisitos práticos adicionais
Itália	-	-	10 – 100 10 – 100 10 – 100	-	-	-	-	-	-	-	-
AQUAREC	-	0 – 10 <sup>3</sup> 0 – 10 <sup>4</sup> 0 – 10 <sup>4</sup>	-	0 – 10 <sup>3</sup> 1 1	-	1 1 1	10 - -	35 - -	- - -	- - -	<i>Legionella</i> 100/100 mL
OMS	-	Redução de 6 – 7 log 10 <sup>4</sup> 10 <sup>4</sup>	-	-	1	1	-	-	-	-	-
USEPA	-	0 200 – 800 200 – 800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Califórnia	2,2 – 23 2,2 – 23 23 – 240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Florida	-	25 25 200 – 800	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 4-1 – Critérios de qualidade de águas residuais tratadas para rega agrícola propostos em diversos países: culturas de consumo em cru, de consumo após processamento e de culturas industriais [EU, 2006; USEPA, 2004] (Cont.)

ESTADO	Coliformes totais	Coliformes fecais	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i>	Ovos de helmintas	Ovos de nemátodos	Giardia	SST	Turvação	Observações
		UFC/100 mL			Nº/L	Nº/L		mg/L	NTU	
Havai		2,2 – 23 2,2 – 23 23 – 240								
Nevada		200 – 400 200 – 400 200 – 400								
Texas		20 – 40 20 – 75 20 – 75								
Austrália (ACT)		10 – 40 10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup> 10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup>								
Israel	-	10 10 – 40 -								
México		10 <sup>3</sup> – 2x10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> – 2X10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> – 2X10 <sup>3</sup>			1	5				

Quadro 4-2 – Critérios de qualidade de águas residuais tratadas para rega de campos de golfe e espaços verdes sem restrição de acesso [EU, 2006; USEPA, 2004]

ESTADO	Coliformes totais	Coliformes fecais	E. coli UFC/100 mL	Salmonella	Ovos de helmintas	Ovos de nemátodos	Giardia	SST	Turvação		Outros
	UFC/100 mL	UFC/100 mL							Nº/L	mg/L	
Portugal	-	2x10 <sup>2</sup>	-	-	1	-	-	-	-	-	pH, SDT, Ce, Cl, Azoto, Fósforo, metais
Espanha	-		2x10 <sup>2</sup>	-	-	0,1		20	10		Legionella 100/100
França		10 <sup>3</sup>				1					Distância >100m de casas
Itália	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AQUAREC	-		-								Legionella 100/100 mL
OMS	-				1						-
USEPA											-
Califórnia	23 – 240*										
Flórida		200 – 800*									
Havai		2,2 – 23*									
Nevada		200 – 400*									
Texas		20 – 75*									
Austrália (ACT)											
Israel	250										
México					1	-					

\*Valor médio e valor máximo requeridos em 30 dias.



Quadro 4-3 – Critérios de qualidade agrónómica para água de rega.

Problema potencial	Parâmetro de qualidade da água	Unidades	Grau de restrição à utilização		
			Nenhum	Ligeiro a moderado	Severo
<b>Salinidade</b> (afecta a disponibilidade de água pela planta)	Cea	dS/m	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
	SDT	mg/L	< 450	450-2 000	> 2 000
<b>Infiltração</b> (afecta a taxa de infiltração da água no solo. Avalia-se pela consideração conjunta da Cea e da $R_{Na}$ ) <sup>1</sup>	$R_{Na}$ e Cea	Cea =	> 0,7	0,7-0,2	< 0,2
	$R_{Na} = 0-3$ e	Cea =	> 1,2	1,2-0,3	< 0,3
	$R_{Na} = 3-6$ e	Cea =	> 1,9	1,9-0,5	< 0,5
	$R_{Na} = 6-12$ e	Cea =	> 2,9	2,9-1,3	< 1,3
	$R_{Na} = 12-20$ e $R_{Na} = 20-40$ e	Cea =	> 5,0	5,0-2,9	> 2,9
<b>Toxicidade a iões específicos</b> <i>Sódio</i> *rega gravítica *rega por aspersão <i>Cloreto</i> *rega gravítica *rega por aspersão <i>Boro</i>	$R_{Na}$		< 3	3 – 9	> 9
	$Na^+$	me/L	< 3	3 – 9	
	$Cl^-$	me/L	< 4	4 – 10	> 10
	$Cl^-$	me/L	< 3	> 3	
	$B^{3+}$	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
<b>Efeitos diversos</b> (afecta culturas sensíveis) <i>Azoto</i> <sup>2</sup> <i>Hidrogeno-carbonatos</i> <sup>3</sup> pH	$N-NO_3^-$	mg/L N	< 5	5-30	> 30
	$HCO_3^-$	me/L	< 1,5	1,5-8,5	> 8,5
			Intervalo	normal	6,5-8,4

<sup>1</sup> Para uma determinada  $R_{Na}$  a taxa de infiltração aumenta com a salinidade da água.

<sup>2</sup> No caso de águas residuais deve também considerar-se o  $N-NH_4$  e o  $N-Org$ .

<sup>3</sup> Só em rega por aspersão.

A qualidade microbiológica das águas residuais tratadas utilizadas em rega é o aspecto qualitativo mais importante, pelas razões, sobejamente expostas, de protecção da saúde pública e animal. Neste domínio, a NP 4434 afasta-se claramente do requisito previsto no Anexo XVI do Decreto-lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, que estabelece que o VMR para o grupo

dos coliformes fecais é de 100 /100 mL, recomendando valores variáveis em função do tipo de cultura e do método de rega, mas menos restritivos que o valor constante no Decreto-Lei n.º 136/98. Este padrão definido no referido Decreto-Lei é bastante exigente, pois requer que a água de rega apresente muito melhor qualidade microbiológica que a água balnear,<sup>15</sup> sendo certo também que a água da generalidade dos rios não apresenta teores de coliformes fecais inferiores a 100 UFC/100 mL. Os requisitos de qualidade microbiológica estabelecidos na NP 4434 tiveram em consideração o uso das culturas regadas (consumo em cru, consumo animal, floresta, culturas industriais, relvados desportivos, etc.) e o método de rega.

Um aspecto inovativo da NP 4434 relativamente a diversa regulamentação de outros países consiste na indicação de procedimentos de monitorização do biosistema água-solo-planta, com os seguintes objectivos: quantificação da quantidade de adubo a aplicar anualmente em complemento dos nutrientes presentes na água e de rega; avaliação do efeito da rega sobre as características químicas do solo e das águas subterrâneas.

#### **4.5 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na rega paisagística**

Os padrões de qualidade da água reutilizada em rega paisagística são semelhantes aos de rega agrícola, principalmente no que diz respeito aos critérios de qualidade agronómica. Os critérios de qualidade microbiológica devem atender ao uso das plantas, o qual é bastante variado, conforme referido em 3.4.1, podendo ir desde canteiros de plantas ornamentais em espaços comerciais e industriais até relvados de campos de golfe. Na variedade de utilizações, o que é importante avaliar para definir normas de qualidade que permitam salvaguardar a saúde pública é se o acesso das pessoas à área regada tem ou não restrições. O acesso de pessoas sem restrições, como é o caso dos campos desportivos, nomeadamente dos golfs, requer efluentes de mais elevada qualidade microbiológica, visto o possível contacto directo do corpo humano com o relvado ou outras superfícies molhadas pela água de rega.

No Quadro 4-2 apresentam-se padrões de qualidade microbiológica para águas residuais tratadas a reutilizar na rega de campos golfe e outros espaços paisagísticos, incluindo os padrões constantes da NP 4434.

---

<sup>15</sup> De acordo com o Decreto-lei n.º 236, de 2008.

## 4.6 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na indústria

### 4.6.1 Aplicações da reutilização de águas residuais na indústria

A utilização de águas residuais tratadas na indústria constitui uma aplicação cuja prática se vem expandido progressivamente nas últimas duas décadas, devido principalmente aos seus benefícios ambientais e económicos, que assumem níveis vantajosos no caso de indústrias consumidoras de elevados volumes de água (ver 3.5). Entre estas contam-se as indústrias que necessitam de sistemas de arrefecimento, como as centrais geradoras de energia, refinarias de petróleo, siderurgias.

Na indústria é frequente que a reutilização da água consista na sua **reciclagem**, isto é, a água é sucessivamente reutilizada para a mesma aplicação, sem necessidade de tratamento adicional, mas tornando-se indispensável a introdução de pequenos volumes de nova água, destinados a compensar as perdas por evaporação.

No Quadro 4-4 indicam-se as principais aplicações da reutilização de água na indústria.

Conforme referido em 3.5.2, os requisitos de qualidade da água são específicos para cada tipo de indústria. Porém, alguns requisitos de qualidade são transversais a qualquer indústria, pois correspondem à prevenção de consequências indesejáveis, como a corrosão dos materiais, incrustações e desenvolvimento de algas e/ou de biofilmes, induzidas pela presença de teores residuais de constituintes usuais das águas residuais (Quadro 4-5). Tratando-se de reutilização de águas residuais, importa ainda especificar critérios de qualidade que protejam a saúde pública em função da medida de exposição a que são sujeitos os operadores dessa indústria e outros grupos.

Quadro 4-4 – Aplicações da reutilização de águas residuais na indústria.

Aplicações	
Água de arrefecimento	
Água para caldeiras de aquecimento	
Água de processo	Indústria do papel e da pasta de papel. Indústria têxtil. Siderurgia. Refinarias de petróleo. Construção pesada (argamassas, controlo de poeiras). Electrónica – semicondutores.
Água de lavagem	Equipamentos (bombas, centrífugas, condutas de lamas, etc.), pavimentos, etc.

Quadro 4-5 – Características de qualidade das águas residuais tratadas que afectam a generalidade das aplicações industriais

Problema	Causa
Corrosão	Cloretos, sulfatos, sólidos dissolvidos e em suspensão, amoníaco (principalmente agressivo para ligas com cobre), metais com elevado potencial de oxidação, pH e temperatura.
Inscrustações	Fósforo, cálcio, magnésio, ferro, sílica, sulfatos, sólidos dissolvidos, pH e temperatura.
Desenvolvimento de algas, bactérias e de biofilmes	Matéria orgânica, azoto amoniacal, fósforo.
Escumas	Matéria orgânica.

#### 4.6.2 Reutilização de águas residuais para água de arrefecimento

Segundo alguns autores [Asano e Visvanathan, 2001], cerca de 50% do volume de água reutilizada na indústria corresponde a água de arrefecimento. Os circuitos de água de arrefecimento são empregues em indústrias de tipo muito diverso, como as refinarias de petróleo ou indústrias de carnes. Contrariamente à água de processo, os requisitos de qualidade da água de arrefecimento não dependem do tipo de indústria, mas sim do tipo do processo de arrefecimento, dos quais se podem distinguir quatro tipos, que requerem águas com características de qualidade diferentes [EU, 2006] conforme se apresenta no Quadro 4-6. Em muitos dos sistemas de arrefecimento existentes considerou-se apropriado desinfectar as águas residuais reutilizadas, a fim de proteger os trabalhadores de aerossóis libertados nas torres de arrefecimento, excepto quando o tratamento das águas residuais inclui processos de membranas.<sup>16</sup>

O Quadro 4-7 sintetiza os requisitos de qualidade referidos na literatura norte-americana para água reutilizada como água de arrefecimento [EU, 2006; Asano *et al.*, 2007].

Os requisitos recomendados pela Water Pollution Control Federation (WPCF) em 1989 são idênticos, qualquer que seja o sistema de arrefecimento; já os valores recomendados pela National Academy of Science (NAS), conjuntamente com a National Academy of Engineering (NAE) dos EUA, distinguem os requisitos de qualidade em função do tipo de sistema de arrefecimento, considerando ainda a possibilidade de reutilizar água com elevado teor de sólidos dissolvidos<sup>17</sup> (superior a 1000 mg/L) para arrefecimento.

<sup>16</sup> A selecção do processo de desinfecção adequado a cada situação é abordada no capítulo 7.

<sup>17</sup> Água salobra.

Quadro 4-6 – Características de qualidade das águas residuais tratadas que afectam a generalidade das aplicações industriais

Processo de arrefecimento	Aplicação	Qualidade da água	Tratamento
Circuito fechado	Arrefecimento de fluidos a elevada temperatura.	Inclui dois circuitos de arrefecimento estanques. O circuito primário requer água de elevada qualidade, que não provoque incrustações.	Tratamento terciário (remoção de N e P), filtração e desinfecção.
Evaporação	Diversas.	O aumento da concentração de sólidos dissolvidos (SD) obriga a purgas a cada 10 ciclos (em média) e à injeção de nova água.	Tratamento secundário, raramente tratamento terciário.
Passagem única	Centrais geradoras de energia, refinarias, indústria química.	Requisitos de qualidade mais flexíveis.	Tratamento secundário e tratamento terciário (remoção de N e P), filtração e desinfecção em certos casos.
Contacto directo	Siderurgias, extinção de cinzas de fornalhas.	Sem requisitos especiais. Em alguns casos pode ser usada água salgada ou salobra.	Tratamento secundário, filtração em alguns casos.

No Quadro 4-8 apresentam-se as recomendações de qualidade adoptadas em diversos Estados, referentes a três parâmetros fundamentais, tanto pela sua importância no processo de arrefecimento e salvaguarda da saúde ocupacional dos trabalhadores, como pela facilidade de monitorização – Turvação, SST e Coliformes –, os quais se correlacionam satisfatoriamente com a maioria dos parâmetros indicados no Quadro 4-7. De salientar que os valores relativos aos parâmetros microbiológicos não são consensuais, dada a diferente percepção do risco de saúde pública.

Nos circuitos de arrefecimento é desejável impedir a proliferação de bactérias sulfo-reductoras, bactérias nitrificantes e bactérias ferrófilas. No caso dos circuitos de arrefecimento dos sistemas de ar condicionado é geralmente considerado importante a prevenção do desenvolvimento de *Legionella pneumophila*. Estes objectivos obrigam à desinfecção do efluente.

Quadro 4-7 – Requisitos de qualidade típicos para água de arrefecimento.

WPCF			NAS			
			Passagem única			Circuito fechado e evaporação
Parâmetro	Unidade		Doce	Salobra	Doce	Salobra
Cloretos	mg/L	500	600	19 000	500	19.000
SDT	mg/L	500	1000	35 000	500	35.000
Dureza	mg/LCaCO <sub>3</sub>	650	850	6 250	650	6.250
Alcalinidade	mg/LCaCO <sub>3</sub>	350	500	115	350	115
pH		6,9 – 9,0	5,0 – 8,3	6,0 – 8,3	A	A
CQO	mg/L	75	75	75	75	75
SST	mg/L	100	5.000	2.500	100	100
Turvação	UNT	50	5.000	100		
CBO <sub>5</sub>	mg/L	25	-	-	-	-
N-NH <sub>4</sub>	mg/L	1,0	-	-	-	-
P-PO <sub>4</sub>	mg/L	4	-	-	-	-
SiO <sub>2</sub>	mg/L	50	50	25	50	25
Al	mg/L	0,1	A	A	0,1	0,1
Fe	mg/L	0,5	A	A	0,5	0,5
Mn	mg/L	0,5	A	A	0,5	0,5
Ca	mg/L	50	A	A	0,5	0,5
Mg	mg/L	-	A	A	A	A
HCO <sub>3</sub>	mg/L	0,5	600	140	24	140
SO <sub>4</sub>	mg/L	200	680	2.700	200	2.700
Cu	mg/L	-	A	A	A	A
Zn	mg/L	-	A	A	A	A
H <sub>2</sub> S	mg/L	-	-	A	A	A
OD (O <sub>2</sub> )	mg/L	-			A	A
Temperatura	°C	-	A	A	A	A

A – Efluente reutilizável aceitável conforme sai da ETAR

#### 4.6.3 Reutilização de águas residuais para caldeiras de aquecimento

As caldeiras de aquecimento destinam-se a produzir água quente ou vapor de água para aquecimento de outras substâncias ou para fazer mover as pás de turbinas. As centrais termoeléctricas, por exemplo, utilizam combustíveis como o carvão, para produzir vapor, que irá accionar as turbinas e produzir energia eléctrica. A água alimentada a caldeiras de aquecimento tem que ser de elevada qualidade, para evitar problemas de incrustações (que reduzem a eficiência da transferência de calor), bem como de corrosão (que danificam os equipamentos) e de espumas nas caldeiras. Por estas razões, estes equipamentos dispõem geralmente de um sistema de tratamento próprio para afinação da qualidade da água alimentada, quer

Quadro 4-8 – Valores de Turvação, SST e Coliformes recomendados em água de arrefecimento (adaptado de [EU, 2006])

Estados	Turvação	SST	Coliformes fecais
	(UNT)	(mg/L)	(UFC/100 mL)
Austrália (Sul)	-	30	1000 <sup>c</sup>
Califórnia	10	5	240 <sup>a</sup>
Carolina do Norte	10	10	25 <sup>b</sup>
Chipre	-	10	10 <sup>b</sup>
Flórida	10	5	25 <sup>b</sup>
Itália	-	25	2000 <sup>c</sup>
Havai	2	-	200 <sup>b</sup>
Nova Jérсия	-	-	400 <sup>b</sup>
Oregon	-	-	23 <sup>a</sup>
Panamá	3	-	200 <sup>b</sup>
Tasmânia	-	-	1000 <sup>d</sup>
Texas	-	-	800 <sup>b</sup>
Utah	-	25	800
Victoria	2	30	1000 <sup>d</sup>
Washington	5	30	240 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Coliformes Totais; <sup>b</sup>Coliformes Fecais; <sup>c</sup>*E. coli*; <sup>d</sup>Coliformes termotolerantes.

esta seja água subterrânea, superficial ou mesmo água potável, reduzindo a dureza praticamente a zero, com colunas de permuta iónica, por exemplo. Não obstante a elevada exigência na qualidade da água para caldeiras de aquecimento, a reutilização da água para este fim é uma opção com interesse pelas razões apontadas em 3.5.2.2, reforçadas pelo facto de mesmo águas bastante puras terem que ser submetidas a tratamento para esta utilização.

Os requisitos de qualidade de água reutilizável para caldeiras de aquecimento variam consoante as condições de funcionamento das caldeiras (pressão, taxa de transferência de calor) e a quantidade de água reutilizada empregue [EU, 2006]. De um modo geral, quanto mais elevada a pressão de funcionamento da caldeira, mais exigente deve ser a qualidade da água. Os parâmetros de qualidade relevantes para a água de caldeiras de aquecimento são os seguintes (ver 3.5.2): gases dissolvidos na água (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>), cálcio, cloretos, sulfatos, ferro e manganês, sílica, turvação, matéria orgânica residual, alcalinidade, sódio. No Quadro 4-9 apresentam-se as recomendações da APAVE (grupo francês dedicado aos riscos técnicos, humanos e ambientais no sector da construção) para caldeiras de aquecimento [EU, 2006]. O Quadro 4-10 apresenta os padrões de qualidade de água recomendadas nos EUA [US EPA, 1992] para esta mesma finalidade.

A análise comparativa dos valores apresentados no Quadro 4-9 e Quadro 4-10 mostra que são razoavelmente equivalentes, pelo que será preferível adoptar o Quadro 4-10, mais completo em termos de lista de parâmetros de qualidade e também de mais fácil consulta.

Quadro 4-9 – Padrões de qualidade recomendados pela APAVE para água para caldeiras de aquecimento

Pressão (bar)	OD	Fe	Cu	CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	COT não volátil	Óleos	pH
0-20,7	0,040	0,100	0,050	0,30	1	1	7,5-10
20,8-31,0	0,040	0,050	0,025	0,30	1	1	7,5-10
31,1-41,4	0,007	0,030	0,020	0,20	0,5	0,5	7,5-10
41,5-51,7	0,007	0,025	0,020	0,20	0,5	0,5	7,5-10
51,8-62,1	0,007	0,020	0,015	0,10	0,5	0,5	7,5-10
62,2-68,9	0,007	0,020	0,015	0,05	0,2	0,2	8,5-9,5
69,0-103,4	0,007	0,010	0,010	ND	0,2	0,2	9,0-9,6
103,5-137,9	0,007	0,010	0,010	ND	0,2	0,2	9,0-9,6

ND – não detectável.

#### 4.6.4 Reutilização de águas residuais na indústria do papel

A indústria do papel e da pasta de papel são um grande exemplo de evolução tecnológica do processo de produção no sentido do uso eficiente de água, muito à custa da reciclagem da água, que é significativa nesta indústria. Menos significativa é a utilização de águas residuais tratadas, embora só nos EUA se encontrem uma dúzia de casos [Asano *et al.*, 2007].

Os requisitos de qualidade da água para a produção de pasta de papel e de papel dependem do tipo e da qualidade pretendida, sendo que o papel branco, fino e brilhante requer água de qualidade mais elevada que os cartões e o papel escuro. Conforme referido em 3.5.2.3, os parâmetros de qualidade relevantes em água utilizada na indústria do papel são: SST, turvação, ferro, manganês, que podem afectar a cor e o brilho do papel, e microrganismos. Outros parâmetros, como os fosfatos e as substâncias tensoactivas e metais, têm interesse indirecto, na medida em que afectam a eficiência das resinas de permuta iónica utilizadas na preparação da água de processo.

No Quadro 4-11 apresentam-se padrões de qualidade típicos recomendados para a água de produção de diversos tipos de papel [adaptado de Asano *et al.*, 2007].



Quadro 4-10 – Padrões de qualidade recomendados nos EUA para água para caldeiras de aquecimento (adaptado de [US EPA, 1992])

	Unidade	Baixa pressão (< 10 bar)	Pressão intermédia (10 – 50 bar)	Alta pressão (>50 bar)
Alumínio	mg/L	5	0,1	0,01
N-NH <sub>4</sub>	mg/L	0,1	0,1	0,1
HCO <sub>3</sub>	mg/L	170	120	48
Ca	mg/L	A	0,4	0,01
Cl	mg/L	A	A	A
Cobre	mg/L	0,5	0,05	0,05
H <sub>2</sub> S	mg/L	A	A	A
Fe	mg/L	1	0,3	0,05
Mn	mg/L	A	0,25	0,01
SiO <sub>2</sub>	mg/L	30	10	0,7
SO <sub>4</sub>	mg/L	A	A	A
Zn	mg/L	0,01	0,01	-
Alcalinidade	mg/L	350	100	40
Extracto ao tetracloreto de C	mg/L	1	1	0,5
CQO	mg/L	5	5	1
OD	mg/L	2,5	0,007	0,0007
SDT	mg/L	700	500	200
SST	mg/L	10	5	0,5
Dureza	mg/L	1	1	0,5
Matéria orgânica*	mg/L	1	1	0,5
pH		7,0-10	8,2-10,0	8,2-9,0
Temperatura	°C	A	A	A

A – Reutilizável conforme sai da ETAR

\*Substâncias activas ao azul-de-metileno

Quadro 4-11 – Requisitos de qualidade de água para produção de diversos tipos de papel

	Unidade	Papel pardo	Pasta de kraft	Papel kraft branqueado	Papel não branqueado	Papel branqueado
Turvação	UNT	70	35	40	140	14-56
Cor	mg/L Pt-Co	30	5	25	30-100	5-25
SDT	mg/L	250-1000	250-1000	300	75-650	75-650
SST	mg/L	40	10	10	10-30	10-30
Alcalinidade	mg/LCaCO <sub>3</sub>	75-150	75-150	75	150	75-125
Dureza	mg/LCaCO <sub>3</sub>	100-200	100-200	100	200	100
Cl	mg/L	75	75	200	200	200
Fe	mg/L	0,3	0,1	0,2	1,0	0,1
Mn	mg/L	0,1	0,05	0,1	0,5	0,03
SiO <sub>2</sub>	mg/LSiO <sub>2</sub>	50	20	50	100	9-20
SO <sub>4</sub>	mg/L	traços	-	-	-	100-300
Temperatura	°C	<55	27	-	-	15-27

#### 4.6.5 Reutilização de águas residuais na indústria têxtil

Na indústria têxtil pode proceder-se à reutilização e à reciclagem da água para várias aplicações, como a lavagem de equipamentos e espaços fabris ou para o próprio processo de produção (preparação da matéria-prima, tingimento, estamperia e acabamento), conforme referido em 3.5.2.4. Os processos de tingimento, estamperia e acabamento requerem geralmente água de elevada qualidade, enquanto nas operações de lavagem e preparação da matéria-prima pode ser utilizada água de menor qualidade.

A qualidade das águas residuais geradas nos vários níveis de produção é variável, pelo que o nível de tratamento necessário para a sua reutilização depende não só da sua origem mas também da sua posterior aplicação. Os parâmetros de qualidade relevantes para água utilizada nestes processos são os seguintes: turvação, cor, iões metálicos (principalmente ferro, manganês e cobre), pH, alcalinidade, dureza e sais (nitratos, nitritos, cloretos e sulfatos).

A qualidade da água nos processos de tingimento e a estamperia é importante para a qualidade do produto têxtil, tornando-se de fundamental importância no actual contexto de competição económica à escala global, nomeadamente com os países orientais. No Quadro 4-12 apresentam-se valores indicativos dos requisitos de qualidade para a água utilizada em diferentes processos da indústria têxtil [EU, 2006; Asano *et al.*, 2007].

Quadro 4-12 – Requisitos de qualidade de água para utilização na indústria têxtil

Parâmetro	Unidade	Asano <i>et al.</i> , 2007	Branqueamento e tingimento	Têxteis de elevada qualidade
Conductividade	mS/cm	-	-	1800
Cu	mg/L	0,01 – 5	-	-
Fe	mg/L	0,1 – 0,3	0,1	-
Mn	mg/L	0,01 – 0,05	0,01	-
Dureza	mg/LCaCO <sub>3</sub>	0 – 50	25	270
pH		6 – 8		7 – 8
Cor	mg/Lpt-co	0 – 5	5	0,01
Turvação	UNT	0,3 – 5	-	-
SDT	mg/L	100 – 200	100	-
SST	mg/L	0 – 5	100	-
CQO	mg/L	-	-	30
Detergentes aniónicos	mg/L	-	-	0,025
Detergentes não iónicos	mg/L	-	-	0,5

## 4.7 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização na recarga de aquíferos

A utilização de águas residuais tratadas para recarga de aquíferos pode satisfazer objectivos diversos, como o aumento do volume de águas subterrâneas ou o combate à intrusão salina (ver 3.6). Quando o aquífero recarregado com águas residuais tratadas é utilizado para extracção de água subterrânea para a produção de água potável configura-se um caso de «reutilização indirecta para fins potáveis»,<sup>18</sup> contexto em que a salvaguarda da saúde pública assume importância primordial.

Os requisitos de qualidade das águas residuais tratadas destinadas à recarga de aquíferos são diferentes, consoante:

- O uso da água do aquífero – consumo humano, indústria, rega, protecção do ambiente através de barreira hidráulica – implica ou não aproveitamento das águas do aquífero como origem de água para potabilização;
- O método de recarga – injeção directa no aquífero ou recarga indirecta, em bacias de infiltração ou similares, o qual depende fortemente das características hidrogeológicas locais e da procura de recursos hídricos (ver 3.6.2).

A primeira proposta de desenvolvimento de critérios de qualidade para águas residuais utilizadas na recarga de aquíferos foi do Department of Health Services (DOHS) da Califórnia, em 1976. A proposta não chegou a tornar-se uma norma, pois, ao basear-se na pior situação possível, tornou-se demasiado conservativa e impossível de respeitar por cada projecto específico [Crook *et al.*, 1990]. No início da década de 90 foi elaborada uma nova proposta de regulamentação, baseada na combinação de requisitos de tratamento, de tempo de retenção da água no aquífero e de distância entre o local de recarga e do furo de extracção de água mais próximo, em função do método de recarga, com o objectivo de assegurar que a água a captar no aquífero se apresenta isenta de patogénicos, nomeadamente vírus entéricos [Asano, 1992; Asano & Cotruvo, 2004]. Em 2004, no denominado Title 21, o DOHS obriga a que, qualquer projecto de recarga de águas subterrâneas com águas residuais deva incluir um Plano de Controlo da Qualidade da Água, que preveja um inventário dos compostos descarregados nos colectores e assim possibilite o controlo de poluição da água na origem. O mesmo documento exige também,

---

<sup>18</sup> A expressão «reutilização indirecta para fins potáveis» é mais utilizada especificamente para o reforço do volume de águas superficiais captadas para potabilização.

entre outros requisitos, que o contributo das águas residuais tratadas para o volume de água extraído do aquífero não ultrapasse 50%.

Além da Califórnia, os Estados norte-americanos da Florida, Havai e Washington possuem regulamentação específica para a reutilização de águas residuais tratadas na recarga de aquíferos. No Quadro 4-13 apresenta-se uma síntese da regulamentação em vigor nos referidos Estados [US EPA, 2004] para recarga de aquíferos utilizados para usos não potáveis. Estes Estados possuem regulamentação para recarga de aquíferos destinados a origem de água para consumo humano.

No âmbito das suas normas para reutilização da água em adiantada fase de preparação, a Austrália inclui normas para a reutilização para recarga de aquíferos, que se prevê constituírem um exemplo interessante, numa abordagem integrada – que combina a gestão dos riscos, a prevenção de impactos adversos irreparáveis, a demonstração e monitorização para um contínuo avanço do conhecimento e ainda o princípio da precaução – assente em informação sobre um conjunto de barreiras múltiplas para protecção das águas subterrâneas em cada projecto de recarga de aquíferos com águas residuais tratadas [Dillon *et al.*, 2000], a saber:

- Identificação das fontes de poluição que descarregam na rede de drenagem de águas residuais;
- Selecção do aquífero a recarregar, atendendo à sua utilização;
- Tempo de retenção da água no aquífero;
- Tratamento antes da recarga;
- Plano de manutenção e de contingência;
- Tratamento da água extraída do aquífero.

Quadro 4-13 – Requisitos de qualidade de água para reutilização na recarga de aquíferos

	Califórnia	Flórida	Havai	Washington
Tratamento	DCC	Secundário e desinfecção «básica»	DCC	Oxidação, coagulação, filtração, desinfecção
CBO <sub>5</sub>		DCC		5 mg/L
SST		10 mg/L		5 mg/L
Turvação		DCC		Média: 2 UNT
				Max: 5 UNT
Coliformes totais		DCC		Média: 2,2/100 mL
				Máx: 23/100 mL
Azoto		12 mg/L	DCC	

A literatura refere descrições da *performance* de muitos casos concretos de recarga de aquíferos, mas poucos exemplos de recomendação de critérios de qualidade de águas residuais tratadas para a recarga.

A OMS publicou em 2003 uma compilação do estado da arte em matéria de riscos sanitários associados à recarga de aquíferos, como primeiro passo para uma futura recomendação. Nesta publicação, o princípio geral defendido é o de que devem ser identificados os aquíferos utilizados ou a utilizar para fins potáveis, os quais devem ser recarregados apenas com água com características de qualidade de água para consumo humano, enquanto que os aquíferos utilizados para fins não potáveis, como por exemplo a rega sem restrições, podem ser recarregados com água com qualidade para rega sem restrições. A OMS considera, tal como o Title 21 da Califórnia, que a redução da concentração de poluentes e de microrganismos patogénicos verificada ao longo do trajecto das águas residuais pela zona não saturada do solo deve ser tida em consideração como um factor adicional de segurança do tratamento das águas residuais.

A inexistência de normas de qualidade da água para a recarga de aquíferos não constitui impedimento da implementação de projectos com esta finalidade: cada projecto de recarga de aquíferos por meio da reutilização de águas residuais tratadas deve ser objecto de estudos rigorosos e exaustivos, nas diversas vertentes, designadamente a hidrogeologia do local, a avaliação da qualidade da água a introduzir no aquífero, a avaliação dos impactes ambientais.

No que concerne aos requisitos de qualidade das águas residuais tratadas utilizadas na recarga de aquíferos, devem considerar o contexto do aquífero, nas seguintes vertentes:

- a) Utilização do aquífero: para extracção de água destinada a consumo humano (o que determina que a protecção da saúde pública seja o objectivo primordial) ou para utilizações não potáveis (o que atenua os requisitos relativos à protecção da saúde pública).
- b) Características hidrogeológicas do aquífero: é fundamental conhecer as suas fronteiras e se é utilizado ou há possibilidade de contacto com aquíferos usados para água para abastecimento público, situação em que a abordagem deve ser conservativa, na perspectiva da salvaguarda da saúde pública.
- c) Possibilidade de tratamento das águas residuais pela sua percolação através da camada não saturada do solo.

No estudo da qualidade da água para recarregar o aquífero, os parâmetros de qualidade da água mais relevantes são, conforme referido em 3.6.2, os seguintes:

- a) Parâmetros microbiológicos (bacteriológicos e virulógicos);
- b) Parâmetros químicos que afectam a saúde, como metais pesados e compostos orgânicos persistentes, como pesticidas, que podem estar presentes em teores vestigiais;
- c) Constituintes que possam precipitar, contribuindo para a colmatção dos interstícios do solo, diminuindo, por consequência, a taxa de infiltração na recarga do aquífero, como é o caso dos fosfatos e de carbonatos, hidróxidos e sulfatos;
- d) O teor de sólidos dissolvidos, que podem contribuir para o aumento da salinidade do aquífero;
- e) Compostos de azoto.

## 4.8 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização em usos recreativos e ambientais

As águas residuais tratadas podem ser reutilizadas em aplicações recreativas, como a produção artificial de neve e a alimentação de lagos e lagoas naturais e artificiais, com vista à prática de actividades recreativas, como a pesca e desportos náuticos (canoagem, natação e outros).

A reutilização da água para fins ambientais corresponde à conservação ou reabilitação de zonas húmidas que constituem habitats de vida selvagem, consistindo também, em certa medida, numa aplicação da reutilização da água para uso recreativo, embora restrito, que consiste na observação da vida selvagem ou no uso da água para a pesca.

Conforme descrito em 3.7.1, a reutilização da água para usos recreativos pode ser classificada como de **uso recreativo restrito** ou de **uso recreativo não restrito**, consoante o contacto da água com o público é ou não passível de ser controlado, desde que sejam observadas boas práticas de aplicação. Como exemplo de aplicações de reutilização de águas residuais tratadas em usos recreativos não restritos citam-se a alimentação de lagos e lagoas para a prática de desportos náuticos e banhos, destacando-se as actividades piscícolas e aquícolas entre as aplicações de uso recreativo restrito.

A turvação, o teor de SST e de coliformes fecais são os parâmetros de qualidade mais relevantes no âmbito da reutilização de águas residuais tratadas para usos recreativos e ambientais, aos quais se pode ainda acrescentar os metais pesados e compostos orgânicos residuais, pois tendem a acumular-se em níveis elevados nos tecidos de alguns membros da cadeia alimentar, como os peixes e as aves. O pH, o OD e os nutrientes também podem ser parâmetros de interesse relevante.

No Quadro 4-14 apresentam-se critérios de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização em usos recreativos e ambientais [adaptado de EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007].

Quadro 4-14 – Requisitos de qualidade da água a reutilizar para diversos usos ambientais e recreativos (valores máximos admissíveis) (adaptado de [US EPA 2004; Asano *et al.*, 2007])

Parâmetro	Unidades	Tipologia de uso		
		Ambiental	Recreativo	
			Não restrito	Restrito
Amónio	mg/L	2		
Cloro residual	mg/L	0,1	1	
Coliformes fecais	UFC/100 mL	não detectável <sup>1</sup> a 75	não detectável <sup>1</sup> a 75	800
CBO <sub>5</sub> mg/L	5 – 20	5	30	
Fósforo total (mg/L)	mg/L	2	-	-
pH	6 – 9	6 – 9	6 – 9	
SST mg/L	20	30	30	
Turvação	UNT		2	5
Tratamento mínimo		Secundário, terciário	Secundário, terciário, afinação, desinfecção	Secundário, terciário, afinação, desinfecção

<sup>1</sup> Sempre que se admitir o contacto directo com o público.

#### 4.9 Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas para reutilização em usos urbanos não potáveis

Na categoria de reutilização de águas residuais tratadas para usos urbanos não potáveis incluem-se aplicações muito diversas: combate a incêndios, descarga de autoclismos, construção, varrimento de colectores, lavagem de pavimentos, passeios e vias, lavagem de espaços e equipa-

mentos de apoio à construção, humedecimento do solo em obras de terra, controlo de poeiras, produção de materiais de construção (por exemplo, cimento e estuque), fontes e espelhos de água, sistemas de ar condicionado, lavagem de equipamentos e meios de transporte (veículos, comboios e aviões) e fusão de neve, as quais, naturalmente, requerem água com diferentes características de qualidade.

Algumas aplicações, como a construção pesada e a fusão de neve, podem ser compatíveis com efluentes secundários, desde que utilizados de acordo com práticas correctas para protecção dos operadores, enquanto outras, como água reutilizada para descarga de autoclismos, condicionamento de ar, combate a incêndios, são mais restritivas do ponto de vista da sua qualidade, pois devem apresentar características de qualidade que não favoreçam o crescimento de biofilmes nas paredes das tubagens, corrosão, incrustações e riscos para a saúde pública. Os parâmetros de qualidade mais relevantes para avaliação da qualidade da água à luz do seu potencial para originar estes inconvenientes são (ver 3.8.2): sólidos em suspensão, pH, turvação, coliformes totais e fecais, sólidos dissolvidos, alcalinidade, azoto (amoniaco e nítrico), sílica e cálcio.

As normas ou critérios de qualidade para reutilização da água em usos urbanos não potáveis são muito escassas e, logicamente, foram desenvolvidas em países onde tais aplicações são mais abundantes. Por isso, a abordagem mais prática reside na especificação de valores máximos para os parâmetros de qualidade relevantes, consoante se trata de reutilização em usos urbanos com restrições ou sem restrições de acesso e contacto humano.

São exemplos de aplicações de uso sem restrição: a lavagem de pavimentos, passeios e vias, a lavagem de colectores, a lavagem de espaços e equipamentos de apoio à construção, humedecimento do solo em obras de terra, controlo de poeiras, produção de materiais de construção (e.g., cimento e estuque), rega de espaços verdes de acesso livre, fontes e espelhos de água, sistemas de ar condicionado e combate a incêndios. Nas aplicações de uso urbano com restrição de acesso e de contacto humano incluem-se: a rega de espaços verdes de acesso condicionado, lavagem de veículos e autoclismos.

No Quadro 4-15 apresentam-se as características máximas de qualidade a admitir para os usos considerados de acordo com indicações de EPA (2003) e Asano *et al.* (2007) que, em alguns casos, são mais exigentes que os verificados no Decreto-lei n.º 236/98.



Quadro 4-15 – Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas a reutilizar para diversos usos urbanos (valores máximos admissíveis na água) [adaptado de EPA, 2003; Asano *et al.*, 2007]

Parâmetro	Uso não restrito		Uso restrito	
	Lavagem pavimentos, passeios e vias	Rega de espaços verdes de acesso livre	Sanitários	Rega de espaços verdes de acesso condicionado
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	10	10	45	45
Cloro residual (mg/L)	livre	0,1	0,1	0,1
	combinado	0,3	0,3	1
Coliformes fecais (UFC/100 mL)	Não detectável	Não detectável	Não detectável	100
Odor	Não detectável	Não detectável	Não detectável	Não detectável
pH	6 – 9	6 – 9	6 – 9	6 – 9
SST (mg/L)		20	45	45
Turvação (NUT)	2	2	2	2
Tratamento mínimo necessário	Secundário, desinfecção	Secundário, terciário, desinfecção	Secundário, desinfecção	Secundário, terciário

Apresenta-se no Quadro 4-16 uma sùmula dos requisitos de qualidade típicos para esta finalidade [adaptado de Asano *et al.*, 2007 e de EU, 2006], bem como os requisitos adoptados para a lavagem de ruas, muito semelhantes aos da água para descarga de autoclismos.

A análise comparativa dos escassos exemplos de regulamentação relativa a reutilização de águas residuais tratadas para usos urbanos não potáveis revela uma divergência tanto nos parâmetros de avaliação seleccionados como nos valores recomendados, evidenciando ainda uma abordagem conservativa, resultante do reduzido número de casos.

As aplicações de reutilização de ART em usos urbanos não potáveis que se perspectivam como de desenvolvimento mais imediato em Portugal incluem a lavagem de ruas, de veículos e de colectores, o combate de incêndios, a construção civil pesada e o embelezamento urbanístico, através de fontes e jogos de água.

A reutilização para descarga de autoclismos, apesar de representar uma parcela importante no consumo doméstico (da ordem de 30% do consumo total por habitação, segundo a USEPA, 1992), afigura-se como uma aplicação de desenvolvimento a médio prazo, em virtude de elevado custo de investimento inicial, determinado pela necessidade de construção de

rede predial dupla para abastecimento e de só se tornar economicamente interessante em projectos a construir de raiz.

De entre as aplicações citadas, é possível distinguir aquelas que requerem elevada qualidade, compatível com o acesso sem restrições de pessoas e as que podem admitir água menos tratada, desde que a sua utilização se pratique de forma a restringir o contacto da água com o corpo humano. Assim, em Portugal as aplicações de reutilização de águas residuais tratadas para usos urbanos não potáveis sem restrições podem incluir: a lavagem de ruas e passeios, a lavagem de veículos, o embelezamento urbanístico e o combate a incêndios. A lavagem de colectores, o controlo de poeira em obras de construção civil, podem utilizar efluentes secundários, desde que sejam tomadas medidas, como equipamento de protecção adequado, para que a utilização dessas águas não implique contacto com o corpo humano.

Quadro 4-16 – Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas utilizadas em edifícios (descarga de autoclismos e água de serviço) e na lavagem de ruas

Parâmetro	Unidade	Descarga de autoclismos	Lavagem de ruas
Coliformes totais	UFC/100 mL	0 – < 100	não detectável
Coliformes fecais	UFC/100 mL	< 10	não detectável
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/mL	< 1	-
Turvação	UNT	2	2
CBO <sub>5</sub>	mg/L	< 5	10
OD	% saturação	> 50	-
Cor	% transmitância UV (254 nm)	60	
Odor	-	Ausência de odor desagradável	
Cloro residual	mg/L	0,1 – 0,5	0,1 (livre) 0,4 (combinado)
pH	5,8 – 8,6	5,8 – 8,6	

## 4.10 Conclusões

A crescente prática de reutilização da água tem conduzido necessariamente ao desenvolvimento de regulamentação, sob formas diversas, como normas, recomendações e regulamentos. Os países desenvolvidos que se debatem com escassez de recursos hídricos têm sido os pioneiros na publicação de regulamentação tendente a enquadrar a boa prática de

reutilização da água, como o atestam diversos estados norte-americanos, entre os quais se destaca o estado da Califórnia, que publicou as primeiras normas de reutilização de água para rega, Israel e a França, entre outros. Portugal dispõe já de uma norma relativa a reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola e paisagística (NP 4434).

A reutilização de água para rega agrícola é a aplicação sobre a qual existe mais regulamentação, correspondendo também àquela que reutiliza maior volume de água. O conteúdo dos documentos regulamentares pode consistir simplesmente num conjunto de valores de concentração de constituintes admitidos na água a reutilizar, pode conter ainda requisitos relativos ao tratamento das águas residuais, à metodologia sobre a sua reutilização e até à monitorização do processo de reutilização.

Os requisitos de qualidade microbiológica são o traço comum à generalidade da regulamentação sobre reutilização da água, em qualquer das aplicações, evidenciando a importância que a salvaguarda da protecção da saúde pública assume na especificação da qualidade das águas residuais tratadas para reutilização.

O Quadro 4-17 resume os critérios de qualidade recomendados para reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola e paisagística (constantes da NP 4434), usos industriais, recarga de aquíferos, usos recreativos e ambientais e usos urbanos não potáveis. De salientar que os parâmetros para os quais não são recomendados valores de concentração limite neste quadro são parâmetros menos relevantes para a utilização em causa, cujos valores poderão ser analisados caso a caso.

