



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

# **REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS**

**Maria Margarida Cardador dos Santos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia do Ambiente – Ramo Sanitária**

**Orientador**

Professor Doutor António Pedro Mano

**2008**





# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>11</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>13</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>OBJECTIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>1 A REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA NO MUNDO</b> .....	<b>17</b>
1.1 EUROPA.....	17
1.2 MÉDIO ORIENTE E NORTE DE ÁFRICA.....	18
1.3 ÍNDIA, CHINA E JAPÃO.....	20
1.4 AUSTRÁLIA E AMÉRICA.....	21
<b>2 VIABILIDADE DE UM PROJECTO DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS</b> .....	<b>23</b>
2.1 ASPECTOS SOCIOCULTURAIS.....	23
2.2 ASPECTOS ECONÓMICO – FINANCEIROS.....	23
2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS.....	24
2.4 POTENCIALIDADES, BENEFÍCIOS E RISCOS DA UTILIZAÇÃO DE ARUT EM PORTUGAL.....	24
<b>3 LINHAS DE ORIENTAÇÃO PARA A UTILIZAÇÃO DE ARUT</b> .....	<b>26</b>
3.1 NP 4434:2005 – NORMA PORTUGUESA PARA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS NA REGA.....	26
3.1.1 <i>Requisitos de aplicação</i> .....	26
3.1.1.1 Qualidade das águas residuais tratadas para rega.....	26
3.1.1.2 Métodos, processos e tipos de rega.....	27
3.1.1.3 Características da área a regar.....	28
3.1.1.4 Classificação das culturas a serem regadas com águas residuais tratadas.....	29
3.1.2 <i>Minimização dos impactes ambientais e riscos para a saúde pública</i> .....	30
3.1.3 <i>Controlo e monitorização</i> .....	31
3.2 RECOMENDAÇÃO IRAR N.º 02/2007 – UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS.....	32
3.2.1 <i>Utilização de águas residuais tratadas</i> .....	33
3.2.2 <i>Produção de águas residuais para reutilização</i> .....	33
3.2.3 <i>Distribuição de águas residuais para reutilização</i> .....	33
3.2.4 <i>Controlo de qualidade</i> .....	34
3.2.5 <i>Utilizadores de água residual tratada</i> .....	35
3.2.6 <i>Tarifário</i> .....	35
<b>4 TECNOLOGIAS DE DESINFECÇÃO – REMOÇÃO DE ORGANISMOS PATOGENICOS</b> .....	<b>36</b>

4.1	COLORO E COMPOSTOS DE CLORO .....	38
4.2	RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV) .....	38
4.3	OZONIZAÇÃO .....	39
4.4	MBR – BIO-REACTOR DE MEMBRANA .....	40
4.5	APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE DESINFECÇÃO .....	41
<b>5</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA PARA REGA .....</b>	<b>43</b>
5.1	SEGURANÇA .....	43
5.1.1	<i>Identificação das tubagens e acessórios .....</i>	<i>43</i>
5.1.2	<i>Afastamentos entre tubagens.....</i>	<i>44</i>
5.1.3	<i>Reaparecimento de microrganismos na rede de distribuição .....</i>	<i>46</i>
5.1.4	<i>Filtros nos sistemas de rega.....</i>	<i>47</i>
5.1.5	<i>Técnicas de rega .....</i>	<i>47</i>
5.2	ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS .....	48
5.2.1	<i>Reservatórios abertos e fechados.....</i>	<i>48</i>
5.2.2	<i>Estratégias de gestão de reservatórios abertos e reservatórios fechados .....</i>	<i>49</i>
<b>6</b>	<b>CASE-STUDY: UTILIZAÇÃO DE ARUT PARA REGA DO PARQUE DA PAZ NO MUNICÍPIO DE ALMADA.....</b>	<b>51</b>
6.1	OBJECTIVOS .....	51
6.2	OFERTA: ARUT DA ETAR DA MUTELA.....	51
6.2.1	<i>Caracterização da ETAR da Mutela .....</i>	<i>51</i>
6.2.2	<i>Identificação das limitações existentes à reutilização de água.....</i>	<i>56</i>
6.2.3	<i>Análise da viabilidade do armazenamento na ETAR da Mutela .....</i>	<i>56</i>
6.2.4	<i>Controlo de qualidade da ARUT para rega .....</i>	<i>56</i>
6.3	PROCURA: PARQUE DA PAZ.....	57
6.3.1	<i>Estimativa dos consumos de água para rega do Parque da Paz e distribuição dos consumos.....</i>	<i>57</i>
6.3.2	<i>Caracterização das origens de água disponível para rega actualmente .....</i>	<i>58</i>
6.3.3	<i>Análise da viabilidade do armazenamento.....</i>	<i>59</i>
6.3.4	<i>Caracterização da flora do Parque da Paz e da sua fertilização .....</i>	<i>61</i>
6.4	CRUZAMENTO ENTRE A OFERTA E A PROCURA .....	61
6.4.1	<i>Cruzamento entre o volume da oferta e da procura.....</i>	<i>61</i>
6.4.2	<i>Análise sobre o armazenamento de água.....</i>	<i>62</i>
6.4.3	<i>Soluções de tratamento e localização do armazenamento.....</i>	<i>63</i>
6.4.4	<i>Transporte da ARUT desde a ETAR da Mutela até ao Parque da Paz.....</i>	<i>65</i>
6.4.5	<i>Avaliação da quantidade de nutrientes veiculada pela ARUT .....</i>	<i>66</i>
6.4.6	<i>Gestão da rega com ARUT .....</i>	<i>67</i>
6.4.6.1	<i>Sinalização.....</i>	<i>67</i>
6.4.6.2	<i>Condutas e órgãos de controlo .....</i>	<i>68</i>
6.4.6.3	<i>Realização das regas.....</i>	<i>69</i>
6.4.6.4	<i>Medidas de protecção da área envolvente .....</i>	<i>69</i>
6.4.6.5	<i>Controlo da instalação .....</i>	<i>70</i>