Quadro 4-17 – Critérios de qualidade recomendados para reutilização de águas residuais tratadas em Portugal

	CBO <sub>s</sub>	SST	SDT	Azoto	Fósforo	Dureza	Alcalini- dade	Outros	Fe	SiO <sub>2</sub>	Turvação	Coliformes fecais	Ovos de helmintas
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L P)	(mg/L CaCO <sub>3</sub> )	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(UNIT)	(UFC/100 mL)	(n <sup>o</sup> /L)		
Unidades													
<b>REGA AGRÍCOLA E PAISAGÍSTICA</b>													
Produtos hortícolas de consumo em cru							5						
Espaços verdes de contacto directo com o público							pH, Ca <sup>2+</sup> , Al, As <sup>3+</sup> , Ba, Be, Bi, Cd		5			10 <sup>6</sup>	1
Produtos hortícolas de consumo após processamento, pastagens, vinha, pomares		20 – 60	640	50 <sup>a</sup> até VL	2 – 3		Pb, Cl, Co, Cu, Cr, Sn, F, Li, Mn, Mo, Ni, Se, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , V, Zn		5		10	200	1
Searas, culturas industriais, floresta e espaços verdes de acesso controlado									5		NR	10 <sup>6</sup>	1
<b>INDÚSTRIA</b>													
<b>Uso industrial não restrito</b>													
Sistemas de arrefecimento	25	5 – 30	500*	NR – 20					0,5	25 – 50	1 – 50	0 – 2x10 <sup>6</sup>	NR – 0,1
Caldeiras de aquecimento				0,1		0,5 – 1	100		0,01 – 1	10			
<b>Uso industrial restrito</b>													
Têxtil		0-5	100 – 200			0 – 50			0,1 – 0,3		0,3 – 5		
Papel		10 – 40	275 – 1000			100 – 200	75 – 150		0,1 – 0,3	10 – 100			
Processo e de Lavagem	-	35	-								15	10 <sup>6</sup>	
<b>RECARGA DE AQUIFEROS</b>	20	5 – 35	ND	10 <sup>6</sup> )							2	0 – 10 <sup>6</sup> **	
<b>USOS AMBIENTAIS E RECREATIVOS</b>													
Uso ambiental	20	20		2 <sup>b)</sup>	3						2	ND – 75	ND
Uso recreativo restrito	30	30									2	ND – 800	ND
<b>USOS URBANOS NÃO POTÁVEIS</b>													
Uso não restrito	10	20											

Quadro 4-17 – Critérios de qualidade recomendados para reutilização de águas residuais tratadas em Portugal] (Cont.)

	CBO <sub>5</sub>	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	Azoto	Fósforo (mg/L P)	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Alcalini- dade	Outros (mg/L)	Fe	SiO <sub>2</sub>	Turvação (UNT)	Coliformes fecais (UFC/100 mL)	Ovos de helminthas (n°/L)
Unidades													
Lavagem de ruas	10	20	-	-		-	-		-	-	10	200	1
Lavagem de veículos	10	20	-	-		-	-		-	-	10	200	1
Combate de incêndios	10		-	-		-	-		-	-	10	200	1
Descarga de autoclismos	-	10									2	0 – 10	1
Uso restrito	45	45										NDI	ND – 100 <sup>9)</sup>

<sup>1)</sup> Como N-NH<sub>4</sub>; <sup>2)</sup> Rega de espaços verdes de acesso condicionado; <sup>3)</sup> Como N-NO<sub>3</sub>; <sup>4)</sup> Como N-total; 15 mg/L entre 10 000 e 100 000 e.p.; 10 mg/L para mais de 100 000 e.p.; <sup>5)</sup> ver NP 4434; VL – Valor a definir caso a caso pela autoridade licenciadora; \* Depende do tipo de sistema de arrefecimento; \*\* Depende de ser por percolação ou injeção directa; ND – Não Detectável; NR – Não Requerido.



## **5 O CONTEXTO LEGAL E INSTITUCIONAL DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS**

### **5.1 Objectivos do capítulo**

O desenvolvimento um sistema de reutilização de águas residuais tratadas para uma ou várias finalidades passa por diversas fases, abrangidas por enquadramentos legais e institucionais frequentemente análogos aos da implementação de outros projectos hidro-ambientais, mas também com alguns aspectos específicos, a que o actual quadro legal e institucional nem sempre dá cabal resposta. Se, por um lado, a indefinição se pode atribuir ao ainda reduzido número de casos práticos existentes no país, já que, de um modo geral, é a prática que induz a necessidade de legislar, por outro, é inibidora da realização de mais projectos.

Pretende-se neste capítulo identificar as peças legislativas e as instituições relevantes ao longo das diversas fases de implementação de um sistema de reutilização, bem como as falhas e omissões que devem ser objecto de clarificação, com vista a permitir o desenvolvimento dos sistemas de reutilização de água para as diversas aplicações com viabilidade em Portugal.

### **5.2 A reutilização da água no contexto internacional**

A reutilização da água é considerada uma componente estratégica da conservação dos recursos hídricos pela mais alta instância mundial – a Organização das Nações Unidas (ONU) – e pela União Europeia (UE) e, portanto, também pelos seus Estados-Membros, incluindo Portugal.

Basta referir a Agenda 21 [ONU, 1992 e 2002], plano de acção de implementação global, nacional e local, subscrito por 178 governos na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro, em 1992, e reafirmado na Cimeira Mundial de Joanesburgo, em 2002. O capítulo 18, dedicado à protecção dos recursos de água doce numa perspectiva integrada do respectivo uso e gestão, apela à implementação da reutilização de águas residuais, designadamente na agricultura, como instrumento de prevenção e controlo da poluição, desenvolvi-

mento e aplicação de tecnologias limpas e forma de combate à degradação e depleção dos recursos hídricos, importante para um desenvolvimento sustentável tanto do meio urbano como do rural.

O Protocolo sobre Água e Saúde da Convenção das Nações Unidas de 1992 sobre a Protecção e a Utilização dos Cursos de Água Transfronteiriços e dos Lagos Internacionais, que tem por objectivo promover a saúde e bem-estar das pessoas num quadro de desenvolvimento sustentável através de uma melhor gestão da água, estabelece a necessidade de definir objectivos de qualidade de águas residuais tratadas para rega.

No quadro das políticas comunitárias, o quinto programa de acção da Comunidade Europeia em matéria de ambiente (1987/1992)<sup>19</sup> identificava a prevenção da poluição como um dos domínios prioritários de acção, objectivo a atingir, designadamente, pelo melhoramento dos recursos hídricos e da gestão das águas, em particular através da redução da poluição das águas, da protecção das bacias de captação e do incentivo à reutilização das águas residuais.

Também o programa específico de investigação, desenvolvimento tecnológico e demonstração no domínio «Energia, ambiente e desenvolvimento sustentável» (1998-2002)<sup>20</sup> identificou a gestão sustentável e qualidade da água como acção-chave, preconizando a investigação no domínio das técnicas de prevenção e tratamento da poluição das superfícies aquáticas e das reservas hídricas subterrâneas, de depuração da água e de utilização e/ou reutilização racional da água (nomeadamente através de abordagens que privilegiem os circuitos fechados e da fiabilidade das redes de recolha e distribuição).

Tendo em vista a implementação das referidas políticas comunitárias, o Programa LIFE tem vindo a financiar diferentes projectos de reutilização de águas residuais.

Ao nível das normas comunitárias especificamente dirigidas aos Estados-Membros, o princípio da reutilização da água está claramente afirmado no artigo 12.º da Directiva 91/271/CEE<sup>21</sup> relativa ao tratamento de águas

---

<sup>19</sup> Resolução do Conselho e dos Estados-membros n.º 87/C 328/01, de 19 de Outubro de 1987.

<sup>20</sup> Decisão do Conselho n.º 1999/170/CE, de 25 de Janeiro de 1999.

<sup>21</sup> Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio, alterada Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio (transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho).



residuais urbanas, o qual refere que os **Estados Membros devem reutilizar as águas residuais tratadas sempre que apropriado**. Embora a expressão «sempre que apropriado» não tenha sido objecto de definição legal, pode ser entendida como preconizando a reutilização de águas residuais tratadas pela forma que cada Estado-Membro entender, desde que tal não seja proibido por qualquer outra legislação comunitária, não comprometa a implementação de compromissos internacionais e não ponha em causa a prossecução dos objectivos da política ambiental da UE.

A Directiva 2000/60/CE<sup>22</sup> – Directiva Quadro da Água (DQA) – peça legislativa fundamental na política da água na UE, estipula diversos objectivos para a protecção das águas, em termos de quantidade e qualidade, e para a promoção de uma utilização sustentável da água. A reutilização, enquanto processo que reduz a descarga nas massas de água superficiais e subterrâneas de poluentes contidos nas águas residuais (mesmo se tratadas), é identificada como uma das medidas suplementares que pode ser adoptada pelos Estados-Membros, integrada no programa de medidas, com vista à prossecução dos objectivos ambientais.

Além das duas citadas directivas da UE que contêm o princípio da reutilização da água, outras directivas podem ser relevantes para a reutilização da água, nomeadamente as directivas relativas aos usos da água, cujos requisitos têm que ser observados quando a água é reutilizada para esses usos (águas balneares, água para consumo humano, águas piscícolas, etc.) e à protecção do ambiente (das águas superficiais e subterrâneas, do solo, dos habitats), conforme indicado no Quadro 5-1, que também apresenta os diplomas que as transpõem para a ordem jurídica nacional.

Outras directivas poderão ter incidências menos directas sobre sistemas de reutilização de águas residuais, nomeadamente as seguintes: Directivas n.º 85/337/CEE e 97/11/CEE relativas à avaliação de impactes ambientais, Directiva n.º 2004/35/CE relativa à responsabilidade ambiental, que estabelece uma estrutura de prevenção e reparação de danos ambientais (sobre a água, o solo e a biodiversidade). A eventual relevância destes regimes para a reutilização será brevemente descrita na secção 5.3.3, a propósito dos diplomas nacionais que transpõem as citadas directivas.

---

<sup>22</sup> Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro (transposta para a ordem jurídica nacional pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro e pelo Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março).

### 5.3 A reutilização da água no quadro legal português

Os princípios orientadores da política portuguesa de gestão dos recursos hídricos reflectem, necessariamente, os princípios comunitários neste domínio. Os principais suportes legislativos da política nacional da água são: o Plano Nacional da Água (PNA), publicado pelo Decreto-Lei n.º 112/2002, de 17 de Abril, a Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, denominada Lei da Água, que transpõe a DQA, o Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, que estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos, e a Lei n.º 54/2005, de 15 de Novembro, denominada Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos.

De acordo com estes diplomas fundamentais, os recursos hídricos nacionais são geridos no âmbito das bacias hidrográficas, devendo ser utilizados de forma sustentável, assegurando o bom estado ecológico das águas e a promoção da melhoria da sua qualidade, princípio que implicitamente estimula a reutilização da água.

A reutilização de águas residuais, não sendo imposta como obrigatória, é expressamente afirmada como uma prática a incentivar e a seguir sempre que possível e adequado, não só em diplomas que definem políticas públicas, nomeadamente o Programa de Acompanhamento e Mitigação dos Efeitos da Seca 2005, aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 83/2005, de 19 de Abril, o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, de 30 de Junho, e o Plano Estratégico para o Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II), aprovado pelo Despacho n.º 2339/2007 (2.ª série), de 28 de Dezembro de 2006, mas também em diplomas que directamente disciplinam as actividades dos agentes económicos, designadamente o diploma que transpõe a Directiva 91/271/CE, relativa ao tratamento das águas residuais urbanas (Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Maio) e o regime da utilização dos recursos hídricos (Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio).

O Decreto-Lei n.º 152/97 e o Decreto-Lei n.º 226-A/2007 preconizam a reutilização como alternativa à descarga no meio hídrico por parte dos sistemas de recolha e tratamento de águas residuais, sempre que possível ou adequado. Este último diploma estabelece ainda que a captação de águas públicas, quando destinada, nomeadamente, a rega de jardins, espaços públicos e campos de golfe, será, sempre que possível, utilizada como complemento de outras origens de água, designadamente o aproveitamento de águas residuais urbanas devidamente tratadas para o

efeito ou a reutilização das águas resultantes das escorrências da rega do próprio campo. A possibilidade de reutilização deve assim ser equacionada tanto no licenciamento das descargas de águas residuais como da captação de águas públicas para rega.

Se a lei não impõe a obrigação de reutilização, deixando tal decisão para a análise do caso concreto (e da respectiva viabilidade técnica e económica), já alguns actos de licenciamento de projectos têm exigido a implementação de SRART, como medida de minimização de impactes ambientais decidida na sequência de procedimentos de Avaliação de Impacte Ambiental.

Não existe no ordenamento jurídico português um regime especificamente dedicado à actividade da reutilização das águas residuais (como acontece em Espanha, por exemplo<sup>23</sup>), mas apenas escassas normas incluídas nos regimes gerais relativos aos recursos hídricos que regulam aspectos pontuais da reutilização (nomeadamente no que respeita ao procedimento de licenciamento ou aos parâmetros de qualidade).

### **5.3.1 Regras relativas ao licenciamento da actividade**

A utilização das águas residuais tratadas pode ser considerada sob a perspectiva de constituir uma extensão tecnológica do respectivo processo de tratamento, na medida em que consiste numa forma possível de rejeição ou de aproveitamento, em qualquer caso com assinaláveis mais-valias ambientais e incentivada pelo legislador.

A tradicional rejeição no meio receptor (água ou solo) carece de licenciamento, nos termos previstos no Decreto-Lei n.º 226-A/2007 (artigo 48.º e seguintes), pelo que se coloca a questão de saber se a utilização das águas residuais tratadas para outros fins também está sujeita a algum procedimento autorizativo. O princípio norteador para responder a esta questão será o de que, havendo riscos/impactos associados à utilização de águas residuais, a mesma não pode ser feita livremente, devendo ser sujeita a um controlo prévio das autoridades responsáveis pela protecção dos bens que podem ser afectados (água, solo, saúde pública, etc.). Este controlo prévio à implementação de um SRART (sob a forma de licença ou autorização) servirá para garantir que o promotor do projecto dispõe de infra-estruturas capazes de tratar as águas residuais até níveis de qualidade pré-definidos para a reutilização em causa, mas também para estabelecer obrigações a cumprir pela entidade gestora durante a explora-

---

<sup>23</sup> Real Decreto 1620/2007, de 7 de Dezembro.

ção do SRART, designadamente os padrões de qualidade da água a reutilizar, eventuais restrições quanto ao modo de utilização das águas residuais ou programas de monitorização de impactes ambientais.

O Decreto-Lei n.º 236/98 (artigo 58.º) define regras próprias para a utilização de águas residuais tratadas na rega que reflectem este princípio:

- A utilização das águas residuais na rega das culturas agrícolas e florestais está condicionada ao licenciamento pela Administração de Região Hidrográfica (ARH) e depende do parecer favorável da Direcção Regional de Agricultura (DRAg) e do Delegado Regional de Saúde (DRS).
- A utilização de águas residuais na rega de jardins públicos (rega paisagística) depende de autorização da ARH, mediante parecer favorável da autoridade de saúde competente.

Ainda que aquele diploma não o disponha expressamente, constitui entendimento da Direcção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Regional que o pedido de licenciamento para utilização de águas residuais tratadas na rega (à semelhança do que se passa com a utilização agrícola de lamas de depuração<sup>24</sup>) deve ser apresentado pela entidade responsável pela ETAR, acompanhado de um plano de gestão em que deve constar, entre outros aspectos, o volume produzido, as características químicas, físicas e biológicas das águas residuais tratadas e dos solos, as dotações de rega à parcela e épocas de aplicação. Aliás, a NP 4434 preconiza igualmente estas medidas, bem como a monitorização do sistema.

A recarga de aquíferos, na medida em que constitui uma utilização do domínio hídrico, encontra-se sujeita a um regime de licenciamento, conforme estabelecido na Lei da Água (artigo 60.º e 62.º) e no Decreto-Lei n.º 226-A/2007 (artigo 58.º e seguintes), o qual será aplicável independentemente de se utilizarem águas residuais tratadas ou outras.

A utilização de águas residuais para usos recreativos e ambientais também poderá corresponder a uma utilização do domínio hídrico (público ou privado), quando esteja em causa a alimentação de lagos e lagoas, a conservação ou reabilitação de zonas húmidas ou o reforço de caudais de cursos de água. Nestes casos, será aplicável o regime geral de licenciamento da rejeição de águas residuais previsto na Lei da Água (alínea b do n.º 1 do artigo 60.º e alínea a do n.º 2 do artigo 62.º) e no Decreto-Lei n.º 226-A/2007 (artigo 48.º e seguintes).

<sup>24</sup> Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho.

As licenças referentes às utilizações do domínio hídrico acima mencionadas são emitidas pela ARH territorialmente competente (salvo delegação em autarquia local ou no Instituto de Conservação da Natureza e da Biodiversidade) através de pedido apresentado pelo promotor, acompanhado dos elementos previstos na Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro.

A utilização de água não potável em redes prediais próprias está sujeita a autorização da entidade gestora do sistema público de abastecimento de água, nos termos previstos no Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto (artigo 86.º). Este diploma apenas permite tal autorização para lavagem de pavimentos, rega, combate a incêndios e fins industriais não alimentares, desde que salvaguardadas as condições de defesa da saúde pública, limitando assim as possibilidades de reutilização para usos urbanos não potáveis (excluindo, por exemplo, as descargas de autoclismos), o que reflecte alguma desactualização do referido decreto regulamentar face ao actual contexto.

A legislação em vigor é omissa relativamente às restantes possíveis utilizações de águas residuais tratadas. Dir-se-á, porém, que sempre que a utilização implique exposição dos trabalhadores ou do público, e consequentemente possível risco para a saúde pública, devem ser consultadas as autoridades de saúde competentes: o Delegado Regional de Saúde, em articulação com o Delegado Concelhio de Saúde.

Por outro lado, a lei também não se pronuncia explicitamente sobre quem deve requerer a autorização/licenciamento da utilização nas situações em que o tratamento das águas residuais, de forma a torná-las aptas a reutilização, seja realizado por entidade distinta do respectivo utilizador final. Uma vez que a entidade responsável por uma ETAR deve assegurar o destino final adequado das águas residuais aí tratadas (seja a reutilização ou a rejeição no meio final), sendo essa entidade que controla o nível de tratamento aplicado, dir-se-á que não pode deixar de informar a ARH do destino final das águas residuais por si tratadas. E, em função do destino final (rega ou outros usos) e respectivos impactes, poderá ter de prestar contas igualmente à DRAg e às autoridades de saúde. Esta é de resto a filosofia já utilizada na lei para a utilização agrícola das lamas de depuração<sup>25</sup>, que poderá ser transportada por analogia para este domínio.

O Instituto da Água, no âmbito dos trabalhos de implementação do Sistema Nacional de Informação de Títulos de Utilização dos Recursos Hídricos, encontra-se a promover a definição de critérios de atribuição de

<sup>25</sup> Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho.

licenças de descarga, bem como de boas práticas para situações não sujeitas a licenciamento.

### **5.3.2 Requisitos de qualidade**

As exigências legais relativamente aos parâmetros de qualidade a que devem obedecer as águas residuais para reutilização variam em função da aplicação que lhes for dada.

Se a reutilização for susceptível de afectar as características de águas subterrâneas ou superficiais, como é o caso da rega agrícola e paisagística, da recarga de aquíferos, de determinados usos ambientais (conservação de *habitats*) e recreativos (alimentação de lagos para a pesca e os desportos náuticos), as águas residuais devem ter um nível de tratamento que garanta o respeito dos padrões de qualidade estabelecidos para tais águas em função dos usos a que estão destinadas. Nesse sentido, o Decreto-Lei n.º 236/98 constitui uma referência legal importante nos SRART sob este aspecto, pois estipula os padrões de qualidade da água para diversas finalidades: águas doces superficiais e águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano, águas doces superficiais para fins piscícolas, águas balneares e águas de rega.

O Decreto-Lei n.º 236/98 impõe ainda métodos analíticos de referência e frequência mínima de amostragem das águas destinadas a rega (capítulo XVI).

Quando não exista legislação directamente aplicável, os parâmetros de qualidade, obrigações de monitorização e reporte serão definidos caso a caso pela autoridade licenciadora. Sempre que a reutilização seja susceptível de ter impactos na saúde pública é importante consultar e reportar os resultados do controlo da qualidade da água às autoridades de saúde (ainda que esta não seja a entidade responsável pelo licenciamento). Os requisitos de qualidade definidos nas normas e recomendações descritas no capítulo 4, ainda que sem valor jurídico, podem constituir um importante auxílio no preenchimento das lacunas da lei.

### **5.3.3 Outros regimes legais com relevância para SRART**

Para além das normas legais acima identificadas, o desenvolvimento de um SRART terá de obedecer a um conjunto muito mais vasto de legislação, como qualquer outro projecto de obras hidráulicas e ambientais, que não cabe descrever no presente Guia, por não ser específico da actividade de reutilização.

De todo o modo, merece a pena fazer referência a dois diplomas que, não contendo uma previsão especial para os SRART, poderão ser-lhes frequentemente aplicáveis em função do tipo de infra-estruturas e riscos ambientais associados.

O Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio, com última redacção dada pelo Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de Novembro, que estabelece o regime jurídico da avaliação de impacte ambiental (transpondo as Directivas n.º 85/337/CEE, 97/11/CEE e 2003/35/CE), exige que os projectos, públicos ou privados, susceptíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente, sejam sujeitos a uma avaliação de impacte ambiental (AIA)<sup>26</sup> previamente à respectiva autorização ou licenciamento. Uma Decisão de Impacte Ambiental negativa impede a realização do projecto.

Em regra, estão sujeitos a AIA os projectos identificados nos anexos I e II do diploma acima citado, mas a entidade licenciadora pode ainda sujeitar a tal procedimento outros projectos, quando os considerar susceptíveis de provocar impacte significativo no ambiente, em função da localização, dimensão ou natureza (de acordo com critérios estabelecidos neste diploma).

De entre os projectos sujeitos a AIA, os seguintes podem abranger SRART (hipótese em que os possíveis impactes da reutilização devem ser identificados):

- Estações de tratamento de águas residuais em função da capacidade e da localização em áreas sensíveis;
- Recarga artificial de lençóis freáticos em função do volume anual de água de recarga e da localização em áreas sensíveis;
- Barragens e outras instalações concebidas para retenção ou armazenamento permanente de água em função do volume de armazenamento e da localização em áreas sensíveis;
- Projectos de desenvolvimento agrícola, em função da dimensão e da localização, que incluam infra-estruturação de rega e drenagem;
- Determinados projectos de florestação e reflorestação;
- Campos de golfe de 18 buracos ou 45 ha, ou localizados em áreas sensíveis (e independentemente da dimensão);

---

<sup>26</sup> A AIA corresponde a um procedimento sustentado na realização de estudos e consultas, com efectiva participação pública e análise de possíveis alternativas, que tem por objecto a recolha de informação, identificação e previsão dos efeitos ambientais de determinados projectos, bem como a identificação e proposta de medidas que evitem, minimizem ou compensem esses efeitos, tendo em vista uma decisão sobre a viabilidade da execução de tais projectos e respectiva pós-avaliação.

- Pistas de esqui em função da dimensão ou da localização em áreas sensíveis;
- Fábricas de papel, têxteis e outras em função da capacidade de produção ou da localização em áreas sensíveis.

Na medida em que algumas utilizações de águas residuais tratadas implicam riscos ambientais, cabe ainda referir o Decreto-Lei n.º 147/2008, de 29 de Julho, que estabelece o regime jurídico da responsabilidade por danos ambientais (transpondo a Directiva n.º 2004/35/CE). Nos termos deste diploma, a lesão ou ameaça de lesão de componentes ambientais – a água, o solo e as espécies e *habitats* naturais protegidos –, podem originar a obrigação de indemnizar danos causados a terceiros, bem como de adoptar medidas de prevenção e reparação dos danos ambientais provocados.

Qualquer agente que cause um dano ambiental e, por essa via, cause ainda danos a terceiros com dolo ou mera culpa é responsável pela reparação dos danos causados não só a esses terceiros como ao ambiente (responsabilidade civil e administrativa subjectiva). Os agentes que desenvolvam uma das actividades económicas, públicas ou privadas, identificadas no Anexo III deste diploma são responsáveis na mesma medida ainda que os danos sejam causados sem culpa (responsabilidade civil e administrativa objectiva). Entre outras actividades, este anexo refere-se de forma aparentemente abrangente a descargas para as águas de superfície e subterrâneas, sujeitas a autorização, licença ou registo, embora delimitado pelo regime relativo à poluição causada por substâncias perigosas. Para determinar se um SRART em particular se inclui no Anexo III, sugere-se a consulta à Agência Portuguesa do Ambiente (APA), autoridade competente para efeitos de aplicação deste diploma.

Os operadores que exerçam as actividades enumeradas no Anexo III têm de reportar à APA as medidas de prevenção e reparação adoptadas e propostas e respectiva eficácia, bem como, a partir de 1 de Janeiro de 2010, constituir uma garantia financeira.

Finalmente, cabe ainda fazer referência à Lei n.º 19/2006, de 12 de Junho, que regula o acesso à informação sobre projectos ambientais, transpondo a Directiva n.º 2004/03/CE, o qual pode relevar para efeitos de prestação de informação sobre os SRART.

No Quadro 5-1 apresenta-se um resumo dos principais diplomas em vigor relevantes para cada tipo de reutilização de águas residuais, tanto a nível comunitário como nacional.



Quadro 5-1 – Legislação comunitária e portuguesa com incidência na reutilização de águas residuais tratadas.

Aplicação da reutilização	Incidências na reutilização	Legislação comunitária	Legislação portuguesa
<p><b>Rega agrícola e paisagística</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Protecção da saúde dos trabalhadores e dos consumidores.</li> <li>– Poluição do solo e das águas subterrâneas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Directiva n.º 91/676/CEE – Nitratos.</li> <li>b) Estratégia Temática dos Pesticidas e Mercúrio.</li> <li>a) Directiva n.º 2006/118/CE – protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.</li> <li>c) Directiva do Solo (em preparação).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto – normas, critérios e objectivos de qualidade destinadas a proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.</li> <li>b) Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99, de 11 de Março – poluição das águas por nitratos de origem agrícola.</li> <li>c) Portaria n.º 258/2003, de 19 de Março – carta das zonas vulneráveis à poluição por nitratos.</li> <li>d) Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro – perímetros de protecção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.</li> <li>e) Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro – regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.</li> </ul>
<p><b>Usos industriais</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Protecção da saúde dos trabalhadores e dos consumidores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Directiva n.º 96/61/CE – Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (IPPC/PCIP).</li> <li>b) Directiva 2006/11/CE – substâncias perigosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Decreto-Lei n.º 56/99, de 26 de Fevereiro – valores limite e objectivos de qualidade para a descarga na água e no solo de certas substâncias perigosas.</li> <li>b) Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março – complementa a transposição da DOA.</li> <li>c) Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto – regime jurídico relativo à prevenção e controlo integrados da poluição (licenciamento ambiental).</li> </ul>

Quadro 5-1 – Legislação comunitária e portuguesa com incidência na reutilização de águas residuais tratadas. (Cont.)

Aplicação da reutilização	Incidências na reutilização	Legislação comunitária	Legislação portuguesa
<p><b>Recarga de aquíferos</b></p>	<p>– Protecção da saúde pública se o aquífero for usado como origem de água.</p>	<p>a) Directiva 2000/60/CE – DQA.                      b) Directiva n.º 91/676/CEE – nitratos.                      c) Directiva n.º 2006/118/CE – protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.</p>	<p>a) Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro – Lei da Água.                      b) Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março – complementa a transposição da DQA.                      c) Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio – regime da utilização dos recursos hídricos.                      d) Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99, de 11 de Março – poluição das águas por nitratos de origem agrícola.                      e) Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro – regime de protecção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.</p>
<p><b>Usos recreativos e ambientais</b></p>	<p>– Protecção da saúde pública.                      – Protecção dos ecossistemas.</p>	<p>a) Directiva 2000/60/CE – DQA.                      b) Directiva n.º 91/271/CEE – tratamento de águas residuais urbanas.                      c) Directiva n.º 2006/7/CE – águas balneares.                      d) Directiva n.º 92/43/CEE – habitats.                      e) Directiva n.º 97/11/CE – AIA.</p>	<p>a) Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro – Lei da Água.                      b) Decreto-Lei n.º 77/2006 de 30 de Março – complementa a transposição da DQA.                      c) Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, alterado pelos Decretos-Lei n.º 348/98, de 9 de Novembro, 261/99, de 7 de Junho, 172/2001, de 26 de Maio, 149/2004, de 22 de Junho, e 198/2008, de 8 de Outubro – tratamento de águas residuais urbanas.                      d) Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto – normas, critérios e objectivos de qualidade destinadas a proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.                      e) Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio, alterado pelo Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de Novembro – AIA.</p>
<p><b>Usos urbanos</b></p>	<p>– Protecção da saúde pública.</p>		<p>Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Precipiais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.</p>

### 5.3.4 Principais aspectos omissos na regulamentação legal

Se é verdade que a reutilização da água se encontra prevista nas políticas ambientais da União Europeia e de Portugal, o quadro legislativo e a estrutura institucional são ainda escassos, o que constitui um factor limitativo ao correcto planeamento e implementação de sistemas de reutilização, pela incerteza que cria para os diversos agentes envolvidos.

Um dos primeiros obstáculos que actualmente se coloca, logo na fase do planeamento de um SRART, para algumas aplicações de águas residuais tratadas, reside na indefinição quanto à necessidade de licenciamento ou autorização da reutilização, quanto à entidade responsável por esse licenciamento ou autorização, bem como pela fiscalização da actividade, e ainda quanto ao respectivo procedimento aplicável.

Será igualmente necessário definir parâmetros de qualidade para as águas residuais tratadas adequados a cada tipo de utilização e obrigações de monitorização da qualidade da água, bem como do meio onde é utilizada. As conclusões decorrentes dos resultados da monitorização devem servir não apenas para a caracterização da situação, mas também para basear decisões tendentes à melhoria do sistema de reutilização.

Ainda importante será a definição de critérios de projecto e de construção que prevejam a introdução de múltiplas barreiras, com vista a aumentar o nível de protecção da saúde das pessoas expostas ao contacto com as águas reutilizáveis, como por exemplo: as áreas-tampão para protecção das zonas circundantes do sistema de reutilização, o tipo de acesso público permitido ou regras que evitem a contaminação do sistema de abastecimento de água potável por cruzamento acidental com água reutilizável.<sup>27</sup>

O legislador poderá igualmente debruçar-se sobre outra questão também ainda não expressamente resolvida, que é a da eventual competição pelo exercício da actividade de reutilização. Por uma questão de economia de meios e porque a entidade responsável pelo tratamento de águas residuais deve garantir o seu destino final adequado (rejeição ou reutilização), o tratamento de águas residuais de modo a torná-las aptas a reutilização será feito, em regra, pela entidade responsável por uma ETAR (salvo se o considerar técnica ou economicamente inviável). De todo o modo, poderá haver terceiros interessados em aproveitar as águas residuais provenien-

---

<sup>27</sup>No capítulo 7 apresentam-se recomendações técnicas a considerar na fase de projecto para evitar a ocorrência de cruzamento de redes de abastecimento de água potável com rede de águas residuais tratadas.

tes da ETAR e promover a sua reutilização. A lei espanhola endereça expressamente esta questão, determinando que, em caso de pedidos concorrentes, prevalece o que seja apresentado pelo titular de uma licença de descarga (responsável por uma ETAR).

Face à legislação em vigor, entende a ERSAR (Recomendação n.º 2/2007) que a reutilização deve ser entendida como uma atribuição das entidades gestoras de sistemas de saneamento de águas residuais, que incluam na sua actividade a componente de tratamento, independentemente do modelo de organização. No caso das entidades concessionárias, essa utilização deve ser entendida como uma actividade enquadrada no objecto material da concessão, todavia não sujeita a obrigação de disponibilização do serviço, nem conferindo à concessionária o direito de exclusividade territorial.

Finalmente, recorrendo ao exemplo de Espanha, o legislador poderá interditar alguns usos de águas residuais tratadas, em função dos riscos para a saúde pública ou ambientais envolvidos (o Real Decreto 1620/2007 interdita a reutilização para consumo humano, para a indústria alimentar, para usos em instalações hospitalares, para uso recreativo como água banear, entre outros). Ainda assim, as restrições actualmente constantes do Decreto-Regulamentar n.º 23/95 para o uso de água não potável são demasiado exigentes (apenas permite o uso para lavagem de pavimentos, rega, combate a incêndios e fins industriais não alimentares).

---

## **PARTE II – Estratégia para a Implementação de um Sistema de Reutilização de Água**

---



# 6 METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS

## 6.1 Objectivos do capítulo

Definidos os objectivos de um sistema de reutilização de águas residuais tratadas (SRART), o seu desenvolvimento passa por diversas fases, desde o planeamento, ao que se seguem os estudos e projectos, a construção das infra-estruturas, a sua exploração (operação e manutenção) e finalmente a monitorização do sistema. Tratando-se de sistemas em que há tratamento e transporte de águas residuais, o desenvolvimento de SRART apresenta muitos aspectos inteiramente análogos aos sistemas de águas residuais,<sup>28</sup> embora com determinadas especificidades próprias, inerentes a cada utilização e às características das águas residuais tratadas.

O presente capítulo aborda as diferentes fases de desenvolvimento de um SRART, com particular enfoque sobre os aspectos que diferenciam estes sistemas dos clássicos sistemas de águas residuais.

## 6.2 Fases de implementação de um projecto de reutilização de águas residuais tratadas

### 6.2.1 Definição dos objectivos do projecto

A concretização de um projecto de reutilização de águas residuais tratadas não é um objectivo em si próprio, mas antes um projecto que tem por objectivo solucionar um problema de necessidade de água para determinadas utilizações e/ou proteger as águas superficiais por redução das cargas de efluentes descarregadas. Assim, um requisito fundamental para o bom desenvolvimento do projecto consiste na clara identificação dos objectivos a alcançar, permitindo, se possível, a respectiva quantificação. Haverá, obviamente, um objectivo geral de providenciar uma origem de água alternativa, constituída pelo efluente de uma ou várias ETAR existen-

<sup>28</sup>Entende-se por sistema de águas residuais o conjunto de infra-estruturas de transporte, tratamento e destino final de águas residuais.

tes na área abrangida pelo projecto. Porém, a esse objectivo primordial associam-se **objectivos principais** do projecto, como, por exemplo, a identificação e a caracterização de quais os tipos de utilizações em que será desejável optar por águas residuais tratadas.

Dos objectivos principais decorrem **objectivos secundários**, como seja o de assegurar um abastecimento fiável, em termos de caudal e qualidade da água fornecida ou de providenciar essa qualidade através de um tratamento eficaz pelo mais baixo custo económico.

A formulação dos principais objectivos do projecto deve basear-se na auscultação dos parceiros interessado no projecto, sendo importante considerar todos os objectivos relevantes e não apenas aqueles que se prendem com critérios técnico-económicos [Asano *et al.*, 2007]. As grandes fases de desenvolvimento de um projecto de reutilização de água são, de um modo geral, análogas às do desenvolvimento de qualquer projecto de construção de obras hidráulicas: o projecto inicia-se pela fase de planeamento, seguindo-se a fase de estudos e projectos, depois a fase de construção, e finalmente o licenciamento antes de se iniciar a fase de exploração.

### 6.2.2 Planeamento do projecto

O planeamento é de importância crucial para o sucesso da concretização do projecto, podendo organizar-se o planeamento segundo as fases esquematizadas na Figura 6-1. Na fase de planeamento devem ser identificadas, de forma antecipada, as questões fulcrais que poderão ser consideradas ao longo do desenvolvimento do projecto.

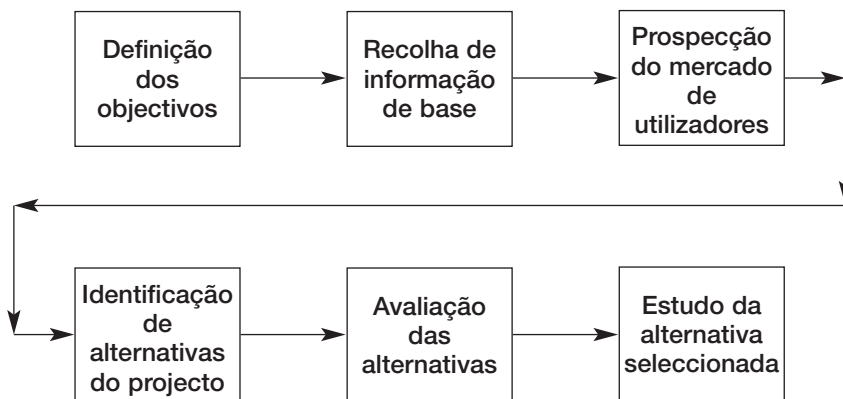


Figura 6-1 – Fases do planeamento de um projecto de reutilização de água



### 6.2.2.1 Informação de base a recolher na fase de planeamento do projecto

Na fase de planeamento são definidos os objectivos concretos a alcançar com a execução do SRART, a área que irá abranger, os possíveis utilizadores, são equacionadas as previsíveis componentes do sistema (as ETAR fornecedoras das águas residuais tratadas, a necessidade de tratamento complementar, o sistema de transporte da água, etc.), são previstos os tipos de impactes ambientais e sócio-económicos, as entidades a consultar, os públicos a auscultar.

A informação de base que é necessário recolher para proceder à definição das questões atrás enunciadas inclui todos ou parte dos aspectos indicados no Quadro 6-1.

Quadro 6-1 – Recolha de dados de base

Dados sobre	Exemplos
Qualidade da água para o(s) uso(s) pretendido(s)	Normas de qualidade em vigor no país, na UE ou em outros países; requisitos de protecção da saúde pública, das águas subterrâneas.
Caracterização da área a servir	Demográfica: população, distribuição espacial e sazonal, taxa de crescimento.
	Sócio-económica: PIB/habitante, distribuição por sectores de actividade (agricultura, comércio, indústria).
	Usos do solo: agricultura, floresta, indústria.
	Clima: precipitação, temperatura, ventos.
	Hidrologia: águas superficiais e águas subterrâneas (quantidade e qualidade, nível freático).
	Geologia: tipo e estrutura das rochas, risco sísmico.
	Entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água.
	Património natural: tipo e estrutura dos ecossistemas; espécies em risco; zonas húmidas naturais.
Património histórico-cultural: sítios arqueológicos, locais de interesse histórico.	
Infra-estruturas existentes e planeadas	Sistemas de abastecimento de água e sistemas de águas residuais existentes: variações de caudal; processos de tratamento; capacidade instalada para transporte, tratamento e armazenamento. Infra-estruturas planeadas.
Sistema institucional	Entidades oficiais com intervenção legal no desenvolvimento do sistema.
Envolvimento do(s) público(s)	Entidades e outros eventuais interessados e/ou potencialmente afectados; formas de comunicação.

### **6.2.2.2 Prospecção do mercado de utilizadores**

Se a reutilização da água não constituir um imperativo das autoridades ambientais e for deixada ao livre arbítrio dos utilizadores, o ponto-chave do processo de identificação de potenciais utilizadores de águas residuais tratadas reside na comparação que o utilizador faz entre o custo unitário da água que consome e o custo unitário que passará a pagar se optar pela reutilização de águas residuais tratadas.

Além do factor custo, outros factores podem intervir no valor que as águas residuais tratadas podem assumir para o utilizador, como por exemplo:

- O grau de satisfação das necessidades quantitativas (incluindo as flutuações sazonais) do utilizador com água do abastecimento tradicional;
- A evolução previsível do custo desta água;
- Um eventual estímulo à reutilização, tanto por força de legislação existente como pela atitude das autoridades envolvidas no sector;
- A própria consciencialização do valor ambiental da reutilização, que cada vez mais constitui um aspecto considerado por muitos potenciais utilizadores que têm preocupações ambientais e optam por implementar processos de certificação ambiental dos seus projectos, ao abrigo dos quais é importante assegurar o empenho na utilização sustentável dos recursos hídricos.

O custo unitário das águas residuais tratadas depende fundamentalmente dos seguintes factores:

- Qualidade do efluente da(s) ETAR comparativamente às características de qualidade pretendidas pelo utilizador;
- Volume de água requerido, estimado para o ano normal e para anos secos e húmidos, bem como para o ano seco considerado crítico;
- Caudal máximo diário requerido pelo utilizador;
- Distância do utilizador à ETAR de onde provêm as águas residuais tratadas.

Na fase de prospecção do mercado dos utilizadores, o promotor do projecto de reutilização deve contactar com a autoridade regional gestora dos recursos hídricos da região – a Administração de Região Hidrográfica (ARH) – e com os potenciais utilizadores, para reunir elementos quanto aos seguintes aspectos [US EPA, 2004]:

- Tipos de utilização da água, características de qualidade requeridas, flutuações de qualidade admissíveis;

- Perfil de cada utilizador, no que se refere à pressão, ao volume de água utilizado por dia, flutuações da procura, designadamente sazonais;
- Possibilidade de compensar as flutuações na procura por meio de armazenamento; localização dos reservatórios;
- Entidade gestora de eventual instalação de tratamento complementar;
- Estimativa do custo para o utilizador de ligação ao sistema de reutilização;<sup>29</sup>
- Disponibilidade para uma eventual adaptação do seu processo à utilização de águas residuais tratadas (por exemplo, adaptação de métodos de rega, de culturas) por parte dos potenciais utilizadores;
- Período de retorno adequado para os investimentos adicionais a realizar para permitir a reutilização das águas residuais tratadas;
- Segurança relativamente à manutenção da procura ao longo da vida útil do projecto.

No caso de existirem várias solicitações para a água residual tratada, deve ser atendida aquela que apresente uma análise custo/benefício mais favorável para a entidade gestora, excepto se a autoridade ambiental (ARH) determinar outra, em nome da gestão dos recursos hídricos (Recomendação IRAR n.º 2/2007).

Para o prosseguimento das restantes fases do planeamento e do desenvolvimento do SRART é desejável que os futuros utilizadores, identificados em resultado deste estudo de prospecção do mercado, sejam identificados num SIG abrangente da área, juntamente com a localização das ETAR produtoras da água a reutilizar, o que permite avaliar o traçado do sistema de abastecimento desta água aos utilizadores.

Muito importante para prosseguimento bem sucedido do projecto é a garantia, a obter antes de se iniciar qualquer investimento, de que as águas a disponibilizar pelo projecto serão utilizadas. Para esse efeito, deverá ser celebrado um **contrato entre cada utilizador e a entidade promotora do projecto**. Segundo Mills e Asano (1996), a não obtenção deste acordo com força legal é responsável pela quase totalidade das falhas na implementação de projectos, no que respeita a atrasos no seu desenvolvimento e na estimativa irrealista da procura de água. Indicam-

<sup>29</sup>O custo real da ligação ao sistema só poderá ser conhecido no final do projecto, visto depender do número de utilizadores aderentes, que, por sua vez, dependerá dos custos.

-se seguidamente alguns **aspectos que devem ser contemplados no referido contrato:**

- Período de duração do contrato;
- Volume de água a fornecer e variações admissíveis;
- Características da água a fornecer: origem (identificação da ETAR), qualidade, pressão;
- Utilizações permitidas para a água a fornecer;
- Identificação da área de aplicação da água reutilizável;
- Proibição de utilização da água em usos não previstos no contrato ou fora da área nele definida;
- Início da utilização;
- Tarifa da água;
- Responsabilidade pela O&M do sistema de abastecimento de águas residuais tratadas;
- Obrigatoriedade de notificação de ocorrência de problemas;
- Inspeção do sistema de reutilização;
- Outras obrigações e responsabilidades das partes envolvidas;
- Indemnizações por abandono prematuro do projecto;
- Definição dos critérios de prioridade de fornecimento e de rateio em cenários de escassez.

### **6.2.2.3 Avaliação de alternativas do projecto**

O passo seguinte à definição dos utilizadores e da qualidade de água que necessitam, consiste no estabelecimento de soluções alternativas que assegurem a concretização dos objectivos do projecto (principais e secundários). Sendo a reutilização de águas residuais tratadas uma das possibilidades de abastecimento de água ao projecto, na formulação de soluções alternativas deveriam ser consideradas outras origens de água (superficial, subterrânea, dessalinizada e outras), sob pena de a análise sair enfraquecida.

Como em qualquer projecto de desenvolvimento de recursos hídricos, o estabelecimento de soluções alternativas para satisfazer os objectivos de um projecto de reutilização da água passa pela consideração de factores de natureza muito diversa, como: questões de engenharia, viabilidade económico-financeira, impactes ambientais, factores legais e institucio-

nais, impactes sociais e aceitação pública. Além destes, num projecto de reutilização de águas residuais tratadas há ainda a considerar outro factor, a avaliação do mercado dos utilizadores, que é de fundamental importância para a viabilidade do projecto.

As alternativas formuladas devem ser estudadas com pormenor suficiente para permitir a sua análise técnico-económica (a um nível próximo de um estudo prévio). Esse estudo de soluções alternativas deve contemplar [Asano *et al.*, 2007]:

- a) Caracterização da área interessada em termos de: clima, geologia, hidrologia, uso do solo, demografia.
- b) Descrição das origens de água alternativas existentes: infra-estruturas existentes e previstas, capacidade instalada, qualidade das águas, tendências de utilização futura, tarifas praticadas, subsídios, entidades gestoras, problemas da gestão.
- c) Descrição das origens de águas residuais tratadas: infra-estruturas existentes e previstas, capacidade instalada, variações horárias e sazonais de caudal e de qualidade das águas residuais brutas, possível necessidade de controlo na origem de poluentes susceptíveis de condicionar a reutilização.
- d) Tratamento requerido para satisfação dos requisitos de descarga no meio receptor e para reutilização.
- e) Avaliação do mercado de utilização de águas residuais tratadas: metodologia de análise, inventário dos potenciais utilizadores e resultados da avaliação.
- f) Análise de alternativas ao projecto, uma das quais deve ser a não realização do projecto, e várias outras alternativas de reutilização quanto a:
  - i. Níveis de tratamento a atingir e processos de tratamento;
  - ii. Traçados dos sistemas de distribuição das águas residuais tratadas aos utilizadores, localizações de reservatórios para armazenamento e de estações elevatórias;
  - iii. Estudo energético;
  - iv. Custos de O&M;
  - v. Impactes ambientais e sociais.