6.4.6.6	Monitorização.....	70
6.4.7	<i>Viabilidade técnico-económica relativamente aos custos de tratamento adicional, transporte e armazenamento</i> .....	71
6.4.7.1	Custos de investimento.....	71
6.4.7.2	Custos de exploração.....	72
6.4.7.3	Custos totais actualizados e tarifas.....	72
6.4.7.4	Análise e discussão dos resultados.....	73
6.5	OPINIÃO-PÚBLICA: INQUÉRITO AOS UTENTES DO PARQUE DA PAZ.....	77
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>85</b>
<b>9</b>	<b>ANEXO I – QUADROS E FIGURAS INFORMATIVAS.....</b>	<b>87</b>
<b>10</b>	<b>ANEXO II – ESTUDO ECONÓMICO.....</b>	<b>97</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 – Índice de <i>stress</i> hídrico verificado para os países Europeus [2] .....	18
Fig.3.1– Seca verificada no Concelho do Alandroal, em 2005 .....	26
Fig.3.2 – Rega gota-a-gota .....	27
Fig.4.1 – Cilindros de cloro gasoso [18].....	38
Fig.4.2 – Unidade de desinfecção UV em Castell – Platja d’Aro, Espanha [18].....	39
Fig.4.3 – Geração de ozono numa ETAR no Bahrain [18] .....	40
Fig.4.4 – Bio-reactor de membrana (Dégremont Suez).....	41
Fig.5.1 – Identificação da tubagem de ARUT com vinil de cor roxa .....	43
Fig.5.2 – Caixa de válvulas e ligação rápida identificada com etiqueta, ambas de cor roxa .....	44
Fig.5.3 – Tubagem de fibrocimento para encaminhamento de ARUT, com biofilme acumulado durante 10 anos.....	47
Fig.5.4 – Filtro Y e Filtro de Cesto.....	47
Fig.5.5 – Sinal internacional de proibição de beber .....	48
Fig.6.1 – Parque da Paz, no concelho de Almada.....	51
Fig.6.2 – Mapa de localização das bacias hidrográficas e das ETAR do concelho de Almada .....	52
Fig.6.3 – Diagrama de processo da ETAR da Mutela ( <i>fonte: SMAS de Almada</i> ) .....	53
Fig.6.4 – Lago do Parque da Paz onde desaguam as três linhas de escorrência .....	58
Fig.6.5 – Linha de água natural que desagua no Lago do Parque da Paz .....	59
Fig.6.6 – Lago do Parque da Paz com 24.000m <sup>3</sup> de capacidade.....	59
Fig.6.7 – Reservatório elevado no Feijó, com 100m <sup>3</sup> de capacidade.....	60
Fig.6.8 – Esquema geral de armazenamento, tratamento e transporte proposto .....	63
Fig.6.9 – Esquema proposto para o Cenário I .....	63
Fig.6.10 – Esquema proposto para o Cenário II .....	64
Fig.6.11 – Esquema proposto para o Cenário III .....	64
Fig.6.12 – Sistema de adução a construir desde a ETAR da Mutela até ao reservatório do Feijó .....	65
Fig.6.13 – Tabuletas de aviso utilizadas na Florida, EUA .....	67
Fig.6.14 – Acessórios de rega e tampas de caixas de rega com ARUT .....	67
Fig.6.15 – Etiquetas para sinalização dos acessórios de rega .....	68
Fig.6.16 – Tubagens, juntas e contadores de cor roxa utilizados na Florida, EUA.....	68