A análise comparativa das soluções alternativas estudadas permitirá identificar, nesta fase de planeamento, a solução apropriada, que subsequentemente deverá ser desenvolvida e concretizada.

#### **6.2.2.4 Solução planeada**

A solução escolhida passa a ser a solução em plano para efeitos de desenvolvimento, devendo constar de um documento, necessário para apresentação aos parceiros interessados no projecto, como as autoridades da administração nos seus diversos níveis, as autoridades ambientais, reguladoras, entidades financiadoras, aos potenciais utilizadores e ao público em geral.

O referido documento, que se poderá designar por «Solução em plano», deverá conter:

- A lista de potenciais utilizadores;
- A descrição da solução seleccionada;
- Os critérios de dimensionamento adoptados;
- A relação entre a procura de águas residuais tratadas e a variabilidade de produção das mesmas;
- As eventuais reservas de origens de água;
- Plano da execução do projecto;
- Plano de exploração do projecto;
- Plano de financiamento do projecto e de recuperação dos seus custos.

Este último documento deverá descrever as fontes e os *timings* do financiamento para a construção, a política de tarifas a praticar, a alocação de custos entre os benefícios derivados da reutilização e da inerente redução de poluição, o valor total de rendimento do projecto, análises de sensibilidade a variações das condições de base.

#### **6.2.3 Estudos e projectos**

Os projectos de engenharia de SRART consistem em projectos de sistemas de abastecimento de água e de tratamento de águas residuais. A elevada atenção que os projectos de reutilização da água devem dedicar à protecção da saúde pública e do ambiente requer que na elaboração projectos de engenharia estejam sempre presentes não só as questões da própria natureza das águas residuais (ver cap. 2), como os factores que afectam a reutilização consoante o tipo de aplicação (ver cap. 3).

Constituindo as águas residuais tratadas a água que abastece uma ou mais aplicações de reutilização (rega agrícola e paisagística, usos urbanos, etc.), não são aceitáveis interrupções frequentes e demoradas tanto no caudal de água reutilizável produzido como na qualidade dessa mesma

água. Por outras palavras, o funcionamento do SRART deverá apresentar um elevado nível de fiabilidade. Essa fiabilidade começa na fase de estudos e projectos, no que concerne à conceptualização adequada do projecto, ao desenvolvimento do projecto assente em sólidos critérios de dimensionamento e em boas práticas de engenharia, devendo dar-se cuidado especial às redundâncias de unidades de tratamento e de equipamentos electromecânicos, com vista a assegurar que eventuais falhas de funcionamento serão sempre cobertas por unidades de reservas existentes.

Em algumas circunstâncias pode justificar-se que o projecto recorra a estudos-piloto, como, por exemplo, para determinação de parâmetros de dimensionamento adequados ou para avaliar a eficiência de processos de tratamento nas condições específicas do caso em estudo. A determinação da taxa de infiltração do solo num SRART para recarga de aquíferos é um exemplo em que um estudo-piloto pode gerar critérios de projecto apropriados. Outro exemplo reside no facto de a eficiência da desinfecção por radiação UV e por ozonização ser fortemente afectada pela concentração da água em partículas em suspensão, podendo ser útil realizar um estudo-piloto para comparação de diferentes tecnologias de desinfecção.

A especificidade que estes aspectos conferem ao projecto dos sistemas de tratamento de águas residuais para reutilização e aos sistemas de abastecimento destas águas aos seus utilizadores justifica que sejam tratados em capítulo próprio, dedicado aos aspectos técnicos de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas (ver capítulo 7).

#### **6.2.4 Construção de SRART**

A construção de sistemas de reutilização de águas residuais consiste na execução de um projecto cujo objecto pode incluir todos ou alguns dos seguintes elementos:

- instalação de tratamento de águas residuais (desnecessária em alguns casos, frequentemente destinada a afinar algumas características de qualidade do efluente de uma ETAR existente);
- reservatórios de armazenamento das águas a reutilizar;
- sistema de distribuição da água reutilizável aos utilizadores, o qual pode incluir ou não estações elevatórias.

A construção de SRART não apresenta aspectos particulares que obriguem a seguir qualquer metodologia de construção diferente do prati-

cado em infra-estruturas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais. Em matéria de construção de SRART o aspecto importante é que sejam respeitadas as normas de boa prática construtiva.

### **6.2.5 Operação e manutenção**

Tal como a sua construção, também a operação e manutenção (O&M) de SRART é análoga à praticada nas estações de tratamento de águas residuais, redes de abastecimento de água, reservatórios, estações elevatórias. Todavia, é de realçar que a boa execução dos programas de operação e de manutenção é muito importante nos SRART, onde se exige elevada fiabilidade na constância de produção tanto do volume de água a fornecer ao utilizador como nas características de qualidade da água.

A metodologia de O&M das instalações de tratamento das águas residuais apresenta aspectos específicos de instalação para instalação, consoante a constituição da fileira de tratamento em termos de operações e processos unitários de tratamento. Em SRART, a instalação de tratamento ou é convencional, sendo a existente para produzir um efluente com características adequadas à sua descarga no meio receptor – tratamento secundário ou terciário –, ou beneficiou de um *upgrade*, para afinação de determinadas características do seu efluente, em função da(s) finalidade(s) de reutilização. No capítulo 7 são abordados os aspectos técnicos, incluindo aspectos de O&M das operações e processos de tratamento.

A O&M da componente do SRART que consiste na reutilização propriamente dita é semelhante à realizada se a origem de água for tradicional. Exceptua-se a recarga de aquíferos em bacias de infiltração, onde haverá que proceder à raspagem periódica dos sólidos sedimentados, que diminuem a taxa de infiltração.

### **6.2.6 Monitorização**

#### **6.2.6.1 Considerações gerais**

Entende-se por monitorização o processo de recolha de informação periódica, de modo a obter dados que permitam definir as condições existentes, estabelecer tendências, etc. No caso dos SRART importa monitorizar a qualidade da água a reutilizar e em algumas aplicações é importante monitorizar os impactes ambientais do processo de reutilização ou o produto da reutilização. A recarga de aquíferos com águas residuais tra-



tadas é um exemplo do primeiro caso e os produtos agrícolas regados com estas águas um exemplo do último caso.

A monitorização insere-se no âmbito de um programa de autocontrolo da entidade gestora do SRART, geralmente definido pela entidade licenciadora.

O tipo de informação a recolher num estudo de monitorização de qualidade da água é variável, dependendo essencialmente do objectivo do estudo e do tipo de água. O principal objectivo da monitorização da qualidade da água em SRART consiste na verificação da satisfação dos critérios de qualidade das águas residuais tratadas estabelecidos para que a reutilização se processe de forma segura, isto é, minimizando os riscos ambientais e de saúde pública. Os parâmetros a monitorizar da qualidade da água a reutilizar são definidos em função da finalidade da reutilização.<sup>30</sup> A recolha de dados sobre muitos parâmetros e com muita frequência fornecerá um volume de informação para caracterização da qualidade da água muito maior do que a recolha de valores de um conjunto de parâmetros mais reduzidos ou de muitos parâmetros medidos menos frequentemente. Obviamente que os custos da monitorização são mais elevados no primeiro caso do que nos dois últimos. No entanto, convém não esquecer que nem sempre a disponibilidade de um grande conjunto de dados é sinónimo de uma boa caracterização da qualidade da água. A definição da frequência de amostragem constitui, por conseguinte, um aspecto importante num programa de monitorização da qualidade da água. Por vezes, esta frequência é definida na licença de reutilização, mas pode ser definida a partir de uma análise estatística dos resultados de um estudo sobre a variabilidade das características de qualidade da água.

A informação sobre a qualidade da água é obtida a partir da análise de amostras, as quais devem ser representativas do universo amostrado (a água a caracterizar). A forma como o processo de amostragem se realiza, garantindo (ou não garantindo) a representatividade das características do universo amostrado, é determinante para a validade dos resultados do programa de monitorização, ou seja, para a validade da informação produto de todo o processo. A amostragem constitui pois, um passo importantíssimo na monitorização da qualidade das águas, sendo importante decidir correctamente o tipo de amostras a colher (simples ou compostas).

---

<sup>30</sup> A descrição de cada aplicação de reutilização de águas residuais tratadas apresentada no capítulo 3 identifica os parâmetros relevantes de qualidade das águas para cada uma dessas aplicações.

A opção por um determinado tipo de amostra depende dos seguintes factores:

- a) Tipo de informação pretendida;
- b) Características do processo de tratamento de águas residuais ou da massa de água a ser amostrada;
- c) Tipo de análises a efectuar sobre a amostra;
- d) Variabilidade no tempo dos constituintes a determinar;
- e) Eventuais especificações definidas na legislação pertinente ou em licenças de utilização.

A decisão do tipo de amostras pretendido pode ter de ser baseado num estudo preliminar das características da água a amostrar, para ganhar sensibilidade à variabilidade das suas características, o qual poderá incluir análise de dados de caudal e na colheita de um número limitado de amostras simples.

A conservação das características das amostras até à sua análise é importante, pois muitas características de qualidade das águas têm tendência a sofrer rápidas alterações, principalmente por acção de microrganismos (OD, CBO, compostos azotados, por exemplo), mas também por reacções químicas, acções físicas (sedimentação, libertação de gases, etc.) e até por reacções com os recipientes de recolha. Consequentemente, é necessário que as amostras sejam conduzidas ao laboratório no mais curto espaço de tempo possível e, simultaneamente, tomar as medidas que garantam a preservação ou conservação das amostras durante esse transporte. A conservação das amostras por arrefecimento a temperatura inferior a 4°C é uma medida indispensável, pois assim se retardam as reacções bioquímicas que alteram muitos dos parâmetros de caracterização das águas, mas não é suficiente para algumas características, que requerem a adição de conservantes químicos [APHA *et al.*, 2005].

#### **6.2.6.2 Monitorização de SRART para rega agrícola e paisagística**

Os objectivos da monitorização de águas residuais tratadas reutilizadas na rega agrícola visam a protecção da saúde pública e saúde animal e o bom desenvolvimento das culturas regadas. A saúde animal não é um objectivo da rega paisagística. Para o efeito, os parâmetros a monitorizar são os indicados no Quadro 6-2.

As amostras devem ser colhidas em três pontos:

- a) À saída da estação de tratamento ou do reservatório de armazenamento, se este estiver incluído na ETAR;

- b) No ponto de entrega da água reutilizável pela entidade gestora ao(s) utilizador(es);
- c) No local de utilização.

A frequência de amostragem da água reutilizada para rega pode não coincidir com a frequência requerida pelas autoridades ambientais para monitorização das águas residuais tratadas descarregadas no meio receptor. Em geral, à reutilização para rega bastaria uma amostragem menos frequente. Porém, a importância que alguns constituintes das águas residuais tratadas têm no desenvolvimento vegetativo das plantas (macro e micronutrientes, elementos tóxicos) determina a necessidade de elaborar balanços mássicos da quantidade desses constituintes aplicados com a água de rega, principalmente para calcular a adubação complementar que poderá ser necessária. A NP 4434 recomenda a monitorização semanal do pH, salinidade (condutividade ou teor de SDT), macronutrientes (azoto total, azoto amoniacal, nitratos, fósforo total e ortofosfatos).

A monitorização dos impactes ambientais da rega com águas residuais tratadas incide sobre o solo e as águas subterrâneas subjacentes à área regada. A monitorização dos impactes sobre o solo tem como objectivo acompanhar eventuais alterações sobre as características físicas e químicas do solo, principalmente no que respeita à sua salinidade e à acumulação de metais pesados. A NP 4434 recomenda a análise quinquenal dos seguintes metais: cádmio, cobre, níquel, zinco, mercúrio e crómio. A mesma NP 4434 recomenda a análise anual do fósforo e potássio assimiláveis, matéria orgânica e pH no solo, não por motivos de impacte ambiental, mas para que o utilizador regante possa elaborar o plano de fertilização das culturas, tendo em conta os nutrientes veiculados nas águas residuais tratadas.

A monitorização do impacte da rega com águas residuais tratadas sobre as águas subterrâneas recorre a poços e à instalação de piezómetros, em número definido caso a caso, que, segundo a NP 4434, devem permitir a recolha de amostras de água até à profundidade mínima de 1 m em campos agrícolas e 1,8 m em floresta. A citada norma recomenda que se proceda à análise das águas subterrâneas no início e no final da época de rega.

### **6.2.6.3 Monitorização de SRART para usos industriais**

A aplicação industrial de águas residuais tratadas cobre um vasto leque de usos (ver Quadro 4-4), a que correspondem requisitos de qualidade variados (Quadros 4-6 a 4-10), que pretendem satisfazer não só a protec-

Quadro 6-2 – Requisitos mínimos de monitorização de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola e paisagística (adaptado de NP 4434 e [Asano *et al.*, 2007])

Parâmetros	Águas residuais brutas e tratadas	Solo	Águas subterrâneas
Volume	Mensal	–	–
Nível freático	–	–	Bienal
Coliformes fecais	Semanal / mensal	–	Anual
Ovos de helmintas	Mensal	–	–
pH	Semanal / Mensal*	Anual	Início e final da época de rega
Turvação	Semanal/ /On-line para a rega sem restrições	–	–
SST	Mensal	–	–
SDT	Semanal / Mensal*	–	Início e final da época de rega
Condutividade eléctrica	Semanal/Mensal*	Bianual	Mensal / Início e final da época de rega*
CBO	Mensal	–	–
Azoto amoniacal	Semanal / Mensal*	–	Bienal
Nitritos	Mensal	–	Anual / Bienal**
Nitratos	Semanal / Mensal*	Anual	Anual / Bienal**
Azoto total	Semanal / Mensal*	Bianual	Anual / Bienal**
Fósforo total	Semanal / Mensal*	Bianual	Anual / Bienal**
Ortofosfatos	Semanal / Mensal*	Bianual	Anual / Bienal**
Catiões de troca (Na, Ca, Mg, K, Al)	–	Anual	–
Metais pesados (Cd, Cu, Ni, Zn, Hg, Cr)	Anual	Quinquenal	–

\* A frequência semanal é recomendada na NP 44434.

\*\* Maior frequência de monitorização (anual) para as águas subterrâneas profundas.

ção da saúde dos operadores industriais, dos utilizadores e do público em geral, mas também assegurar a boa operação das unidades, evitando problemas de corrosão, formação de incrustações, desenvolvimento de algas, bactérias e de biofilmes. De um modo geral, a água utilizada na indústria é de elevada qualidade, sendo submetida a tratamento bastante completo, mesmo quando a água bruta é de origem natural, e por maioria de razão quando provém do efluente de uma ETAR.

A monitorização da qualidade das águas residuais tratadas reutilizadas na indústria deve cobrir os parâmetros de qualidade relevantes para a indús-

tria em causa (Quadros 4-6 a 4-10). As amostras devem ser colhidas em dois pontos:

- a) À saída da estação de tratamento ou do reservatório de armazenamento se este estiver incluído na ETAR;
- b) No local de utilização.

A frequência de monitorização é definida caso a caso.

#### **6.2.6.4 Monitorização de SRART para recarga de aquíferos**

A monitorização dos SRART para recarga de aquíferos deve abranger a água introduzida no aquífero e a própria água do aquífero. As águas residuais tratadas devem ser caracterizadas à saída da estação de tratamento e à entrada no sistema de recarga do aquífero, para avaliar eventuais alterações qualitativas durante o processo de transporte. As águas subterrâneas resultantes da mistura da água do aquífero com as águas residuais tratadas são monitorizadas por meio de piezómetros instalados para o efeito.

O número, localização e frequência de amostragem nos piezómetros de monitorização é função do tempo necessário para a água recarregada atingir o furo, sendo definido com base no estudo da hidrogeologia local das águas subterrâneas.

A reutilização de águas residuais tratadas para recarga de aquíferos pode ter objectivos diversos e processar-se segundo diferentes metodologias (ver 3.6). Além disso, as características hidrogeológicas de cada local tornam cada caso um caso único, para o qual deve ser definido um programa de monitorização específico. Esta a razão pela qual a literatura da especialidade não reporta recomendações gerais sobre monitorização de SRART para recarga de aquíferos. Os aquíferos utilizados como origem de água para abastecimento a aglomerados populacionais devem ser objecto de monitorização, pelo que a monitorização dos sistemas poderá incidir sobre parâmetros de qualidade e frequência de monitorização variáveis. Conforme referido em 4.7, interessa monitorizar parâmetros microbiológicos (bacteriológicos e virulógicos, se possível), parâmetros químicos que afectam a saúde, como metais pesados e pesticidas, compostos orgânicos persistentes, que podem estar presentes em teores vestigiais, constituintes que possam precipitar, contribuindo para a colmatação dos interstícios do solo, como fosfatos, carbonatos, hidróxidos e sulfatos, sólidos dissolvidos, que podem contribuir para o aumento da salinidade do aquífero e compostos de azoto.

### 6.2.6.5 Monitorização de SRART para usos recreativos e ambientais

A monitorização de SRART para usos recreativos e ambientais deve começar, como em todos os casos, na água à saída da ETAR e à entrada do sistema de reutilização. Não é possível definir recomendações genéricas para a monitorização da utilização concreta destes sistemas, a qual tem que ser estudada caso a caso, em virtude de serem muito diversas as aplicações de águas residuais tratadas para usos recreativos e ambientais, as quais podem permitir acesso com restrição variável.

Estas aplicações englobam o embelezamento paisagístico de empreendimentos urbanísticos, a conservação ou reabilitação de zonas húmidas (naturais ou artificiais), o reforço do caudal de cursos de água; e a preservação ou desenvolvimento de habitats naturais, a alimentação de lagos e lagoas (naturais ou artificiais) destinados à pesca e desportos náuticos (canoagem, banho e outros); a produção artificial de neve.

Nas aplicações em que a reutilização de águas residuais tratadas pode ter impactes ambientais presumivelmente benéficos, como o reforço do caudal de cursos de água; e a preservação ou desenvolvimento de habitats naturais, o programa de monitorização deve acompanhar a evolução dos mesmos. No Quadro 6-3 apresentam-se os requisitos de monitorização típicos em SRART para usos recreativos e ambientais.

Quadro 6-3 – Requisitos de monitorização típicos em SRART para usos recreativos e ambientais (adaptado de [Asano *et al*, 2007])

Parâmetros	Frequência de monitorização
CBO	Semanal
Coliformes fecais	Diária
SDT	Semanal
SST	Semanal
Turvação	Contínuo
Azoto amoniacal, nitratos, azoto Kjeldal	Semanal
Óleos e gorduras	Semanal
pH	Diário/on-line
Fósforo total e ortofosfatos	Semanal
Temperatura	Contínuo
Toxicidade aguda e crónica*	Mensal
Compostos orgânicos residuais (HAP, pesticidas, COV)**	Quinzenal

\*Os organismos a testar serão seleccionados em função dos ecossistemas do meio receptor.

\*\*A frequência de monitorização destes parâmetros pode diminuir ou mesmo anular-se ao longo do tempo.

### 6.2.6.6 Monitorização de SRART para usos urbanos não potáveis

Os usos urbanos não potáveis incluem uma variedade de aplicações, como a descarga de autoclismos, lavagem de ruas, de contentores de RSU, de veículos e outras (ver 3.8), a que correspondem diferentes níveis de risco para a saúde pública – principal objectivo da monitorização da qualidade das águas residuais tratadas. Além da protecção da saúde pública, a monitorização da qualidade da água reutilizada incidirá também sobre as características de qualidade relevantes para cada uma das aplicações (ver Quadro 4-15 e Quadro 4-16), reconhecendo-se que os indicadores de contaminação fecal (coliformes fecais), a turvação, SST e SDT, alcalinidade, azoto (amoniacoal e nítrico), sílica e cálcio são parâmetros relevantes em quase todas as aplicações. Os pontos de amostragem localizar-se-ão à saída da ETAR e no ponto de reutilização que, no caso de extensas redes de distribuição, poderão ser múltiplos pontos, como na reutilização para descarga de autoclismos (Figura 6-2).



Figura 6-2 – Área de reutilização de águas residuais para usos urbanos não potáveis na área metropolitana de Tóquio (fonte: [JSWA, 2005])

Alguns estados norte-americanos (Arizona, Califórnia, Florida, Hawaii e Texas) regulamentaram requisitos para a monitorização de SRART para usos urbanos não potáveis, que se apresentam no Quadro 6-4.

## 6.3 Conclusões

O número de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas para diversas aplicações – rega, usos industriais, recarga de aquíferos, usos urbanos, usos recreativos e ambientais, usos urbanos não potáveis – aumenta a um ritmo crescente que tem de ser acompanhado da fiabilidade

Quadro 6-4 – Requisitos de monitorização em SRART para usos urbanos não potáveis (adaptado de [US EPA, 2004])

Parâmetro	Estado				
	Arizona	Califórnia	Florida	Havai	Texas
Coliformes	Caso a caso	Diária	Em função da capacidade do SRART	Diária por semana	2 vezes
Turvação	Caso a caso	Contínua, a jusante da filtração	Contínua	Contínua	2 vezes por semana
SST	Caso a caso	ND	Em função da capacidade do SRART	Semanal	
pH	Caso a caso	ND		ND	ND
Outros parâmetros	Caso a caso	ND	Giardia e <i>Cryptosporidium</i> (bienal a quinquenal, em função da capacidade do SRART)	CBO (semanal) CBO ou CQO (2 vezes por semana)	

ND – Não definido.

necessária à satisfação dos utilizadores, no que respeita ao caudal e qualidade das águas residuais tratadas, e à salvaguarda de riscos sanitários e ambientais. Todas as fases de desenvolvimento – do planeamento, à monitorização do sistema, passando pelo projecto, construção e exploração – de um SRART devem basear-se num conhecimento técnico e científico que sustente as melhores tecnologias e práticas, de modo a assegurar a fiabilidade do SRART.



## 7 ASPECTOS TÉCNICOS DE SISTEMAS DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA

### 7.1 Objectivos do capítulo

O conceito de reutilização da água pressupõe que se trata de usar água que se tornou um resíduo devido a uma ou várias utilizações anteriores e que essa água residual foi tratada de modo a recuperar características de qualidade compatíveis com a nova utilização. Como as águas residuais têm de ser tratadas para que possam ser lançadas nos meios receptores de forma ambientalmente sustentável, a reutilização da água consiste ou na utilização do efluente tratado segundo os critérios ambientais de descarga no meio receptor, se tal for adequado à utilização pretendida, ou na utilização desse efluente depois de submetido a um tratamento complementar. Os aspectos técnicos do tratamento de águas residuais para descarga do efluente tratado nos meios receptores são objecto de vasta literatura. O tratamento complementar das águas residuais tratadas destinado a permitir, se necessário, determinada utilização dessas águas, recorre muitas vezes a operações e processos já conhecidos do tratamento clássico de águas residuais ou de águas naturais para abastecimento público e industrial, encontrando-se também documentado na literatura da especialidade. Não obstante, a reutilização da água em aplicações concretas, como a rega ou o abastecimento a determinada indústria, por exemplo, requer que sejam assegurados requisitos específicos, consequentes das características intrínsecas das águas residuais tratadas e dos potenciais efeitos decorrentes da sua posterior utilização na saúde pública e no ambiente, conforme abordado nos capítulos 2 e 3. Neste contexto, ganham relevo alguns processos de tratamento que, de um modo geral, não são incluídos na clássica linha de tratamento de águas residuais para lançamento do efluente no meio receptor, como a microfiltração, por exemplo, bem como os processos de remoção de microrganismos, que se tornam praticamente indispensáveis.

O presente capítulo incide sobre os aspectos técnicos inerentes às operações e processos de tratamento complementar para permitir a reutilização da água, focando principalmente os aspectos relacionados com a eficiência e fiabilidade do tratamento, de um ponto de vista que engloba

conjuntamente a produção de água com qualidade adequada à reutilização pretendida, com a devida salvaguarda da saúde pública e do ambiente, e pelo mais baixo custo económico. O capítulo trata ainda dos aspectos técnicos ligados aos sistemas de armazenamento e de distribuição ao utilizador de águas residuais tratadas, como a garantia de disponibilidade do volume de água necessário para assegurar a operação da aplicação da reutilização a servir, ou a gestão de volumes requeridos apenas sazonalmente ou em eventuais situações de emergência e controlo de caudais.

## **7.2 Sistemas de reutilização de águas residuais tratadas**

Um SRART pode definir-se como o conjunto das infra-estruturas que tratam as águas residuais a um nível adequado para subseqüentes utilizações e as conduzem aos respectivos utilizadores.

Um SRART compreende sempre uma ou várias estações de tratamento de águas residuais e rede(s) de distribuição do efluente tratado ao(s) utilizador(es). Dependendo do tipo de utilização da água e das condições físicas locais, um sistema de reutilização de águas residuais tratadas pode incluir (ou não):

- Reservatório de regularização do efluente a submeter a tratamento complementar para ser reutilizado;<sup>31</sup>
- Instalações de tratamento complementar à(s) ETAR existente(s);
- Reservatórios de armazenamento;
- Rede de tubagens de distribuição<sup>32</sup> e aplicação da água residual tratada;
- Estações elevatórias;
- Medidores de caudal abastecido.

Cada sistema de reutilização de águas residuais tratadas é um caso, condicionado principalmente pelas características quantitativas e qualitativas das águas residuais tratadas, pelas características físicas do local, pelos tipos de utilização a atender e pela regulamentação sobre reutilização em vigor. Consequentemente, os sistemas de reutilização de águas residuais

---

<sup>31</sup> O reservatório de regularização tem elevado interesse económico, pois permite que o tratamento complementar e a distribuição de água se possa fazer a caudal constante, reduzindo o caudal de dimensionamento dessas infra-estruturas.

<sup>32</sup> Consoante a sua extensão, a rede de distribuição de água reciclada deve incluir postos de rechloragem.

tratadas podem variar largamente, tanto em dimensão como em complexidade tecnológica – a tecnologia apropriada tanto pode consistir num sistema de lagunagem natural, como num reactor de biomembranas, consoante as características do sistema.

Na secção 7.6 apresentam-se as tecnologias de tratamento actualmente disponíveis para permitir a posterior reutilização das águas residuais tratadas, enquanto a secção 7.7 aborda os sistemas de distribuição dessas águas ao(s) utilizador(es), que podem incluir reservatórios de armazenamento e estações elevatórias.

## **7.3 Tecnologias de tratamento de águas residuais para reutilização do efluente**

### **7.3.1 Nota introdutória**

Num projecto que tenha por objectivo a reutilização da água, o nível de tratamento que deve ser aplicado às águas residuais é determinado pela utilização prevista para o efluente tratado. Para muitas utilizações tal nível de tratamento não coincide com o nível requerido para proceder à descarga das águas residuais tratadas no meio receptor. Nessas circunstâncias, torna-se necessário proceder ao tratamento complementar do efluente da ETAR existente, geralmente construída com objectivos ambientais de protecção do meio receptor. Em alguns sistemas de reutilização de águas residuais tratadas coexistem aplicações diversas para reutilização da água, o que pode requerer níveis diferentes de tratamento complementar, tornando mais complexo o sistema de tratamento.

Em muitos casos, a procura de água reutilizada é inferior ao caudal de águas residuais colectadas, pelo que apenas uma parte desse caudal é tratado para reutilização, sendo o restante submetido ao tratamento requerido para descarga no meio receptor.

Sempre que a opção de reutilização seja equacionada, as instalações de tratamento devem ser projectadas (ou reabilitadas, no caso das já existentes), de modo a que o efluente final apresente características de acordo com a utilização pretendida, sem deixar de cumprir os limites máximos impostos pela legislação vigente para a sua descarga no meio natural, pois que mesmo nos casos em que se considera a reutilização de todo o caudal, haverá que prever situações anómalas em que não seja possível ou necessário reutilizar, o que, nessas circunstâncias, obrigará a proceder

à descarga das águas residuais tratadas no meio receptor.

O tratamento necessário para produzir águas residuais tratadas com qualidade compatível com a subsequente utilização pode, em geral, ser conseguido por diferentes operações e processos unitários. A selecção das operações e processos unitários a adoptar nas instalações de tratamento de um SRART depende de diversos factores, conforme tratado em 7.5.1, os quais são condicionados pelo facto de o tratamento para reutilização vir a ser inserido numa ETAR já existente, com eventuais constrangimentos de espaço ou, pelo contrário, constituir um projecto concebido de raiz.

O tratamento de águas residuais para reutilização configura-se assim como um desafio mais exigente que a mera depuração de águas residuais para satisfação de objectivos ambientais, na medida em que: o nível de tratamento pode não ser único e é geralmente mais elevado; o nível de fiabilidade requerido é geralmente mais elevado, dada a necessidade de fornecer aos utilizadores água com qualidade constantemente igual ao requerido (ou qualidade superior, mas nunca inferior), o que confere uma estreita margem para falhas no tratamento.

### **7.3.2 Requisitos de tratamento de águas residuais para reutilização**

Num sistema de reutilização de águas residuais tratadas, o nível de tratamento não é necessariamente relevante; o que é fundamental é que a qualidade das águas seja adequada à utilização, a qual pode estar definida na regulamentação existente. No capítulo 4 encontra-se não só uma revisão de padrões de qualidade para diversas aplicações de reutilização de águas residuais tratadas em vigor em diversos estados, como os padrões recomendados para as utilizações de previsível interesse no nosso país, indicadas no Quadro 4-17.

Na conceptualização da fileira de operações e processos unitários de tratamento das águas residuais a reutilizar, há que ter em conta não só as características de qualidade pretendidas para o efluente, mas também as múltiplas barreiras que poderão ser estabelecidas no sentido de impedir, na maior extensão possível, a passagem de microrganismos patogénicos e de compostos químicos deletérios para o SRART. A consideração do sistema de múltiplas barreiras, já adoptado no âmbito dos sistemas de abastecimento de água para consumo humano [WEF, 1998, citado em Asano *et al.*, 2007], oferece a enorme vantagem de proporcionar um mais robusto sistema de protecção das pessoas e do ambiente, mesmo no caso de falha de uma das barreiras, visto que a probabilidade de falha

simultânea de todas as barreiras é bastante reduzida. No âmbito dos sistemas de reutilização de águas residuais tratadas as **múltiplas barreiras** podem assumir formas como:

- a) Gestão das redes de colecta de águas residuais urbanas de modo a controlar os problemas na origem, impedindo o lançamento nas redes de substâncias que possam constituir impedimento à reutilização (regulamentos apropriados de descarga de águas residuais industriais);
- b) Combinação de operações e processos de tratamento consoante a sua eficiência de remoção dos constituintes das águas residuais;
- c) Eventual **tampão ambiental** (como lagoa de armazenamento do efluente, diluição com água ou tratamento no solo), de modo a homogeneizar a qualidade da água.

## 7.4 Sistemas de tratamento de águas residuais para reutilização

Em Portugal o tratamento de águas residuais urbanas é regulado pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, que transpõe a Directiva n.º 91/271/CEE de 21 de Maio e pelo Decreto-Lei n.º 149/04 de 22 de Junho. Em termos gerais, estes diplomas estabelecem que a descarga de águas residuais urbanas na natureza (nas massas de água doce e salgada, ou no solo) só poderá ser licenciada após ter sofrido um tratamento secundário, podendo ser requerido um nível de tratamento superior, em função do aumento da população servida – em equivalentes populacionais (e.p.) – e da sensibilidade do meio receptor. No entanto, águas residuais submetidas a tratamento secundário ou superior, segundo os níveis de descarga definidos no Decreto-Lei n.º 152/97, podem não apresentar características de qualidade adequadas a determinadas utilizações.

Conforme se documenta no Quadro 7-1, um efluente secundário típico contém ainda alguns poluentes que podem causar impactes ambientais nas suas potenciais aplicações de reutilização. Entre os compostos residuais que são detectados na descarga de instalações de tratamento encontram-se matéria orgânica solúvel, biodegradável ou refractária, produtos resultantes da actividade microbiológica, sólidos suspensos, elementos-traço (e.g. metais pesados, pesticidas e substâncias farmacêuticas activas), compostos orgânicos voláteis, compostos inorgânicos solúveis e microrganismos patogénicos.

Quadro 7-1 – Valores típicos de alguns parâmetros característicos para diferentes tipos de águas residuais urbanas [adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003]

Parâmetro	Unidades	Águas residuais		
		Não tratadas	Após tratamento primário	Após tratamento secundário
CBO5	mg/L	150 – 400	100 – 250	20 – 40
CQO	mg/L	350 – 1000	200 – 500	80 – 140
SST	mg/L	100 – 350	80 – 140	10 – 50
N- tot	mg/L N	50 – 80	30 – 50	5 – 15
N-NH <sub>4</sub>	mg/L NH <sub>4</sub>	25 – 50	20 – 40	10 – 20
P- tot	mg/L P	15 – 20	10 – 15	5 – 10
Coliformes fecais	N.º/100 mL	10 <sup>7</sup> – 10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup> – 10 <sup>8</sup>	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>7</sup>

A descarga de efluentes industriais na rede de drenagem aumenta significativamente a quantidade e a variabilidade destes constituintes.

Como exemplo de situações em que as características de efluentes secundários têm que ser afinadas previamente à sua reutilização, referem-se as seguintes:

- a) A remoção de microrganismos patogénicos é um requisito muito frequente em SRART, como factor de salvaguarda da saúde pública, o que obriga à desinfecção do efluente da estação de tratamento. Ora, este processo não é compatível com os teores de sólidos em suspensão (SST) típicos dos efluentes secundários, que assim têm que ser reduzidos, para que o processo de desinfecção atinja a eficiência devida.
- b) A redução do teor de sólidos dissolvidos presentes nos efluentes tratados pode ser importante em algumas aplicações, principalmente no caso de água ser utilizada em caldeiras de aquecimento e em circuitos de arrefecimento, onde podem provocar a formação de incrustações ou fenómenos de corrosão.
- c) Algumas aplicações de reutilização de água, como o reforço de águas superficiais ou subterrâneas utilizadas como origem de água para potabilização, requerem a remoção de determinados poluentes presentes em quantidades vestigiais.

Tendo em consideração que o tratamento secundário é geralmente considerado como o mínimo aplicável a águas residuais antes de serem reutilizadas, a fileira de tratamento numa ETAR destinada a viabilizar a reuti-

lização do seu efluente envolve a combinação de operações e processos unitários indicados no Quadro 7-2 com os seguintes objectivos:

- a) Remoção de sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão e dissolvidos (SSF, SSV, SDF e SDV), ao nível do tratamento secundário;
- b) Remoção de nutrientes, fase que constitui o chamado tratamento terciário;
- c) Remoção de teores residuais de SST presentes no efluente secundário;
- d) Remoção de teores residuais de SDT;
- e) Remoção de teores residuais de poluentes vestigiais;
- f) Remoção ou inactivação de microrganismos patogénicos (desinfecção).

Constata-se que entre as operações e os processos unitários mais utilizados no tratamento de águas residuais para reutilização se incluem tanto processos clássicos – como as lamas activadas e algumas tecnologias de baixo custo (e.g., as lagoas de maturação) –, assim como novas tecnologias, desenvolvidas nos últimos anos para afinação de efluentes de tratamento secundário ou terciário, nomeadamente certos processos biológicos – como os leitos biológicos compactos e os chamados processos de membranas. A desinfecção constitui um processo incluído na maioria das linhas de tratamento de águas residuais para reutilização.

O Quadro 7-3 apresenta a concentração típica possível de atingir no efluente tratado pela aplicação de determinado processo de tratamento para remoção de determinado poluente.

Na secção 7.6 apresentam-se os aspectos técnicos relevantes – descrição, equipamento associado, operação e manutenção – das operações e processos unitários de tratamento mais utilizados na produção de águas residuais tratadas para reutilização.

Alguns processos de tratamento extensivos aplicados no passado, como o SAT (ver 7.6.2.6) e as lagoas de estabilização, particularmente as lagoas de maturação, continuam a constituir tecnologias apropriadas em alguns sistemas de reutilização de águas residuais tratadas. Porém, para os casos em que a posterior utilização da água requer elevada remoção de sólidos em suspensão, de compostos vestigiais ou de microrganismos, adoptam-se tecnologias cujos desenvolvimentos recentes oferecem elevado desempenho a custos progressivamente mais baixos, como é o caso, por exemplo, das tecnologias de membrana (ver 7.6.3.4), que possibilita também a remoção de microrganismos patogénicos, a par da remoção de compostos vestigiais.

Quadro 7-2 – Processos de tratamento mais utilizados para a remoção de classes de poluentes em águas residuais tratadas para reutilização [adaptado de Asano *et al.*, 2007]

Processo de tratamento	Classe de constituintes									
	Sólidos em suspensão	Matéria coloidal	Matéria orgânica	Matéria orgânica	Azoto	Fósforo	Compostos vestigiais	Sólidos dissolvidos	Bactérias	Vírus
<b>Tratamento secundário</b>										
Lamas activadas	✓		✓	✓	✓					
Leitos percoladores	✓		✓	✓	✓					
Discos biológicos	✓		✓	✓	✓					
Coagulação química, Flotação ou Decantação	✓	✓	✓							
Filtração granular	✓		✓							
Tamisação	✓		✓							
Reactor de membranas	✓		✓	✓	✓					
Lagoas de estabilização	✓		✓	✓	✓					
Leitos de macrófitas	✓		✓	✓	✓					
<b>Tratamento terciário</b>										
Lamas activadas				✓	✓	✓				
Filtros biológicos	✓			✓	✓	✓				
Reactor de membranas	✓			✓	✓	✓	✓			
Lagoas de macrófitas	✓			✓	✓	✓	✓			
<b>Tratamento avançado</b>										
Microfiltração	✓	✓	✓						✓	
Ultrafiltração	✓	✓	✓						✓	✓
Flotação com ar dissolvido	✓	✓	✓							
Nanofiltração			✓	✓			✓	✓	✓	✓
Osmose inversa				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Adsorção com carvão activado				✓			✓			
Permuta iónica					✓		✓	✓		
Desinfecção				✓					✓	✓

Também o processo de lamas activadas tem registado desenvolvimentos que permitem o aumento da sua eficiência, nomeadamente na remoção de compostos vestigiais de compostos orgânicos perigosos, como é o caso de alguns disruptores endócrinos.



Quadro 7-3 – Concentração típica de poluentes no efluente consoante o processo de tratamento

Constituinte	Impacte ambiental potencial	Processo	Valor típico no efluente
<b>Azoto amoniacal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de oxigénio por oxidação da amónia.</li> <li>- Tóxico para algumas espécies do meio aquático.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lamas activadas, filtros biológicos, reactor de membranas, lagoas macrofíticas.</li> </ul>	1 – 5 mg/L
<b>Nitritos e nitratos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agentes precursores de eutrofização.</li> <li>- Risco de contaminação de águas subterrâneas, quando o efluente é reutilizado na agricultura ou para a recarga de aquíferos.</li> <li>- Aparecimento de subprodutos (e.g., nitrosaminas, agentes precursores de doenças como a metaemoglobinemia).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lamas activadas, filtros biológicos, reactor de membranas, lagoas macrofíticas</li> </ul>	1 – 2 mg/L
<b>Fósforo (ortofosfatos e polifosfatos)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agentes precursores de eutrofização.</li> <li>- Interfere com o tratamento da água para abastecimento público e utilização industrial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lamas activadas, reactor membranas.</li> <li>- Precipitação química.</li> <li>- Ultrafiltração.</li> </ul>	Inferior a 2 mg/L
<b>Matéria orgânica dissolvida Biodegradável Dificil biodegradação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de oxigénio nas massas hídrlicas.</li> <li>- Acumulação nos meios receptores.</li> <li>- Formação de organoclorados em captações a jusante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lamas activadas, filtros biológicos, reactor de membranas, lagoas de macrofíticas.</li> <li>- Oxidação química, adsorção com carvão activado</li> </ul>	5 – 15 mg/L, como CQO 30 – 70 mg/L, como CQO
<b>Compostos vestigiais (e.g. metais pesados, pesticidas e substâncias farmacêuticas activas)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementos tóxicos para a generalidade dos seres vivos.</li> <li>- Agentes cancerígenos ou disruptores endócrinos.</li> <li>- Contaminação da água e do solo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adsorção com carvão activado, permuta iónica</li> <li>- Nanofiltração, osmose inversa.</li> </ul>	
<b>Matéria inorgânica dissolvida (e.g., sulfatos, cálcio, magnésio e cloretos)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da turvação, dureza e sólidos dissolvidos na água.</li> <li>- Interferência com a qualidade da água destinada a consumo público, agricultura e indústria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Osmose inversa, nanofiltração.</li> <li>- Permuta iónica.</li> </ul>	
<b>Sólidos em suspensão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depósitos nas massas hídrlicas</li> <li>- Aumento da turvação da água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtração, tamisação.</li> </ul>	4 – 6 mg/L
<b>Bactérias e virus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agentes responsáveis por várias doenças</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ultrafiltração, nanofiltração, osmose inversa</li> <li>- Desinfecção</li> </ul>	

## **7.5 Selecção da fileira de tratamento de águas residuais para reutilização**

### **7.5.1 Factores a considerar**

O tipo de utilização das águas residuais tratadas é indubitavelmente o factor primordial que condiciona a fileira de tratamento, visto que determina as características de qualidade das águas residuais tratadas a produzir para adequá-la à utilização prevista. As múltiplas barreiras que possam ser estabelecidas no caso concreto e a fiabilidade das tecnologias de tratamento (ver 7.5.2) devem ser consideradas juntamente com outros factores, indicados no Quadro 7-4, os quais podem ainda ser condicionados pela circunstância de se tratar de beneficiar uma ETAR existente – o que pode significar restrições de espaço – ou da construção de raiz de uma estação de tratamento para produção de água reutilizável.

Podem ocorrer situações em que, ponderados os factores indicados no Quadro 7-4, não resulte clara qual a aplicabilidade das soluções de tratamento equacionáveis. Nesses casos, será aconselhável recorrer a estudos em instalação-piloto, a fim de avaliar a adequabilidade do tratamento ao objectivo pretendido e a recolha de dados de suporte ao dimensionamento.

### **7.5.2 Fiabilidade da instalação de tratamento**

A confiança dos utilizadores e do público em geral na qualidade da água a reutilizar constitui um factor importante para o sucesso de um sistema de reutilização de águas residuais tratadas, razão pela qual a fiabilidade do tratamento para reutilização assume uma importância porventura superior ao caso genérico do tratamento de águas residuais para protecção do ambiente.

Define-se fiabilidade de uma unidade de tratamento ou da ETAR na sua globalidade como a probabilidade dessa unidade ou estação apresentar um desempenho adequado durante um determinado período de tempo [Asano *et al.*, 2007], entendendo-se por desempenho adequado a capacidade de tratar a água até aos limites de concentração pretendidos.

Quanto mais fiável for o tratamento das águas residuais, menor será o risco de efeitos deletérios decorrentes da exposição a essa água. A fiabilidade do tratamento é particularmente importante em situações anómalas, como um aumento de caudal de águas residuais ou da concentração de alguns poluentes, por exemplo.

Quadro 7-4 – Factores a considerar na selecção da fileira de tratamento de águas residuais para reutilização (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

Factores	Observações
Tipo de utilização das águas residuais tratadas	Determina: – a qualidade a obter para a água residual tratada reutilizável; – a frequência do fornecimento de água aos utilizadores – contínuo, intermitente ou sazonal; – o tipo de barreiras múltiplas a prever
Características de qualidade pretendidas para as águas residuais	Restringem as operações e processos unitários de tratamento a considerar aqueles que apresentem eficiências de remoção de poluentes ao nível das características pretendidas.
Características de qualidade das águas residuais afluentes (geralmente efluente secundário)	– Determinam o tipo de operações e processos unitários de tratamento a considerar, particularmente quando as águas residuais a tratar contêm compostos vestigiais que limitam a reutilização da água; – Podem condicionar a eficiência dos processos de tratamento.
Compatibilidade com condições existentes	Influencia a escolha de soluções compatíveis com: – os processos e infra-estruturas existentes; – as condições hidráulicas; – as características locais (como por ex., a disponibilidade de área e topografia local).
Flexibilidade dos processos	Deve ser considerada perante a possibilidade de: – alterações nas características das águas residuais afluentes; – alterações de regulamentação.
Requisitos de O&M	O equipamento a substituir (no caso de ETAR já existente), Deve ser avaliado quanto a: – vida útil de componentes-chave (lâmpadas de UV, membranas, etc.); – necessidades de formação de pessoal; – aquisição de sistema de supervisão e controlo.
Requisitos de energia	Deve ser avaliado: – o consumo energético dos equipamentos; – a previsão da evolução futura do custo da energia; o impacto do aumento das necessidades de energia na instalação existente.
Produtos químicos	Deve ser avaliado: – o efeito dos reagentes sobre a qualidade da água reutilizável (produtos da desinfecção); – o efeito dos reagentes sobre os materiais da instalação (por ex. o efeito do ozono sobre o material das membranas); – os requisitos de O&M.
Requisitos de pessoal	Determinar: – o número de pessoas necessário para operar e manter o sistema, turnos, qualificações funcionais necessárias; – o nível de automação necessário.
Impactes ambientais	Deve ser considerado: – a possível geração de ruído, odores e tráfego; – a distância a zonas habitadas; – A remoção e destino final de resíduos do processo.