Fig.6.17 – Contador de água do Parque da Paz e válvulas de seccionamento (simulação das cores das válvulas, tubagem e contador de ARUT), com acesso permitido apenas a pessoas afectas aos serviços do Parque da Paz .....	69
Fig.6.18 – Custos do primeiro investimento associados à desinfecção com UV, ozonização e MBR .	73
Fig.6.19 – Custos da exploração associados à desinfecção com UV, ozonização e MBR.....	74
Fig.6.20 – Custos totais actualizados, associados à desinfecção com UV, ozonização e MBR.....	74
Fig.6.21 – Tarifas associadas à desinfecção com UV, ozonização e MBR, e a tarifa actual da água de abastecimento para usos municipais. ....	75
Fig.6.22 – Distribuição da amostra por género .....	77
Fig.6.23 – Distribuição de idades da amostra.....	77
Fig.6.24 – Habilitações literárias da amostra .....	78
Fig.6.25 – Resultados sobre o conhecimento de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais..	78
Fig.6.26 – Resultados sobre o conhecimento da expressão <i>reutilização de águas residuais tratadas</i>	79
Fig.6.27 – Resultados sobre os usos possíveis para a reutilização de águas residuais tratadas.....	80
Fig.6.28 – Resultados sobre as vantagens da reutilização de águas residuais tratadas .....	80
Fig.6.29 – Resultados sobre a opinião relativa à rega do Parque da Paz com águas residuais tratadas .....	81
Fig.6.30 – Resultados das preocupações relativas à rega do Parque da Paz com águas residuais tratadas.....	81
Fig.6.31 – Plantas de localização existentes no Parque da Paz .....	82
Fig.I.1 – Mapa de registo de nutrientes e metais pesados aplicados ao solo .....	92
Fig.I.2 – Mapa de programação da fertilização.....	94
Fig.I.3– Mapa de execução da fertilização .....	95
Fig.I.4 – Mapa de acompanhamento da qualidade da água no solo .....	96
Fig.II.1 – Estudo económico para o cenário I.....	97
Fig.II.2 – Estudo económico para o cenário II.....	98
Fig.II.3 – Estudo económico para o cenário III.....	98

# ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Potenciais aplicações de ARUT em Portugal [12] .....	25
Quadro 3.1 – Declives máximos do terreno para diferentes tipos de rega.....	28
Quadro 3.2 – Profundidade do nível freático durante a rega.....	28
Quadro 3.3 – Distância mínima entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana permanente .....	29
Quadro 3.4 – Valores máximos admissíveis para os parâmetros de qualidade microbiológica das águas residuais tratadas para reutilização em rega e linhas de tratamento adequadas .....	30
Quadro 3.5 – Monitorizações a serem realizadas e respectivas periodicidades .....	32
Quadro 4.1 – Características de um desinfectante ideal [17] .....	36
Quadro 4.2 – Organismos patogénicos potencialmente presentes num efluente secundário e indicadores utilizados [18] .....	37
Quadro 4.3 – Vantagens e desvantagens da desinfecção com radiações UV vs Cloragem [18] .....	39
Quadro 4.4 – Vantagens e desvantagens da desinfecção com ozono [18] .....	40
Quadro 4.5 – Vantagens e desvantagens da tecnologia MBR [18].....	41
Quadro 4.6 – Impacte das características da qualidade do efluente na Cloragem, UV e Ozonização [17].....	41
Quadro 5.1 – Distância horizontal mínima entre tubagens de ARUT e água potável .....	44
Quadro 5.2 – Distância vertical mínima entre tubagens de ARUT e água potável .....	45
Quadro 5.3 – Parâmetros que podem influenciar o crescimento de microrganismos num sistema de distribuição de ARUT [18] .....	46
Quadro 5.4 – Problemas associados a reservatórios abertos e fechados [17] .....	48
Quadro 5.5 – Estratégias de gestão de reservatórios para armazenamento de ARUT [17] .....	49
Quadro 6.1 – Resultados da exploração.....	55
Quadro 6.2 – Caracterização físico-química da água tratada pela ETAR da Mutela em 2005.....	55
Quadro 6.3 – Caracterização microbiológica da água tratada pela ETAR da Mutela em 2005 .....	55
Quadro 6.4 – Monitorizações a serem realizadas e respectivas periodicidades .....	56
Quadro 6.5 – Plano de rega do Parque da Paz.....	57
Quadro 6.6 – Cálculo da capacidade do reservatório a construir na ETAR da Mutela .....	62
Quadro 6.7 – Cálculo da capacidade do reservatório do Parque da Paz.....	62
Quadro 6.8 – Características do sistema de adução da ETAR da Mutela até ao Parque da Paz .....	65

Quadro 6.9 – Quantidade de nutrientes veiculada pela ARUT da ETAR da Mutela .....	66
Quadro 6.10 – Custos de investimento associados aos três cenários propostos .....	72
Quadro 6.11 – Custos de exploração associados aos três cenários propostos .....	72
Quadro 6.12 – Custos totais actualizados associados aos três cenários propostos .....	72
Quadro 6.13 – Tarifas associadas aos três cenários propostos .....	73
Quadro 6.14 – Custos totais em água para rega suportados pelo Parque da Paz actualmente .....	76
Quadro 6.15 – Custos totais em água para rega suportados pelo Parque da Paz se optar pela rega com ARUT .....	76
Quadro I.1 – Qualidade das águas destinadas à rega .....	87
Quadro I.2 – Métodos, processos e tipos de rega potencialmente utilizáveis num sistema de rega com águas residuais urbanas tratadas .....	88
Quadro I.3 – Valores máximos admissíveis para concentrações de metais pesados nos solos a regar com águas residuais tratadas (mg/kg solo seco).....	89
Quadro I.4 – Métodos analíticos de referência e frequência mínima de amostragem das águas destinadas à rega .....	90

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar quero agradecer ao Professor Doutor António Pedro Mano pela orientação desta dissertação, pela disponibilidade que demonstrou ao longo destes seis meses para esclarecer dúvidas e pelo auxílio na obtenção de elementos de suporte essenciais à realização deste trabalho.

Um agradecimento especial aos SMAS de Almada, na pessoa da Engenheira Alexandra Sousa, Directora do Departamento Municipal de Águas Residuais, pela disponibilidade e entusiasmo, pelo auxílio na obtenção de dados de base fundamentais para o caso de estudo desta dissertação, por me ter aberto todas as portas. Agradeço ainda à Dra. Rute Páscoa pelos esclarecimentos. À Eng.<sup>a</sup> Cristina Glória, Chefe de Divisão do Parque da Paz, pelas informações de extrema relevância para o caso de estudo apresentado.

Ao Professor Doutor Petr Hlavinek, da Universidade de Tecnologia de Brno, na República Checa, o qual foi, desde o primeiro contacto, um enorme entusiasta e me deu acesso a bibliografia de extrema importância para suporte desta dissertação. Agradecer também aos Professores Doutores Surreyya Meric da Universidade de Salerno (Itália), Baqar Zaidi da Universidade de Porto Rico (EUA), Paul West da Universidade da Academia Militar dos EUA, Azad Bayramov da Universidade de Baku (Azerbaijão), David Alcaide da Universidade de La Laguna (Espanha) e Mohamed Ahmed da Universidade do Canal Suez (Egipto), pelas referências bibliográficas que gentilmente me indicaram.

O agradecimento necessário aos meus pais e irmãos pela motivação, em especial ao irmão Zé Luís pela introdução ao mundo das membranas.

Agradecer aos amigos por me fazerem esquecer esta dissertação em tantas ocasiões. Ao Marco pela troca de ideias e discussões construtivas.

Agradecer ao João pelas fotografias, pela revisão dos textos, pelo sentido crítico, por tudo.

## RESUMO

As crescentes preocupações relativamente à escassez de água levam à necessidade de uma urgente reflexão sobre as aplicações actuais da água para consumo humano. Há que encontrar fontes de água alternativas para aplicações não potáveis. Nesta dissertação apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a reutilização de água no Mundo e sobre a viabilidade de um projecto de reutilização de água residual urbana tratada (ARUT). São revistas as linhas de orientação para o uso de águas residuais na rega em Portugal e das tecnologias de desinfecção que se aplicam a este efluente e tipo de uso. São referidos os aspectos a considerar na segurança da distribuição e gestão do armazenamento da água residual urbana tratada. É apresentado um caso de estudo sobre a viabilidade de rega do Parque da Paz, em Almada, com águas residuais urbanas tratadas provenientes da ETAR da Mutela.

*Palavras-chave:* Águas residuais urbanas tratadas, reutilização, desinfecção, segurança, rega.

## **ABSTRACT**

The increasing concerns with water scarcity leads to an urgent reflection about the fresh water applications. Alternative water sources for non potable applications should be found. This thesis deals with water reuse in the World and the viability of a water reuse project. A review of the guidelines for the water reuses for irrigation in Portugal and disinfection technologies that apply to this type of effluent are presented. Moreover, the aspects to have in account about the security of the distribution system and storage management of treated wastewater are discussed. A case-study about the viability of irrigation of the Parque da Paz, in Almada, with treated wastewater from Mutela's treatment plant is related.

Keywords: Treated wastewater, reuse, disinfection, security, irrigation.

## INTRODUÇÃO

A escassez de água para consumo humano é um problema que tem vindo a ganhar grandes proporções em todo o Mundo. A sobre-exploração dos recursos hídricos e as recorrentes secas verificadas nos últimos anos estão na origem da escassez hídrica. Esta situação resulta em graves consequências não só ambientais, como também sociais e económicas. Têm, por isso, vindo a ser estudadas, um pouco por todo o Mundo, origens de água alternativas, tais como a reutilização de águas residuais ou a dessalinização, que contribuirão para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos.

A reutilização de águas residuais tratadas poderá trazer vários benefícios. Em todo o Mundo, são produzidas diariamente águas residuais que, depois de sofrerem tratamento adequado, poderão ser uma importante fonte de água e nutrientes para a agricultura, uma origem de água para usos urbanos não potáveis e para usos industriais. Deste modo a água potável ficará disponível essencialmente para consumo humano.