A redução de risco devida à fiabilidade do tratamento pode ser reforçada com o estabelecimento de múltiplas barreiras.

A fiabilidade do tratamento começa no dimensionamento das instalações, que se baseia em critérios conservativos, embora geralmente dirigidos para as condições médias de afluência de águas residuais, o que não assegura um tratamento fiável em condições de ocorrência de eventos de período de retorno muito elevado, que ocorram, por exemplo, uma vez por ano, ou uma vez em cada três anos.

As características quantitativas e qualitativas das águas residuais constituem óbvios factores com influência na fiabilidade do tratamento, devendo ser verificado se:

- o volume de águas residuais disponíveis para tratamento com vista à reutilização satisfaz as necessidades da procura do efluente tratado, designadamente nos períodos de ponta da procura;
- o intervalo de variação da concentração dos constituintes previsível nas águas residuais tratadas é compatível com a reutilização;
- a variabilidade das características qualitativas das águas residuais, resultante de diluição por infiltração e/ou de descargas de águas residuais industriais, não compromete a reutilização.

Outros factores que contribuem decisivamente para a fiabilidade – e que **podem ser previstos no projecto** da estação de tratamento ou posteriormente realizados como uma beneficiação da mesma – incluem:

- O regime de funcionamento da aplicação de reutilização: contínuo, intermitente ou sazonal;
- A existência de unidades de tratamento de reserva, que assegurem a continuidade da produção de água tratada durante a ocorrência de uma avaria e sua reparação;
- A disponibilidade de equipamento electromecânico de reserva;
- A existência de fonte de energia eléctrica alternativa, para emergências de corte de energia;
- O tipo e quantidade de instrumentação e de automação instalados;
- A disponibilidade de pessoal qualificado para a operação e manutenção da instalação de tratamento.

No Quadro 7-5 indicam-se alguns factores que podem ser previstos na fase de projecto e que contribuem para assegurar a fiabilidade de cada unidade da fileira de tratamento.

Quadro 7-5 – Factores de fiabilidade da fileira de tratamento de águas residuais (adaptado de [Asano *et al*, 2007])

<b>Instalação unitária</b>	<b>Requisitos de fiabilidade</b>
Grade mecânica	Uma unidade de reserva em paralelo
Bombas	Uma bomba de reserva por cada conjunto de bombas que executam a mesma função.
Decantadores primários	Capacidade para acomodar 50% do caudal total de dimensionamento com uma unidade fora de serviço.
Tanques de arejamento	Pelo menos dois tanques de arejamento de igual volume.
Arejadores mecânicos	Pelo menos dois arejadores. A taxa de transferência de oxigénio deve ser assegurada com um arejador fora de serviço.
Decantadores secundários	Em número suficiente para garantir 75% da capacidade de dimensionamento com o decantador de maior volume fora de serviço.
Câmaras de floculação	Pelo menos duas unidades.
Filtros	Em número suficiente para garantir 75% da capacidade de dimensionamento com um filtro fora de serviço.
Desinfecção	Unidades em número suficiente para garantir 60% da capacidade de dimensionamento com uma unidade fora de serviço.

Em termos operacionais, a monitorização do desempenho do tratamento de águas residuais representa um importante contributo para assegurar a fiabilidade do processo. Assim, a elaboração e observação de um programa de O&M, bem como de um programa de monitorização adequada, constituem contributos relevantes para a fiabilidade do sistema de reutilização.

### **7.5.3 Consumo energético das operações e processos de tratamento**

A eficiência energética do sistema de reutilização é um aspecto de interesse relevante actualmente, tanto mais que alguns processos de tratamento aplicados nos casos de reutilização, como a desinfecção UV e as tecnologias de membrana, contribuem significativamente para o aumento dos consumos energéticos, conforme documentado no Quadro 7-6. Salieta-se, no entanto, que a gestão da eficiência energética de um sistema de reutilização não se coloca apenas ao nível da operação dos processos de tratamento, mas também diz respeito ao projecto hidráulico do sistema de armazenamento e distribuição da água, onde podem ocorrer perdas de energia significativas.

No caso de beneficiação de um sistema de tratamento existente, por inclusão de novas unidades para viabilizar a reutilização, é importante ana-

Quadro 7-6 – Diferencial de consumo energético  
(adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

Tecnologia	kWh/1000 m <sup>3</sup>	MJ/1000 m <sup>3</sup>
Arejamento por difusores de bolha fina (em vez de difusores de bolha grossa)	-33 a -40	-120 a -140
Arejamento por difusores de bolha ultrafina	-48 a -58	-170 a -210
Desinfecção UV	+13 a +52	+48 a +190
Membranas		
Microfiltração	+52 a +105	+190 a +380
Osmose inversa	+264 a +528	+950 a +1900

(+) corresponde a aumento do consumo de energia.

(-) representa poupança de energia.

lisar a capacidade das instalações eléctricas disponíveis para acomodar os requisitos de energia das instalações adicionais.

## 7.6 Operações e processos de tratamento para reutilização da água

### 7.6.1 Nota introdutória

As operações e processos unitários de tratamento de águas residuais são objecto de uma extensa literatura especializada [Metcalf&Eddy, 2003; Dégremon, 1994], sendo dispensável neste Guia descrever as operações e processos utilizados nos tratamentos primário e secundário das águas residuais. No entanto, em face da primordial importância que a remoção de microrganismos patogénicos representa em muitos SRART, apresenta-se uma descrição mais detalhada dedicada aos processos de desinfecção (7.6.2), bem como aos processos de membrana – microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa – que se apresentam como de larga aplicabilidade no futuro (7.6.3.4).

Em anexo a este capítulo apresenta-se um resumo das principais características das operações e processos clássicos mais utilizados para remoção de grupos de poluentes.

### 7.6.2 Processos de remoção de microrganismos patogénicos

#### 7.6.2.1 Tecnologias de desinfecção

A desinfecção é o processo que visa reduzir a quantidade de microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais tratadas até um nível compa-

tível com a utilização dessas águas em condições de segurança para a saúde pública.

A desinfecção é importante em muitos casos de reutilização da água para assegurar a protecção da saúde, porque, em geral, o tratamento de águas residuais para fins ambientais não inclui a inactivação de microrganismos patogénicos, com a conseqüente descarga de grandes quantidades de patogénicos nas massas de água receptoras, conforme documentado no Quadro 7-7, que apresenta a concentração típica de coliformes fecais nos efluentes, consoante o tipo de tratamento.

Historicamente, o processo de desinfecção de água praticado em mais larga escala é a cloragem, por aplicação de cloro molecular ( $\text{Cl}_2$ ) na forma de gás liquefeito ou na forma de compostos clorados, de que o hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ) é o mais corrente, seguido do dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) e das cloraminas. A descoberta, nos anos 70, de que a cloragem origina a formação de compostos cancerígenos, por combinação do cloro com compostos orgânicos presentes na água, mesmo em concentrações muito reduzidas, tem vindo a afastar a cloragem da desinfecção de águas residuais tratadas em favor de outros processos, principalmente da radiação ultravioleta (UV).

Quadro 7-7 – Concentração típica em microrganismos indicadores de contaminação fecal nas ART em função do processo de tratamento (Fontes: [Asano *et al.*, 2007; Mara, 1996])

Processo de tratamento		Coliformes fecais (NMP /100 mL)
Sem tratamento		$10^7 - 10^9$
Primário		$10^7 - 10^9$
Secundário	Lamas activadas e leitos percoladores	$10^5 - 10^6$
Terciário		$10^5 - 10^6$
Filtração	De efluente secundário e terciário	$10^4 - 10^6$
Microfiltração		$10^1 - 10^3$
Lagunagem	Depende de: temperatura ambiente, n.º de lagoas e tempo de retenção	$<10^2 - 10^4$

O Quadro 7-8 apresenta os processos de desinfecção aplicáveis na desinfecção de águas residuais tratadas.

Alguns dos processos indicados no Quadro 7-8 raramente são aplicados na desinfecção de águas residuais tratadas. É o caso dos processos térmicos, devido ao elevado custo do consumo de energia, dos ultrassons,

Quadro 7-8 – Processos de desinfecção de águas

<b>Processos</b>	<b>Físicos</b>	Radiação UV e $\gamma$
		Temperatura: ebulição, pasteurização
		Diluição
		Filtração
		Processos de membrana: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa
		Adsorção em carvão activado
		Ultrassons
	<b>Químicos</b>	Cloragem (cloro gasoso, dióxido de cloro e hipoclorito de Na e de Ca)
		Ozonização
		Ácido peracético
	<b>Bionaturais</b>	Lagoas de maturação
		Tratamentos no solo: infiltração-percolação

da radiação  $\gamma$  e da adsorção em carvão activado. Dos restantes, os processos actualmente mais populares são ainda a cloragem (com cloro gasoso  $\text{Cl}_2$  ou dióxido de cloro  $\text{ClO}_2$ ), a ozonização e a radiação UV, constituindo os processos de desinfecção bionaturais a solução adequada em determinadas condições (ver 7.6.2.6). Os processos de membrana ganham crescente adesão à medida que os seus custos decrescem.

Nesta secção descrevem-se os principais aspectos dos processos de desinfecção mais utilizados.

### **7.6.2.2 Factores a considerar na selecção do processo de desinfecção**

A escolha do processo de desinfecção a adoptar num sistema de reutilização de águas residuais tratadas é um processo importante, que deve atender aos seguintes factores [EU, 2006]:

- a) A eficiência do processo na inactivação dos microrganismos patogénicos e a sua fiabilidade;
- b) O risco do agente de desinfecção para os seres humanos e animais;
- c) Disponibilidade no mercado e custo;
- d) Facilidade de transporte e de armazenamento;
- e) Operacionabilidade (facilidade e segurança de operação);
- f) Impactes ambientais.

A eficiência do processo de desinfecção está relacionado com o tipo de patogénicos que se pretende remover (bactérias, vírus, protozoários ou



ovos de helmintas),<sup>33</sup> pois os processos de desinfecção não inactivam qualquer tipo de patogénico com a mesma eficiência, a qual é avaliada através da remoção de microrganismos **indicadores de contaminação fecal**. O grupo de bactérias dos coliformes fecais é o indicador de contaminação fecal geralmente utilizado. A *Escherichia coli* é uma bactéria coliforme fecal muito utilizada como indicador de contaminação. No entanto, estes indicadores não fornecem qualquer informação quantitativa quanto à presença de patogénicos não bacterianos na água, como os protozoários, vírus e ovos de helmintas. Além disso, alguns patogénicos são mais resistentes aos processos de desinfecção que os indicadores, pelo que é possível que a análise de águas residuais desinfectadas não acuse a presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal, e contudo ainda se encontrem presentes alguns patogénicos. Por exemplo, as espécies de *Cryptosporidium* são 20 vezes mais resistentes à desinfecção por cloragem que os coliformes fecais, pelo que, se a água tiver sido desinfectada por cloragem, a ausência de coliformes fecais não assegura a ausência de *Cryptosporidium*. Porém, os coliformes fecais já fornecem informação válida quanto à remoção de *Cryptosporidium* se a remoção de patogénicos se processar por filtração em leito de areia, visto que ambos os tipos de microrganismos são filtrados com eficiências semelhantes.

Para um mesmo par «patogénico»/«processo de desinfecção», a eficiência de remoção depende dos seguintes factores:

- a) Características físicas e químicas das águas residuais;
- b) Tempo de contacto da água com o agente desinfectante;
- c) Dose/concentração do agente desinfectante;
- d) Temperatura ambiente;
- e) Características hidráulicas do escoamento das águas residuais no reactor de desinfecção.

É óbvia a influência dos factores «tempo de contacto» e «dose/concentração de desinfectante» na eficiência do processo, bem como da «temperatura», factor que afecta o desenvolvimento microbiano e a sua sobrevivência fora do seu habitat intestinal, a qual aumenta com o abaixamento da temperatura ambiente.

---

<sup>33</sup> Ver 2.4

As características físicas e químicas das águas residuais a desinfectar, que dependem do tratamento a que foram submetidas, devem ser criteriosamente ponderadas antes da selecção do processo de desinfecção, devido às consequências que podem induzir. Apontam-se dois exemplos: a cloragem de um efluente tratado por um processo que proporcione elevado nível de nitrificação pode originar a formação de NDMA, que é cancerígeno; a presença de concentrações em SST típicas de efluentes secundários (da ordem de 35 mg/L) é impeditiva de adequada eficiência do processo de desinfecção por radiação UV, pois as partículas em suspensão na água actuam como escudos de protecção dos patogénicos, reduzindo a sua exposição à radiação. O Quadro 7-9 resume os efeitos das características físicas e químicas das águas residuais tratadas relativamente à desinfecção por cloro, por UV e por ozono.

Uma possível consequência da baixa eficiência da desinfecção pode consistir na posterior multiplicação dos patogénicos (o chamado *regrowth*), quer pela recuperação de microrganismos apenas parcialmente afectados pelo agente desinfectante, quer por encontrarem condições favoráveis à sua multiplicação, por exemplo em biofilmes formados nas paredes de condutas e reservatórios.

Tomando como critérios de comparação técnico-económica dos processos mais correntes de desinfecção de águas residuais tratadas os factores a considerar na selecção do processo – eficiência do processo na inactivação dos microrganismos patogénicos e a sua fiabilidade, risco do agente de desinfecção para seres humanos e animais, disponibilidade no mercado e custo, facilidade de transporte e de armazenamento, operacionabilidade e impactes ambientais –, conclui-se que nenhum dos processos de desinfecção é completamente satisfatório [EU, 2006].

A cloragem apresenta a desvantagem da formação de compostos cancerígenos, mas é de aplicação vantajosa nos casos em que é necessário prevenir contaminações posteriores à desinfecção. A ozonização apresenta custos de investimento e de O&M mais elevados, pelo que a sua aplicação se justifica quando é necessário combinar o seu efeito desinfectante com outros objectivos de qualidade da água a reutilizar, como por exemplo a remoção de cor. A desinfecção por radiação UV apresenta custos de O&M elevados, devido ao consumo energético e de lâmpadas.

Uma solução que tem sido prosseguida nos últimos anos consiste na combinação sinérgica de dois processos de desinfecção, nomeada-

Quadro 7-9 – Efeitos das características das águas residuais tratadas na eficiência da desinfecção por cloro, por UV e por ozono (adaptado de [Asano *et al.*, 2007; EU, 2006])

Parâmetro	Cloro	UV	Ozono
CBO, CQO, COT	Aumenta a necessidade de cloro, em função da estrutura das moléculas orgânicas e dos grupos funcionais.	Sem efeito, salvo se a matéria orgânica for predominantemente húmica.	Aumenta a necessidade de ozono, em função da estrutura das moléculas orgânicas e dos grupos funcionais.
Substâncias húmicas	Redução da eficiência da cloração e formação de compostos organoclorados.	Absorvem grande parte da radiação UV, com redução da eficiência da desinfecção.	Afecta a taxa de decomposição do O <sub>3</sub> e a demanda de ozono.
Sólidos em Suspensão	Servem de escudo de protecção aos microrganismos envolvidos nos SS.	Absorvem radiação UV e servem de escudo de protecção aos microrganismos envolvidos nos SS.	Aumentam a necessidade de O <sub>3</sub> e servem de escudo de protecção aos microrganismos envolvidos nos SS.
Óleos e gorduras	Pode aumentar a necessidade de cloro.	Acumula-se sobre as lâmpadas de UV e absorve radiação.	Pode aumentar a necessidade de O <sub>3</sub> .
Alcalinidade	Não afecta.	Pode aumentar o potencial de incrustações sobre as lâmpadas. Afecta a solubilidade dos metais que podem absorver radiação UV.	Não afecta.
Dureza	Não afecta.	O Ca, o Mg e outros metais podem precipitar sobre as lâmpadas, especialmente a temperaturas elevadas.	Não afecta.
Amónia	Forma cloraminas, que aumentam a demanda de cloro.	Não afecta.	Não afecta, embora possa reagir a pH elevado.
Nitratos	Não forma cloraminas.	Não afecta.	Pode reduzir a eficiência do O <sub>3</sub> .
Nitrito	A oxidação pelo cloro forma NDMA.	Não afecta.	Oxidado pelo O <sub>3</sub> .
Ferro	Oxidado pelo cloro	Absorve fortemente a radiação UV, pode precipitar sobre as lâmpadas, pode ser absorvido nos SS e servir de escudo às bactérias.	Oxidado pelo O <sub>3</sub> .
Manganês	Oxidado pelo cloro	Absorve fortemente a radiação UV.	Oxidado pelo O <sub>3</sub> .
pH	Condiciona a predominância de HOCl e OCl <sup>-</sup>	Pode afectar a solubilidade dos metais e dos carbonatos.	Afecta a taxa de decomposição do ozono.

mente com novos processos avançados de oxidação, como por exemplo a combinação da radiação UV com peróxido de hidrogénio ( $H_2O_2$ ) ou com ácido peracético. No Quadro 7-10 apresenta-se uma análise sumária da aplicabilidade dos processos de desinfecção emergentes.

Quadro 7-10 – Processos emergentes de desinfecção

Processos	Características do processo
UV / Ácido peracético	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mais segurança na aplicação.</li> <li>– Não forma compostos prejudiciais.</li> <li>– Elevada eficiência na inativação de bactérias e fungos.</li> <li>– Dependente do pH.</li> </ul>
Ozono / UV	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inativação de um largo espectro de microrganismos.</li> <li>– Redução do ozono necessário</li> </ul>
Ozono / $H_2O_2$ (peroxono)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Não forma compostos prejudiciais.</li> <li>– Elevada eficiência na desinfecção de água tratada por microfiltração.</li> </ul>
UV / $H_2O_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Processo avançado de oxidação mais utilizado na remoção de matéria orgânica dissolvida que na desinfecção.</li> </ul>

### 7.6.2.3 Cloragem

A cloragem é o processo de desinfecção da água por adição de cloro molecular ou de compostos clorados e é largamente praticada desde o início do século XX. Os compostos clorados utilizados para desinfecção da água apresentam-se de seguida, por ordem de volume utilizado:

- Hipoclorito de sódio ( $NaOCl$ ), utilizado na forma de solução aquosa;
- Cloro gasoso ( $Cl_2$ );
- Dióxido de cloro ( $ClO_2$ );
- Cloraminas: monocloramina ( $NH_2Cl$ ); dicloramina ( $NHCl_2$ ); tricloramina ( $NCl_3$ );
- Hipoclorito de cálcio [ $Ca(OCl)_2$ ].

A inativação dos microrganismos patogénicos por cloragem é devida às lesões na membrana celular e também a alterações da actividade de formação do ADN dos microrganismos, originadas por ataque do cloro. No Quadro 7-11 comparam-se as vantagens e as desvantagens da desinfecção por cloragem:

Quadro 7-11 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por cloração

Vantagens	Desvantagens
Inactivação de um vasto tipo de patogénicos.	Formação de subprodutos perigosos da desinfecção (compostos organoclorados) <sup>34</sup> por reacção com compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água.
Permanência de um teor residual de cloro.	Riscos associados à utilização dos compostos de cloro, particularmente do cloro gasoso.
Flexibilidade de dosagem	Baixa eficiência relativamente a alguns patogénicos, como os protozoários e os ovos de helmintas.
Economia.	Possibilidade de conferir cheiro e gosto à água

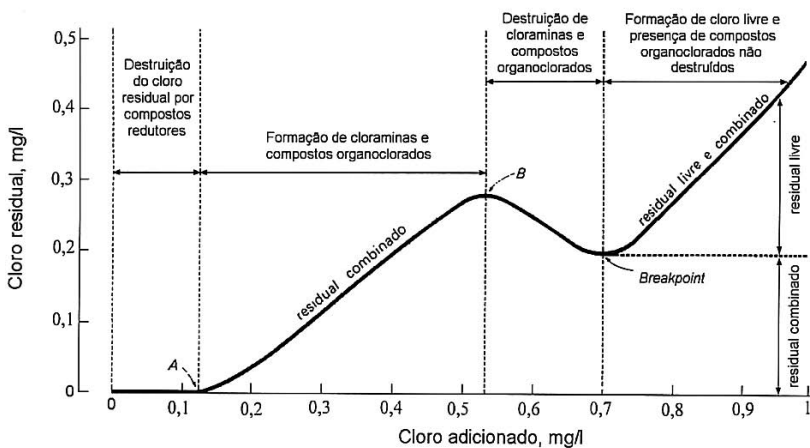


Figura 7-1 – Cloração ao breakpoint

### 7.6.2.3.1 Hipoclorito de sódio

O hipoclorito de sódio (NaOCl) em solução de 12 a 15% é o desinfectante clorado mais utilizado.

### 7.6.2.3.2 Cloro

O cloro gasoso  $Cl_2$  é fornecido liquefeito, transportado em cilindros de aço ou em autotanques. A despressurização vaporiza o líquido, que ao ser injectado na água dá origem à formação de ácido clorídrico (HCl) e de

<sup>34</sup> Denominados como DBP (disinfection by-products) na literatura de língua inglesa.

ácido hipocloroso (HOCl), que se dissocia em  $H^+$  e  $OCl^-$ . A forma não dissociada do ácido hipocloroso (HOCl) é muito mais eficiente na inativação de microrganismos, nomeadamente de bactérias, do que o ião hipoclorito ( $OCl^-$ ).

O  $Cl_2$  reage com compostos orgânicos e inorgânicos, tais como cianetos, sulfuretos, sulfitos, nitritos, brometos, ferro e manganês. O teor de [HOCl] e de [ $OCl^-$ ] remanescente depois das reacções referidas é designado como **cloro residual livre** e é utilizado para avaliar a eficiência da desinfecção, visto ser mais eficiente do que o cloro combinado na forma de cloraminas (Figura 7-1).

#### 7.6.2.3.3 Dióxido de cloro

O dióxido de cloro ( $ClO_2$ ) é um poderoso desinfectante gasoso, que tem que ser produzido *in situ*, pois a sua instabilidade e reactividade desaconselham o transporte. O dióxido de cloro é produzido por reacção de  $Cl_2$  com clorito de sódio ( $NaO_2Cl$ ). A vantagem do dióxido de cloro é que não reage com substâncias presentes na água e, portanto, não origina compostos organoclorados, como o cloro. Porém, esta vantagem, bem como a de não provocar impactos adversos nos ecossistemas, só é assegurada se não existir excesso de  $Cl_2$  proveniente da produção do dióxido de cloro, o que requer um doseamento cuidadoso de  $Cl_2$  durante a produção de  $ClO_2$ .

#### 7.6.2.3.4 Cloraminas

As cloraminas são um grupo de compostos caracterizados por terem pelo menos um átomo de cloro ligado a um átomo de azoto trivalente.

As cloraminas podem ser um subproduto da desinfecção por hipoclorito de sódio ou de cálcio, se a água contiver amónia e/ou aminas, mas também podem actuar como desinfectante e com vantagem, em algumas situações. A utilização de cloraminas como desinfectante requer a sua produção por adição de cloro e amónia, em sequência ou em simultâneo.

A monocloramina ( $NH_2Cl$ ) é a mais utilizada como desinfectante, pois embora seja menos eficiente que o  $Cl_2$ , é mais estável, assegurando o seu efeito residual por mais tempo e não tem tendência a reagir com compostos orgânicos precursores de compostos organoclorados. A monocloramina é mais eficiente do que o cloro livre no controlo de biofilmes e de bactérias em sistemas com longo tempo de retenção. A monocloramina é utilizada como desinfectante secundário.

Os diferentes compostos clorados apresentam eficiências de inactivação de patogénicos e condições de aplicação diferentes, conforme se descreve, de forma reduzida, seguidamente.

#### 7.6.2.4 Ozonização

A ozonização é o processo de desinfecção da água por adição de ozono (O<sub>3</sub>). Apesar de ser o processo mais eficiente de desinfecção da água, a sua aplicação tem sido reduzida comparativamente a outros processos, devido aos seus elevados custos.

O ozono inactiva os microrganismos por oxidação dos compostos que formam a sua membrana celular e o citoplasma e por destruição do seu ADN.

Quadro 7-12 – Características dos desinfectantes clorados

	<b>Eficiência</b>	<b>Efeitos na água</b>	<b>Segurança</b>	<b>Aplicação</b>
Hipoclorito de sódio e de cálcio	Elevada na inactivação de bactérias e de vírus. Baixa na inactivação de protozoários.	Pouco estável, perde 1% de actividade por dia.	Mais seguro que o cloro gasoso.	Utilizados em sistemas de reutilização de água de pequena dimensão.
Cloro gasoso	Elevada na inactivação de bactérias e de vírus.	Produção de compostos organoclorados.	Substância perigosa, que requer medidas segurança em todas as fases, desde o transporte, ao armazenamento e utilização. Requer plano de emergência. Cloro residual tem impactes adversos na rega e no meio aquático.	
Dióxido de cloro	Semelhante à do cloro gasoso para bactérias e vírus, mesmo na presença de SS; mais elevada para os protozoários.	Menor produção de compostos organoclorados.		Aplica-se na obra de entrada, nos decantadores.
Cloraminas	Mais reduzida.		Tóxica para os utilizadores de hemodiálise. Tóxicas para os peixes.	

A injeção de ozono na água dá origem à sua decomposição parcial em radicais OH<sup>o</sup>, que são altamente reactivos, mas não contribuem para a

destruição dos microrganismos patogénicos, reagindo com compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água.

Daqui resulta uma vantagem adicional da ozonização, que, além da desinfecção, proporciona a oxidação de teores residuais de poluentes presentes na água, nomeadamente compostos não biodegradáveis, como pesticidas, compostos disruptores endócrinos, corantes, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, que podem ser removidos até concentrações inferiores ao seu limite de quantificação analítica [EU, 2006]. A oxidação destes compostos tem como consequência a diminuição da concentração da água em SST e COT e o aumento do teor de CQO solúvel e de CBO.

Contrariamente aos desinfectantes clorados, o ozono não dá origem à formação de compostos halogenados, excepto se existir brometo na água, situação em que dá origem à formação de diversos compostos bromados, como o bromofórmio, o dibromoacetónitrilo, etc., dos quais os mais preocupantes são os bromatos ( $\text{BrO}_3^-$ ), por serem potencialmente cancerígenos e de difícil remoção.

O ozono é muito eficiente na inactivação de bactérias, vírus e até protozoários, como a *Giardia*, embora alguns protozoários, como o *Cryptosporidium parvum* se apresentem como mais resistentes, requerendo doses mais elevadas.

O tempo de contacto do ozono com a água é reduzido, da ordem de 10 a 30 minutos. Nem toda a massa de ozono injectada na água é solubilizada. Desta, uma parte é consumida na oxidação de compostos presentes na água, pelo que o que interessa para a inactivação de microrganismos patogénicos é a **concentração de ozono residual transferido para a água (CT)**, que é o parâmetro crítico da ozonização. A CT é definida como o produto da concentração residual de ozono<sup>35</sup> (à saída do reactor de contacto da fase gasosa com a fase líquida)  $C_{\text{S}}^{\text{O}_3}$  pelo tempo de contacto  $t_{10}$ .<sup>36</sup>

$$\text{CT} = C_{\text{S}}^{\text{O}_3} t_{10} \quad (7.1)$$

A CT exprime-se em  $\text{mg}\cdot\text{min}/\text{L O}_3$ . Não existe uma correlação entre este parâmetro e a taxa de inactivação de patogénicos.

<sup>35</sup> Teor de ozono não consumido na oxidação de microrganismos e de compostos presentes na água.

<sup>36</sup> « $t_{10}$ » é o tempo necessário para que 10% de um traçador conservativo atinja a saída do reactor de desinfecção.



No Quadro 7-13 comparam-se as vantagens e as desvantagens da desinfecção por ozonização:

Quadro 7-13 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por ozonização [adaptado de EU, 2006]

Vantagens	Desvantagens
Eficaz na remoção da generalidade dos patógenos, incluindo <i>Giardia</i> .	Custos de investimento relativamente elevados.
Remoção de cor e de odores da água.	Custos de O&M relativamente elevados.
Oxidação de poluentes orgânicos persistentes.	Aumenta o teor de CBO solúvel, o que estimula o recrescimento de microrganismos.
Não formação de compostos organo-halogenados, excepto de compostos bromados.	Formação de bromatos.
Oxidação de ferro e de manganês.	Complexidade: necessidade de pessoal especializado.
Não requer o transporte e armazenamento de substâncias perigosas.	Tóxico, requerendo medidas de segurança apropriadas.
Flexibilidade: produção ajustável.	Corrosivo, requerendo adequada selecção de materiais.

A concentração de ozono transferida para a água necessária para atingir determinado nível de remoção de microrganismos patogénicos depende dos seguintes factores:

- a) Temperatura: os valores de CT baixam com o aumento da temperatura, o que é, de certo modo, compensado pelo decréscimo da solubilidade do ozono com o aumento da temperatura.
- b) pH: os radicais OH<sup>0</sup> formam-se mais rapidamente com valores elevados de pH. Porém, como estes radicais não interferem na desinfecção, esta será mais eficiente com um pH neutro.
- c) Características de qualidade das águas residuais tratadas a ozonizar.

O factor mais importante na determinação da CT reside nos compostos que serão oxidados pelo ozono e que assim constituem a demanda de ozono.

A desinfecção por ozono é praticada a jusante do tratamento secundário, sendo este geralmente completado com filtração em areia ou em carvão activado, de modo a reduzir a demanda de ozono originada por teores residuais de compostos orgânicos e inorgânicos.

Devido à variabilidade da composição das águas residuais tratadas a CT de ozono deve ser determinada em ensaios laboratoriais e ensaios-piloto.

#### 7.6.2.4.1 Produção de ozono

Pelo facto de ser um gás instável, o ozono tem que ser produzido na instalação de desinfecção, a partir de ar ou de oxigénio puro.

A instalação de produção de ozono é constituída pelas seguintes unidades: sistema de preparação do gás de alimentação (ar ou oxigénio); gerador de ozono; sistema de transferência para a água; equipamento de destruição do ozono residual; equipamento de segurança.

Qualquer que seja o gás – ar ou oxigénio puro –, este deve satisfazer determinados requisitos de conteúdo de poeiras, impurezas e humidade. Estes requisitos não são satisfeitos de todo quando se utiliza o ar como matéria-prima para a produção de ozono, sendo necessário tratá-lo segundo um complexo esquema a fim de remover poeiras, humidade e impurezas, como hidrocarbonetos. Os ozonizadores de última geração utilizam oxigénio puro, o que permite duplicar o rendimento de produção de ozono [EU, 2006].

O gerador consiste num tambor cilíndrico onde o ozono é produzido por meio de uma descarga eléctrica de alta voltagem (7-20 kV) entre dois eléctrodos concêntricos, a qual fornece a energia necessária para que se dê a reacção  $O_2 + O \rightarrow O_3$ .

O ozono gasoso pode ser dissolvido na água através de dois processos: difusores em cerâmica porosa ou em aço inoxidável que permitem o contacto das bolhas de gás ao longo de 3 a 5 m de coluna de água; ou injectores Venturi. Os injectores Venturi são um processo muito eficiente de transferência de ozono para a fase líquida, com a vantagem de a instalação ser mais compacta em relação à transferência por difusão de bolhas de ozono, mas com o inconveniente de ser de operação mais complexa e de requerer altura manométrica mais elevada.

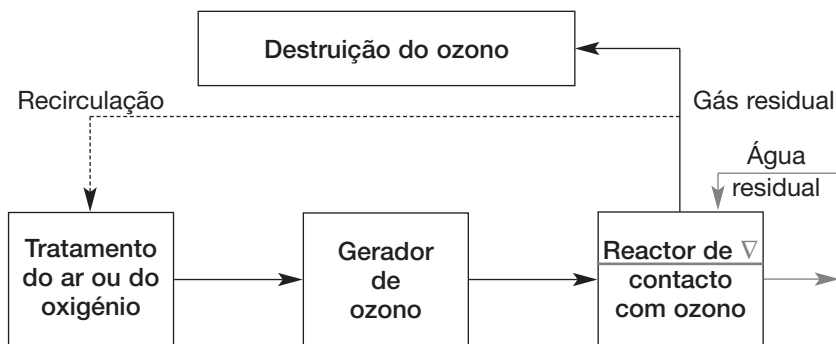


Figura 7-2 – Esquema da desinfecção de águas residuais por ozonização

O gás residual do reactor de ozonização tem que ser submetido a um tratamento térmico, para redução do  $O_3$  a  $O_2$  antes da sua libertação na atmosfera. Esta destruição do ozono processa-se a temperatura superior a  $300^\circ C$ , podendo ser realizada a temperatura significativamente mais baixa, da ordem dos  $100^\circ C$ , se se utilizar um catalizador, como o dióxido de manganês.

#### 7.6.2.4.2 Aspectos de segurança e saúde

O ozono é um gás muito corrosivo, pelo que os materiais das instalações de ozono têm de ser resistentes à corrosão, para evitar fugas. As tubagens são em aço inoxidável, os tanques de contacto das águas residuais tratadas com o gás são em betão ou em PVC e devem ser cobertos.

Além de corrosivo, o ozono é um gás muito tóxico. A OMS estipula a concentração de  $120 \mu g/m^3$  como o limite que assegura a protecção da saúde pública.

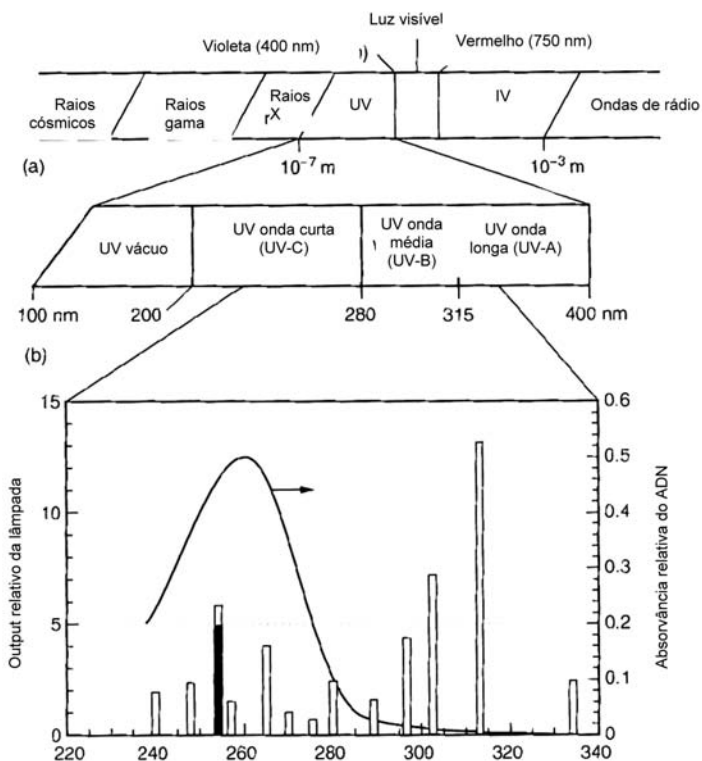


Figura 7-3 – Banda de UV germicida no espectro da radiação electromagnética (fonte: [Asano et al., 2007])

As medidas preventivas da protecção da saúde incluem: instalação dos geradores de ozono em edifício ventilado, equipado com instrumentação de detecção de ozono na atmosfera interior e de alarmes visuais e sonoros, accionados quando a concentração de ozono atingir  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e com capacidade para parar a instalação se essa concentração atingir aos  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [US EPA, 1999].

### 7.6.2.5 Radiação UV

A radiação ultravioleta (UV) é a radiação electromagnética de comprimento de onda compreendido entre 4 e 400 nm, correspondente a banda do espectro entre os raios X e a luz visível (Figura 7-3). Ao penetrar nas células, a radiação UV danifica o seu material genético, podendo deste modo eliminar ou inactivar microrganismos (ao afectar a sua capacidade de reprodução). A radiação UV de comprimento de onda entre 200 a 280 nm é mais eficiente na redução de microrganismos patogénicos, principalmente quando o comprimento de onda da radiação incidente se situa entre 255 a 265 nm [Asano *et al.*, 2007].

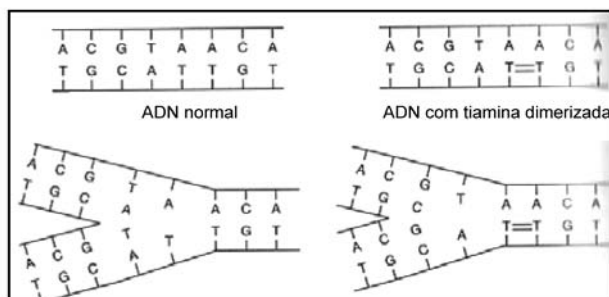


Figura 7-4 – Alteração das ligações no ADN por acção dos UV (fonte: [Asano *et al.*, 2007])

A desinfecção por radiação UV foi aplicada em sistemas de abastecimento de água para consumo humano no início do século XX, em Marselha [EU, 2006]. O advento da cloragem destronou a aplicação do UV na desinfecção de água. Só depois da descoberta, na segunda metade dos anos 70 do século XX, do potencial cancerígeno dos compostos organoclorados produzidos pela combinação de matéria orgânica com o cloro, é que a pesquisa de processos de desinfecção com menor impacto levou a que a desinfecção UV adquirisse grande popularidade, sobretudo nos anos mais recentes, desde meados da década de 90, e principalmente no domínio da desinfecção de águas residuais tratadas destinadas a reutiliza-

ção. Este desenvolvimento deve-se às vantagens deste processo de desinfecção sobre a desinfecção por compostos de cloro, tais como a não formação de compostos organoclorados e a inactivação de oocistos de protozoários, tornando-se assim um processo de desinfecção eficaz e com menor impacte ambiental.

A exposição à radiação UV danifica os ácidos nucleicos – ADN e ARN – das células, do que resulta a morte ou a impossibilidade de reprodução (Figura 7-4).

Este mecanismo de inactivação atinge a generalidade dos microrganismos patogénicos – bactérias, vírus e até os protozoários –, mas é menos eficaz para os ovos de helmintas, que são bastante resistentes à penetração dos UV.

Alguns microrganismos que sobrevivem à exposição da radiação UV, embora fiquem inactivados, apresentam a capacidade de regenerar o seu ADN danificado, quando expostos a radiação visível de 330–500 nm, num processo conhecido como **foto-reactivação**, em que o agente principal é uma enzima denominada fotoliase.

Outros microrganismos conseguem o mesmo efeito na ausência de luz, através de um mecanismo de reparação que utiliza moléculas proteicas, designado «**reactivação no escuro**». A reactivação no escuro pode ocorrer no interior de condutas.

Os fenómenos de foto-reactivação e de reactivação no escuro podem ser evitados pela aplicação de uma dose de radiação UV que minimize o número de microrganismos com capacidade de reactivação.

No Quadro 7-14 apresentam-se as vantagens e desvantagens da desinfecção com radiação UV.

#### **7.6.2.5.1 Factores que condicionam a eficiência da desinfecção por UV**

A eficiência da desinfecção por UV depende da quantidade de radiação e do tempo de exposição (que é da ordem de poucos segundos). Para o mesmo valor de intensidade de radiação e de tempo de exposição, a eficiência de remoção de microrganismos patogénicos depende dos seguintes factores:

- a) Características de qualidade das águas residuais tratadas que afectam a transmitância da radiação UV na água e que são principalmente: os sólidos em suspensão; o ferro; sais de cálcio e de magnésio;
- b) Configuração da instalação de desinfecção UV: projecto do reactor de desinfecção, tipo de lâmpadas UV, sua idade, tipo de manutenção.

Quadro 7-14 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por radiação UV (adaptado de [EU, 2006])

Vantagens	Desvantagens
Não forma compostos organoclorados. Não altera a composição química da água.	Custos de capital elevados.
Muito eficiente na remoção de bactérias, de <i>Cryptosporidium</i> e de <i>Giardia</i> .	Necessidade de realização de um programa de manutenção preventiva, para manter as lâmpadas limpas.
Facilidade de O&M.	Eficiência muito dependente das características de qualidade da água (turvação, SS, substância absorventes de UV).
Baixo tempo de contacto com a água.	Baixo poder virucida. Possibilidade de fotorreactivação. Necessidade de desinfectante adicional no sistema de armazenamento e transporte.

#### 7.6.2.5.2 Características de qualidade das águas residuais tratadas

A **transmitância** é a capacidade de a água se deixar atravessar por um feixe de luz. A transmitância está relacionada com a absorvância, que é a quantidade de luz de determinado comprimento de onda que é absorvida pela água e substâncias nela dissolvidas. Deste modo, a transmitância UV mede a radiação UV que se perde quando o feixe de radiação atravessa as águas residuais tratadas.

Conforme ilustrado na Figura 7-5, a presença de SS na água diminui a remoção de patogénicos por radiação UV, pois as partículas em suspensão, além de dispersarem a radiação incidente, constituem verdadeiros escudos protectores que impedem a radiação UV de atingir os microrganismos adsorvidos à superfície das partículas. Quanto mais elevado o teor de SS na água menor a sua transmitância. Mas não é apenas a concentração de partículas em suspensão que condiciona a eficiência da desinfecção por UV, importando também a distribuição da dimensão das partículas: as partículas de dimensão superior a 10 µm podem constituir escudos de protecção dos microrganismos, enquanto partículas de dimensão superior a 40 µm absorvem radiação sem que esta penetre completamente, obrigando à aplicação de doses mais elevadas de radiação para atingir os microrganismos ou, em alternativa, à redução do teor de SS na água, por filtração, por exemplo.

A importância do teor dos SS e da distribuição da sua dimensão sobre a transmitância da água é tal que só se devem comparar resultados de

inactivação de patogénicos por UV se tiverem sido obtidos em estudos com condições semelhantes de SS e de quantidade de radiação aplicada [EU, 2006].

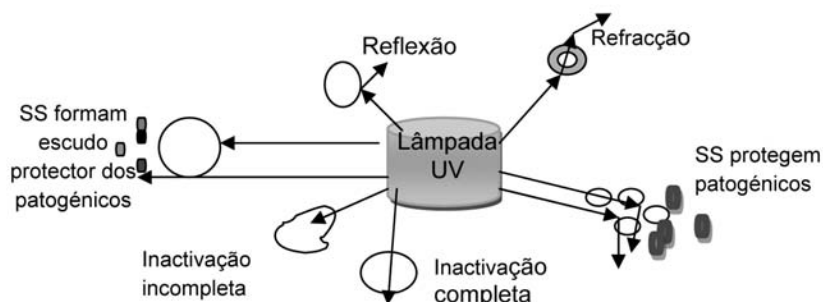


Figura 7-5 – Interferência dos SS na água com a acção germicida dos UV

A presença de ferro dissolvido na água também contribui para diminuir a eficiência da desinfecção por UV, pois aumenta a absorvância da luz UV, precipita sobre as lâmpadas emissoras da radiação, aumentando a frequência da necessidade da sua limpeza e intensifica o efeito de escudo das partículas em suspensão de protecção dos microrganismos patogénicos contra a radiação UV. Por esta razão, se a fileira de tratamento de águas residuais destinadas a reutilização incluir coagulação química ou precipitação com sais de ferro para remoção de fosfatos, a desinfecção por UV pode não constituir uma combinação eficiente, devendo a dosagem dos reagentes químicos e da radiação UV ser estudada com particular atenção. A concentração de ferro não deve exceder 0,3 mg/L.

A existência de carbonatos, sulfatos e fosfatos de cálcio e de magnésio conferem dureza à água, podendo originar a formação de precipitados sobre as lâmpadas emissoras de radiação UV, diminuindo a eficiência do processo e obrigando a limpezas mais frequentes.

### 7.6.2.5.3 Configuração da instalação de desinfecção

A radiação UV é emitida por lâmpadas de diversos tipos, cuja tecnologia tem registado contínua evolução nos últimos anos. A forma mais vulgar de produzir radiação UV consiste numa descarga eléctrica entre dois eléctrodos em atmosfera de vapor de mercúrio ou numa mistura deste vapor com outros gases raros – como o cripton e o árgon –, contida numa manga de quartzo. A estabilidade da corrente eléctrica que induz a descarga é assegurada por um transformador denominado «**balastro**».

A instalação de desinfecção por radiação UV é projectada considerando de forma integrada: o tipo de lâmpada, o seu balastro e a configuração do reactor de desinfecção, de modo a minimizar a perda de intensidade da radiação UV por adsorção e dissipação, o que é assegurado por:

- a) Escoamento hidráulico em êmbolo;
- b) Imersão das lâmpadas emissoras de UV na água em módulos configurados de modo a que a avaria ou diminuição de uma lâmpada não afecte a eficiência do processo.

### Lâmpadas de UV

A desinfecção de águas residuais tratadas por radiação UV tem-se tornado bastante popular nos últimos anos, o que tem motivado o contínuo aperfeiçoamento da tecnologia de lâmpadas e balastros. As lâmpadas de eléctrodos são de três tipos:

- a) Lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade;
- b) Lâmpadas de baixa pressão e alta intensidade;
- c) Lâmpadas de média pressão e alta intensidade.



Figura 7-6 – Instalação de desinfecção por UV

O impacte ambiental do destino final de lâmpadas de vapor de mercúrio tem sido o principal motivo de desenvolvimento de novos tipos de lâmpadas para aplicação na desinfecção de águas residuais tratadas, como as lâmpadas de xénon e as chamadas excilâmpadas.



As lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade emitem um feixe de radiação UV essencialmente monocromática na banda dos UV-C, com um pico muito intenso nos 253,7 nm, muito próximo do comprimento de onda mais germicida (260 nm).

As lâmpadas de baixa pressão e alta intensidade são semelhantes às anteriores, mas utilizam o vapor de uma amálgama de mercúrio e de índio, o que permite a emissão de radiação UV-C 3 a 4 vezes mais intensa. São lâmpadas mais duradouras.

As lâmpadas de média pressão e alta intensidade emitem radiação mais policromática, embora muito intensa (50 a 100 vezes a radiação emitida por lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade). São, assim, mais apropriadas a situações de falta de espaço ou de desinfecção de elevados caudais, como a descarga de excesso de caudal de tempestade.

No Quadro 7-15 comparam-se as características principais das lâmpadas de eléctrodos referidas em a), b) e c).

A eficiência das lâmpadas de UV diminui com a idade deste equipamento, devido a deterioração dos eléctrodos e ao envelhecimento da manga de

Quadro 7-15 – Comparação das características operacionais de lâmpadas de UV [EU, 2006; Asano *et al.*, 2007]

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Baixa pressão e baixa intensidade</b>	<b>Baixa pressão e alta intensidade</b>	<b>Média pressão e alta intensidade</b>
Banda de UV emitida	nm	Monocromática 185-254	Monocromática 185-254	Policromática 185-254
Pressão de vapor de Hg	mbar Hg	0,007	0,001-0,01	1000 -2000
Temperatura	°C	35-50	60-150	500-900
Consumo de energia	W	15-100	120-500	400-20.000
Intensidade de corrente na lâmpada	mA	350-550	Variável	Variável
Voltagem da lâmpada	V	220	Variável	Variável
Eficiência de emissão de UV-C	%	30-40	25-38	5-22
Diâmetro das lâmpadas	mm	15-20	Variável	Variável
Perda de carga da instalação	-	Elevada	Média	Baixa
Duração das lâmpadas	h	8.000-16.000	8.000-16.000	4.000-10.000
Duração do balastro	ano	10-15	10-15	1-3
Substituição de lâmpadas	n.º	Elevado	Médio	Baixo
Ocupação de área	-	Elevada	Média	Baixa

quartzo. A deposição de precipitados e de sujidade sobre a superfície exterior das lâmpadas diminui a quantidade de radiação UV que incide sobre a água a desinfectar, pelo que a limpeza externa das lâmpadas é um factor fundamental na eficiência da desinfecção. Existem formas diversas de proceder a esta operação: manualmente, por imersão das lâmpadas numa solução ácida (geralmente ácido cítrico ou ácido fosfórico), e automaticamente, pelo deslizamento ao longo da lâmpada de uma manga de tecido embebido em líquido de limpeza.

#### 7.6.2.5.4 Tipo de reactores de desinfecção por radiação UV

Determinada a dose de radiação UV a utilizar, fica definido o número de lâmpadas necessárias, as quais podem ser montadas horizontalmente em baterias paralelas ao escoamento das águas residuais ou verticalmente em baterias perpendiculares ao fluxo da água, que deve ser em êmbolo, podendo o reactor da desinfecção por UV ser em canal aberto ou fechado. Em qualquer dos casos, o número mínimo de baterias de lâmpadas deve assegurar a reserva de equipamento necessária para garantir a fiabilidade do processo de desinfecção. O sistema de controlo do nível do líquido é muito importante nos reactores de canal aberto, pois deve assegurar que as lâmpadas estejam sempre completamente mergulhadas na água. A Figura 7-7 apresenta exemplos de configurações de reactores de desinfecção por UV.

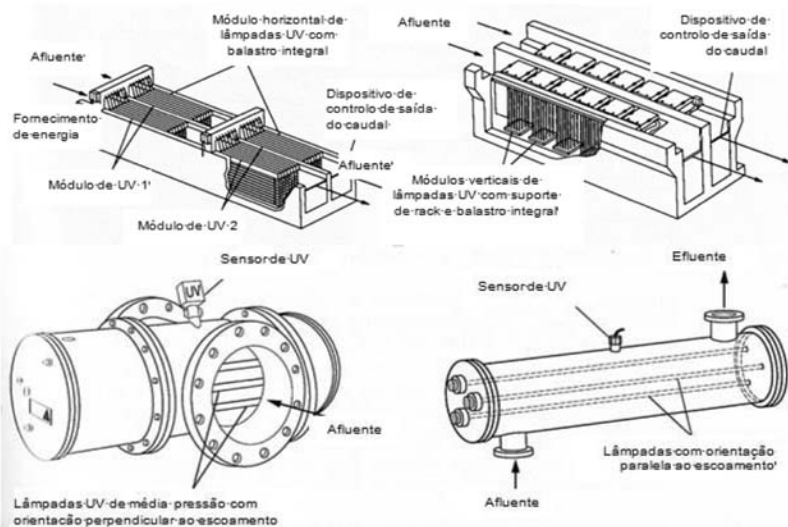


Figura 7-7 – Configuração de reactores de UV – em canal aberto e em conduta fechada

### 7.6.2.6 Processos naturais

Os processos naturais de tratamento de águas residuais aproveitam os mecanismos naturais dos ecossistemas para remover os poluentes e os microrganismos presentes nas águas residuais. Esses mecanismos abarcam muitos dos que são intensivamente utilizados nas ETAR convencionais, nomeadamente a sedimentação, filtração, adsorção, precipitação química, transferência de gases, reacções redox, reacções bioquímicas, além de outros mecanismos específicos dos sistemas de tratamento naturais, como a fotossíntese, a fotoxidação e a exportação pelas plantas. A grande diferença entre os processos naturais e os processos mecanizados reside na velocidade das operações e processos de tratamento, que no primeiro caso se processa a um ritmo «natural», enquanto no segundo é muito acelerada por equipamento electromecânico, razão pela qual os processos intensivos requerem área de implantação muito menor, justificando que os processos de tratamento naturais também sejam conhecidos por «**processos extensivos**». Outra diferença significativa reside no facto de nos processos naturais os diversos mecanismos de depuração ocorrerem simultaneamente, enquanto nas ETAR ocorrerem sequencialmente em tanques e reactores individualizados.

O tratamento de águas residuais começou por consistir em processos naturais, no século XIX, sendo progressivamente votado ao esquecimento durante a primeira metade do século XX, à medida que se desenvolviam os chamados processos de tratamento convencionais. Nos anos 60 a legislação ambiental dos EUA veio dar novo impulso aos processos de tratamento naturais, com a sua filosofia de «descarga zero» e de reutilização da água, que culminou com o Clean Water Act de 1972 [Angelakis, *et al.*, 2000]. Um preconceito muito comum em alguns meios técnicos é o de que os processos de tratamento naturais só são aplicáveis aos países menos evoluídos. E se é verdade que existem exemplos aberrantes de instalação de tratamentos intensivos em países em desenvolvimento, não é menos verdade que actualmente existem bons exemplos de aplicação de processos naturais em países desenvolvidos, como os EUA, Israel e a França, por exemplo.

Os processos naturais de tratamento de águas residuais são os seguintes:

- a) Tratamento pelo solo: infiltração lenta, infiltração rápida e escoamento superficial;
- b) Fitotratamentos: leitos de macrófitas;
- c) Sistemas de lagunagem natural.

Alguns dos processos de tratamento naturais têm reduzida aplicação no tratamento de águas residuais para reutilização, como é o caso do escoamento superficial. Outros podem ser interessantes em aplicações específicas, como por exemplo o tratamento de águas residuais em leitos de macrófitas, que pode constituir uma boa aplicação para a conservação e restauro de *habitats*. O processo de tratamento por infiltração lenta, que consiste na aplicação no solo, como se de uma rega se tratasse, de águas residuais submetidas pelo menos a tratamento preliminar, pode ser adaptado à reutilização para rega, se a cobertura vegetal do solo for uma cultura ou uma floresta, devendo ter-se em consideração os requisitos pertinentes nesse tipo de aplicação. A infiltração rápida e a lagunagem são os processos de tratamento natural com mais interesse para efeitos de reutilização da água, não só por permitirem o tratamento de caudais viáveis para posterior reutilização, como também por possibilitarem a produção de água de boa qualidade química e microbiológica, compatível com diversas aplicações de reutilização, incluindo a rega sem restrições e a recarga de aquíferos. Nas secções seguintes apresenta-se uma descrição destes processos naturais.

#### **7.6.2.6.1 Tratamento de águas residuais no solo por infiltração rápida – bacias de infiltração**

O processo de tratamento de águas residuais por infiltração rápida consiste na infiltração através do solo de águas residuais, submetidas pelo menos a tratamento preliminar, aplicadas a uma carga hidráulica significativamente mais elevada do que no caso da infiltração lenta. A infiltração rápida pode efectuar-se por furos de injeção directa ou em bacias de infiltração. No primeiro caso, a água infiltrada atinge rapidamente as águas subterrâneas. As bacias de infiltração são grandes bacias praticadas no terreno, periodicamente inundadas com as águas residuais, que assim se infiltram no solo. Tem sempre que haver pelo menos duas bacias, uma das quais se mantém em repouso, enquanto a outra efectua o seu ciclo de infiltração. Durante o repouso, dá-se a secagem das lamas retidas no fundo da bacia e a sua remoção por raspagem com uma máquina retroescavadora.

A água tratada pelo seu percurso na coluna de solo pode ser recuperada para posterior reutilização através de um sistema de drenagem constituído por tubagem perfurada ou por meio de furos de captação.

A infiltração rápida em bacias de infiltração consiste no chamado **soil-aquifer-treatment (SAT)**, processo que também constitui um método de recarga dos aquíferos, mas que não requer um tratamento das águas resi-

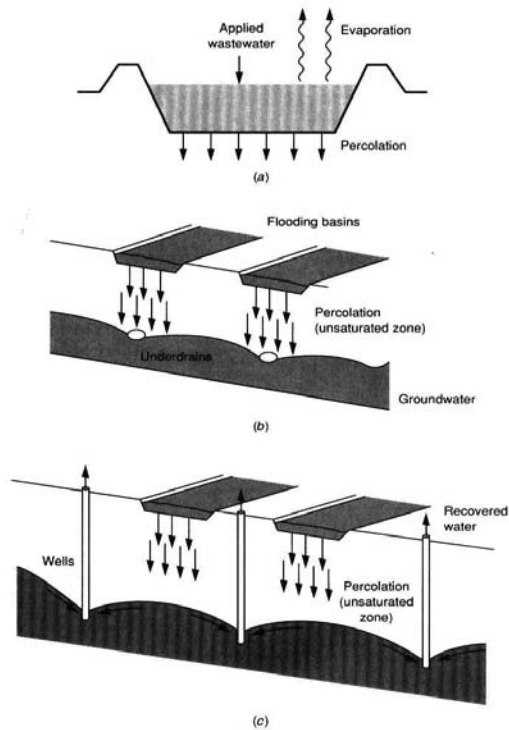


Figura 7-8 – Infiltração rápida (adaptado de [Metcalf & Eddy, 1991])

duais tão completo antes da infiltração, antes constituindo um processo de tratamento natural, que chega mesmo à desinfecção, pois à medida que a água se infiltra ocorrem mecanismos naturais de depuração dessas águas, tais como a filtração que reduz o teor de SS e de CBO, a precipitação de fósforo, a nitrificação-desnitrificação, a remoção de microrganismos, incluindo vírus, por filtração, adsorção às partículas de solo, predação e por exsicação. Grande parte destes processos depurativos ocorre nos primeiros centímetros da camada superficial do solo. Enquanto a degradação biológica de compostos orgânicos e a nitrificação-desnitrificação ocorrem tanto na zona não-saturada como na zona saturada do solo, a remoção de microrganismos é muito mais eficiente na camada não saturada. Se o objectivo do tratamento no solo incluir a desinfecção da água, deve procurar-se solo com textura uniforme e com profundidade não-saturada superior a 3 metros [Reed *et al.*, 1995].

A infiltração rápida em furos de injeção é muito mais um método de recarga de aquíferos do que um processo de tratamento natural no solo. Efectivamente, apesar de a água injectada em furos para infiltração rápida no solo

sofrer afinação das suas características, tal injeção directa requer que as águas residuais sejam submetidas a uma linha de tratamento que assegure a não poluição das águas subterrâneas subjacentes, rapidamente alcançadas pela água infiltrada. Esse tratamento prévio à injeção por furos inclui geralmente o tratamento secundário, seguido de filtração e desinfecção.

O bom desempenho do processo de tratamento de águas residuais em bacias de infiltração depende essencialmente da permeabilidade do solo, a qual por sua vez depende da natureza desse solo (estrutura e textura) e da carga hidráulica aplicada. O solo deve ser grosseiro, de modo que proporcione elevada taxa de infiltração, mas não tão grosseiro que não assegure a filtração das águas residuais. Solos com permeabilidade da ordem de 25 mm/h são apropriados para infiltração rápida. A carga hidráulica a aplicar em bacias de infiltração é da ordem de 1 a 4 mm<sup>3</sup>/ha.ano [Bower, 1991], o que corresponde à infiltração de alguns cm por dia durante o ciclo de carga.

A título de exemplo, apresenta-se no Quadro 7-16 a qualidade da água recolhida após tratamento no solo por infiltração rápida de efluente secundário, em Phoenix (Arizona, EUA).

#### **7.6.2.6.2 *Tratamento de águas residuais em sistemas de lagunagem natural***

O tratamento de águas residuais em «lagoas de estabilização» é conhecido desde a Idade Média, época em que, na Europa central, já se utilizava este método para tratamento de resíduos humanos e animais. Porém, a construção do primeiro sistema de lagoas para tratamento de águas residuais data do início do século XX, em San Antonio, no Texas. Desde então este processo natural de tratamento de águas residuais tem-se disseminado amplamente pelos EUA e por muitos países de todos os continentes, incluindo 19 países europeus [Marecos do Monte, 1992]. Tratando-se de um processo natural, a área necessária pode constituir um factor impeditivo da aplicação deste processo a grandes aglomerados, razão pela qual o tratamento de águas residuais em sistemas de lagunagem natural tem maior aplicabilidade em pequenos aglomerados, apesar de em algumas grandes cidades, como Melbourne, na Austrália, continuarem a operar sistemas de lagunagem.

Uma **lagoa de tratamento de águas residuais ou lagoa de estabilização** é uma bacia cujas paredes são geralmente constituídas por diques de terra compactada, na qual as águas residuais ficam retidas durante o tempo suficiente para a sua depuração.

Quadro 7-16 – Características de qualidade de águas residuais tratadas por infiltração rápida no solo [Bower, 1993]

Parâmetro	Efluente secundário	Efluente da infiltração rápida
	(mg/L)	
SDT	750	790
SS	11	1
Azoto amoniacal	16	0,1
Nitratos	0,5	5,3
Azoto orgânico	1,5	0,1
Fosfatos	5,5	0,4
Fluoretos	1,2	0,7
Boro	0,6	0,6
CBO	12	0
COT	12	1,9
Zinco	0,19	0,03
Cobre	0,12	0,016
Cádmio	0,008	0,007
Chumbo	0,082	0,066
Coliformes fecais/100 mL	3,5x10 <sup>3</sup>	0,3
Vírus UFP/100 L	2118	0

Numa lagoa de tratamento de águas residuais ocorrem mecanismos de sedimentação de sólidos em suspensão, mecanismos bioquímicos de degradação de matéria orgânica e mecanismos de inativação de microrganismos patogénicos. A degradação bioquímica da matéria orgânica pode processar-se por mecanismos aeróbios e anaeróbios. As lagoas podem especializar-se consoante o tipo de mecanismos que predominam nas águas residuais que contêm. Assim, classificaremos as lagoas em: **lagoas anaeróbias, lagoas facultativas e lagoas aeróbias**.

Outros critérios de classificação podem ser considerados, conduzindo a outras denominações, como: lagoas de micrófitas (microalgas), lagoas de macrófitas e lagoas compostas; lagoas de descarga contínua, de descarga controlada ou de descarga nula; lagoas primárias, secundárias, terciárias [Marecos do Monte, 1994].

Um tipo de lagoa muito importante, porque particularmente eficiente na remoção de microrganismos patogénicos, é designada como **lagoa de maturação**.

Um **sistema de lagunagem natural** é constituído por uma ou mais lagoas de estabilização ligadas em série ou em paralelo. A associação em paralelo é indicada para situações em que o caudal de águas residuais a tratar

apresenta grandes flutuações sazonais, como é o caso das zonas turísticas. Conforme foi demonstrado por Marrais (1974) a eficiência depurativa é tanto mais elevada quanto maior o número de lagoas integrantes de uma associação em série. Por razões práticas de construção, nos pequenos aglomerados a associação em série típica é constituída por três lagoas: uma lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa e uma lagoa de maturação.



Figura 7-9 – Sistema de lagunagem

A grande vantagem do tratamento de águas residuais em sistemas de lagunagem natural reside na boa eficiência de depuração do processo, incluindo um certo nível de desinfecção, aliado a um baixo custo de O&M, por se tratar de um processo sem consumo de energia e que requer reduzida mão-de-obra. A lagunagem natural oferece benefícios significativos quando aplicável em SRART, particularmente no caso da rega agrícola e paisagística, pois além da boa qualidade microbiológica do efluente, este contém microalgas que fornecem nutrientes às plantas. Além disso, as lagoas podem servir como reservatórios de regularização do volume de água para rega.

#### **7.6.2.6.3 Lagoas anaeróbias**

As lagoas anaeróbias são tanques profundos (altura de líquido da ordem de 3 m), que recebem águas residuais submetidas apenas a tratamento



preliminar, onde ficam retidas durante pouco tempo (1 a 5 dias). Devido à elevada carga orgânica que recebem, não existe oxigénio dissolvido no líquido das lagoas anaeróbias, que funcionam de forma semelhante a uma fossa séptica a céu aberto: os sólidos suspensos sedimentáveis acumulam-se no fundo, formando um manto de lamas, que é digerida anaerobiamente; a matéria orgânica dissolvida no líquido sobrejacente sofre também degradação anaeróbia. O capacete de escumas que se forma à superfície não necessita de ser removido, pois ajuda a impedir a dispersão de odores.

A temperatura constitui um factor muito importante no bom desempenho de lagoas anaeróbias: a temperaturas inferiores a 10°C o metabolismo das bactérias acidogénicas fica muito inibido, o mesmo sucedendo com as bactérias metanogénicas a temperatura ainda mais elevada (15°C).

O pH do líquido é outro factor importante, porque as bactérias metanogénicas ficam inibidas quando o pH do meio é inferior a 6.

#### **7.6.2.6.4 Lagoas facultativas**

As lagoas facultativas são tanques em que o líquido atinge uma profundidade entre 1,1 a 1,5 metros, que recebem águas residuais submetidas a tratamento preliminar ou a tratamento numa lagoa anaeróbia ou outra lagoa facultativa (primária) que a antecede, ficando retidas durante um período de tempo que pode atingir uma vintena de dias.

Os sólidos que sedimentam no fundo, tal como os microrganismos mortos, decompõem-se por acção de bactérias anaeróbias. A altura da camada anaeróbia de uma lagoa facultativa diminui com o aumento do nível do tratamento que antecede a lagoa facultativa.

A camada superficial deste tipo de lagoas é completamente aeróbia, recebendo oxigénio por dissolução do ar atmosférico e por produção fotossintética das microalgas, que se desenvolvem espontaneamente devido à penetração da luz solar. Durante a noite o teor de OD na lagoa decresce significativamente, devido à ausência de fotossíntese. As algas microscópicas, como organismos autotróficos que são, proliferam à custa do CO<sub>2</sub> e dos nutrientes mineralizados (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) resultantes da degradação anaeróbia dos poluentes orgânicos presentes nas águas residuais por acção das bactérias heterotróficas aeróbias, que por sua vez beneficiam do oxigénio produzido pela fotossíntese algal. Estabelece-se assim na zona aeróbia das lagoas aeróbias e facultativas uma relação simbiótica entre algas e bactéria.

Na zona intermédia entre a zona superficial completamente aeróbia e a estreita camada anaeróbia do fundo existe uma zona na qual predominam bactérias do tipo facultativo (com metabolismo aeróbio ou anaeróbio consoante o teor de oxigénio dissolvido), as quais dão o nome a este tipo de lagoas.

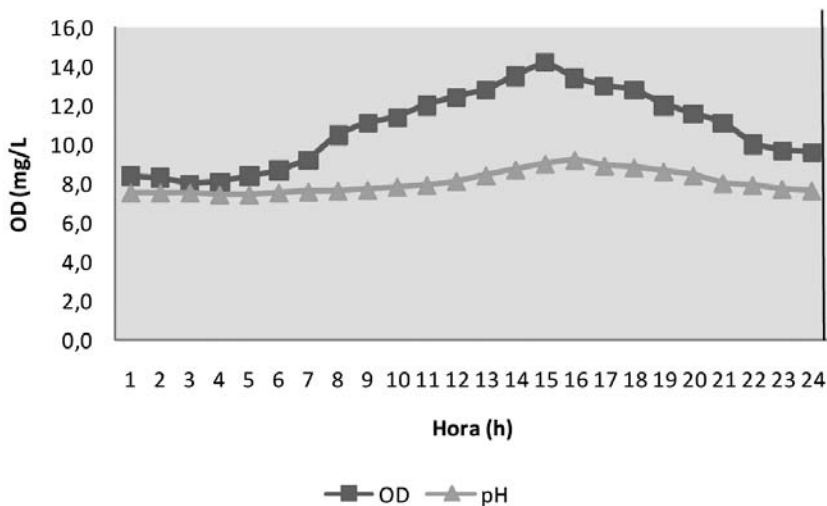


Figura 7-10 – Variação diária de pH e OD numa lagoa aeróbia  
(Fonte: Marecos do Monte, 1985)

As algas consomem  $\text{CO}_2$  durante o dia, o que provoca a subida do pH do líquido concomitantemente com o aumento do teor de OD (Figura 7-10). A subida do pH pode ainda intensificar por decomposição dos carbonatos de modo a fornecer  $\text{CO}_2$  às algas. O elevado valor que o pH pode atingir (superior a 9) é um dos factores de inactivação dos microrganismos patogénicos.

#### 7.6.2.6.5 Lagoas de maturação

As lagoas de maturação são lagoas aeróbias situadas no final da série, que recebem águas residuais já bastante depuradas de matéria orgânica, e cuja função é a de assegurar a inactivação de microrganismos patogénicos. A redução de bactérias fecais atinge níveis muito elevados nas lagoas de maturação, da ordem de 3 a 5 unidades logarítmicas, o mesmo sucedendo com os ovos de parasitas que sedimentam no fundo da lagoa, sendo também significativa a redução de protozoários e de vírus. A remoção de ovos de parasitas intestinais constitui uma das vantagens de desinfecção em lagoas de estabilização relativamente a processos como a radiação UV.

Os principais mecanismos de remoção de microrganismos patogénicos em lagoas de maturação (e, em menor extensão, em lagoas facultativas) são os seguintes:

- a) Longo tempo de retenção, que resulta na exposição dos patogénicos a um ambiente adverso, com elevado pH, e a predação de outros organismos presentes no líquido;
- b) Inativação induzida pela luz solar, especialmente a banda dos UV;
- c) Adsorção de vírus aos sólidos sedimentáveis;
- d) Sedimentação de protozoários e ovos de helmintas.

### **7.6.2.7 Comparação da eficiência dos processos de desinfecção**

É vasta a panóplia de processos de remoção de microrganismos patogénicos (7.6.2). Aos processos de desinfecção tradicionais – cloragem, radiação UV e ozonização – somam-se os processos de filtração em membranas, geralmente utilizados com outra finalidade (remoção de partículas coloidais), mas que simultaneamente removem microrganismos presentes na água. O Quadro 7-17 sintetiza uma análise comparativa da eficiência dos diferentes processos na inativação de microrganismos patogénicos.

## **7.6.3 Remoção de teores residuais de partículas em suspensão**

### **7.6.3.1 Tecnologias disponíveis**

A reutilização de águas residuais tratadas requer muitas vezes teores muito reduzidos de SS na água, seja por requisito de qualidade da aplicação da água a reutilizar, seja por necessidade de a desinfetar, visto que a eficiência da desinfecção é fortemente prejudicada pela presença de SS (ver 7.6.2.4). As partículas que constituem os teores residuais de SS podem ser de natureza e dimensão variável, muito em função do tratamento precedente das águas residuais. Geralmente, num efluente secundário encontram-se partículas em suspensão verdadeira, em suspensão coloidal e flocos constituídos por aglomerados de partículas, muitas das quais são microrganismos. Aliás, não deve ser esquecido que os microrganismos presentes na água também fazem parte das partículas em suspensão coloidal no fluido.

A concentração em SS de um efluente secundário é geralmente da ordem de 25-30 mg/L, que corresponde sensivelmente a turvação entre 10 a 15 UNT. Quando o efluente secundário é submetido a remoção de nutrientes,

Quadro 7-17 – Comparação da eficiência de inativação de patogênicos

TIPO	MÉTODO	Actividade contra			
		Bactérias	Vírus	Parasitas	Protozoa
Físico	UV Radiação	+++	+(+)	+(+)	+(+)
	Filtração		-	++	
	MF	+++	+	+++	+++
	UF	+++	+++	+++	+++
	NF	+++	+++	+++	+++
	OI	+++	+++	+++	+++
	RED	+	+	+	+
Químico	Cloro	+++	+(+)	-	-
	Acido Peracético	+++	++	-	-
	Ozono	+++	+++	-	-
Físico- -Químico	Coagulação/Floculação	+++	+(+)	++	++
	Sedimentação	-	-	+	-
	Neutralização				
	Cloragem	+++	+++	+	++
Físico- -Biológico	Infiltração – Percolação	+++	++	+++	+++
Lagoas		+++	+	+++	++

- Sem acção; + Actividade Moderada; ++ Actividade Média; +++ Alta Actividade.

o teor de SS e a turvação baixam para valores da ordem de 4-10 mg/L e 2-5 UNT, respectivamente.

As operações unitárias mais utilizadas para remoção de partículas em suspensão em águas residuais são a filtração e a flotação. Existem diferentes tecnologias de filtração, com aplicabilidade diversa consoante o teor e a dimensão das partículas em suspensão na água, as quais se podem classificar em três tipos: filtração em leito granular, filtração superficial e filtração em membranas.

### 7.6.3.2 Filtração em leito granular

A filtração em leito granular é uma operação muito conhecida, pois começou por ser aplicada no tratamento de água para abastecimento público. Existem diversos tipos de leito granular, os quais podem ser classificados segundo diferentes critérios:

- Sentido do escoamento da água: ascendente ou descendente;
- Regime de operação: contínua, semi-contínua e descontínua;
- Altura do leito filtrante: profundos, convencionais e pouco profundos;
- Constituição do leito filtrante: monocamada, duplacamada e multicamadas de diferentes materiais (areia e antracite, por exemplo);
- Gravíticos ou em pressão.

Os filtros em pressão (Figura 7-11) são mais utilizados em instalações de tratamento de pequena e média dimensão.



Figura 7-11 – Filtro em pressão

Nas grandes instalações (que tratam caudais superiores a 1000 m<sup>3</sup>/d), são mais utilizados os filtros gravíticos, cujas características são comparadas no Quadro 7-20.

Estes filtros operam geralmente em regime semicontínuo e em regime contínuo. O reservatório da água de lavagem está geralmente a uma cota que permite a lavagem gravítica em contra-corrente e deve ter capacidade para a lavagem de um filtro a cada 12 horas.

Nos filtros contínuos, como os filtros de ponte rolante (Figura 7-12), a filtração e a lavagem têm lugar simultaneamente, não na totalidade do filtro, mas numa secção do filtro.



Figura 7-12 – Filtro contínuo (ETAR de Beirolas. Cortesia da SIMTEJO.)

### 7.6.3.2.1 Seleção de filtros de leito granular

Os factores importantes a considerar na selecção da tecnologia apropriada de filtração são:

- Características das partículas presentes na água a filtrar;
- Características de qualidade pretendidas na água filtrada;
- Tipo de filtro: gravítico ou em pressão; de patente registada ou de projecto individual; velocidade de filtração; requisitos de lavagem; número de unidades, incluindo as de reserva.

A maioria das situações de tratamento de água para reutilização corresponde ao tratamento de efluentes secundários, em que as partículas em suspensão são predominantemente de natureza floculenta, sendo a coesão dos flocos um factor com efeito na eficiência da filtração. Efectivamente, partículas floculentas pouco coesas são facilmente desagregadas por elevadas velocidades de filtração e a água filtrada acaba por transportar partículas dessa desagregação.

As características do meio filtrante, tanto as físicas como as químicas, têm grande influência na operação da filtração, pois podem condicionar a perda de carga e a velocidade de filtração. As características físicas relevantes são: o diâmetro efectivo  $d_{10}$ , o coeficiente de uniformidade CU, a densidade e a altura das várias camadas do leito granular. De entre as características químicas do leito granular destacam-se a solubilidade e a dureza, que podem afectar as características químicas da água filtrada.

Nos filtros de multicamada não é desejável que as camadas se misturem significativamente, o que só é possível evitar se as partículas das diferentes camadas do leito apresentarem a mesma velocidade de sedimentação. A equação (7.2) permite determinar o diâmetro efectivo dos grãos das diferentes camadas que assegura igual velocidade de sedimentação [Kawamura, 2000, citado por Asano *et al.*, 2007]:

$$\frac{d_1}{d_2} = \left[ \frac{\mu_2 - \mu_a^{0,667}}{\mu_1 - \mu_a} \right] \quad (7.2)$$

Em que:

- $d_1$  e  $d_2$  representam o diâmetro efectivo das partículas das camadas 1 e 2 do leito granular do filtro;
- $\mu_1$ ,  $\mu_2$  e  $\mu_a$  representam a densidade das camadas 1 e 2 do leito filtrante e da água, respectivamente.

O Quadro 7-18 apresenta as propriedades típicas dos dois materiais de enchimento mais utilizados – a areia e a antracite.

Quadro 7-18 – Características dos materiais do leito filtrante  
[adaptado de Asano *et al.*, 2007]

Material	Densidade	Porosidade	Esfericidade
Antracite	1,40 – 1,75	0,56 – 0,60	0,40 – 0,60
Areia	2,55 – 2,65	0,40 – 0,46	0,75 – 0,85

O Quadro 7-19 apresenta valores de parâmetros geralmente adoptados no dimensionamento de filtros de mono e multicamada.

Quadro 7-19 – Critérios de dimensionamento de filtros de leito granular  
[adaptado de Asano, *et al.*, 2007]

Leito convencional			
Antracite			
Altura	mm	600-900	750
Diâmetro efectivo	mm	0,8-2,0	1,3
Coefficiente de uniformidade	-	1,3-1,8	≤ 1,5
Velocidade de filtração	L/m <sup>2</sup> .min	80-400	160
Areia			
Altura	mm	500-750	600
Diâmetro efectivo	mm	0,4-0,8	0,65
Coefficiente de uniformidade	-	1,2-1,6	≤ 1,5
Velocidade de filtração	L/m <sup>2</sup> .min	80-240	120
Leito de dupla camada			
Antracite			
Altura	mm	360-900	720
Diâmetro efectivo	mm	0,8-2,0	1,3
Coefficiente de uniformidade	-	1,3-1,6	≤ 1,5
Velocidade de filtração	L/m <sup>2</sup> .min	80-400	160
Areia (d=2,65)			
Altura	mm	180-360	360
Diâmetro efectivo	mm	0,4-0,8	0,65
Coefficiente de uniformidade	-	1,2-1,6	≤ 1,5
Velocidade de filtração	L/m <sup>2</sup> .min	80-400	200

### 7.6.3.2 Problemas mais frequentes na operação de filtros de leito granular

Os problemas que ocorrem mais frequentemente na operação de filtros no tratamento de águas residuais são originados por:

- Formação de aglomerados de lama devido à aglutinação de partículas, cabelos e gordura emulsionada, que ficam retidas no meio filtrante e aumentam a perda de carga;
- Formação de biofilme aderente ao meio filtrante;

- c) Perda de material filtrante arrastado com a água de lavagem;
- d) Intermistura de material de diferentes camadas.

A formação de aglomerados de lamas pode ser prevenida pela lavagem do leito filtrante em contra-corrente, com o eventual auxílio de ar. Em média, cada filtro deve ser lavado uma vez por dia. A injeção periódica, durante períodos de curta duração, de hipoclorito ou outro reagente adequado, constitui a solução para os problemas causados pela aderência de biofilme ao material filtrante. A perda de material filtrante pode ter de ser compensada pela adição de novo material. A intermistura de material de camadas diferentes será prevenida pela escolha de materiais com diâmetro efectivo adequado, conforme atrás descrito.

### **7.6.3.3 Filtração superficial**

A filtração superficial é a operação de remoção de sólidos em suspensão por meio da passagem da água através de uma tela apoiada sobre um suporte rígido e poroso e conseqüente retenção dos sólidos de dimensão superior à abertura da malha da tela. A tela filtrante é produzida em diversos materiais, desde malha de aço inoxidável a têxteis sintéticos, como o poliéster.

Os filtros superficiais actualmente utilizados na afinação de efluentes secundários para produção de água para reutilização são patenteados e correspondem a três tipos:

*Filtro de tela:* conjunto de discos constituídos por seis sectores circulares sobrepostos verticalmente, mergulhados num tanque com a água, a qual é filtrada escoando do exterior para o interior dos discos, sendo o filtrado recolhido numa tubagem central.

*Filtros de discos:* a tela está apoiada nas duas faces de cada disco, com alimentação central por cada disco, processando-se a filtração pela passagem da água através dos discos do interior para o exterior.

*Filtro de tela-diamante:* desenvolvimento recente, em que a tela tem uma forma prismática, semelhante ao corte de um diamante, o que aumentara a área de filtração por unidade de área em planta, permitindo aumentar o volume de água filtrada por unidade de área.

No Quadro 7-20 apresentam-se valores de características físicas dos filtros de tela e dos filtros de discos.



Quadro 7-20 – Características dos filtros superficiais [Asano *et al.*, 2007]

	Unidade	Filtro tela	Filtro disco
Dimensão nominal dos poros	µm	10	20 – 35
Diâmetro dos discos	m	0,9 – 1,8	1,75 – 3,0
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min	0,1 – 0,27	0,25 – 0,83
Perda de carga	mm	50 – 300	75 – 150
Imersão dos discos	% altura	100	70 – 75
	% área	100	60 – 70
Velocidade de rotação	rpm	0 em operação	
		1 durante a lavagem	
Água de lavagem	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min	4,5 – 0,	2 a 350 kPa
		7,2 – 0,27	5 a 100 kPa

A água filtrada em filtros superficiais apresenta melhor remoção de partículas em suspensão do que em filtros de leito granular. Pela ainda reduzida experiência prática da utilização da filtração superficial e por se tratar de tecnologia patenteada, não existem critérios generalizados de dimensionamento para filtros superficiais, e o dimensionamento tem que se basear em **ensaios-piloto**.

#### 7.6.3.4 Filtração por membranas

A filtração por membranas consiste na passagem da água através de uma fina membrana, constituída por um polímero orgânico, com o objectivo de remover partículas em suspensão coloidal, microrganismos, moléculas orgânicas de elevado peso molecular e até substâncias dissolvidas, que não passam através da membrana e constituem o chamado **concentrado**. A água filtrada por um processo de membrana designa-se **permeado** (Figura 7-13).

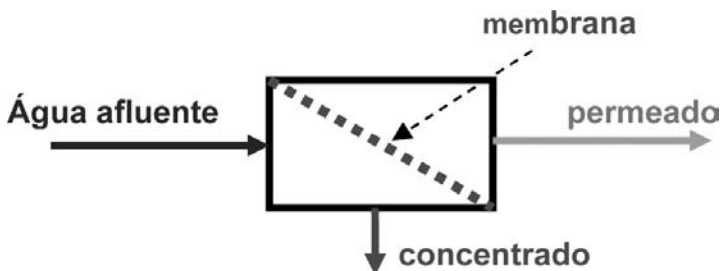


Figura 7-13 – Esquema de um processo de filtração por membrana

São cinco os diferentes processos que se baseiam no princípio de passagem da água através de uma membrana [Metcalf & Eddy, 2003]:

- **Microfiltração (MF)** – membranas com poros de dimensão entre 0,08 a 2,0  $\mu\text{m}$ , sujeitas a pressão entre 0,1 a 3 bar;
  - **Ultrafiltração (UF)** – membranas com poros de dimensão entre 0,005 a 0,2  $\mu\text{m}$ , sujeitas a pressão entre 0,2 a 8 bar;
  - **Nanofiltração (NF)** – membranas com poros de dimensão entre 0,001 e 0,01  $\mu\text{m}$ , sujeitas a pressão entre 5 a 20 bar;
  - **Osmose inversa (OI)** – membranas com poros de dimensão entre 0,0001 e 0,001  $\mu\text{m}$ , sujeitas a pressão entre 10 a 100 bar.
- **Diálise.**
- **Electrodiálise (ED).**

A combinação de processos de membrana, como exemplificado na Figura 7-14, torna possível a produção de água que cumpra todos os critérios de água para consumo humano a partir de um efluente secundário. No que toca ao tratamento de águas residuais para a sua posterior reutilização em determinadas aplicações, a microfiltração (MF) e a ultrafiltração (UF) são os processos de membrana mais aplicáveis nas aplicações que requerem água de elevada qualidade. A osmose inversa tem sido aplicada na dessalinização de água salgada, mas também constitui uma solução com relevância para a produção de água para reutilização quando as águas residuais apresentam elevada concentração de sais dissolvidos, como sucede nas localidades costeiras, cujas redes de colecta de águas residuais recebem por infiltração volumes apreciáveis de água salgada. Já os restantes processos de membrana têm aplicação muito reduzida para esta finalidade ou até mesmo nula, razão pela qual se apresenta seguidamente uma descrição sucinta dos processos de MF e de UF.



Figura 7-14 – Diagrama de produção de água ultrapura.

#### 7.6.3.4.1 Microfiltração e ultrafiltração

Estes processos são utilizados como alternativa à filtração granular e à coagulação química-floculação-sedimentação na afinação de efluentes secundários e terciários destinada à redução de teores residuais de sólidos.

A UF utiliza membranas com poros de menor dimensão que a MF, atingindo, por consequência, níveis mais elevados de remoção de sólidos, que podem incluir microrganismos e moléculas orgânicas de elevado peso molecular, como proteínas, mas em contrapartida implica maior consumo energético, por operar a pressão mais elevada.

As membranas apresentam-se no mercado sob formas variadas: tubos simples, feixes de tubos, folhas enroladas em espiral, placas e pacotes descartáveis. As membranas são fabricadas geralmente em materiais orgânicos sintéticos, como polipropileno, teflon, politetrafluoretileno (PVDF), mas também em materiais cerâmicos.

O processo de membranas pode operar em duas configurações diferentes:

- a) A água a filtrar circula através da membrana impulsionada pela pressão fornecida por uma bomba. A membrana está acomodada no interior de uma tubagem geralmente em fibra de vidro, com 100 a 300 mm de diâmetro e de comprimento variável entre 1 e 5 m;
- b) As membranas são imersas num tanque com a água a filtrar, sendo o permeado extraído através da membrana por aplicação de um vácuo designado por **pressão transmembrana**.

A MF e a UF têm a vantagem de serem processos flexíveis, dado o seu carácter modular, que também facilita a fiabilidade do processo, na medida em que a falha de um módulo não afecta o desempenho dos restantes. A operação dos processos de membrana, embora muito automatizada, é complexa e requer pessoal altamente qualificado.

Os parâmetros importantes na operação da MF e da UF são: a pressão transmembrana, o fluxo e os parâmetros de controlo do ciclo de lavagem



Figura 7-15 – Módulos de OI

das membranas. O Quadro 7-20 apresenta as principais características dos processos de MF e UF.

Os poros das membranas vão colmatando pela retenção das partículas, mas também por precipitação de óxidos metálicos e sais de cálcio. À medida que a membrana vai colmatando, o fluxo de água que atravessa a membrana tende a decair, só se mantendo constante se se aumentar a pressão transmembrana.

As membranas têm assim de ser lavadas. A lavagem processa-se com a passagem de água em contra-corrente, recorrendo-se, em alguns casos, à limpeza com produtos químicos.

O desempenho das membranas, incluindo a metodologia de lavagem, deve ser avaliado em ensaios-piloto. De acordo com Asano *et al.* (2007) se a eficiência do processo for inferior a 80%, o processo não será viável ou fiável e tornar-se-á um fardo financeiro na linha de tratamento.

A vida útil das membranas, normalmente da ordem dos 5 a 10 anos, pode ser encurtada por ataque químico, se a água em filtração apresentar pH com valores extremos e/ou contiver cloro residual livre. Membranas com duração inferior a 2–3 anos comprometem seriamente a viabilidade económica do processo.

Quadro 7-21 – Características dos sistemas de Microfiltração e de Ultrafiltração [Metcalf & Eddy, 2003; Asano *et al.*, 2007]

Parâmetro	Unidades	Microfiltração	Ultrafiltração
Dimensão dos poros	µm	0,08 – 2,0	0,005 – 0,2
Partículas retidas		Sólidos em suspensão fina e coloidal, protozoários e algumas bactérias	Compostos orgânicos de PM>1000, partículas em suspensão coloidal, bactérias e vírus
Fluxo	L/m <sup>2</sup> .d	400 – 1600	400 – 800
Pressão de operação	Bar	0,1 – 3	0,2 – 8
Consumo energético	kWh/m <sup>3</sup>	0,4	3,0
Taxa de recuperação de água	%	94 – 98	70 – 80
Material das membranas		Acrilonitrilo, cerâmica, polipropileno, PVDF, Nylon, teflon	Poliamidas aromáticas, acetato celulósico, cerâmica, polipropileno, PVDF, teflon
Configuração		Fibras ocas, folhas em espiral, tubular, placa plana.	Fibras ocas, folhas em espiral, tubular, placa plana.

Da operação da MF e da UF resultam resíduos – o concentrado e as águas de lavagem das membranas –, que contêm compostos químicos orgânicos e inorgânicos, bem como bactérias e protozoários, os quais têm que ter um destino final ambientalmente aceitável. A solução generalizada consiste na decantação destas águas, sendo o decantado retornado à linha de tratamento.

#### **7.6.3.5 Factores a considerar na selecção da tecnologia apropriada à remoção de sólidos residuais**

O leque de soluções para remoção de teores residuais de sólidos é suficientemente vasto para que a escolha da solução adequada possa constituir uma tarefa difícil. Claro que a utilização da água constitui um factor determinante, mas outros factores podem decidir a opção, tais como: os resultados de ensaios-piloto, tipo de desinfecção subsequente, consumo energético, disponibilidade de espaço.

O processo de desinfecção pode decidir o tipo de processo de remoção de sólidos: se for prevista desinfecção por radiação UV, a distribuição do tamanho das partículas na água filtrada é muito importante (ver 7.6.2.5). O crescente custo da energia leva a que este factor também tenha um peso assinalável no processo de selecção. A filtração granular e a filtração superficial podem necessitar de área indisponível e assim orientar a selecção para soluções que requeiram menos área em planta.

#### **7.6.4 Remoção de sólidos dissolvidos**

A remoção de sólidos dissolvidos pode ser importante na afinação do efluente para posterior reutilização, principalmente em algumas aplicações industriais e nos casos em que as águas residuais brutas apresentam elevada salinidade. A remoção de sólidos dissolvidos é conseguida por processos de membrana em que a água é separada dos sólidos em solução por aplicação de uma pressão contrária à pressão osmótica. A **pressão osmótica** é a força por unidade de superfície de membrana que provoca a difusão de moléculas de água através da membrana da solução menos concentrada para a solução mais concentrada (salmoura), procurando atingir o equilíbrio de concentração de ambos os lados da membrana.<sup>37</sup> O mecanismo dos processos de remoção de sólidos dis-

<sup>37</sup> É este fenómeno que se passa quando feijão seco é colocado de molho e primeiro a sua pele enruga (perda de material por passagem de «moléculas de feijão» para a água) e depois incha (passagem de moléculas de água para o feijão).

solvidos na água baseia-se na aplicação na membrana de uma pressão de intensidade superior em sentido contrário à pressão osmótica, obrigando os sólidos dissolvidos a passar através da membrana, reduzindo a concentração da água. A **nanofiltração** (NF) e a **osmose inversa** (OI) são os dois processos de membrana baseados neste mecanismo e que são empregues para remoção de sólidos dissolvidos da água.