Portugal está classificado como estando em *stress* hídrico médio, indicando que os recursos hídricos não se encontram disponíveis na proporção que seria desejável. Este facto é consequência do clima mediterrânico: a precipitação ocorre principalmente em metade do ano e existe uma grande discrepância entre o Norte e o Sul do país em termos de precipitação e evapotranspiração. Estes factores conjugados resultam em cerca de 50% do país (áreas localizadas a sul e nordeste) com um défice de água, principalmente para as actividades agrícolas. Este défice tem sido agravado nos últimos anos com as secas verificadas.

Neste âmbito pretende-se fazer um retrato da reutilização de águas residuais no Mundo e dos aspectos a considerar para a viabilidade de um projecto de reutilização de água. Neste trabalho são dadas a conhecer as linhas de orientação portuguesas para a reutilização de águas residuais urbanas tratadas para rega (NP4434:2005) e a recomendação n.º 02/2007 do IRAR, relativa à utilização de águas residuais tratadas. Realizou-se também a compilação da informação sobre as tecnologias de desinfecção aplicáveis a projectos de reutilização de águas residuais e sobre a sua distribuição e armazenamento. É apresentado um caso de estudo sobre um projecto de reutilização de águas residuais urbanas tratadas no concelho de Almada, que estuda a sua exequibilidade.

## ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada da seguinte forma:

- no Capítulo 1 mostrar-se-á o *state of the art* da reutilização de águas residuais no Mundo, através de uma revisão bibliográfica;
- no Capítulo 2, serão descritos os aspectos essenciais à viabilidade de um projecto de reutilização de águas residuais, tal como os benefícios e as potencialidades desses projectos em Portugal;
- no Capítulo 3 serão apresentadas as linhas de orientação portuguesas para a reutilização de águas residuais e o parecer do Instituto Regulador de Águas e Resíduos sobre o mesmo tema;
- o Capítulo 4 referir-se-á às tecnologias de desinfecção aplicáveis à reutilização de águas residuais, nomeadamente as vantagens e desvantagens de cada tecnologia;
- será feita uma exposição, no Capítulo 5, sobre a distribuição e armazenamento de águas residuais tratadas para rega, dando-se especial relevo à segurança na construção das redes de distribuição e às estratégias de gestão dos reservatórios de armazenamento;
- no Capítulo 6 será descrito um caso de estudo sobre a viabilidade de rega de um parque público situado no concelho de Almada, com águas residuais tratadas provenientes de uma ETAR do mesmo concelho;
- finalmente, no Capítulo 7, serão apresentadas as conclusões da presente dissertação.

## **OBJECTIVOS**

Esta dissertação tem como objectivo estudar os factores a considerar na análise da viabilidade de um projecto de reutilização de águas residuais tratadas, nomeadamente, os factores económicos, sociais e ambientais. Pretende-se compilar a informação referente às linhas de orientação portuguesas para a reutilização de águas residuais tratadas, assim como a informação referente às tecnologias de tratamento complementar mais indicadas. Por fim, pretende-se abordar as questões de segurança nas redes de distribuição de águas residuais tratadas e os problemas relacionados com o seu armazenamento.

# 1 A REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA NO MUNDO

A escassez de água com qualidade para os vários usos deu origem à necessidade de encontrar recursos alternativos. Por outro lado, a exigência crescente no que respeita à qualidade dos efluentes a descarregar, justifica a definição de estratégias de utilização de água residual tratada [1].

Deste modo a reutilização de água no Mundo tem como causas alguns factores, incluindo:

- o aumento da procura de água de modo a sustentar quer o crescimento da população quer o crescimento industrial. Este é o factor mais evidente nos países áridos, ou nas regiões em vias de desenvolvimento ou países em transição, sem problemas de escassez de água;
- a escassez de água e secas, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Neste caso, a recuperação de água é vital e é uma medida de prevenção contra a seca, assegurando as actividades económicas e agrícolas;
- a protecção ambiental em combinação com a necessidade de gestão das águas residuais representam um factor emergente na generalidade dos países industrializados. Em zonas onde as leis de descarga de efluentes são mais restritas, como na Europa, EUA, Austrália e na África do Sul, a utilização de águas residuais surge como uma alternativa competitiva para tratamentos mais avançados, quer do ponto de vista ambiental como económico;
- os factores socioeconómicos tais como novos regulamentos, as preocupações a nível da saúde, as políticas públicas e os incentivos económicos têm vindo a revelar-se bastante importantes para a implementação de projectos de reutilização de água. Por exemplo, o aumento do custo da água para consumo público nos países desenvolvidos (desde que garanta o princípio do valor social da água) pode vir a promover a implementação da utilização de águas residuais;
- a protecção da saúde pública é o factor mais importante nos países em vias de desenvolvimento, onde o difícil acesso a fontes de água para consumo público nas zonas rurais juntamente com o acesso facilitado ao mercado da água nas áreas urbanas e periferia, leva a que sejam utilizadas na agricultura águas residuais não tratadas. A protecção da saúde pública e a mitigação dos riscos ambientais são as componentes-chave para qualquer programa de reutilização de águas, sob estas condições [1].

## 1.1 EUROPA

A Europa é detentora de recursos hídricos em abundância quando comparada com outras regiões do Mundo. Por esta razão, a água foi considerada durante muito tempo um recurso inesgotável. Esta opinião tem vindo contudo a mudar nas últimas décadas devido ao aumento do *stress* hídrico,

indicador de escassez (sobre-exploração de aquíferos, secas em rios,...) e deterioração da qualidade da água (intrusão salina, eutrofização, poluição através de matéria orgânica,...) [2].

O índice de *stress* hídrico é calculado através da razão entre a necessidade de água de um país e a capacidade de regeneração total dos recursos hídricos do mesmo. Considera-se que um país se encontra em *stress* hídrico alto para índices superiores a 20%, ou seja, quando as necessidades de água de um país são superiores a 20% da capacidade de regeneração total dos recursos hídricos. Neste caso é necessário reunir esforços para equilibrar o consumo e a procura da água, assim como resolver os conflitos entre a prioridade de utilização de água para diferentes usos. Para índices inferiores a 10%, o *stress* hídrico é considerado baixo. Os países que apresentam valores entre 10% e 20% indicam que os mesmos se encontram em *stress* hídrico médio, a disponibilidade de água representa um obstáculo ao desenvolvimento, sendo necessário nestes casos investimentos significativos de modo a suprir as necessidades de água [3].

Praticamente metade dos países europeus está em situação de *stress* hídrico médio ou alto, o que representa cerca de 70% da população europeia. A Figura 1.1 ordena os países, de forma decrescente, de acordo com o seu índice de *stress* hídrico. A recta vermelha estabelece o patamar acima do qual os países se encontram em *stress* hídrico alto (> 20%) e a recta verde estabelece o patamar abaixo do qual os países se encontram em *stress* hídrico baixo (< 10%).

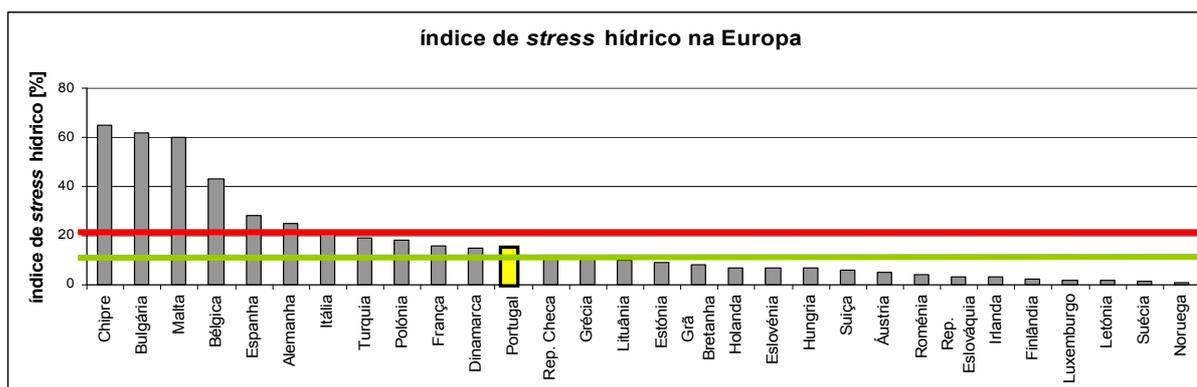


Fig.1.1 – Índice de *stress* hídrico verificado para os países Europeus [2]

## 1.2 MÉDIO ORIENTE E NORTE DE ÁFRICA

Em países localizados em regiões áridas ou semi-áridas, muitos dos quais situados no Médio Oriente e no Norte de África, as águas residuais tratadas são já a única fonte de água disponível para a agricultura, para a indústria e para usos urbanos não potáveis.

A principal preocupação na reutilização de água é o impacto na saúde da população em geral e em particular dos trabalhadores agrícolas. O impacto na produtividade e nos mercados de exportação do produto, assim como o impacto ambiental no solo e na água são também preocupações acrescidas. As características da gestão das águas residuais e os sistemas de reutilização de água são diferentes de país para país e são dependentes da situação económica existente em cada local.

Os sistemas de reutilização de água variam bastante consoante o local. Em alguns países do Golfo Pérsico as águas residuais são alvo de tratamentos bastante avançados. Por exemplo em Omã, onde a taxa de evaporação é mais elevada que a precipitação anual, tem sido efectuada a dessalinização da água para aplicações domésticas. Desde 1987 cerca de 90% da água residual tratada tem vindo a ser aplicada na rega gota-a-gota de plantações de árvores. Estima-se que de futuro a rede de água residual tratada consiga cobrir uma área de rega de cerca de 5.600 hectares. A Arábia Saudita é presentemente o maior produtor mundial de água dessalinizada, que cobre 70% das necessidades. Desde 1985 que tem vindo a ser posto em prática um Plano Nacional da Água, que prevê a conservação da água, uma maior coordenação entre as políticas agrícola e da água, o uso intensivo de águas recuperadas e águas superficiais, e uma melhor coordenação do fornecimento e da distribuição [1].