A NF e a OI são processos de membrana, tal como a MF e a UF (ver 7.6.3.4), que diferem na dimensão da porosidade das membranas e no mecanismo de remoção dos constituintes da água. Enquanto na MF e na UF a porosidade é mais elevada e permite a remoção de partículas em suspensão coloidal por retenção nos poros, a porosidade das membranas de NF e de OI é mais reduzida e permite a separação de partículas em solução por aplicação de pressão osmótica de sentido inverso.

O mecanismo da NF e da OI é idêntico, residindo a principal diferença na capacidade de remoção de iões monovalentes como  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que é superior no processo de osmose inversa.

#### **7.6.4.1 Nanofiltração**

A NF utiliza membranas com porosidade compreendida entre 0,001 e 0,01  $\mu\text{m}$ , sujeitas a pressão entre 5 a 20 bar. A NF permite a remoção de muitos compostos orgânicos, bem como sais e microrganismos, constituindo também um processo de desinfecção.<sup>38</sup> As moléculas orgânicas com massa molecular entre 300 e 1000 são removidas por retenção nos poros da membrana, por terem dimensão superior à porosidade. Os iões de dimensão inferior aos poros da membrana são removidos pois as moléculas de água passam mais facilmente através da membrana.

A NF é utilizada quando não se requer a elevada remoção de sólidos dissolvidos permitida pela OI, como, por exemplo, para recarga de aquíferos e para remoção da dureza da água. A NF pode ser utilizada conjuntamente com a OI, numa linha de tratamento com dois estágios, destinada à remoção de sólidos dissolvidos de águas com elevada salinidade. Neste caso, a NF tem por função a remoção dos iões bivalentes e trivalentes, sendo o permeado da NF tratado no estágio de OI para remoção dos iões monovalentes.

A NF opera geralmente com membranas enroladas em espiral, embora se encontrem no mercado cerca de uma dezena de diferentes tipos de mem-

---

<sup>38</sup> A instalação de outro processo de desinfecção será necessária como reserva para as situações de falha do processo de membrana.

branas para NF. A poliamida, o acetato de polivinilo e acetatos celulósicos são materiais mais utilizados no fabrico de membranas para NF e OI.

#### **7.6.4.2 Osmose inversa**

A OI utiliza membranas com poros de dimensão entre 0,0001 e 0,001  $\mu\text{m}$ , sujeitas a pressão entre 10 a 100 bar. A OI permite a remoção de solutos de massa molecular inferior a 300 por um mecanismo análogo ao da NF, sendo muito utilizada na remoção de sais. Tal como a NF, a OI constitui também um processo de desinfecção.

As membranas de OI apresentam-se geralmente enroladas em espiral (Figura 7-16), mas também sob a forma de feixes de fibras ocas e outros formatos. Embora as membranas de fibras ocas sejam mais resistentes a choques mecânicos, os seus custos de substituição são mais elevados do que as membranas enroladas em espiral, sendo ambos os tipos de membranas equivalentes no que respeita a consumo energético.

#### **7.6.4.3 Pré-tratamento da água a tratar por NF e OI**

Os processos de membrana são muito sensíveis às características da água a tratar, pelo que, se se pretende otimizar a vida útil das unidades de NF e de OI, haverá que caracterizar a água que vai ser tratada nestas unidades, com o objectivo principal de identificar os constituintes susceptíveis de provocar a colmatção das membranas. A turvação da água a tratar por estes processos deve ser inferior a 0,5 UNT (Asano *et al.*, 2007).

Entre as substâncias presentes na água que podem colmatar as membranas destacam-se os seguintes: a dureza (cálcio e magnésio), a sílica e os iões de

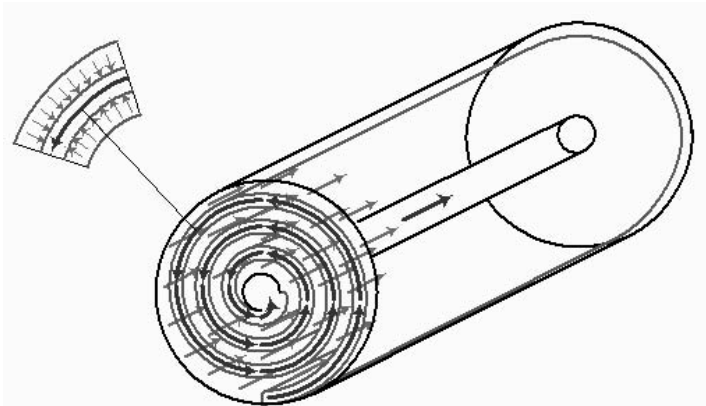


Figura 7-16 – Membranas em espiral para NF e OI

ferro e de manganês, que podem precipitar; os microrganismos; as partículas em suspensão coloidal ou em suspensão verdadeira; óleos e gorduras; algumas características químicas, como o pH e determinados compostos orgânicos que podem contribuir para colmatar as membranas. Além da colmatação, o desempenho das membranas é afectado pelo ataque químico de ácidos, bases e oxidantes, como o cloro e o oxigénio, presentes na água.

A avaliação da tratabilidade de uma água por NF ou OI em função do seu potencial de colmatação das membranas pode basear-se em índices de tratabilidade, determinados em ensaios laboratoriais, dos quais o mais utilizado, actualmente, é o SDI – índice de densidade de siltes.<sup>39</sup>

O SDI define-se de acordo com a equação 7.3, em que:

$$SDI = \frac{\% P_{207}}{t} = \frac{100[1 - (t_i/t_f)]}{t} \quad (7.3)$$

%P<sub>207</sub> – percentagem de colmatação à pressão de 207 kPa

t – tempo total de duração do ensaio

t<sub>i</sub> – tempo e colheita da amostra inicial de 500 mL

t<sub>f</sub> – tempo e colheita da amostra final de 500 mL

Uma água cujo SDI seja inferior a 3 não requer pré-tratamento antes de passar à NF ou à OI [Asano *et al.*, 2007].

É importante ter em atenção algumas limitações inerentes aos índices de tratabilidade, nomeadamente as condições do ensaio no que se refere à pressão (constante durante o ensaio) e ao fluxo (variável) não coincidirem com as condições reais de operação, onde se passa o contrário.

O pré-tratamento da água de modo a afinar as suas características antes de passar pelo processo de NF ou de OI e a limpeza das membranas são os métodos de controlo da colmatação das membranas. No Quadro 7-22 indicam-se as operações e processos utilizados no pré-tratamento de águas às quais se pretende reduzir a concentração de sólidos dissolvidos por NF e/ou OI.

A limpeza das membranas de NF e de OI recorre ao varrimento hidráulico periodicamente aplicado para limitar a deposição de sólidos sobre as membranas e à limpeza química pela passagem de soluções de elevado pH (para remoção de material orgânico) e de baixo pH (para remoção de carbonatos precipitados), juntamente com detergentes.

<sup>39</sup> No Laboratório de Ensaios Hidráulicos (LEHid) do LNEC podem ser realizados ensaios para determinação do SDI.



Quadro 7-22 – Operações e processos para pré-tratamento de água a tratar por NF e/ou OI

Objectivo – remoção de:	Operação / processo	
Precipitados	Ajustamento do pH Adição de passivantes (anti-precipitantes)	Adição de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ou HCl para manter o pH entre 5,5 a 6. O hexametáfosfato de sódio é muito utilizado como passivante.
Fe e Mn	Permuta iónica Precipitação química	
Microorganismos	Desinfecção	O ataque do cloro e do oxigénio ao material de algumas membranas deve ser tido em conta.
Sólidos em suspensão verdadeira	Filtração em leito granular	
Sólidos em suspensão coloidal	Microfiltração Ultrafiltração	
Sílica e outros sais	Tratamento químico (coagulação-clariificação)	Adição de óxidos de Al, Fe, Mg, cloreto de Zn

#### 7.6.4.4 Parâmetros de operação

A pressão aplicada para vencer a pressão osmótica, o caudal por unidade de superfície de membrana (denominado fluxo) e o consumo energético são os parâmetros operacionais típicos dos processos de NF e OI. Os desenvolvimentos tecnológicos no fabrico das membranas têm permitido baixar consideravelmente os valores da pressão de trabalho.

Na OI os elevados consumos energéticos na pressurização da água podem ser parcialmente recuperados na despressurização do concentrado por meio de equipamentos apropriados, como permutadores de calor, bombas de rotação inversa e turbinas.

Quadro 7-23 – Parâmetros operacionais típicos dos processos de NF e de OI (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])

Parâmetro	Unidades	Nanofiltração	Osmose inversa
Fluxo	L/m <sup>2</sup> .h	10 – 35	12 – 20
Pressão – 1000 – 2500 mg/L SDT – Água do mar	kPa	350 – 550 500 – 1000	1200 – 1800 5500 – 8500
Consumo de energia – 1000 – 2500 mg/L SDT – Água do mar	kWh/m <sup>3</sup>	0,6 – 1,2 NA	1,5 – 2,5 5 – 10

NA – não aplicável.

1 kPa × 10<sup>-2</sup> = 1 bar = 105 N/m<sup>2</sup>

No apresentam-se os valores típicos dos parâmetros de operação da NF e da OI [Asano *et al.*, 2007].

#### **7.6.4.5 Gestão dos resíduos dos processos de NF e OI**

Os processos de NF produzem o chamado concentrado, solução concentrada nos sólidos dissolvidos removidos. O destino final do concentrado pode levantar alguns problemas relativos ao impacte ambiental do concentrado, não só por se tratar de uma água com elevado teor de sólidos dissolvidos (elevada salinidade), cuja descarga no solo ou em linhas de água pode afectar a vegetação e o biota, como pelo facto de que alguns dos iões presentes no concentrado poderem ser elementos tóxicos, como o arsénio e metais pesados. Nas instalações de menor dimensão, em que o volume de concentrado é reduzido, o impacte ambiental do destino final deste resíduo é menos relevante.

Entre as opções possíveis para o destino final do concentrado salientam-se as seguintes, como sendo as mais aplicáveis:

- a) Descarga na rede de colectores – viável para pequenos volumes de concentrados até 20 mg/l de SDT;
- b) Mistura com efluentes descarregados no mar através de emissários submarinos;
- c) Lagoas de evaporação;
- d) Deposição em aterros sanitários, de resíduos banais ou perigosos, consoante a classificação do concentrado;
- e) Descarga no mar – solução apropriada para instalações situadas em zonas costeiras, onde a remoção da salinidade do efluente pode ser um objectivo frequente (ver 7.6.4), mas também noutras localizações, que obriga a meios de transporte do concentrado até ao meio receptor marítimo;
- f) Descarga em águas superficiais interiores – solução possível para pequenos volumes.

## **7.7 Sistemas de armazenamento e distribuição**

### **7.7.1 Sistemas de armazenamento de águas residuais para reutilização**

Os sistemas de armazenamento de águas residuais tratadas (SAART) são dimensionados para satisfação de um ou vários dos seguintes objectivos:

- garantia de volumes de água para fins operacionais;
- satisfação das possíveis tipologias de reutilização;
- gestão de volumes sazonais e, eventualmente, de emergência e controlo de caudais, podendo ainda considerar-se um volume morto para deposição de matéria sólida (Figura 7-16).

O objectivo do armazenamento operacional consiste em garantir volumes de água para compensar a flutuação das solicitações horárias ao longo do dia e de dia para dia (similar a um volante de regularização nos sistemas de distribuição de água) e permitir o bom funcionamento das redes de distribuição e aplicação, a regularização do funcionamento das bombagens, o equilíbrio de cargas piezométricas e reservas para emergências. Normalmente, as infra-estruturas de armazenamento têm funções de regularização, alimentando directamente as redes de distribuição e aplicação, e permitindo compensar as flutuações do consumo face a um regime constante ou intermitente do sistema de alimentação (normalmente a partir de uma ETAR).

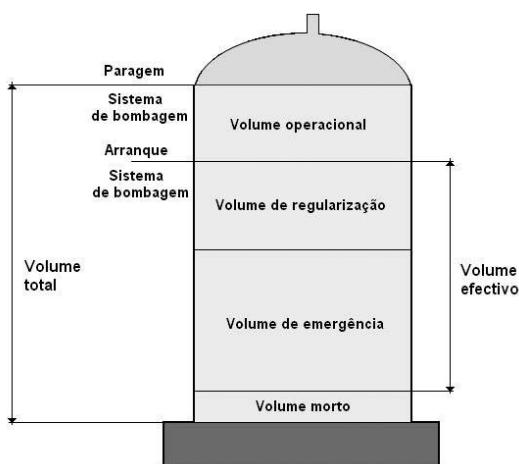


Figura 7-17 – Representação esquemática do sistema de armazenamento.

Os SAART permitem, também, a gestão de volumes de água sazonais, através do armazenamento de longa duração. Os consumos de água em actividades de reutilização, normalmente, são mais elevados do que a média nos meses de Verão e inferiores à média nos meses de Inverno. O armazenamento de longa duração de volumes gerados no Inverno para reutilização no Verão torna-se, assim, bastante fútil. O armazenamento de longa duração durante o Verão para utilização no Inverno justifica-se sobretudo em áreas onde a opção de descarga de efluentes tratados no meio receptor, durante os períodos de estiagem, é muito limitada.

As reservas para emergências pretendem precaver situações acidentais de combate a incêndios e de falha na produção de água para reutilização devido a paragem da ETAR ou de estações elevatórias – quer por avaria mecânica, quer por falta de energia –, danificação de condutas adutoras e variações pontuais na qualidade da água tratada. Os reservatórios de emergência são tanto mais eficazes na solução das falhas de abastecimento quanto mais próximos se situarem dos utilizadores, sendo mesmo aconselhável que sejam localizados no interior das instalações dos utilizadores.

O dimensionamento hidráulico de sistemas de armazenamento com função de regularização pode seguir o definido no Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de Agosto para reservatórios de água potável. Assim, a sua capacidade deve ser o somatório das necessidades para regularização, que depende das flutuações que devem ser normalizadas, a fim de minimizar os custos de investimento, e reserva de emergência. O dimensionamento dos sistemas de alimentação e de armazenamento deve considerar os seguintes volumes:

- **Volume operacional máximo horário:** deve ser calculado para cobrir as flutuações horárias ao longo do dia de maior consumo (com base nas diferenças entre os consumos máximo horário e máximo diário do mês de maior consumo e o número de períodos de ponta de consumo), sendo o sistema de alimentação, normalmente, dimensionado para o caudal máximo do dia de maior consumo;
- **Volume operacional máximo diário:** deve ser calculado para cobrir as flutuações diárias ao longo do mês de maior consumo (com base nas diferenças entre os consumos máximo diário e médio diário do ano de maior consumo e o número de dias de consumo máximo);
- **Volume de armazenamento sazonal:** deve considerar o somatório dos volumes de consumo mensais que excedem os volumes abastecidos;
- **Volume de armazenamento anual:** o volume de armazenamento deve considerar o somatório dos volumes mensais abastecidos que excedem os volumes de consumo.

A parcela de regularização diária pode ser também calculada a partir de uma curva de consumos-tipo, definida à saída do sistema de armazenamento, e da lei de flutuações dos caudais de alimentação, definida à entrada do sistema de armazenamento, fazendo um balanço de volumes acumulados (entrados e saídos).

A reutilização da água residual simultaneamente para várias aplicações pode originar diferentes picos de consumos. Um SAART que seja utilizado

para a rega agrícola e para usos urbanos não potáveis e industriais pode apresentar um pico nocturno para a primeira actividade, e um pico durante o dia para as últimas, à semelhança do que acontece com os períodos de ponta de consumo nas redes de distribuição de água para consumo humano. Por esta razão, a estimativa dos volumes a armazenar deve considerar o número de picos de utilização ao longo do dia.

Os sistemas de armazenamento podem ser classificados de acordo com critérios de funcionamento e construção, como apresentado no Quadro 7-22.

A selecção do tipo de estrutura de armazenamento a usar (tanques em betão ou metal ou lagoa de terra) depende, entre outros, de factores como o tipo e as características do solo, a topografia, a área disponível, o período de armazenamento, o clima, a localização do nível freático, os períodos e frequência de utilização, bem como dos custos de investimento, operação e manutenção.

Para a adequada alimentação do sistema de distribuição em períodos de ponta de consumo, pode ser necessário prever a instalação de dois reser-

Quadro 7-24 – Classificação dos sistemas de armazenamento de acordo com vários critérios

<b>Critério de classificação</b>	<b>Classificação</b>
Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Em paralelo</li> <li>– Em série</li> <li>– De longa duração</li> </ul>
Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Distribuição ou equilíbrio</li> <li>– Regularização de caudais e bombagens</li> <li>– Reserva para emergências</li> </ul>
Sistema de alimentação	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gravítico</li> <li>– Por bombagem</li> </ul>
Capacidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pequenos</li> <li>– Médios</li> <li>– Grandes</li> </ul>
Implantação	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Enterrados</li> <li>– Parcialmente enterrados</li> <li>– Elevados</li> </ul>
Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aberto</li> <li>– Fechado com campânula móvel</li> <li>– Fechado com campânula fixa</li> </ul>
Forma em planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Circular</li> <li>– Quadrangular</li> <li>– Rectangular</li> </ul>
Materiais de construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reservatório ou tanque em betão armado</li> <li>– Reservatório ou tanque metálico</li> <li>– Lagoas em terra</li> </ul>

vatórios, um principal – no final da alimentação – e outro, de extremidade, a cota inferior à do primeiro, alimentado através da rede nos períodos de fraco ou nulo consumo. A capacidade de armazenamento permite classificá-los em pequenos (volumes inferiores a 500 m<sup>3</sup>), médios (volumes entre 500 e 5000 m<sup>3</sup>) e grandes (volumes superiores a 5000 m<sup>3</sup>) reservatórios.

Também podem ser instalados reservatórios intercalados nos sistemas que regularizam o transporte da água, regularizando transições entre dois escalões elevatórios e entre um troço por bombagem e um troço de alimentação gravítica. Os SAART podem também ser utilizados para fornecer água para combate a incêndio, pelo que deverão dispor de um volume de armazenamento adicional, correspondente ao período de combate a incêndio previsto para as redes de abastecimento públicas (4 horas).

Os reservatórios ou tanques parcialmente enterrados são mais aconselhados para o armazenamento de efluentes com baixa concentração de sólidos, podendo ser abertos ou fechados (Figura 7-18). Os reservatórios ou tanques totalmente enterrados são utilizados, geralmente, em locais de elevada inclinação onde existe energia suficiente para a adução e distribuição gravíticas ou quando, por limitações da área envolvente, não é possível enquadrá-los com outras estruturas existentes.

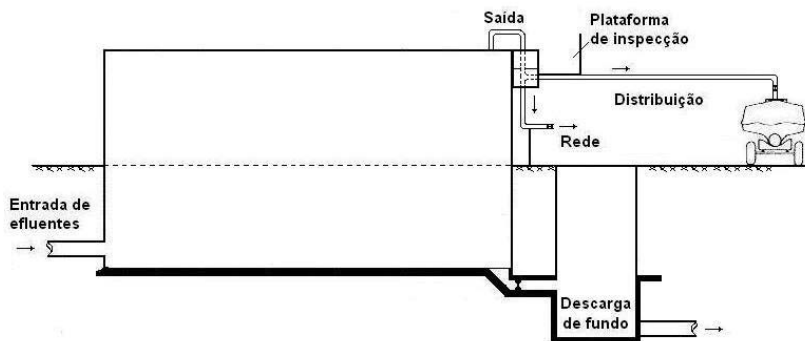


Figura 7-18 – Reservatório parcialmente enterrado

Para obviar o aumento de volumes associados à precipitação, comuns em estruturas do tipo aberto (tanques ou lagoas), estes devem ser dimensionados tendo em atenção o acréscimo de volume associado à precipitação média mensal, o que aumentará significativamente o volume total de armazenamento, podendo torná-los inviáveis economicamente. Como alternativa, deve considerar-se o estudo técnico e económico comparativo com reservatórios com cobertura flutuante, que permitam desviar as águas pluviais.

Quando o armazenamento dos efluentes é prolongado, podem ser geradas condições anaeróbias, dependendo do nível de tratamento utilizado a montante, com produção de gases como o amoníaco, o sulfureto de hidrogénio (gás sulfídrico), o dióxido de carbono e o metano, alguns tóxicos acima de determinadas concentrações (e.g., gás sulfídrico), outros inflamáveis (e.g., gás metano), cuja libertação para a atmosfera pode originar incómodos para a população vizinha. Nestas condições, a utilização de um sistema com cobertura flutuante e o controlo da produção de gases poderão ser soluções eficazes para obviar o problema.

No que respeita à localização dos sistemas de armazenamento, devem ser adoptadas as recomendações estipuladas no Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, para reservatórios de água potável.

### **7.7.2 Sistemas de transporte e distribuição à aplicação**

Na concepção e dimensionamento de redes de transporte, distribuição e aplicação de águas residuais tratadas (RDART) devem ser utilizados critérios semelhantes aos assumidos para uma rede de distribuição de água para consumo humano, recomendando-se a utilização dos mesmos componentes e acessórios, diâmetros de conduta e pressões de serviço, com utilização, contudo, de uma identificação própria que as distinga das redes de abastecimento. Os diferentes componentes das RDART podem ser dimensionados com base nos caudais de ponta horária, sendo os volumes de armazenamento estimados com base nas necessidades.

As RDART devem ser concebidas de forma a permitirem uma utilização em função das necessidades e sem interrupção. Contudo, em aplicações em que existam restrições de épocas ou períodos do dia para utilização de água, as redes e suas componentes podem ser concebidas para funcionar intermitentemente. Este tipo de funcionamento, contudo, poderá incrementar as pontas de consumo e exigir maior capacidade de bombeamento do que no caso em que a água é utilizada continuamente, além de exigir um cuidado acrescido na concepção dos sistemas de armazenamento. Além disso, deverão ser definidos procedimentos de rearranque do sistema, bem como prever o destino final das águas retidas no interior das condutas, se a qualidade destas se tiver alterado e tornado imprópria a sua utilização.

Quando as RDART não são dotadas de sistemas de controlo de consumos, os reservatórios operacionais poderão ter volumes significativos, que é possível reduzir se for instalado um sistema de programação das

utilizações pontuais. Este tipo de funcionamento é passível de trazer vantagens em termos de custos de operação, uma vez que os custos energéticos serão reduzidos se os sistemas elevatórios forem programados para funcionarem em períodos de baixo custo energético.

O dimensionamento das RDART deve ter em conta as condições topográficas, os consumos de ponta, os caudais necessários para combate a incêndios e as cotas necessárias para elevação ou distribuição ao ponto de utilização, podendo ser definidos andares de distribuição quando a topografia é muito acentuada e a energia disponível para o transporte é elevada. As velocidades mínimas aconselhadas são 0,3 m/s (caudal médio diário) e 0,6 m/s (caudal de ponta horário), a fim de evitar a ocorrência de depósitos de material nas tubagens. As pressões necessárias variam com o tipo de utilização, normalmente entre 7 m c.a. (central hidropneumática no ponto de entrega) e os 100 m c.a. (por exemplo, na irrigação de campos de golfe, algumas utilizações industriais e lavagem de equipamentos e pavimentos).

Os restantes critérios e disposições, necessários para o dimensionamento de redes com água residual tratada, devem seguir o previsto no Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto, para as redes de distribuição de água potável.

O sistema de transporte e distribuição (STDART) deve ser concebido de forma integrada com o sistema de armazenamento a montante, tendo em atenção as necessidades da utilização, tal como se apresenta na Figura 7-19.

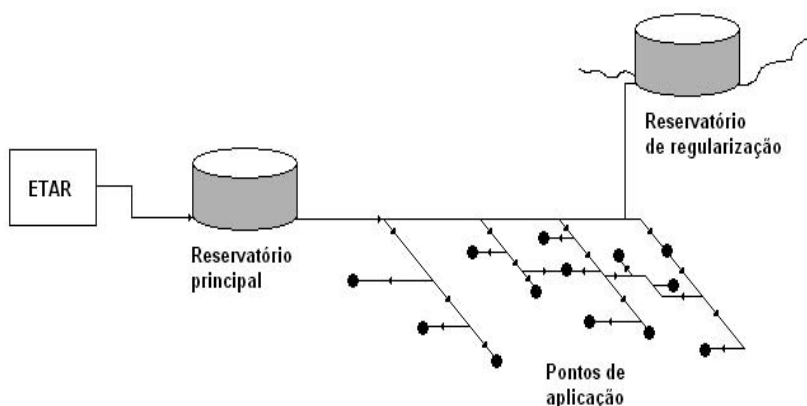


Figura 7-19 – Componentes de um sistema de armazenamento e distribuição de águas residuais tratadas (adaptado de [Asano *et al.*, 2007])



Os consumos para diferentes aplicações de reutilização apresentam solicitações diferentes ao longo do dia, da semana, do mês e do ano, e, portanto, são afectados de um factor de ponta característico. Os caudais de ponta horários, que são utilizados para dimensionar os grupos electro-bomba e as condutas de distribuição, podem ser estimados utilizando factores de ponta que têm sido utilizados no projecto de sistemas de abastecimento de água para consumo humano.

Recomenda-se que os STDART tenham uma certa capacidade para armazenamento de emergência. Se um sistema não dispõe de capacidade de armazenamento para emergências, deverá ter, pelo menos, uma origem de água alternativa para satisfazer os consumos, naturais ou de reserva. Um STDART deve prever origens alternativas para satisfazer necessidades de consumo no caso de paragem do funcionamento da ETAR ou de interrupção do funcionamento das tubagens de alimentação. Nestas condições, a capacidade para armazenamento de emergência será diferente, dependendo da fiabilidade do processo de tratamento, das necessidades de ponta, da disponibilidade de outras origens, e da capacidade para recuperar as condições de funcionamento normais.

## 7.8 Conclusões

Em algumas situações a reutilização de águas residuais tratadas requer a afinação das características dos efluentes das estações de tratamento construídas para protecção ambiental do meio receptor do seu efluente. Essa afinação recorre, em larga medida, a operações e processos unitários correntes, sem deixar de adoptar novas tecnologias para desinfecção – processo cada vez mais necessário no domínio de reutilização da água – e para remoção de quantidades residuais de poluentes químicos. A desinfecção com radiação UV e por ozonização, a microfiltração e a ultrafiltração são exemplos de processos avançados cuja aplicação no tratamento de águas residuais para reutilização se tem tornado cada vez mais usual. Em alguns casos, a solução apropriada para afinar as características de águas residuais tratadas previamente à sua reutilização não necessita de recorrer a tecnologias sofisticadas.

A concepção da fileira de tratamento não deve ser dissociada da consideração de múltiplas barreiras que possam ser estabelecidas no caso concreto e da fiabilidade das tecnologias de tratamento. A limitação de espaço disponível para introdução de tratamento adicional – situação cor-

rente em estações de tratamento existentes – constitui um factor condicionante da solução a desenvolver.

Podem ocorrer situações em que não resulte clara qual a aplicabilidade das soluções de tratamento equacionáveis. Nesses casos, será aconselhável recorrer a estudos em instalação-piloto, a fim de avaliar a adequabilidade do tratamento ao objectivo pretendido e da recolha de dados de suporte ao dimensionamento.

## **8 A ECONOMIA DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

### **8.1 Enquadramento da actividade**

A utilização de águas residuais tem vindo a ganhar importância no âmbito dos serviços de águas, constituindo uma origem de água alternativa à distribuição através do serviço público de abastecimento de água para consumo humano. Com efeito, de acordo com o artigo 11.º do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, as entidades gestoras dos sistemas multimunicipais e municipais de saneamento de águas residuais urbanas devem equacionar a produção e distribuição de águas residuais tratadas aptas para reutilização, como alternativa à sua rejeição nos meios receptores, sempre que essa solução se revele técnica, económica e ambientalmente viável.

Neste quadro, a água residual tratada deve ser considerada um produto substituto da água de abastecimento público para os usos não potáveis, não violando direitos de exclusividade territorial das entidades gestoras de sistemas de abastecimento público de água para consumo humano.

Adicionalmente, a reutilização de águas residuais tratadas é uma actividade que requer um investimento substancial na construção de infra-estruturas adequadas ao tratamento e ao transporte da água para reutilização, e requer também um sistema de distribuição autónomo face às redes de distribuição de água potável.

Um projecto de utilização de água residual tratada deve, por isso, ter por base um adequado estudo técnico, económico, ambiental e social, salvaguardando as exigências aplicáveis nestes domínios e dando particular atenção à procura potencial como elemento-chave para a sua viabilidade. Assim, no sentido de mitigar os riscos do projecto, devem ser atempadamente definidos, avaliados e, quando possível, contratualizados os direitos e deveres do operador e dos utilizadores do serviço.

### **8.2 Enquadramento da formulação de um tarifário para o serviço de fornecimento de águas residuais tratadas**

O principal objectivo subjacente ao estabelecimento de preços como forma de gestão da procura de água é o de incentivar a conservação de um recurso es-

casso, sendo que uma falha na sua conservação pode implicar a necessidade de grandes investimentos futuros de modo a satisfazer o crescimento da procura.

Neste caso, uma das estratégias que tem sido adoptada para encorajar uma contenção na procura de água para consumo humano tem sido o estabelecimento de preços materialmente inferiores para a água residual tratada, quando comparados com os da água potável. Com efeito, é frequente, numa fase inicial de introdução do serviço de fornecimento de águas residuais tratadas, aliar o estabelecimento de preços apelativos para o serviço de fornecimento de águas residuais tratadas a uma subida simultânea do preço da água para consumo humano.

Todavia, a construção de um sistema de distribuição de águas residuais tratadas envolve custos fixos significativos para os prestadores do serviço, o que implica que a entidade gestora incorreria num défice de recuperação de custos se praticasse um preço determinado apenas com base nos custos variáveis em função do volume (i.e., num «custo marginal de curto prazo»).

Uma possível solução para este problema é o uso de um tarifário com duas componentes, uma fixa e uma variável, o qual permite compatibilizar a transmissão aos utilizadores de um sinal de preço alinhado com preocupações de eficiência económica, com a necessidade de recuperação integral de custos. Em concreto, esta abordagem permite à entidade gestora recuperar os custos de disponibilização do serviço através da componente fixa e transmitir sinais relativos à eficiência económica e ambiental aos utilizadores através da componente variável em função do volume de água utilizado.

### **8.3 Perspectiva da ERSAR quanto ao modelo tarifário a adoptar para o serviço de fornecimento de águas residuais tratadas**

Neste quadro, a ERSAR incorporou na sua recomendação n.º 02/2007 uma secção relativa ao modelo tarifário a aplicar no âmbito destes serviços, cujos principais conteúdos aqui se transcrevem.

#### **8.3.1 Diferenciação de serviços**

As entidades gestoras de sistemas multimunicipais e municipais de saneamento de águas residuais urbanas devem distinguir entre:

- o tarifário de saneamento aplicado aos utilizadores que entregam efluentes, o qual deve suportar os custos com a recolha e o tratamento que seria necessário à descarga no meio hídrico;

- o tarifário de venda de água residual tratada aplicado aos utilizadores que adquirem este produto, o qual deve suportar os custos adicionais incorridos com a actividade de produção e distribuição de águas residuais aptas a reutilização.

Os custos tidos com a utilização de águas residuais tratadas não devem onerar a actividade de saneamento, o que deve ser demonstrado através de um apuramento específico de resultados.

### 8.3.2 Custos a repercutir no tarifário de águas residuais tratadas

O tarifário de venda de água residual tratada deve repercutir os custos adicionais que a entidade gestora tenha de suportar, designadamente, pela afinação do tratamento, monitorização, armazenamento, elevação, distribuição, assistência local e gestão de cliente, os quais podem ser sistematizados da seguinte forma:

- Custos de investimento:
  - *Gerais (necessários para servir todos os utilizadores)*: relativos às instalações e equipamentos de tratamento necessários para a afinação, o armazenamento, a elevação (é frequentemente necessário realizar a elevação à saída da estação de tratamento) e o transporte comum a todos os utilizadores (quando aplicável).<sup>40</sup>
  - *Específicos para cada utilizador*: relativos a infra-estruturas de distribuição dedicadas a um utilizador ou grupo restrito e identificável de utilizadores.
- Custos de exploração: designadamente com consumíveis, energia, manutenção e reparação, bem como custos de pessoal e administrativos. Não pode ser incorporado no tarifário de venda de água residual tratada qualquer custo de matéria-prima relativo ao caudal tratado a montante da afinação do tratamento.
- Remuneração do capital empregue (capitais próprios e alheios).

### 8.3.3 Repartição de custos entre utilizadores

Atendendo a que não está em causa a prestação de um serviço de interesse económico geral, e que os custos de distribuição podem assumir valores apreciáveis que variam significativamente entre utilizadores, os

<sup>40</sup> Incluem-se aqui os custos de investimento inicial e, a partir da sua realização, os custos de investimento de substituição.

custos de investimento específicos para cada utilizador devem ser repercutidos individualmente.

Quanto ao investimento adicional de tratamento e distribuição, a entidade gestora, em função das características específicas do seu sistema, pode optar por uma de duas abordagens:

- Englobamento de todos aqueles custos à escala do sistema multimunicipal ou municipal, conjuntamente com os custos de exploração, sendo que estes serão repartidos por todos os utilizadores em função dos caudais de cada um, sempre que as variações nos investimentos necessários para cada estação de tratamento não sejam significativas.
- Definição de mais do que uma categoria de sistema, quando diferenças materialmente relevantes na estrutura de custos de investimento gerais e/ou de exploração o justifiquem. Neste caso, a estrutura tarifária preconizada na secção 8.3.5 deste capítulo pode ser aplicada, não à globalidade do sistema, mas a cada subconjunto de estações de tratamento definido pela entidade gestora.

### **8.3.4 Recuperação dos custos de investimento**

A existência de alternativas à reutilização traduz-se numa incerteza da procura, tanto em termos quantitativos como temporais, o que constitui um risco para a recuperação do investimento.

Face à incerteza quanto ao tempo de permanência de cada utilizador, os custos de investimento específicos de distribuição devem ser repercutidos individualmente, sem prejuízo da responsabilidade pela sua execução, conservação e manutenção, bem como a respectiva propriedade, serem da entidade gestora.

Por outro lado, uma vez que os demais custos de investimento são repartidos pelo conjunto dos utilizadores, devem os mesmos ser recuperados gradualmente ao longo da vida útil das infra-estruturas.

### **8.3.5 Estrutura do tarifário**

O modelo tarifário deve apresentar a seguinte estrutura:

- Extra-tarifário:
  - *Custo de investimento em distribuição dedicada a cada utilizador:* pago na totalidade durante a construção, no momento da ligação, ou em prestações ao longo de um período máximo de cinco anos, de

forma a diminuir o risco da entidade gestora relativo ao investimento total. No caso de os custos de distribuição específicos serem pagos em prestações, deve o utilizador prestar uma caução, p.e. através de garantia bancária, para garantia desse pagamento. A caução pode ser accionada no caso de falta de pagamento atempado ou de cessação antecipada do contrato. Anualmente, o valor desta caução deve ser reduzido em função do capital ainda em dívida.

- Tarifário:

- *Parcela fixa*: Inclui os custos de disponibilidade do serviço, ou seja, custos gerais de investimento, custos fixos de exploração e a remuneração do capital empregue, definida para cada utilizador em função do volume máximo diário que a entidade gestora se obriga contratualmente a garantir, sendo calculada nos seguintes moldes:

$$PF_{i(N)} = \frac{\sum_{j=1}^m (A - PPTE + CEF + COC)_{j(N)}}{\sum_{i=1}^n Q_{\max i(N)}} * Q_{\max i(N)}$$

- *Parcela variável*: Incorpora os custos variáveis de exploração num valor unitário (€/m<sup>3</sup>) igual para todos os utilizadores, sendo calculada nos seguintes moldes:<sup>41</sup>

$$PV_{i(N)} = T_{v(N)} * Q_{i(N)} = \frac{\sum_{j=1}^m (CEV)_j}{\sum_{i=1}^n Q_{i(N-1)}} * Q_{i(N)}$$

em que:

*PF* = Valor anual da parcela fixa;

*PV* = Valor anual da parcela variável;

*i* = Utilizador;

*n* = Número total de utilizadores servidos pela entidade gestora

*j* = Estação de tratamento;

*m* = Número total de estações de tratamento onde se produz água para reutilização;

*N* = Ano para o qual se está a efectuar o cálculo do tarifário;

*N-1* = Ano anterior;

*A* = Amortizações do exercício;

<sup>41</sup> Para o primeiro ano de exploração de um novo sistema,  $\sum_{i=1}^n Q_{i(N-1)}$  pode ser substituído por valor estimado.

$PPTE$  = Proveitos resultantes do pagamento dos troços de distribuição específicos;

$CEF$  = Custos de exploração fixos;

$CEV$  = Custos de exploração variáveis;

$COC$  = Custo de oportunidade do capital empregue afecto ao financiamento desta actividade (quer capitais alheios, quer capitais próprios);

$Qmax$  = Volume máximo diário contratado por cada utilizador;

$T_v$  = Tarifa variável (valor unitário, €/m<sup>3</sup>)

$Q$  = Caudal consumido.

O fornecimento de águas residuais tratadas deve ser objecto de pelo menos duas leituras por ano.

A facturação deve ser emitida com uma periodicidade mínima semestral e máxima mensal, sendo o valor da parcela variável baseado em leituras ou estimativas, com acertos regulares.

Quando a entidade gestora não consiga durante um período contínuo de três dias assegurar o fornecimento do volume máximo diário contratado a um dado utilizador, este deve ter o direito de não lhe ser facturada a parcela fixa relativa ao mês em que tal situação tenha ocorrido.

Aos volumes de águas residuais tratadas distribuídas através de meios móveis, recomenda-se a aplicação de uma tarifa volumétrica média do sistema calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$T_{m(N)} = T_{v(N)} + \frac{\sum_{j=1}^m (A - PPTE + CEF + COC)_{j(N)}}{\sum_{i=1}^n Q_{\max_{i(N)}} \times 365}$$

em que:

$T_m$  = Tarifa variável aplicada aos volumes distribuídos através de meios móveis (valor unitário, €/m<sup>3</sup>)

Neste caso, ao valor apurado devem acrescer os custos logísticos de transporte e entrega quando este serviço seja prestado pela entidade gestora ou operador logístico por si subcontratado.

O tarifário deve ser recalculado anualmente com base nos critérios anteriormente referidos.



### 8.3.6 Entrada de novos utilizadores

No caso da entrada de novos utilizadores, não previstos no projecto inicial, que venham posteriormente a beneficiar das infra-estruturas de distribuição específicas existentes e cujo valor já tenha sido suportado por outro(s) utilizador(es), deve ser calculada uma compensação pelo respectivo valor, nos seguintes moldes:

$$VIE * \left(1 - \frac{t}{vut}\right) * \frac{\text{capacidade a utilizar pelo novo utilizador}}{\text{capacidade total da conduta}}$$

Em que:

*VIE* = Valor do investimento específico;

*t* = Tempo de utilização decorrido;

*vut* = Vida útil técnica da infra-estrutura.

Compete à entidade gestora realizar estes cálculos de uma forma equitativa, assegurando que os montantes pagos pelo novo utilizador revertem em benefício dos utilizadores existentes, em termos que devem ser definidos nos respectivos contratos.

## 8.4 A avaliação dos projectos de utilização de águas residuais

No tocante à análise da viabilidade financeira do projecto na óptica do seu promotor, esta centra-se na quantificação do valor actual dos *cash-flows* esperados, procurando aferir a capacidade de recuperação dos custos de investimento e operacionais através das receitas geradas.

Um projecto de utilização de águas residuais tratadas considera-se financeiramente viável logo que seja apurado (em resultado de análises de sensibilidade em torno dos factores-chave de incerteza) um elevado grau de probabilidade de recuperação dos investimentos iniciais (incluindo os encargos financeiros decorrentes) e de cobertura dos custos de exploração, de manutenção e administrativos, pelos *cash-flows* esperados resultantes das tarifas a cobrar aos utilizadores do serviço e, caso existam, de outras receitas (por exemplo, subsídios ao investimento).

### 8.4.1 Custos relevantes

Na elaboração de um estudo de viabilidade financeira deve-se procurar apurar os custos relativos às seguintes actividades-chave:

- Tratamento adicional necessário para garantir o cumprimento dos padrões pretendidos de qualidade da água residual tratada para reutilização;
- Armazenamento e manutenção de pressão para o sistema de distribuição de água residual tratada;
- Distribuição da água residual tratada;
- Monitorização da qualidade da água residual tratada;
- Gestão do relacionamento com os utilizadores do serviço, incluindo apoio técnico.

#### **8.4.2 Análise de sensibilidade**

Adicionalmente, afigura-se fundamental a análise de sensibilidade do projecto em torno de alguns factores-chave de incerteza, designadamente:

- Taxa de efectiva adesão ao serviço de fornecimento de água residual tratada por parte dos potenciais utilizadores, questão interligada com a elasticidade procura-preço deste serviço face a outras origens alternativas (captações próprias, rede pública de abastecimento,...);
- Grau de volatilidade sazonal dos caudais de águas residuais recolhidos nas ETAR;
- Evolução da procura no sentido de otimizar o grau de utilização da capacidade de tratamento e distribuição que se venha a instalar.

A procura esperada é um dos factores que mais influi no planeamento de um projecto de utilização de água residual tratada. Não havendo, por norma, obrigação de utilização<sup>42</sup> por parte dos utilizadores potenciais da água residual tratada, a entidade gestora deve assegurar-se de que haverá procura suficiente para recuperar os investimentos a realizar.

O tarifário do serviço de fornecimento de água residual tratada é, obviamente, um dos factores que condiciona a procura. O preço cobrado por este serviço deve ser suficientemente baixo face aos encargos dos utilizadores com produtos substitutos<sup>43</sup> para que os potenciais utilizadores tenham incentivos suficientes para aderir ao serviço. O estudo de viabili-

<sup>42</sup> Uma excepção pode ser, por exemplo, o caso em que a Declaração de Impacte Ambiental, emitida no âmbito do processo de licenciamento de um campo de golfe, imponha a utilização de águas residuais tratadas para rega.

<sup>43</sup> Como produtos substitutos das águas residuais tratadas podem ser considerados a água para consumo humano distribuída nas redes públicas ou as captações próprias de água subterrânea.

dade deve ter em consideração vários cenários de tarifação e analisar qual o que garante maior viabilidade ao projecto.

Com efeito, se a produção de águas residuais tratadas for demasiado dispendiosa face ao serviço de distribuição de água para consumo humano, a viabilidade do projecto fica obviamente condicionada. Nesse sentido, o tarifário aplicado no serviço de abastecimento de água é igualmente um dos factores que condiciona o sucesso deste tipo de projecto.

No caso Português, uma vez que se verifica a existência de um número considerável de municípios onde o preço do serviço de abastecimento de água é subsidiado pela entidade gestora deste serviço, poderemos ter situações onde o serviço de fornecimento de água residual tratada depare com barreiras à entrada (mesmo em situações em que os custos de produção de água residual tratada sejam inferiores ao da produção de água para consumo humano).

### **8.4.3 Estratégias de mitigação de risco**

Um adequado dimensionamento das infra-estruturas, equipamentos e redes é um ponto fundamental para a viabilidade de um projecto de utilização de águas residuais tratadas. Estimativas de necessidades dos utilizadores demasiado optimistas tendem a criar um sobredimensionamento do projecto e eventuais custos excessivos na construção de infra-estruturas e na sua operação e manutenção, que depois não são utilizadas na plenitude das suas capacidades.

Uma das vias para garantir um nível de actividade mínimo desde o início do funcionamento das infra-estruturas pode ser a celebração prévia de contratos com os potenciais utilizadores, nos quais sejam definidos quantitativos mínimos.

Importa igualmente admitir a possibilidade de se verificarem situações em que a procura seja pontualmente superior à oferta, designadamente em cenários anormais de escassez de águas residuais tratadas. Consequentemente, as situações de excesso de procura face à oferta devem estar contempladas em regulamento próprio, elaborado pela entidade gestora, e que preveja as prioridades relativamente a cada utilização ou de que modo deve ser rateado o uso pelos diferentes utilizadores, devendo para isso dispor de meios para limitar o volume utilizado por cada utilizador, caso isso se revele necessário. Para o efeito, a entidade gestora e cada utilizador devem definir contratualmente os volumes máximos diários que

a primeira se obriga a garantir, assim como os termos em que esses volumes podem ser revistos.

Neste quadro, uma atempada definição, avaliação e, quando possível, contratualização dos direitos e deveres do operador e dos utilizadores do serviço, bem como o uso de um tarifário com duas componentes, uma fixa e uma variável, assumem-se como mecanismos relevantes no sentido de mitigar os riscos do projecto.