Na Síria a agricultura é dos sectores económicos mais importantes, empregando mais de 27% da população activa, pelo que sob condições climáticas agressivas, é dada prioridade à rega de culturas. A área a regar é de 1,2 milhões de hectares, onde 61% da água provém de reservas subterrâneas e a restante de reservas superficiais. Nas zonas envolventes das cidades, a disponibilidade de água com qualidade tem vindo a diminuir, o que tem levado os agricultores a utilizarem água não tratada. Apesar de tudo esta água é geralmente misturada com água de boa qualidade e utilizada para rega de árvores e culturas forrageiras. Em Israel, a profunda escassez de água de qualidade em quase todo o país levou ao desenvolvimento de um sistema nacional integrado de gestão dos recursos hídricos. Existem cerca de 200 reservatórios que armazenam a água residual tratada durante o Inverno, para depois ser utilizada na rega durante os meses de Verão. A reutilização de água representa 10% da totalidade das reservas de água do país e quase 20% da reserva de água para rega. Aproximadamente 70% das águas residuais urbanas são recuperadas, tratadas e utilizadas na rega [1].

A Tunísia enfrenta graves problemas de escassez de água e os crescentes consumos doméstico e industrial poderão, de acordo com estudos recentes, provocar um decréscimo significativo nas reservas de água disponíveis para a agricultura. Para prevenir esta situação têm vindo a ser construídas infra-estruturas (poços, barragens, lagos...). Actualmente a aplicação de águas recuperadas na agricultura tem vindo a ser feita apenas nos meses da Primavera e Verão (cerca de 35 Milhões de m<sup>3</sup>/ano). Em Marrocos, apesar da proximidade ao Oceano Atlântico, o clima é considerado árido a semi-árido. A maior parte da água residual produzida nas cidades do interior é reutilizada para rega, a maioria das vezes sem ser tratada ou sofrendo um tratamento insuficiente. Actualmente o maior projecto de reutilização de água encontra-se implementado próximo da cidade de Rabat, na rega de um campo de golfe durante o Verão (1.000 m<sup>3</sup>/dia). Actualmente o país não tem linhas de orientação para a reutilização de água, servindo-se das linhas de orientação da Organização Mundial de Saúde como referência [1].

A maioria dos países do Médio Oriente e Norte de África já reconhecem a importância crescente das águas residuais no equilíbrio global da água e como uma intervenção prática na melhoria da gestão da água [4]. Os países em condições mais críticas têm de desenvolver a sua capacidade de tratamento de águas residuais, que envolve custos significativos, muitas vezes fora do alcance das pequenas comunidades e até mesmo de alguns países.

### 1.3 ÍNDIA, CHINA E JAPÃO

Os países asiáticos, especialmente os mais populosos, deparam-se com graves problemas de escassez de recursos hídricos e de poluição de água.

A Índia é o segundo país mais populoso do mundo, onde 30% da população vive em grandes aglomerados urbanos. O rápido esgotamento das reservas subterrâneas de água e a elevada poluição dos meios hídricos na Índia colocaram o país numa posição difícil quanto ao abastecimento de água para a população. Cerca de 15% da população urbana não tem acesso a água potável e 50% não tem saneamento básico. A rega de vegetais para consumo em cru com águas residuais é proibida, mas ainda que proibida esta prática está generalizada e o governo não impõe regras e regulamentos que regulem a reutilização. Doenças tais como anemias e gastroenterites são bastante comuns entre os trabalhadores agrícolas e os consumidores de vegetais crus encontram-se também em risco [1].

Na China, a crise causada pela escassez natural dos recursos hídricos e a grave poluição das águas tornou-se um dos mais importantes problemas do século XXI. Em resposta à escassez da água, o Governo chinês tomou iniciativas proactivas, dando ênfase à economia da água nas zonas urbanas, à prevenção da poluição da água e à reutilização. A recuperação de águas residuais e as tecnologias de reutilização têm vindo a ser desenvolvidas desde os anos 80, e as tecnologias de membranas têm vindo a ser aplicadas em projectos de grande dimensão nos últimos anos. Algumas estações de tratamento para reutilização têm estado em funcionamento, fornecendo água para aplicações industriais, urbanas, agrícolas e ambientais [5].

No Japão, devido à densidade do país e aos escassos recursos de água existentes, a recuperação de águas e os programas de reutilização de água não são novidade. Apesar de apenas 40% da população total do Japão (incluindo a população rural) ter saneamento básico, 89,6% das cidades com população superior a 50.000 habitantes têm sistemas de drenagem de esgotos. Inicialmente o programa de reutilização do país providenciava a recuperação de água em edifícios escolares, industriais ou multi-familiares, para utilização em autoclismos e outros usos não potáveis. Mais tarde passou a haver um sistema duplo de recuperação e tratamento de águas residuais, o que faz com que o processo seja mais eficiente e económico que a recuperação de água a título individual. O Japão oferece um bom modelo para reutilização de água em cidades de países em desenvolvimento, pois o seu histórico de reutilização está directamente relacionado com as necessidades urbanas de água, em vez de apenas irrigação agrícola. Em termos de parâmetros de qualidade, são mais rigorosos para aplicações de uso livre do que por exemplo os EUA no que respeita aos valores máximos para os coliformes fecais. O preço da água recuperada é significativamente mais barato que a água do sistema de abastecimento público, tanto para uso urbano como para uso agrícola [1].