#### **8.4.4 Aspectos qualitativos a considerar**

Todavia, a avaliação dos projectos de utilização de águas residuais não se deve circunscrever apenas aos seus aspectos técnicos e financeiros, devendo-se atender a outras potenciais vantagens e desvantagens mesmo que estas não tenham uma tradução financeira directa para o promotor.

De entre os factores qualitativos a ponderar na avaliação de um projecto de utilização de águas residuais, podem, à partida, ser enumerados os seguintes:

- Contribuição para a redução do uso de reservas de água potável;
- Origem alternativa para usos não potáveis, nomeadamente em casos de seca extrema;
- Contribuição para a redução do potencial risco de intrusão salina nos aquíferos subterrâneos;
- Redução das descargas poluentes, que resulta em efeitos benéficos quanto à qualidade da água dos cursos de água e na diminuição dos custos de tratamento de água para consumo humano em captações a jusante dos pontos de rejeição de efluentes;
- Melhoria dos ecossistemas e da qualidade da água das praias;
- Aproveitamento para rega dos nutrientes presentes nas águas residuais tratadas;
- Contribuição para o adiamento da necessidade de expansão ou de reabilitação nas infra-estruturas de abastecimento de água.

Assim, a identificação nesse estudo das externalidades positivas e negativas resultantes da utilização de águas residuais permite avaliar se, apesar de não ser viável financeiramente, os benefícios ambientais e sociais da implementação do projecto o tornam globalmente positivo.

## 8.5 Conclusões

Este capítulo apresentou algum dos princípios económicos a ter em atenção no estabelecimento de preços no âmbito de serviços de utilização de águas residuais tratadas. Muitos dos projectos de reutilização de água actualmente em funcionamento não seriam aprovados se fossem avaliados à luz de uma análise estritamente financeira.

No entanto, estes projectos contêm uma série de benefícios intrínsecos que tornam a sua análise mais complexa e menos centrada nos aspectos puramente financeiros. Numa fase em que os potenciais utilizadores do serviço poderão revelar ainda algum cepticismo relativamente à sua utilização e a tecnologia disponível é ainda algo dispendiosa e, por isso, os custos globais de um projecto de reutilização são ainda significativos, pode ser justificável, numa fase transitória, a subsidiação deste tipo de investimentos.



## **9 PARTICIPAÇÃO PÚBLICA NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA**

### **9.1 Objectivos do capítulo**

Os projectos de reutilização de águas residuais tratadas constituem ainda práticas inovadoras em muitas regiões, o que, só por si, justifica alguma relutância na sua aceitação pública. Além disso, trata-se de um tipo de projecto susceptível de gerar alguma controvérsia na sociedade, pela origem e características das águas residuais tratadas. A aceitação pública dos projectos de reutilização da água assume assim, naturalmente, uma importância decisiva. A comunicação entre os promotores do projecto e os parceiros interessados é o instrumento que pode sustentar a sua aceitação pública.

O presente capítulo tem por objectivo apresentar os factores que condicionam a aceitação pública de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas (SRART), como por exemplo o nível educacional do público ou a confiança que lhe merece a legislação do sector ou a entidade gestora do SRART. Sendo a auscultação do público, através de um processo de comunicação com os parceiros interessados no projecto, a chave para que os públicos se sintam incluídos no desenvolvimento do projecto e possam exprimir a aceitação face ao mesmo, descrevem-se neste capítulo os aspectos fundamentais para o estabelecimento de um programa de comunicação adequado a um SRART: o nível de comunicação, quando comunicar com o público; o conteúdo da informação a transmitir; como concretizar a transmissão da informação; e ainda aspectos da comunicação quando o SRART evidencia uma crise ou a probabilidade de tal ocorrer.

### **9.2 Necessidade da participação pública em projectos de sistemas de reutilização de águas residuais tratadas**

Em muitos projectos públicos na área do Ambiente a aceitação pública é importante, devendo mesmo ser auscultada, em certos casos, por requisito legal, designadamente na avaliação de impactes ambientais (Decre-

to-lei n.º 69/2000, de 3 de Maio). Por outro lado, de acordo com a Lei n.º 19/2006, de 12 de Junho, que regula o acesso à informação sobre ambiente, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2003/4/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 28 de Janeiro, o público tem direito de obter informação sobre projectos ambientais. A aceitação de um projecto de reutilização de águas residuais pelo público é um passo fundamental no sucesso da implementação do projecto, já que a reutilização de águas residuais coloca questões de índole diversa, que têm que ser cuidadosamente geridas, entre as quais avultam os aspectos de saúde pública, mas também questões ambientais (ambas tratadas no capítulo 2) e económicas (capítulo 8), a que ainda se somam questões de objecção psicológica, dada a origem da água reutilizada. Um projecto pode superar todas as fases, desde o planeamento à execução técnica e até à obtenção de financiamento, passando pela aprovação legal, e falhar ao nível da sua utilização prática, se não for aceite pelo público.

A palavra «público» pode ter diferentes significados dentro deste contexto, correspondentes a diversos grupos de pessoas, consoante os seus interesses relativamente ao projecto de reutilização: o público em geral, o público dos potenciais utilizadores, o dos funcionários das autoridades da administração central, regional e local, o público dos grupos ambientalistas, dos líderes políticos, académicos, etc. Pode dizer-se que o público inclui o público em geral e os parceiros<sup>44</sup> interessados no projecto.

A aceitação pública de um projecto é o resultado de uma estratégia bem conseguida de comunicação. Na secção 9.3 descrevem-se os factores que influenciam esta aceitação. Na secção 9.4 apresentam-se os aspectos a considerar no desenvolvimento de uma estratégia de comunicação.

### **9.3 Factores que afectam a aceitação pública de SRART**

São muito escassos os estudos recentes sobre a aceitação pública de empreendimentos de reutilização de águas residuais tratadas, provavelmente porque tais estudos se tornaram menos interessantes à medida que a reutilização da água se tem tornado cada vez mais uma necessidade assumida e, portanto, mais aceite. Dois levantamentos realizados nos anos 80, nos EUA (citado por [MARECOS do MONTE, 1996]), acerca da

---

<sup>44</sup> «Stakeholders» na literatura de língua inglesa.



aceitação pública de diversos programas de reutilização de águas residuais para diferentes finalidades – desde a produção de água potável, a utilização na indústria, a rega agrícola e de campos de golfe, a limpeza de sanitários, etc. – evidenciaram, de forma até algo surpreendente, uma larga aceitação desses programas de reutilização. A rega paisagística colhia uma aceitação pública geral, da ordem de 83 a 98% do público inquirido, aceitação progressivamente relutante à medida que as aplicações implicavam maior contacto da água reutilizada com o corpo humano, uma larga percentagem de público rejeitando a ideia de reutilização para produção de água potável (55,6% dos inquiridos).

Verificou-se ainda que o nível sócio-económico do público constitui um factor importante da aceitação dos projectos de reutilização de água, bem como os benefícios ambientais esperados. Efectivamente, o público de melhor nível sócio-económico corresponde, geralmente, a um público mais instruído, com capacidade para compreender o ciclo hidrológico e tende a evidenciar mais ampla aceitação, constatando-se ainda que todos os públicos acolhem melhor os projectos em que se esperam benefícios ambientais, como a protecção da qualidade dos recursos hídricos.

Entre outros factores com influência na aceitação pública dos projectos de reutilização, citam-se os seguintes:

- A percepção que o público tem da escassez de recursos hídricos na sua região e do papel que a reutilização de águas residuais tratadas pode ter na gestão integrada dos recursos hídricos.
- A percepção de risco, inerente ao conhecimento das características das águas residuais tratadas e das características de qualidade da água requeridas para determinadas utilizações.
- O desenvolvimento das técnicas analíticas de água permite, cada vez mais, detectar concentrações vestigiais de substâncias até então indetectáveis, o que pode levantar preocupações acerca de eventuais riscos de saúde ou ambientais devido à utilização deste tipo de água.
- A confiança na legislação/regulamentação que enquadra a implementação de projectos de reutilização de água.
- A confiança que o público deposita na eficiência das entidades gestoras dos sistemas de águas residuais desempenha um papel importante na aceitação do público, tanto mais importante quanto menos conhecida for a prática de projectos de reutilização, dado o receio com que as pessoas normalmente reagem em face do desconhecido, numa natural atitude de prudente defesa.

Compreende-se facilmente que o público pode ter uma percepção muito enviesada de um SRART, muitas vezes em função das suas incertezas relativamente a alguns aspectos, que por vezes levam alguns a insistir em soluções de «risco nulo».

## **9.4 Comunicação com o público em SRART**

### **9.4.1 Considerações gerais**

A comunicação com o público é o factor determinante para a aceitação pública de SRART. A estratégia da comunicação é muito importante, pois permite o envolvimento do público no processo, devendo funcionar, tanto quanto possível, nos dois sentidos, isto é, dos promotores do projecto para o público e deste para os promotores, embora seja de esperar dos primeiros uma comunicação mais activa e empenhada.

O processo de comunicação é um processo contínuo, que se desenrola desde a decisão de envolver o público no projecto de reutilização, continuando pela sua execução e exploração, até ao final do ciclo de vida. A comunicação constitui pois, um elemento muito importante no desenvolvimento de um SRART e deve basear-se num programa delineado tendo em atenção os seguintes aspectos:

- a) Nível de comunicação com o público;
- b) Fases de comunicação;
- c) Suportes de comunicação;
- d) Transmissão da informação a comunicar;
- e) Comunicação em situação de crise.

### **9.4.2 Nível de comunicação com o público**

A participação do público ou parceiros interessados no projecto pode atingir graus diversos, desde uma forma de mera transmissão de material educativo, sem permitir qualquer participação do público, passando pelo nível em que é dada ao público a possibilidade de exprimir os seus pontos de vista sobre o projecto, embora sem garantia de que sejam tidos em consideração, até ao nível máximo de participação, em que os parceiros interessados são incluídos e influenciam o desenvolvimento do projecto.

Alguns autores, como Burroughs (1999), afirmam que está demonstrado que os projectos de gestão da água cujo processo de decisão envolveu, desde a fase inicial, os parceiros interessados, esses alcançam melhor

aceitação e capacidade de implementação do que os projectos impostos sem auscultação do público. Em todo o caso, é geralmente reconhecido que é mais difícil conseguir a aceitação pública de um projecto quando a estratégia de comunicação se resume a «Decidir – Anunciar – Defender» (DAD), principalmente em projectos controversos.

Outro erro a evitar em programas de comunicação com o público consiste em restringir o público apenas aos parceiros simpatizantes com o projecto e às individualidades com maior influência na aprovação do projecto.

### **9.4.3 Fases do programa de comunicação**

Saber qual o momento certo para iniciar o programa de comunicação com o público pode ser quase tão importante para o bom sucesso do projecto como o conteúdo da própria mensagem a comunicar. A comunicação com o público tem que estar activada nos momentos das decisões importantes sobre o projecto de reutilização de águas residuais tratadas, como a decisão da solução a adoptar ou a aprovação do seu financiamento. É recomendável que os parceiros interessados sejam informados desses passos importantes do projecto de reutilização pelos próprios promotores. Se estes se atrasam no momento certo de informação ao público, terão que deparar futuramente com as consequências dos boatos e rumores postos a correr e com a consequente desconfiança do público acerca dos objectivos do projecto.

A confiança do público na credibilidade dos promotores constitui um dos factores relevantes para a aceitação pública do projecto, conforme referido em 9.3. A credibilidade da entidade promotora do projecto de reutilização de águas residuais é percebida pelo público através de indicadores tais como [UE, 2006]: registo do seu desempenho em actividades anteriores (prestígio da entidade); o empenho da organização na qualidade de vida dos parceiros interessados e do público em geral; a competência técnica evidenciada pelos seus porta-vozes sobre os diferentes aspectos do projecto; a imparcialidade perante o projecto.

A comunicação com o público pode ser efectuada em diversas fases do projecto de reutilização, designadamente numa fase inicial de planeamento do estudo, de modo a identificar o nível de interesse dos potenciais utilizadores e, seguidamente, na fase de avaliação das alternativas possíveis, mas também pode iniciar-se apenas quando terminarem os estudos de planeamento e se tornar necessário aprovar o financiamento do projecto.

O envolvimento dos parceiros interessados logo a partir dos estágios iniciais do processo é recomendado por muitos especialistas de planeamento e de relações públicas, devido à vantagem de as questões a solucionar irem surgindo a tempo de evitar surpresas *a posteriori*. A desvantagem deste envolvimento precoce prende-se mais com os problemas que a falta de formação técnica do público pode implicar no desenvolvimento dos estudos iniciais [Asano *et al.*, 2007].

Apresentar ao público a solução determinada pelos estudos técnicos evita o problema da interferência de questões levantadas por leigos, mas pode conduzir a situações de conflito e de rejeição do projecto.

A forma mais equilibrada de envolvimento do público no projecto será, em muitos casos, numa fase em que já foi equacionado um reduzido número de alternativas viáveis para o projecto e em que estas possam ser apresentadas de forma acessível, mesmo ao público leigo na matéria.

Uma vez iniciado, o processo de comunicação com o público desenrola-se ao longo do ciclo de vida do projecto, podendo tomar formas diferentes consoante a fase desse ciclo de vida (estudo, execução, exploração). Nesta perspectiva, é importante que os responsáveis pelo projecto não descurem o programa de comunicação e o considerem como um projecto de longo prazo, em que a envolvente local (caudal disponível de águas residuais tratadas, utilizadores interessados na sua reutilização, atitudes face à reutilização, etc.) pode alterar-se no decorrer do tempo.

#### **9.4.4 Conteúdo da comunicação**

Existe uma diversificada panóplia de técnicas e instrumentos de comunicação, em função do nível de envolvimento do público no projecto. Qualquer que seja a técnica de comunicação, é importante não esquecer que o objectivo é alcançar a aceitação pública do projecto, através do esclarecimento, e que isso significa ouvir o público e estabelecer um sistema de comunicação nos dois sentidos: dos promotores para o público e vice-versa.

A comunicação dos promotores do projecto de reutilização de águas residuais para o público deve ser no sentido de apresentar os objectivos do projecto, os seus benefícios, as alternativas para alcançar os benefícios, o custo dessas alternativas. Por sua vez, o público pode prestar informações valiosas, pois conhece a zona e a comunidade, contribuindo para corrigir os objectivos e a metodologia do projecto.

É do conhecimento geral que a reutilização de águas residuais tratadas suscita receio de riscos, principalmente de saúde pública, a alguns membros do público, cuja resistência ao projecto pode atingir o extremo de exigir «risco nulo». Vale a pena referir os sete princípios advogados pela US EPA para a comunicação sobre riscos [US EPA, 2004]:

1. Aceitar e envolver a população local como um parceiro legítimo;
2. Planear e avaliar cuidadosamente os esforços de comunicação;
3. Ouvir as preocupações específicas da população;
4. Ser honesto, franco e aberto;
5. Coordenar-se e colaborar com outras entidades credíveis;
6. Ir ao encontro das necessidades dos órgãos de informação;
7. Falar com clareza e com tolerância.

Ao aceitar o envolvimento da população como um dos parceiros interessados no projecto, o promotor do projecto de reutilização de águas residuais tratadas espera que este parceiro, geralmente leigo na matéria, tome posições fundamentadas. Por isso, é da maior vantagem promover programas de **educação ambiental** no âmbito do programa de comunicação.

O conteúdo da comunicação deve ser claro, sem ambiguidades, e responder apropriadamente às questões que interessam ao público a que se destina. Nesse sentido, é importante preparar uma lista de «**mensagens-chave**» [UE, 2006] sobre aspectos como os seguintes:

- a) Necessidade do projecto de reutilização de águas residuais tratadas e seus objectivos;
- b) Segurança da reutilização das águas residuais tratadas face à utilização prevista;
- c) O papel da reutilização da água na conservação dos recursos hídricos;
- d) Benefícios ambientais da reutilização de águas residuais tratadas;
- e) Impactes sócio-económicos positivos decorrentes da reutilização;
- f) A água reutilizada é preferível a outras origens alternativas;
- g) A reutilização da água é praticada com sucesso em muitos locais e países.

A preparação de uma lista de «**perguntas frequentes**» constitui também um instrumento indispensável na estratégia de comunicação, nomeada-

mente para fornecer aos jornalistas. Meramente a título de exemplo de perguntas frequentes em projectos de reutilização, indicam-se as seguintes:

- 1) Qualidade das águas residuais tratadas.
  - a) É seguro regar com águas residuais tratadas?
  - b) Esta água pode ser utilizada para beber?
  - c) Que análises são feitas a esta água?
  - d) Qual a frequência da análise?
  
- 2) Como é que as águas residuais são tratadas até poderem ser reutilizadas?
  - a) Que produtos químicos são utilizados no tratamento?
  - b) Quanto é que os consumidores pagam pela água de reutilização?
  - c) Quando foi a última vez que não foi possível fornecer a água para reutilização?
  - d) Onde existem casos de reutilização de águas residuais?
  
- 3) Qual a justificação?
  - a) Quais são os benefícios da reutilização da água?
  - b) Como é que a reutilização de águas residuais contribui para preservar as origens de água doce?
  - c) Como é que a reutilização combate a intrusão salina?
  
- 4) O sistema de reutilização de águas residuais tratadas
  - a) Quando entrou em operação?
  - b) Quanto custou a construção do sistema?
  - c) Quantos funcionários trabalham no sistema de reutilização?
  - d) Quem são os utilizadores da água reutilizada?
  - e) É possível visitar as instalações?

#### **9.4.5 Transmissão da informação a comunicar**

A transmissão da comunicação pode ter suportes de diferente natureza:

- a) Escrito (jornais, cartazes, boletins periódicos sobre o projecto, folhetos de divulgação, etc.);
- b) Visual (apresentações de diapositivos);
- c) Audio (linhas telefónicas, programas radiofónicos);
- d) Video (programas de televisão, DVD de apresentação);

e) Electrónico (web sites, CD ROM, écrans digitais em locais públicos).

A **Internet** constitui um meio de comunicação absolutamente fulcral para o fornecimento de informação aos parceiros e a recolha dos seus pontos de vista: basta conceber adequadamente uma página electrónica para o projecto.

A comunicação pode ser operacionalizada segundo técnicas diversas, às quais os diferentes suportes de informação se adequam de forma variável. Entre as técnicas de comunicação para envolvimento do público num projecto de reutilização de águas residuais tratadas, citam-se as seguintes:

- a) Avaliação da percepção do público relativamente ao projecto através de inquéritos, entrevistas individuais, sondagens telefónicas;
- b) Programas de informação ao público, em suportes diversos, os quais podem fomentar uma relação de confiança do público na entidade promotora do projecto;
- c) Sessões de discussão pública, que podem ser realizadas para informar e auscultar o público em fases importantes do desenvolvimento do projecto: apresentação do planeamento, do progresso dos estudos e projectos, alternativas apresentadas, etc.;
- d) Workshops, que permitam aos técnicos apresentar e auscultar os parceiros sobre aspectos específicos do seu interesse;
- e) Reuniões necessárias ao desenvolvimento do projecto com entidades diversas, como organismos oficiais, empresas de consultoria, entre outras;
- f) Comissões consultivas, integradas por representantes dos parceiros com interesse no projecto e incluindo cidadãos sem interesse financeiro directo.

A apresentação privilegiando apenas a informação com reflexos positivos na aceitação do projecto, escamoteando informação adversa, constitui uma abordagem geralmente votada ao insucesso.

A comunicação tem técnicas específicas para transmitir o conteúdo da mensagem com eficácia, consoante o suporte de comunicação. São exemplo de tais técnicas a apresentação de slides com pouco texto, o emprego de linguagem acessível, a não utilização de jargão técnico, etc. No Quadro 9-1 apresenta-se um conjunto de recomendações particularmente dirigidas aos engenheiros envolvidos no projecto para o seu trabalho de comunicação com o público.

É sempre conveniente ter ideia do nível de conhecimento do público e prever a sua reacção antes de sessões públicas, *workshops* e reuniões

análogas. Quando o projecto suscita polémicas acesas poderá ser preferível promover reuniões de reduzida dimensão, com grupos de parceiros específicos, em detrimento de reuniões muito numerosas, onde o descontrolo emocional pode impedir qualquer conclusão.

#### 9.4.6 Comunicação em situação de crise

Uma situação de crise pode ser entendida como aquela em que problemas operacionais impliquem a ocorrência altamente provável ou mesmo real de um risco de saúde pública ou um risco financeiro para a entidade gestora do SRART. As situações de crise devem ser objecto de tratamento adequado em termos de comunicação com o público, sob pena de a situação assumir proporções excessivas, nomeadamente nos órgãos de comunicação social, criando uma imagem negativa da entidade gestora junto do público e das entidades oficiais. Consequentemente, devem existir planos de comunicação preparados para aplicar em ocorrências de crise.

Quadro 9-1 – Guia de relações públicas para engenheiros (adaptadas de [Asano *et al.*, 2007].)

<b>Utilizar linguagem acessível ao público leigo</b>	<b>As pessoas tendem a desconfiar do que não compreendem. O discurso deve ser objectivo, focado no ponto, e não errático</b>
Comunicar com frequência	Aproveitar todas as oportunidades para disseminar a mensagem.
Falar do que se domina	Iludir perguntas ou responder que «não sabe» descredibiliza, por isso deve haver preparação.
Não deixar nenhuma questão sem resposta	Alguns opositores ao projecto são capazes de fazer e dizer não importa o quê – muitas vezes simplesmente coisas erradas – para derrubar o projecto. As questões que eles colocam devem ser frontalmente esclarecidas nas sessões públicas, nos órgãos de informação, etc. De contrário, o público assume (consciente ou inconscientemente) que tais afirmações são verdadeiras.
Mostrar-se humano, motivado e com sentido de humor	O público presta mais atenção quando aprecia a exposição.
Alguns opositores jamais aceitarão o projecto, não importa os esforços que se façam	Por vezes, estes grupos têm uma agenda escondida como motivo para a sua oposição. Podem afirmar que se preocupam com a saúde pública, mas na realidade o que os motiva pode ser uma eleição ou a venda de água engarrafada ou outro motivo. Nunca serão convencidos. Por isso são inúteis os esforços para se conseguir a sua aceitação do projecto.
Envolver o público no processo de tomada de decisão, não apenas no processo de aceitação do projecto.	Processo lento, mas necessário. A aceitação dos parceiros é mais fácil quando se sentem parte do projecto.
Mostrar ao público do que se está a falar.	Uma imagem vale mais do que mil palavras. Leve os parceiros em visitas de estudo.



A primeira e principal preocupação numa situação de crise real ou potencial consiste em colocar a protecção da saúde pública acima de tudo, agindo tão rapidamente quanto possível. A comunicação com o público assume importância específica neste tipo de situação. As principais orientações a ter conta na comunicação em situação de crise incluem [UE, 2006]:

- A entidade gestora do SRART deve demonstrar abertura, responsabilidade, verdade e empatia;
- A entidade gestora do SRART deve falar a uma só voz. Poderá mudar o rosto do porta-voz, mas as mensagens devem provir sempre de um esforço de comunicação coordenado e coerentes entre si;
- A mensagem deve ser assertiva, focada nos aspectos mais importantes do problema e na sua resolução;
- Não especular, não atribuir culpas;
- Informar os utilizadores e os parceiros sobre a crise e as acções para a sua resolução;
- A mensagem deve ser idêntica para todos os públicos;
- Manter sempre o respeito pelos legítimos direitos dos órgãos de informação.

Deve prever-se uma lista de respostas preparadas para disponibilizar aos funcionários responsáveis pelo contacto com o público, como o recepcionista ou o porta-voz da entidade. Outro instrumento que pode ser útil na comunicação em situações de crise é uma lista de especialistas que possam ser chamados a comentar a situação.

## 9.5 Conclusões

A aceitação pública constitui ainda um factor importante no sucesso dos projectos de reutilização de águas residuais tratadas, e só pode ser ganha mediante o estabelecimento de uma estratégia de comunicação que envolva os promotores do projecto e o público, incluindo nesta designação não apenas o público em geral, mas todos os grupos com interesse no projecto, como os utilizadores da água de reutilização, dos potenciais utilizadores, as autoridades da administração central, regional e local, os grupos ambientalistas, os líderes políticos, académicos, etc.

O tempo e o modo de estabelecimento do programa de comunicação determina o seu sucesso e a conseqüente aceitação pública do projecto. A defesa da transparência do processo é essencial na conquista da confiança e da aceitação pública e isso tem que ser tido em consideração na preparação do conteúdo da informação e dos mecanismos da sua transmissão.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELAKIS, A.; MARECOS DO MONTE, H.; BONTOUX L.; ASANO, T. – **The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines.** *Water Res.* **33**, 10, pp. 2201-2217, 1999.
- APHA, AWWA, WEF – **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21<sup>st</sup> ed., Washington DC 2005, USA, American Public Health Association, 2005.
- AQUAREC – **Handbook on Feasibility Studies for Water Reuse Systems, Brussels,** Belgium, 2006.
- ASANO, T. – **Artificial recharge of groundwater with reclaimed municipal wastewater: current status and proposed criteria.** *Wat. Sci. Tech.* Vol. 25, N.º 12, pp.87-92, 1992.
- ASANO, T. – **Artificial Recharge of Groundwater.** Butterworth Publishers, Boston, MA, USA, 1985.
- ASANO, T. – **Proposed California regulations for groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater.** *Wat. Sci. Tech.* Vol. 27, N.º 7-8, pp. 157-164, 1993.
- ASANO, T. – **Water from (Waste)Water – The Dependable Water Resource.** *Stockolm Water Prize Laureate Lecture*, delivered at the 11<sup>th</sup> Stockolm Water Symposium, August 12-18, Stockolm, Sweden, 2001.
- ASANO, T.; BURTON, H.; TSUCHIHASHI; TCHOBANOGLOUS, G. – **Water Reuse – Issues, Technologies and Applications.** Mc Graw-Hill, New York, 2007.
- ASANO, T.; COTRUJO, J.A. – **Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations.** *Water Research*, **38**, pp. 1941-19151, 2004.
- ASANO, T.; VISVANATHAN, C. – **Industries and water recycling and reuse. Proc. Business and Industry – a Driving or Braking Force on the Road Towards Water Security?** Founders Seminar Stockolm, Sweden, August 15, 2001.
- AWWA – **Water Reuse Rates and Charges Survey Results.** American Water Works Association, Denver, USA, 2008.

- AYERS, R. S.; WESCOT, D.W. – **Water Quality for Agriculture**. «Irrigation and Drainage», Paper N.º 29, Rome, FAO, 1994.
- BAPTISTA, J.; ALMEIDA, M.C.; VIEIRA, P.; SILVA, A.; RIBEIRO, R.; FERNANDO, R.; SERAFIM, A.; ALVES, I. E CAMEIRA, M). **Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água**. LNEC, Lisboa, Portugal, 2001.
- BOTELHO da COSTA, J. – **Caracterização e Constituição do Solo**. 3.<sup>a</sup> ed., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1973.
- BOWER, H. – **Integrated Water Management: Emerging Issues and Challenges**. *Agr. Water Mngt.*, **45**, pp. 217-228, 2000.
- BOWER, H. – **Role of Groundwater Recharge in Treatment and Storage of Wastewater for Reuse**. *Wat Sci. Technl*, **24**, 9, pp. 295-302, 1991.
- CAMANN, D. E.; GUENTZEL, M. N. – **The distribution of bacterial infections in the Lubbock infection surveillance study of wastewater spray irrigation**. In «Future of Water Reuse», Proceedings of Water Reuse Symposium III, San Diego, CA, USA, AWWA Research Foundation, 1984, pp. 1470-1405.
- CHANG, Andrew C.; PAGE, ALbert L.; ASANO, Takashi – **Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Wastewater and Sewage Sludge Applications in Agriculture**. World Health Organisation, Geneva, 1995.
- COMISSÃO EUROPEIA – **Directiva n.º 2000/60/CE de 23 de Outubro que estabelece o quadro de acção da política europeia da água**. JOC L327 de 22 Dezembro, 2000.
- COMISSÃO EUROPEIA – **Directiva n.º 2004/35/CEE. relativa à responsabilidade ambiental**.
- COMISSÃO EUROPEIA – **Directiva n.º 91/271/CEE relativa ao tratamento de águas residuais urbanas**, JOC L135/40 de 30 de Maio, 1991.
- CROOK, J.; ASANO, T.; NELLOR, M. – **Groundwater recharge with reclaimed water in California**. *Water Environment & Technology*, pp. 42-49. August, 1990.
- DILLON, P.; GERGES, N. Z.; SIBENALER, Z.; CUGLEY, J.; REED, J.J. – **Draft guidelines for aquifer storage and recovery of surface water in South Australia**. CGS report, April, 2000.

- DURHAM, B.; MARECOS DO MONTE, M.H.; ANGELAKIS, A.N. – **Water Recycling and Reuse in EUREAU Countries**. 6<sup>th</sup> IWA Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, Antwerp, Belgium, October 2007.
- ESPAÑA – **Real Decreto 1620/2007 de 7 Diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas**. BOE num 294. Pp. 50639-50661. Madrid, 8 de Diciembre 2007.
- ESTRELA, T. *et al.* – **Sustainable Water Use in Europe. Part 3: Extreme Hydrological Events: Floods and Droughts**. European Environmental Agency, Copenhagen, 2001.
- EUROPEAN COMMISSION – **Water Reuse System Management Manual AQUAREC**. Ed. Davide Bixio and Thomas Wintgens, Directorate-General for Research, Brussels, 2006.
- EUWI – **Mediterranean Waste Water Reuse Report**. EU Water Initiative, <http://www.emwis.net/topics>, 2007.
- FAO – **Water Quality for Agriculture**, «Irrigation and Drainage», Paper n.º 29 Rev. 1, Rome, FAO, 1985.
- FEACHAM, R.; RADLEY, D.; GARELIK, H.; MARA, D.D. – **Sanitation and Disease. Health Aspects of Excreta and Wastewater Management**. John Wiley & Sons, Chichester, 1983.
- GOVERNO PORTUGUÊS – **Turismo**, <http://www.portugal.gov.pt/Portal/PT/PortugalTurismo/>, 2007.
- HUSTON, S. S.; BARBER, N. L.; KENNY, J. F.; LUMIA, D. S.; MAUPIN, M. A. – **Estimated use of water in the United States in 2000**. Circular 1268, U.S. Geological Survey, Reston, VA. USA, 2004.
- INAG – **INSAAR – Relatório de 2006**. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Lisboa, 2006.
- INAG – **Plano Nacional da Água**. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa, 2001.
- INETI – **Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais**. Vol. 1, INR, Novembro de 2001, Lisboa, Portugal, 130 pp., 2001a.
- INETI – **Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais**. Vol. 2, Tomos I e II, INR, Novembro de 2001, Lisboa, Portugal, 570 pp. 2001b.

- IPQ – **NP 4434 – Norma Portuguesa sobre reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega.** Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2005.
- IRAR – **Recomendação IRAR n.º 02/2007 – Utilização de Águas Residuais Tratadas.** IRAR, Lisboa, Portugal, 2007.
- JSWA – **Sewage Works in Japan 2005. Wastewater Reuse.** Japan Sewage Works Association, Tokyo, Japan, 2005.
- KRINNER, W. *et al* – **Sustainable Water Use in Europe. Part 1: Sectoral Use of Water.** European Environmental Agency, Copenhagen, 1999.
- LYONNAISE DES EAUX – **Mémento du Gestionnaire de l’Alimentation en Eau et de l’Assainissement.** Tome 2 – Assainissement urbain. Technique et Documentation – Lavoisier, Paris, France, 1994.
- MACDONALD, D.H. – **The Economics of Water: Taking Full Account of First Use, Reuse and Return to the Environment.** CSIRO Land and Water Client Report, Dickson, Australia, 2004.
- MAOTDR – **Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013.** Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa, Portugal, 2007.
- MARA, D.D. – **Sewage Treatment in Hot Climates.** John Wiley & Sons, Chichester, 1978.
- MARA, D.D. – **Wastewater treatment requirements for wastewater use on agriculture: implications of the 2006 WHO Guidelines.** 6<sup>th</sup> IWA Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability, Antwerp, October 2007.
- MARECOS DO MONTE, M.H. – **Reutilização de águas residuais: benefícios, constrangimentos e soluções tecnológicas.** *Seminário sobre Aplicação em Portugal e na União Europeia das Directivas Incidentes no Ciclo Urbano da Água*, 19 a 21 Setembro 2005, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 12 pp., 2005.
- MARECOS DO MONTE, M.H. – **Contributo para a utilização de águas residuais tratadas para irrigação em Portugal.** TPI 8, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1996.
- MARECOS DO MONTE, M.H. – **Guidelines for Good Practice of Water Reuse for Irrigation: Portuguese Standard NP 4434.** In *Wastewater*

*Reuse – Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security*. edited by M.K. Zaidi, Springer, Dordrech NL, 2007.

MARECOS DO MONTE, M.H. – **Hydraulic Dispersion in Waste Stabilisation Ponds in Portugal**. MSc. Thesis. Leeds University, 1985.

MARECOS DO MONTE, M.H. – **Waste stabilization ponds in Europe**. in *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, Vol 6, March, pp. 73-79, 1992.

MARECOS DO MONTE, M.H. – **Wastewater treatment ponds – a low technology for conventional and advanced treatment**. in EWPCA International Conference on Integrated Management of Wastewater Systems. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

MARECOS DO MONTE, M.H. – **Water Reuse in Europe**. E-WATER (<http://www.ewaonline.de>), ISSN 1994-8549, Oct 2007.

MARTINS, A.; FREIRE, J. – **Water reuse for irrigation of golf courses and landscapes in Algarve**. *6<sup>th</sup> IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability*, Antwerp, Belgium, October 2007.

MARTINS, A.; FREIRE, J.; SOUSA, J.; RIBEIRO, A. – **Potencialidades de reutilização de águas residuais para rega de campos de golfe na região do Algarve**.

METCALF & EDDY – **Wastewater Engineering. Treatment and Reuse**. 3<sup>rd</sup> Ed., Mc Graw-Hill, Lisbon, 1991.

METCALF & EDDY – **Wastewater Engineering. Treatment and Reuse**. 4<sup>th</sup> Ed., Mc Graw-Hill, Lisbon, 2003.

MILLS, R.A.; ASANO, T. – **A Retrospective Assessment of Water Reclamation Projects**. *Wat. Sci. Technol.*, **33** (10-11), pp. 59–70, 1996.

MONTE, M.M. – **Gestão de Águas Residuais Tratadas para Rega de Campos de Golfe**. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001.

MWH – **Water Treatment: Principles and Design**. Montgomery Watson Harza, 2.<sup>a</sup> edição, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 1968 pp., 2005.

ONU – **Agenda 21**. <http://unep.org/Documments.Multilingua>

- PETTYGROVE, G.S.; ASANO, T. **Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater – A Guidance Manual**. Chelsea, MI, USA, Lewis Publishers, Inc., 1985.
- POCO, J; LANDGRAF, F, GARCIA, P.; GIULIETTI, M. – **Efeitos do campo magnético em soluções aquosas**. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto Alegre, Brasil, 2004.
- Decreto Regulamentar n.º 23/95**, Diário da República n.º 194 – I Série B, pp.5284 – 5319, 23 de Agosto, 1995.
- Decreto Regulamentar n.º 23/95**. Diário da República n.º 194 – I Série B, pp.5284 – 5319, 23 de Agosto, 1995.
- Decreto-Lei n.º 147/2008**. Diário da República n.º 145 – I Série A. pp. 5027 – 5038. Lisboa, 1 de Agosto de 2008.
- Decreto-Lei n.º 173/2008**. Diário da República n.º 164 – I Série A. pp. 5967 – 5980. Lisboa, 26 de Agosto de 2008.
- Decreto-Lei n.º 208/2008**. Diário da República n.º 209 – I Série A. pp. 7569 – 7575, Lisboa, 28 de Outubro de 2008.
- Decreto-Lei n.º 236/98**, Diário da República n.º 176 – I Série A, pp.3676 – 3722, 1 de Agosto, 1998.
- Decreto-Lei n.º 69/2000**. Diário da República n.º 102 – I Série A. pp. 1784 – 1794. Lisboa, 3 de Maio de 2000.
- Decreto-Lei n.º 97/2008**. Diário da República n.º 111 – I Série A. pp. 3395 – 3403, Lisboa, 1 de Junho de 2008.
- Lei n.º 19/2006**. Diário da República n.º 113 – I Série A. pp. 4140 – 4143. Lisboa, 12 de Junho de 2008.
- Lei n.º 54/2005**. Diário da República n.º 219 – I Série A. pp. 6520 – 6525. Lisboa, 15 de Novembro de 2005.
- Lei n.º 58/2005**. Diário da República n.º 249 – I Série A. pp. 7280 – 7310. Lisboa, 29 de Dezembro de 2005.
- QUELHAS DOS SANTOS, J.; CARDOSO PINTO, F. – **O biosistema solo-vegetação base fundamental da depuração de águas residuais no solo**. In «*Tratamento e Destino Final de Águas Residuais Municipais e Industriais no Solo*», S 326, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1985.



- SALA, L.; MILLET, X. – **Aspectos Básicos de la Reutilización de las Aguas Residuales Regeneradas para el Riego de Campos de Golf.** Consorci de La Costa Brava, Girona, Espanha, 1997.
- SHUVAL; H. – **Evaluating the quantitative microbial risk analysis (QMRA) methodology of the 2006 WHO Health Guidelines.** *6<sup>th</sup> IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability*, Antwerp, Belgium, Oct. 2007.
- US EPA – **Guidelines for Water Reuse.** Report EPA/625/R-04/108, Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA, 2004.
- US EPA – **Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater.** EPA/625/1-81-013, Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA, 1981.
- US EPA – **Wastewater Technology Fact Sheet. Ozone Disinfection.** EPA 832-F-99-063, Washington D.C., USA, EPA, 1999. Disponível em <http://www.epa.gov/npdes/oubs/ozone.pdf>.
- US EPA; US AID – Manual – **Guidelines for Water Reuse.** Report EPA/625/R-92/004, Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA, EPA, 1992.
- WHO – **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture.** Technical Reports Series 778, Geneva, Switzerland, World Health Organisation, 1989.
- WHO – **State of the Art Report Health Risks in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water (EDS.)** R. Aertgeerts and A. Angelakis. Water Sanitation and Health Protection and the Human Environment, WHO Geneva and WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark. SDE/WSH/03.08., 2003.



## GLOSSÁRIO

**Água reutilizável** Água residual submetida a uma linha de tratamento capaz de compatibilizar as características qualitativas dessa água com as requeridas para uma ou mais utilizações.

**Análise de risco** Metodologia de estudo que engloba três componentes: avaliação do risco, gestão do risco e comunicação sobre o risco.

**Avaliação de risco** Caracterização qualitativa ou quantitativa dos potenciais efeitos prejudiciais resultantes da exposição a substâncias ou a situações de perigo.

**Balastro** Tipo de transformador utilizado para limitar a corrente eléctrica nas lâmpadas emissoras de radiação UV.

**Biofilme** Camada adstrita a uma superfície em contacto com a água, formada pelas secreções poliméricas de microrganismos.

**Capacidade de campo** Teor de humidade retida no solo quando, depois de ter cessado o movimento gravitacional, o movimento da água capilar decresce substancialmente. Em termos práticos, a capacidade de campo representa a capacidade de retenção de água no solo.

**Capacidade de troca catiónica do solo** Quantitativo máximo de catiões que o solo pode reter sob a forma permutável com catiões em solução na água do solo.

**Compostos teratogénicos** Substâncias cuja ingestão continuada dá origem a malformações em fetos.

**Concentração de ozono transferida para a água (CT)** Produto da concentração residual de ozono à saída do reactor de contacto da fase gasosa com a fase líquida (ozono não consumido na oxidação de microrganismos e de compostos presentes na água) pelo tempo de contacto  $t_{10}$  (tempo necessário para que 10% de um traçador conservativo atinja a saída do reactor de desinfecção).

**Concentrado** Fracção da água que não passa através da membrana.

**Diâmetro efectivo  $d_{10}$**  Dimensão da abertura do peneiro que deixa passar 10% (em massa) do material.

**Disruptores endócrinos** Compostos orgânicos naturais e sintéticos que simulam, bloqueiam, estimulam ou inibem as hormonas naturais produzidas pelos sistemas endócrinos dos animais (incluindo os seres humanos).

**Dotação de rega** Volume anual de água aplicada por unidade de área para desenvolver uma cultura.

**Eficiência de rega** Percentagem da água aplicada na rega que é utilizada pela planta. A planta utiliza a água para a sua evapotranspiração e para lavagem de sais na rizosfera.

**Elementos-traço ou elementos vestigiais** Elementos presentes em concentrações muito reduzidas.

**Esfericidade** Quociente entre a área da superfície da esfera de volume igual ao da partícula e a área superficial da partícula.

**Evapotranspiração** Perda de água do solo por evaporação e concomitante perda de água da planta por transpiração.

**Exposição** Contacto com um agente químico, físico ou biológico, através de ingestão, inalação ou por contacto dérmico.

**Fiabilidade de uma ETAR ou de uma unidade de tratamento** A probabilidade de a mesma apresentar um desempenho adequado durante um determinado período de tempo.

**Fitotoxicidade** Necroses das plantas provocadas por acumulação nas folhas de certos iões transportados na água absorvida pela planta.

**Fluxo** Massa ou volume de água que passa através da unidade de área membrana por unidade de tempo. Exprime-se em  $m^3/m^2.h$  ou em  $L/m^2.h$ .

**Gestão de risco** Processo de definição de alternativas para controlo dos riscos avaliados e da sua implementação, se necessário.

**Gestão sustentável dos recursos hídricos** Gestão dos recursos hídricos de modo que as necessidades do presente sejam satisfeitas sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

**Infiltração** Propriedade do solo relativa à entrada da água, por gravidade, nos interstícios do solo.

**Lixiviação** Dissolução de constituintes de um meio poroso num fluido que o atravessa por infiltração.

**Macronutrientes** Elementos essenciais para que as plantas completem o seu ciclo vegetativo e que estas absorvem em quantidades maiores do que dos chamados micronutrientes, também essenciais. Incluem-se neste grupo os seguintes elementos: azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).

**Macronutrientes principais** Macronutrientes necessários em maior quantidade e que geralmente têm de ser fornecidos sob a forma de adubo. Incluem o azoto (N), fósforo (P) e o potássio (K).

**Micronutrientes** Elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, mas em reduzidas quantidades e que são susceptíveis de causar toxicidade acima de certos teores (variáveis com a natureza da planta e do meio em que esta se desenvolve). Incluem o ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdénio (Mo) e cloro (Cl).

**Microrganismos emergentes** Microrganismos patogénicos resistentes aos fármacos, com a conseqüente emergência de doenças que se julgavam controladas.

**Microrganismos indicadores de contaminação** Microrganismos não patogénicos que acompanham a presença de microrganismos patogénicos e que são utilizados para estimar a presença destes últimos.

**Microrganismos patogénicos** Microrganismos susceptíveis de provocar doenças nos hospedeiros em que se encontram.

**Perigo** Capacidade de um agente físico, químico ou biológico para provocar efeitos prejudiciais.

**Permeabilidade** Propriedade relativa à facilidade com que a água infiltrada percola pelo solo.

**Permeado** Água filtrada por um processo de membrana.

**Poluentes emergentes** Substâncias químicas cuja presença na água foi identificada recentemente e que aguardam o desenvolvimento de informação sobre os seu impacto na saúde e no ambiente.

**Reciclagem da água** Reutilização de uma água para a mesma finalidade da sua prévia utilização.

**Reutilização da água** Utilização de água residual tratada para uma aplicação com benefício económico ou ambiental.

**Reutilização directa** Utilização de água residual após tratamento avançado em ETAR.

**Reutilização indirecta** Incorporação de águas residuais tratadas numa massa de água, como uma albufeira ou um aquífero, utilizada como origem de água bruta para produção de água potável.

**Risco** Probabilidade de um organismo exposto a um perigo específico desenvolver efeitos prejudiciais.

**Saúde pública** Saúde de uma comunidade, que deve ser protegida por meio de medicina preventiva, educação para a saúde, controlo de doenças infecciosas, implementação de medidas sanitárias e monitorização de perigos ambientais.

**Sistema de reutilização de águas residuais tratadas (SRART)** Conjunto das infra-estruturas que tratam as águas residuais a um nível adequado para subseqüentes utilizações e as conduzem para abastecimento aos respectivos utilizadores.

**Sólidos em suspensão coloidal** Partículas de dimensão entre  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ .

**Sólidos em suspensão fina** Partículas de dimensão entre 1 mm e 10 mm.

**Title 22** Secção do Código Administrativo do Estado da Califórnia que trata da regulamentação da reutilização de água.

**Transmitância** Capacidade de uma solução para transmitir a luz.

**Indicadores de contaminação fecal** Microrganismos que habitam o intestino humano ou de animais de sangue quente, e cuja presença na água indica a possibilidade da presença de microrganismos patogénicos.

**Poro (de membrana)** Característica geralmente utilizada para distinguir tipos de membranas e que corresponde à dimensão nominal do poro da membrana que permite a passagem do permeado e a retenção de determinados constituintes das águas à superfície da membrana.

**Pré-tratamento** Tratamento aplicado a águas residuais industriais antes da sua descarga nos sistemas de drenagem de águas residuais urbanas, com o objectivo de alterar as suas características qualitativas de modo a não perturbar o tratamento conferido no sistema público.

**Tampão ambiental** Barreira física que impede o contacto das águas residuais reutilizadas com o ambiente envolvente; como, por exemplo,

uma faixa de terreno não regado na periferia de um campo regado com água reutilizadas, e que permite que a água não infiltrada escorra superficialmente e atinja linhas de água superficiais.

**Tratamento preliminar** Etapa da fileira de tratamento de águas residuais destinada à remoção de sólidos flutuantes e de sólidos grosseiros, como areias e saibros.

**Tratamento primário** Tratamento físico e/ou químico destinado à remoção de sólidos em suspensão, de modo que a concentração de SST no efluente seja reduzida em pelo menos 50% e a  $CBO_5$  do efluente seja reduzida em pelo menos 20%.

**Tratamento secundário** Tratamento geralmente biológico com decantação secundária ou outro processo, destinado a permitir que o efluente respeite os seguintes requisitos:

Parâmetros	Concentração	Porcentagem mínima de redução
Carência bioquímica de oxigénio ( $CBO_5$ a 20°C) sem nitrificação	25 mg/L $O_2$	70-90
Carência química de oxigénio (CBO)	125 mg/L $O_2$	75
SST	35 mg/L	90

**Tratamento terciário** Fase de tratamento após o tratamento secundário, destinada à remoção de sólidos em suspensão e/ou à remoção de nutrientes e/ou à desinfecção para remoção de microrganismos patogénicos.

**Tratamento avançado** Tratamento destinado à remoção de substâncias dissolvidas na água, em concentrações muito baixas.





# ANEXOS

---



# ANEXO I – TABELAS DE TOLERÂNCIA

Tabela 1 – Tolerância de culturas agrícolas ao boro da água de rega  
(adaptado de [Asano *et al*, 2007])

Nome comum	Nome botânico	Sensibilidade		
		Tolerante	Medianamente Tolerante	Sensível
Cevada (grão)	<i>Hordeum vulgare</i>		✓	
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	✓		
Milho (grão)	<i>Zea mays</i>		✓	
Algodão	<i>Gossypium hirsutum</i>			✓
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	✓		
Aveia	<i>Avena sativa</i>			✓
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>			✓
Beterraba sacarina	<i>Beta vulgaris</i>			✓
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	✓		
<b>HORTÍCOLAS</b>				
Alcachofra	<i>Helianthus tuberosus</i>		✓	
Espargo	<i>Asparagus officinalis</i>	✓		
Beterraba	<i>Beta vulgaris</i>	✓		
Couve	<i>Brassica oleracea capitata</i>		✓	
Cenoura	<i>Daucus carota</i>			✓
Aipo	<i>Apium graveolens</i>		✓	
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>			✓
Alface	<i>Lactuca sativa</i>		✓	
Cebola	<i>Allium cepa</i>			✓
Batata	<i>Solanum tuberosum</i>			✓
Batata-doce	<i>Ipomea batatas</i>			✓
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	✓		
Nabo	<i>Brassica rapa</i>		✓	
<b>FORRAGENS</b>				
Luzerna	<i>Medicago sativa</i>			✓
Cevada	<i>Hordeum vulgare</i>			✓
Ervilha de vaca	<i>Vigna unguiculata</i>			✓
<b>FRUTOS</b>				
Alperce	<i>Prunus armeniaca</i>			✓
Uva	<i>Vitis sp.</i>			✓
Toranja	<i>Citrus paradisi</i>			✓
Laranja	<i>Citrus sinensis</i>			✓
Pêssego	<i>Prunus persica</i>			✓
Ameixa	<i>Prunus domestica</i>			✓

Tabela 2 – Tolerância de culturas agrícolas à salinidade da água de rega (adaptado de [Asano *et al*, 2007])

Nome comum	Nome botânico	Sensibilidade			
		Tolerante	Medianamente		Sensível
			Tolerante	Sensível	Sensível
Cevada (grão)	<i>Hordeum vulgare</i>	✓			
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>				✓
Milho (grão)	<i>Zea mays</i>			✓	
Algodão	<i>Gossypium hirsutum</i>	✓			
Jjoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	✓			
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>				
Aveia	<i>Avena sativa</i>		✓		
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>		✓		
Beterraba sacarina	<i>Beta vulgaris</i>	✓			
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>		,		
<b>HORTÍCOLAS</b>					
Alcachofra	<i>Helianthus tuberosus</i>		,		
Espargo	<i>Asparagus officinalis</i>	,			
Beterraba	<i>Beta vulgaris</i>		,		
Couve	<i>Brassica oleracea capitata</i>			✓	
Cenoura	<i>Daucus carota</i>				✓
Aipo	<i>Apium graveolens</i>			✓	
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>			✓	
Alface	<i>Lactuca saltiva</i>			✓	
Cebola	<i>Allium cepa</i>				✓
Batata	<i>Solanum tuberosum</i>			✓	
Batata-doce	<i>Ipomea batatas</i>			✓	
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>			✓	
Espinafre	<i>Spinacia oleracea</i>			✓	
Nabo	<i>Brassica rapa</i>			✓	
<b>FORRAGENS</b>					
Luzerna	<i>Medicago sativa</i>			✓	
Relvas				✓	
				✓	
<b>FRUTOS</b>					
Alperce	<i>Prunus armeniaca</i>				✓
Amêndoa	<i>Prunus dulcis</i>				✓
Uva	<i>Vitus sp.</i>			✓	
Toranja	<i>Citrus paradisi</i>				✓
Laranja	<i>Citrus sinensis</i>				✓
Pêssego	<i>Prunus persica</i>				✓
Morango	<i>Fragaria sp.</i>				✓
Ameixa	<i>Prunus domestica</i>				✓

## ANEXO II – CÁLCULO DA $R_{Na-AJ}$

**Cálculo da  $R_{Na-aj}$**  do efluente tratado de uma ETAR cuja composição química média é a indicada no quadro seguinte:

Parâmetro	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Condutividade eléctrica
Unidade	mg/L				µS/cm
Valor médio	38,9	19,9	129,7	97,5	1237,5

	Ca	Mg	Na	HCO <sub>3</sub>
Massa atómica/molecular	40	24,2	23	61
Valência	2	2	1	1
1 meq	20	12,2	23	61

$$[Na] \text{ (em meq/L)} = Na \text{ (em mg/L)} / 23$$

$$[Na] = 5,64 \text{ meq/L}$$

$$[Ca] \text{ (em meq/L)} = Ca \text{ (em mg/L)} / 20$$

$$[Ca] = 1,95 \text{ meq/L}$$

$$[Mg] \text{ (em meq/L)} = Mg \text{ (em mg/L)} / 12,2$$

$$[Mg] = 1,63 \text{ meq/L}$$

$$[HCO_3] \text{ (em meq/L)} = HCO_3 \text{ (em mg/L)} / 61$$

$$[HCO_3] = 1,60 \text{ meq/L}$$

$$R_{Na} = 4,21$$

### Cálculo de $R_{Na-aj}$

$$[HCO_3]/[Ca] = 0,82$$

Da Tabela 3 extrai-se, por interpolação, que  $Ca_x = 2,54$

$$R_{Na-aj} = 2,02$$



# **ANEXO III – PROCESSOS DE TRATAMENTO TERCIÁRIO PARA A REMOÇÃO DE NUTRIENTES**

Os processos mais utilizados destinam-se ao controlo ou remoção de azoto por nitrificação/desnitrificação (Tabela 3), remoção de fósforo (Tabela 4) e remoção simultânea de azoto e fósforo.

## **I. Processos avançados para remoção de sólidos em suspensão fina e coloidal**

A remoção de matéria particulada de dimensão muito reduzida pode ser necessária quando a sua presença interfere com a aplicação de reutilização ou para viabilizar o processo de desinfecção, visto que as partículas constituem escudos de protecção para os microrganismos quando a água é exposta a agentes de desinfecção (ver 7.6.2). A filtração é uma operação muito utilizada com este objectivo. As chamadas tecnologias de membrana – nomeadamente a microfiltração e ultrafiltração – são mais utilizadas na remoção de sólidos em suspensão coloidal.

Na Tabela 5 descrevem-se as operações unitárias de tratamento mais frequentemente utilizadas com a finalidade de afinar um efluente secundário ou terciário no que respeita ao teor de sólidos em suspensão fina e em suspensão coloidal.

## **II. Processos avançados para remoção de sólidos dissolvidos**

Na Tabela 6 indicam-se as operações e processos unitários empregados quando o objectivo do tratamento consiste na redução de substâncias dissolvidas (pesticidas, produtos farmacêuticos, metais, etc.).

Tabela 3 – Processos de remoção de azoto (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007)

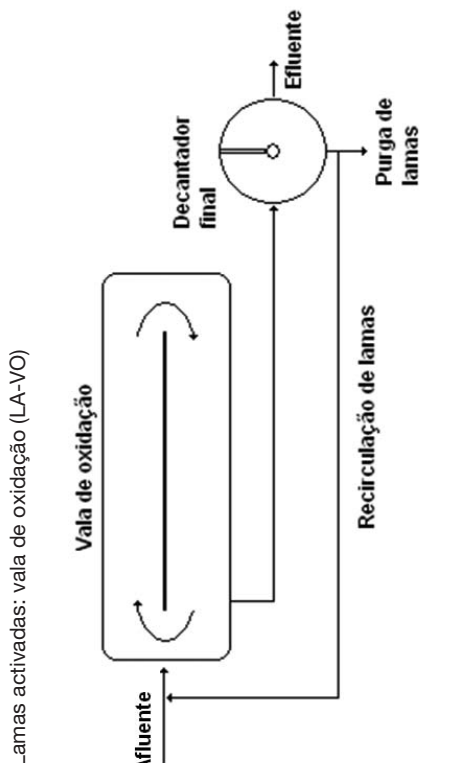
Esquema-tipo	Descrição
<p>Lamas activadas: vala de oxidação (LA-VO)</p>  <p>O diagrama ilustra o processo de tratamento de águas residuais com lamas activadas. À esquerda, uma seta indica o 'Afluente' que entra numa 'Vala de oxidação' (LA-VO), representada por um retângulo com uma seta curva interna. Uma linha conduz o efluente da vala para um 'Decantador final', um círculo com uma seta curva interna. De cima do decantador, uma seta indica o 'Efluente' que sai do sistema. De baixo do decantador, uma seta indica a 'Purga de lamas', que é recirculada para a vala de oxidação, conforme indicado pelo texto 'Recirculação de lamas' e pela seta que retorna à entrada da vala.</p>	<p>Caracteriza-se por operar a valores muito baixos da relação F/M, elevadas concentrações de MLVSS, longos períodos de arejamento, elevados tempos de residência celular (idade de lamas), elevadas taxas de recirculação e reduzidas taxas de purga. A configuração típica inclui: tanque de arejamento de planta oval, decantador final e sistemas de recirculação de lamas, de purga de lamas e de arejamento. Dado que o processo é muito estável, suportando relativamente bem eventuais pontas de carga orgânica, não necessita de uma etapa de decantação prévia. As lamas em excesso encontram-se suficientemente mineralizadas, não sendo necessário um processo de estabilização de lamas. Indicado para a remoção simultânea de matéria orgânica, amónio e nitrato (nitrificação/desnitrificação).</p>



Tabela 3 – Processos de remoção de azoto (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

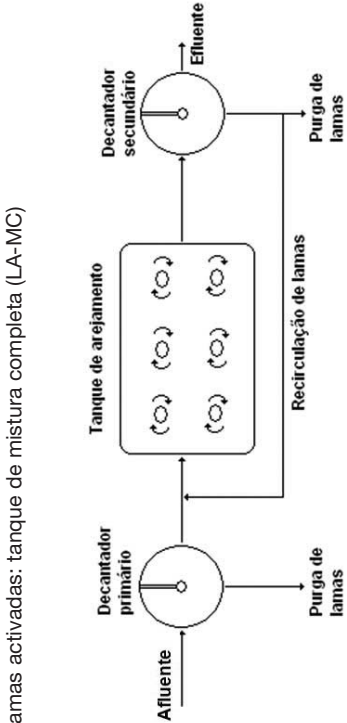
Esquema-tipo	Descrição
<p>Lamas activadas: tanque de mistura completa (LA-MC)</p> 	<p>Estes processos, também conhecidos como de média carga ou de arejamento convencional, apresentam teores semelhantes de OD, MLVSS e cargas orgânicas e inorgânicas no tanque de arejamento, valores baixos da relação F/M e tempos de residência celular, taxas de recirculação e de purga inferiores ao processo LA-VO. A configuração típica inclui: decantador primário, tanque de arejamento de planta retangular, decantador secundário e sistemas de recirculação de lamas, de purga de lamas e de arejamento. Apresenta maior produção de lamas e maior consumo específico de oxigénio comparativamente com o processo de LA-VO. Neste tipo de configuração o tanque de arejamento deve ser precedido de uma etapa de sedimentação. As lamas em excesso não se encontram suficientemente mineralizadas, devendo, portanto, ser submetidas a um processo de estabilização. Indicado para a remoção simultânea de matéria orgânica e amónio (nitrificação).</p>

Tabela 3 – Processos de remoção de azoto (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

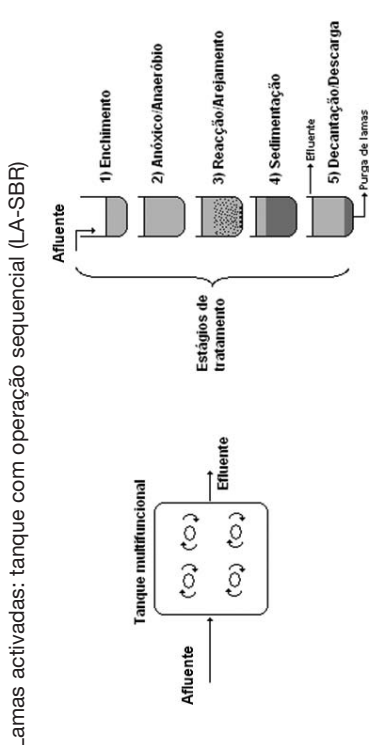
Esquema-tipo	Descrição
<p>Lamas activadas: tanque com operação sequencial (LA-SBR)</p> 	<p>Consiste num processo realizado num único tanque de arejamento, envolvendo as etapas de enchimento, arejamento e contacto, sedimentação, decantação e descarga. A etapa de arejamento e contacto funciona em regime de mistura completa, permanecendo as lamas no tanque durante sucessivos ciclos de operação, apresentando elevados tempos de residência celular e baixas taxas de purga. A configuração típica inclui: tanque de arejamento de planta rectangular ou quadrangular e sistemas de arejamento e de purga de lamas (pode incluir um decantador primário). As lamas em excesso encontram-se suficientemente mineralizadas, não sendo, normalmente, necessário um processo de estabilização de lamas. Indicado para a remoção simultânea de matéria orgânica, amónio e nitrato (nitrificação/desnitrificação).</p>

Tabela 3 – Processos de remoção de azoto (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

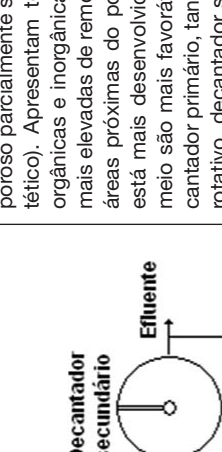
Esquema-tipo	Descrição
<p data-bbox="280 395 305 673">Leito percolador de média carga</p> 	<p data-bbox="280 864 786 1107">Processo de tratamento por filtração através de um meio poroso parcialmente submerso (e.g., material natural ou sintético). Apresentam teores decrescentes de OD e cargas orgânicas e inorgânicas no sentido do escoamento e taxas mais elevadas de remoção de matéria orgânica e amónio em áreas próximas do ponto de alimentação (onde o biofilme está mais desenvolvido e as condições de oxigenação do meio são mais favoráveis). A configuração típica inclui: decantador primário, tanque de planta circular com distribuidor rotativo, decantador secundário e sistemas de recirculação de efluente secundário, de purga de lamas e de arejamento (natural através de orifícios ou por difusores). As lamas em excesso não se encontram suficientemente mineralizadas, sendo necessário um processo de estabilização de lamas. Indicado para a remoção simultânea de matéria orgânica e amónio (nitrificação), podendo desenvolver-se a remoção de nitrato (desnitrificação) através do controlo do sistema de arejamento. A inclusão de um tanque de contacto arejado pode aumentar as taxas de nitrificação (processo híbrido).</p>

Tabela 3 – Processos de remoção de azoto (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

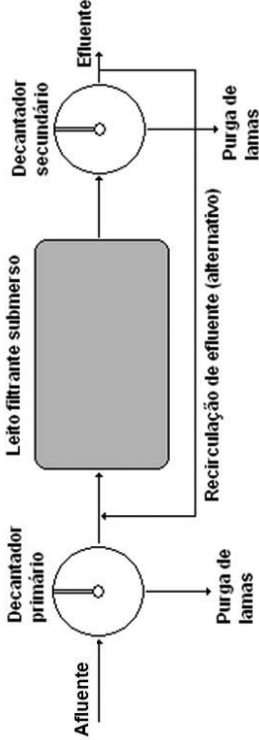
Esquema-tipo	Descrição
<p data-bbox="374 1281 391 1529">Leito compacto submerso</p> 	<p data-bbox="374 166 662 743">Processo de tratamento por filtração através de um meio poroso totalmente submerso e fixo (e.g., material natural ou sintético), podendo ser incluído arejamento e alimentação escalonada. A configuração típica pode incluir: decantador primário, tanque de planta rectangular, decantador secundário e sistemas de distribuição, recirculação de efluente, se- cundário, purga de lamas e arejamento. As lamas em exces- so não se encontram suficientemente mineralizadas, sendo necessário um processo de estabilização de lamas. Indica- do para a remoção simultânea de matéria orgânica, amónio e nitrato (nitrificação/denitrificação).</p>

Tabela 3 – Processos de remoção de azoto (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

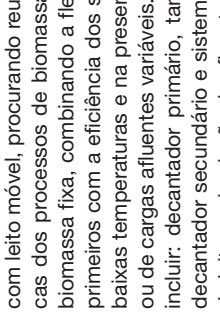
Esquema-tipo	Descrição
<p data-bbox="280 395 305 661">Leito móvel (MBBR)</p>  <p>O diagrama ilustra o processo de tratamento em leito móvel. À esquerda, o 'Afluente' entra no 'Decantador primário', que possui um mecanismo de purga de lamas. O efluente do decantador primário flui para o 'Leito móvel', que contém um 'Sistema de agitação do leito' com ícones de agitadores. O efluente do leito móvel vai para o 'Decantador secundário', também com purga de lamas. Um fluxo de 'Recirculação de efluente (alternativo)' retorna do decantador secundário ao decantador primário. O 'Efluente' final sai do decantador secundário.</p>	<p data-bbox="549 395 574 748">Processo de tratamento que inclui um tanque de mistura com leito móvel, procurando reunir as melhores características dos processos de biomassa suspensa com as dos de biomassa fixa, combinando a flexibilidade de operação dos primeiros com a eficiência dos segundos, em especial para baixas temperaturas e na presença de elementos inibidores ou de cargas afluentes variáveis. A configuração típica pode incluir: decantador primário, tanque de planta rectangular, decantador secundário e sistemas de distribuição, agitação do leito, recirculação de efluente secundário, purga de lamas e arejamento. O meio de enchimento ocupa cerca de 15% do volume líquido. Comparativamente com outros processos de biomassa fixa (e.g., leito percolador e leito compacto), apresenta menos problemas de colmatagem do meio e de curto-circuito hidráulico. A tecnologia pode ser aplicada em estruturas já em funcionamento (e.g., para reconversão de um processo de lamas activadas).</p>

Tabela 4 – Processos de remoção de fósforo (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007).

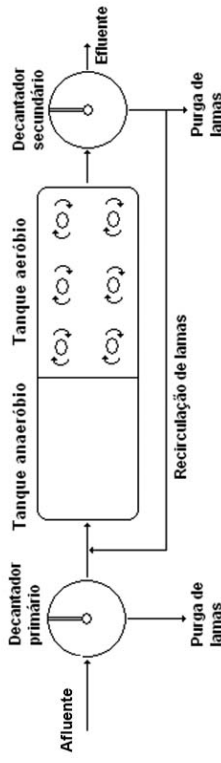
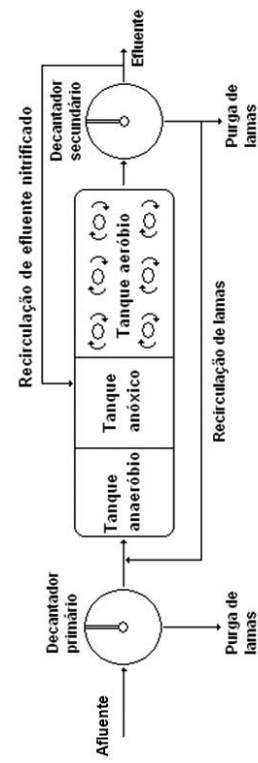
Esquema-tipo	Descrição
<p>Lamas activadas: tanques A/O (Phoredox)</p> 	<p>Consiste num processo que agrega dois tanques em série, um anaeróbio e outro aeróbio (processo A/O), para remoção biológica de fósforo, não permitindo, contudo, a nitrificação, dado o baixo tempo de retenção utilizado na zona aeróbia. Pode incluir uma recirculação convencional de lamas (i.e., do decantador secundário para a entrada do tanque).</p>
<p>Lamas activadas: tanques A<sup>2</sup>O</p> 	<p>Integra uma sequência de três tanques em série, um anaeróbio, um anóxico e outro aeróbio (processo A<sup>2</sup>O), que permite a remoção simultânea de fósforo e azoto, neste último caso através da recirculação do efluente nitrificado para o tanque anóxico, beneficiando, ainda, de um tempo de retenção de biomassa elevado. Pode, também, incluir uma recirculação convencional de lamas (i.e., do decantador final para a entrada do tanque).</p>

Tabela 4 – Processos de remoção de fósforo (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

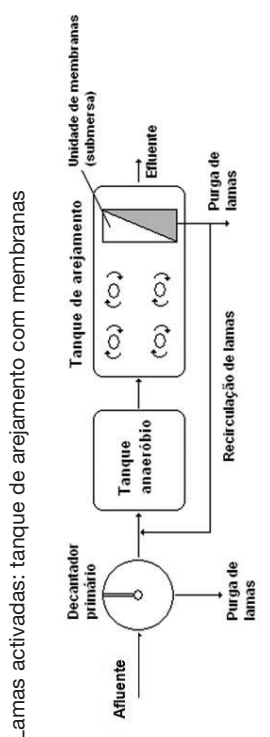
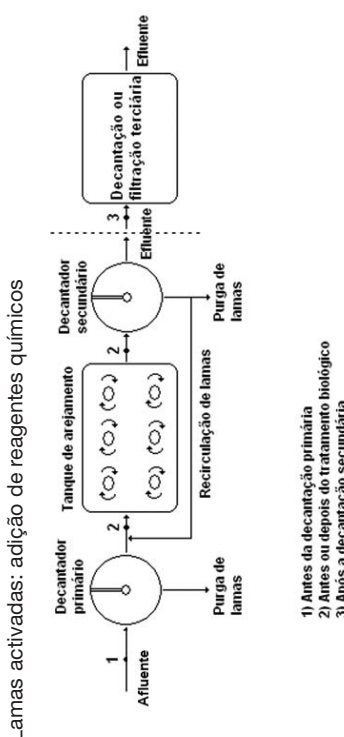
Esquema-tipo	Descrição
<p>Lamas activadas: tanque de arejamento com membranas</p> 	<p>Processo que permite a remoção biológica de fósforo e azoto através de um reactor misto (reactor biológico e processo de membrana por ultrafiltração), precedido de um tanque com zonas anaeróbia, anóxica e aeróbia, não sendo necessário o tradicional decantador final.</p>
<p>Lamas activadas: adição de reagentes químicos</p>  <p>1) Antes da decantação primária 2) Antes ou depois do tratamento biológico 3) Após a decantação secundária</p>	<p>A remoção de fósforo pode ser realizada através da adição de reagentes, como sais de cálcio, alumínio e ferro, sendo os últimos mais utilizados para a coagulação e precipitação de fósforo e fosfato. Simultaneamente pode ocorrer a sua adsorção em colóides de óxidos de ferro. A injeção de reagentes pode acontecer antes do tratamento primário, antes ou após o tratamento biológico, ou em vários pontos da linha de tratamento.</p>

Tabela 5 – Processos de remoção de sólidos em suspensão fina e coloidal (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007).

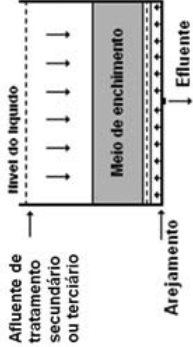
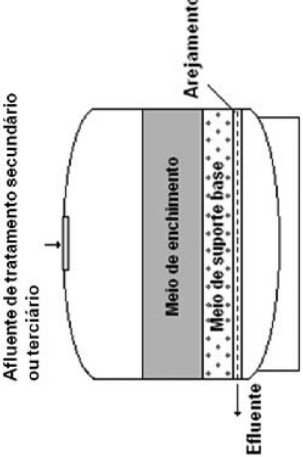
Esquema-tipo	Descrição
<p data-bbox="373 1142 391 1529">Leito filtrante submerso de fluxo vertical</p> 	<p data-bbox="373 164 582 743">Constituído por um tanque de leito filtrante submerso, normalmente com camadas de material heterogêneo (areia, carvão ativado e antracite) ou homogêneo (areia ou material sintético), podendo as alturas variarem entre 30 a 60 cm (meio heterogêneo) e entre 120 a 240 cm (camada homogênea). A alimentação é, normalmente, vertical e pode incluir um sistema de lavagem em contra-corrente e um sistema de arejamento.</p>
<p data-bbox="668 1350 687 1529">Filtros em pressão</p> 	<p data-bbox="668 164 822 743">Constituído por um tanque fechado em betão ou aço, de leito filtrante sob pressão, normalmente com uma ou várias camadas de material filtrante (areia, antracite ou material sintético), com 45 a 75 cm de altura. A alimentação é vertical (ascendente ou descendente), podendo incluir um sistema de lavagem em contra-corrente.</p>



Tabela 5 – Processos de remoção de sólidos em suspensão fina e coloidal (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

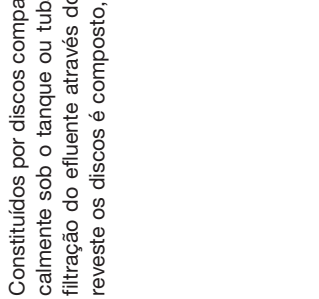
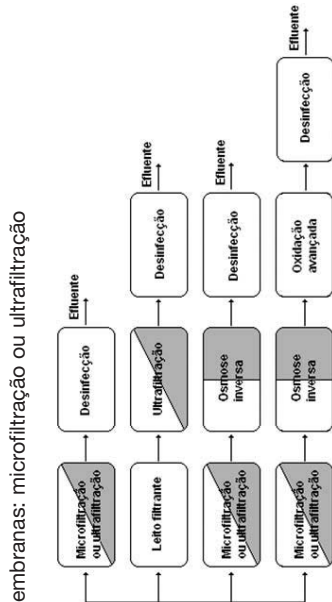
Esquema-tipo	Descrição
<p>Filtros de disco</p> 	<p>Constituídos por discos compartimentados, montados verticalmente sob o tanque ou tubagem de saída, permitindo a filtração do efluente através do seu interior. O material que reveste os discos é composto, normalmente, por poliéster.</p>
<p>Sistema de membranas: microfiltração ou ultrafiltração</p> 	<p>Constituído por um conjunto de membranas para microfiltração (abertura de malha entre 0,08 e 2,0 µm e pressões entre 0,1 e 3 bar) ou ultrafiltração (abertura de malha entre 0,005 e 0,2 µm e pressões entre 0,2 e 8 bar), podendo ser accionado por um sistema de vácuo e admitido um sistema de lavagem em contra-corrente. Os módulos de membranas, normalmente, incluem conjuntos de tubos em material plástico ou fibra de vidro, com 10 a 30 cm de diâmetro e 0,9 a 5,5 m de comprimento, podendo admitir um sistema de lavagem em contra-corrente.</p>

Tabela 5 – Processos de remoção de sólidos em suspensão fina e coloidal (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

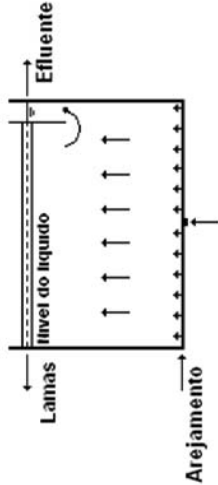
Esquema-tipo	Descrição
<p data-bbox="370 1269 391 1529">Flotação com ar dissolvido</p> 	<p data-bbox="370 166 530 743">Constituído por um tanque com injeção de ar dissolvido em alta pressão (microbolhas de 30 a 100 mm de diâmetro), permitindo, por despressurização, a flotação de material de baixa densidade (difícil de remover por sedimentação) e sua posterior remoção. Pode admitir um sistema de recirculação e a adição de reagentes químicos, coadjuvantes da flotação.</p>

Tabela 5 – Processos de remoção de sólidos em suspensão fina e coloidal (adaptado de Crites e Tchobanoglous, 1998; Metcalf e Eddy, 2003; EPA, 2004; Asano *et al.*, 2007). (Cont.)

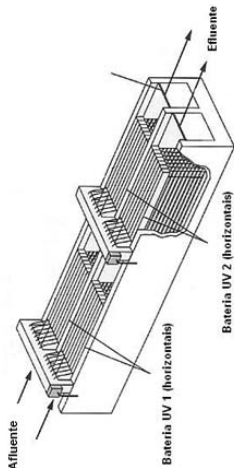
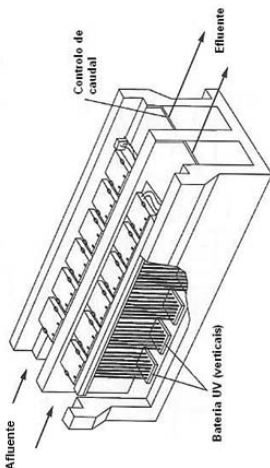
Esquema-tipo	Descrição
<p>Sistema de desinfecção: radiação ultra violeta</p> <p>Sistema com baterias de lâmpadas horizontais paralelas à direcção do escoamento</p>  <p>Sistema com baterias de lâmpadas verticais perpendiculares à direcção do escoamento</p> 	<p>Trata-se de um processo físico realizado em canal aberto ou conduta, incluindo um conjunto de lâmpadas de vapor de mercúrio que promovem uma descarga eléctrica, na forma de radiação ultra-violeta, que destroem ou inactivam microrganismos (dosagens de 20 a 30 mW.s/cm<sup>2</sup> são suficientes para controlo de vírus; 30 a 40 mW.s/cm<sup>2</sup> para o controlo de bactérias; e 40 a 60 mW.s/cm<sup>2</sup> para controlo de protozoários) e de acção imediata (0,5 a 5 segundos). Trata-se de um sistema bastante eficiente, que não altera a qualidade físico-química da água, podendo a sua eficácia ser afectada pela turvação, temperatura e teor de matéria sólida em suspensão no efluente, pelo que a dosagem deve ser ajustada em função das características do afluente.</p>

Tabela 6 – Processos de remoção de sólidos dissolvidos.

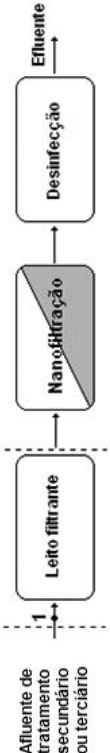
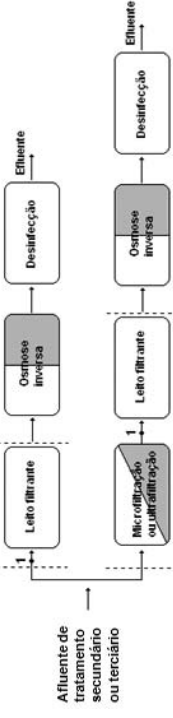
Esquema-tipo	Descrição
<p data-bbox="342 1166 360 1531">Sistema de membranas: nanofiltração</p>  <p data-bbox="421 1444 495 1531">Afluente de tratamento secundário ou terciário</p> <p data-bbox="441 1236 490 1374">Leito filtrante</p> <p data-bbox="421 1045 495 1183">Nanofiltração</p> <p data-bbox="441 854 490 992">Desinfecção</p> <p data-bbox="421 819 445 836">Efluente</p> <p data-bbox="544 1107 569 1409">1 - Adição de reagentes (opcional)</p>	<p data-bbox="342 170 687 743">Processo de separação constituído por um conjunto de membranas semipermeáveis (abertura de malha entre 0,001 e 0,01 µm) sujeito a pressão para produzir osmose na solução de alimentação, destinado a remover compostos dissolvidos com tamanho entre 0,4 e 10 nm (e.g., compostos orgânicos dissolvidos, íons cálcio e magnésio e bactérias). Ao contrário da osmose inversa, não remove todos os sais, utiliza metade da pressão (5 a 20 bar) e opera com elevadas velocidades (0,01 a 0,035 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h). Os módulos de membranas, normalmente, incluem conjuntos de tubos em material celulósico ou acetato de polivinil, cujas dimensões mais utilizadas apresentam 100 mm (diâmetro interno) por 1000 mm (diâmetro externo).</p>
<p data-bbox="712 1142 730 1531">Sistema de membranas: osmose inversa</p>  <p data-bbox="827 1444 901 1531">Afluente de tratamento secundário ou terciário</p> <p data-bbox="786 1236 835 1374">Leito filtrante</p> <p data-bbox="773 1045 847 1183">Osmose Inversa</p> <p data-bbox="786 854 835 992">Desinfecção</p> <p data-bbox="773 819 798 836">Efluente</p> <p data-bbox="852 1236 926 1374">Microfiltração ou Ultrafiltração</p> <p data-bbox="864 1045 938 1183">Leito filtrante</p> <p data-bbox="877 854 926 992">Osmose Inversa</p> <p data-bbox="889 819 938 958">Desinfecção</p> <p data-bbox="963 1177 988 1392">1 - Adição de reagentes (opcional)</p>	<p data-bbox="712 170 1000 743">Processo de separação semelhante ao de UF, constituído por um conjunto de membranas semipermeáveis (abertura de malha entre 0,0001 e 0,001 µm) sujeito a elevada pressão (10 a 100 bar) e velocidades entre 0,012 e 0,02 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h) para produzir osmose na solução de alimentação, destinado a remover compostos dissolvidos com tamanho entre 0,2 e 1 nm (e.g. íons monovalentes como o cálcio e os cloretos). Os módulos de membranas, normalmente, incluem conjuntos de tubos em material celulósico ou acetato de polivinil, cujas dimensões mais utilizadas apresentam 580 mm (altura) por 300 mm (largura) por 510 (diâmetro externo).</p>

Tabela 6 – Processos de remoção de sólidos dissolvidos. (Cont.)

Esquema-tipo	Descrição
<p>Sistema de membranas: electrodiálise</p> <p>1 - Adição de reagentes (opcional)</p>	<p>Processo de separação electroquímico utilizando membranas iónicas selectivas (unipolares ou bipolares), que permitem a remoção de determinadas espécies de íões por permuta iónica (é.g. íões cálcio, magnésio e cloretos), operando a baixas velocidades (entre 0,03 e 0,04 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h) e baixas pressões. As membranas incluem conjuntos de células com uma área efectiva entre 0,2 e 0,4 m<sup>2</sup>.</p>

Tabela 6 – Processos de remoção de sólidos dissolvidos. (Cont.)

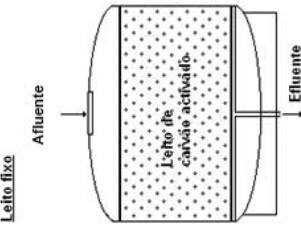
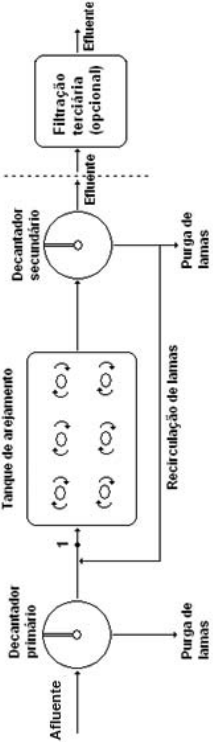
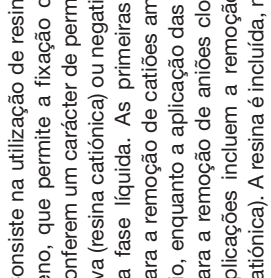
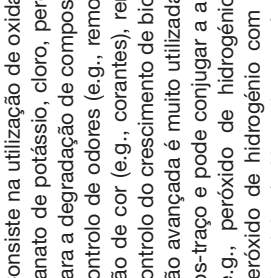
Esquema-tipo	Descrição
<p data-bbox="342 1274 362 1532">Adsorção: carvão activado</p>  <p data-bbox="391 1454 406 1524"><b>Leito fixo</b></p> <p data-bbox="423 1385 438 1447">Afluente</p> <p data-bbox="551 1298 566 1524">Leito de carvão activado</p> <p data-bbox="675 1343 689 1406">Efluente</p> <p data-bbox="744 1246 758 1524"><b>Adição em sistema de lamas activadas</b></p>  <p data-bbox="793 1246 808 1524">Afluente</p> <p data-bbox="805 1361 820 1447">Decantador primário</p> <p data-bbox="830 1395 845 1447">1</p> <p data-bbox="855 1395 869 1447">Purga de lamas</p> <p data-bbox="793 1152 808 1308">Tanque de arejamento</p> <p data-bbox="818 1152 832 1308">Recirculação de lamas</p> <p data-bbox="805 996 820 1065">Decantador secundário</p> <p data-bbox="830 996 845 1065">Efluente</p> <p data-bbox="855 996 869 1065">Efluente</p> <p data-bbox="879 840 894 927">Filtração terciária (opcional)</p> <p data-bbox="904 781 919 843">Efluente</p> <p data-bbox="965 996 980 1065">Purga de lamas</p> <p data-bbox="1039 1239 1054 1447"><b>1. Adição de carvão activado</b></p>	<p data-bbox="342 170 657 746">A utilização de carvão activado está especialmente indicada para a remoção de compostos orgânicos residuais (e.g., pesticidas e PCB), inorgânicos residuais (e.g., formas de azoto e metais pesados como o cádmio, crómio e zinco) e orgânicos voláteis responsáveis por odores (e.g. gás sulfídrico e mercaptanos). Trata-se de um material com elevada capacidade de adsorção, em forma de granulado (diâmetro médio entre 0,6 e 0,9 mm) ou pó, com superfície específica entre 700 e 1800 m<sup>2</sup>/g. Pode ser utilizado com meio de enchimento em sistemas de filme fixo (leito fixo, móvel ou fluidizado) ou adicionado directamente em sistemas de mistura completa (e.g., lamas activadas).</p>

Tabela 6 – Processos de remoção de sólidos dissolvidos. (Cont.)

Esquema-tipo	Descrição
<p>Permuta iónica</p> 	<p>Consiste na utilização de resinas, normalmente em poliestireno, que permite a fixação de grupos funcionais que lhe conferem um carácter de permutador de íões de carga positiva (resina catiónica) ou negativa (resina aniónica) presentes na fase líquida. As primeiras são normalmente utilizadas para a remoção de cationes amónio, cálcio, magnésio e cálcio, enquanto a aplicação das segundas está mais indicada para a remoção de aníões cloreto, nitrato e sulfato. Outras aplicações incluem a remoção de metais pesados (resina catiónica). A resina é incluída, normalmente, em colunas verticais de altura entre 0,75 e 2 m, operando a velocidades entre 0,2 e 0,4 m/min.</p>
<p>Oxidação química avançada</p> 	<p>Consiste na utilização de oxidantes químicos (e.g., permanganato de potássio, cloro, peróxido de hidrogénio e ozono) para a degradação de compostos de difícil biodegradação e controlo de odores (e.g., remoção de gás sulfídrico), remoção de cor (e.g., corantes), remoção de ferro e manganés, controlo do crescimento de biofilme e desinfecção. A oxidação avançada é muito utilizada para a remoção de elementos-traço e pode conjugar a aplicação de vários processos (e.g., peróxido de hidrogénio com radiação ultravioleta; peróxido de hidrogénio com ozono; ozono com radiação ultravioleta). Normalmente é precedida de um estágio de filtração (microfiltração, ultrafiltração ou osmose inversa).</p>

## ANEXO IV – ESTRUTURA DO TARIFÁRIO DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

O modelo tarifário aplicável a águas reutilizadas deve apresentar a seguinte estrutura:

– Extra-tarifário:

- a) *Custo de investimento em distribuição dedicada a cada utilizador*: pago na totalidade durante a construção, no momento da ligação, ou em prestações ao longo de um período máximo de cinco anos, de forma a diminuir o risco da entidade gestora relativo ao investimento total.

No caso de os custos de distribuição específicos serem pagos em prestações, o utilizador deve prestar uma caução, p.e. através de garantia bancária, para garantia desse pagamento. A caução pode ser accionada no caso de falta de pagamento atempado ou de cessação antecipada do contrato. Anualmente, o valor desta caução deve ser reduzido em função do capital ainda em dívida.

– Tarifário:

- b) *Parcela fixa*: inclui os custos de disponibilidade do serviço, ou seja, custos gerais de investimento, custos fixos de exploração e a remuneração do capital empregue, definida para cada utilizador em função do volume máximo diário contratado, sendo calculada nos seguintes moldes:

$$PF_{i(N)} = \frac{\sum_{j=1}^m (A - PPTE + CEF + COC)_{j(N)}}{\sum_{i=1}^n Q_{\max i(N)}} * Q_{\max i(N)}$$

- c) *Parcela variável*: incorpora os custos variáveis de exploração num valor unitário (€/m<sup>3</sup>) igual para todos os utilizadores, sendo calculada nos seguintes moldes:

$$PV_{i(N)} = T_{v(N)} * Q_{i(N)} = \frac{\sum_{j=1}^m (CEV)_j}{\sum_{i=1}^n Q_{i(N-1)}} * Q_{i(N)}$$



em que:

$PF$  = Valor anual da parcela fixa;

$PV$  = Valor anual da parcela variável;

$i$  = Utilizador;

$n$  = Número total de utilizadores servidos pela entidade gestora;

$j$  = Estação de tratamento;

$m$  = Número total de estações de tratamento onde se produz água para reutilização;

$N$  = Ano para o qual se está a efectuar o cálculo do tarifário;

$N-1$  = Ano anterior;

$A$  = Amortizações do exercício;

$PPTE$  = Proveitos resultantes do pagamento dos troços de distribuição específicos;

$CEF$  = Custos de exploração fixos;

$CEV$  = Custos de exploração variáveis;

$COC$  = Custo de oportunidade do capital empregue afecto ao financiamento desta actividade (quer capitais alheios, quer capitais próprios);

$Q_{max}$  = Volume máximo diário contratado por cada utilizador;

$T_v$  = Tarifa variável (valor unitário, €/m<sup>3</sup>);

$Q$  = Caudal consumido.

– O fornecimento de águas residuais tratadas deve ser objecto de pelo menos duas leituras por ano.

– A facturação deve ser emitida com uma periodicidade mínima semestral e máxima mensal, sendo o valor da parcela variável baseado em leituras ou estimativas, com acertos regulares.

– Quando a entidade gestora não consiga, durante um período contínuo de três dias, assegurar o fornecimento do volume máximo diário contratado a um dado utilizador, este deve ter o direito de não lhe ser facturada a parcela fixa relativa ao mês em que tal situação tenha ocorrido.

– Quanto aos volumes de águas residuais tratadas distribuídas através de meios móveis, recomenda-se a aplicação de uma tarifa volumétrica média do sistema calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$T_{m(N)} = T_{v(N)} + \frac{\sum_{j=1}^m (A - PPTE + CEF + COC)_{j(N)}}{\sum_{i=1}^n Q_{\max i(N)} \times 365}$$

em que:

$Tm$  = Tarifa variável aplicada aos volumes distribuídos através de meios móveis (valor unitário, €/m<sup>3</sup>).

- Neste caso, ao valor apurado devem acrescentar-se os custos logísticos de transporte e entrega, quando este serviço seja prestado pela entidade gestora ou operador logístico subcontratado.
- O tarifário deve ser recalculado anualmente com base nos critérios anteriormente referidos.