## 1.4 AUSTRÁLIA E AMÉRICA

A Austrália tem uma legislação, economia e o clima semelhantes aos países das zonas costeiras do sul da Europa. O governo implementou recentemente uma estratégia para a gestão de bacias hidrográficas e está a promover activamente a reutilização da água devido tanto a questões ambientais, como económicas e sociais. As zonas da Austrália com clima mediterrânico definiram metas de 20% para a utilização de águas residuais tratadas até 2012 e as regiões áridas definiram metas de 50% a 100%. A recuperação das águas pluviais é uma prática comum e diminui as escorrências [6].

Existem alguns projectos em curso actualmente [1]:

- *Mawson Lakes*: criação de um sistema de recuperação de água (pluviais e residuais), que diminua a procura de água para consumo humano em 50% (rega de zonas exteriores, domésticas e municipais);
- *Aurora*: águas residuais tratadas para aplicações que não sejam o consumo humano, de modo a que a procura de água para consumo humano diminua em 70%;
- *Virginia Project*: rega de culturas hortícolas, incluindo as que podem ser consumidas em cru, com águas residuais tratadas.

A América do Norte, mais concretamente os Estados Unidos da América, têm vasta experiência no que diz respeito à reutilização de água. Os Estados do Sul do país (Califórnia, Florida, Arizona e Texas) são frequentemente afectados por secas, tendo como principal fonte de água o rio Colorado. O Estado da Califórnia foi o pioneiro na reutilização de água, desde 1919. A partir de 1960, com base no regulamento *California Title 22* que ainda hoje está em vigor, conseguiu estabelecer parâmetros bastante restritivos, contribuindo para a protecção da saúde pública (risco zero). Nos últimos 15 anos, a Florida passou a ser, juntamente com a Califórnia, o líder nacional em reutilização de água. No ano 2001 a água recuperada foi utilizada para regar 122.382 residências, 419 campos de golfe, 405 parques e 188 escolas. A rega destas áreas acessíveis ao público representou cerca de 44 % do total de água reutilizada [7]. No Estado do Texas existem 190 aplicações de reutilização de água em 115 municípios, sendo o volume de reutilização de aproximadamente 600 Milhões de m<sup>3</sup>/dia. As aplicações são essencialmente em rega de campos de golfe e águas de arrefecimento na indústria. Na agricultura os agricultores optaram por escolher sistemas de rega mais eficientes, passando de sistemas de irrigação de alta pressão (60% a 70% de eficiência), para sistemas de baixa pressão onde a eficiência do sistema passa para 80% [8].

Na América Latina, as águas residuais tratadas são utilizadas em projectos agrícolas de pequena escala e, em particular, pelos hotéis em aplicações essencialmente de rega. No Chile, 220L/s de água residual são utilizados para rega na região do deserto de Antofagasta. No Brasil, as cidades, as indústrias e os agricultores estão a apostar em projectos de reutilização de água. A utilização de água para consumo humano em aplicações públicas e privadas, processos industriais e rega de culturas, jardins, campos desportivos e espaços verdes está a ser substituída por águas residuais tratadas [9]. Em Lima, no Peru, é praticada a reutilização de águas residuais para rega agrícola e fins aquícolas. Na Argentina, são utilizados sistemas naturais para o tratamento de águas residuais. Nesses casos,

existe um incentivo económico para a reutilização de águas residuais aplicadas à reflorestação, à agricultura, a pastagens e à conservação da água. No México, existem projectos de reutilização em grande escala para a rega de parques recreativos e para a criação de lagos [10].

## **2 VIABILIDADE DE UM PROJECTO DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS**

A água residual urbana tratada (ARUT) pode ser utilizada em aplicações diversas, em alternativa à sua rejeição no meio hídrico ou no solo. A determinação do nível de tratamento adequado para um dado uso, assim como a monitorização dos parâmetros-chave de protecção do ambiente e da saúde pública, são aspectos essenciais para o bom desempenho de um projecto desta natureza. Não obstante, é de extrema importância a consideração de alguns aspectos que podem pôr em causa a sua viabilidade. Aspectos esses que podem ser de origem sociocultural, nomeadamente, em termos de aceitação pública; de origem económico-financeira, uma vez que é necessária a existência de mercado para a ARUT; e de origem ambiental, pois os impactes no ambiente poderão ser negativos. De seguida referem-se alguns aspectos que poderão pôr em causa um projecto de ARUT.

### **2.1 ASPECTOS SOCIOCULTURAIS**

As crenças culturais, tão variadas em todo o Mundo, fazem com que seja impossível assumir que práticas de um local possam ser replicadas noutra parte do planeta. Associada às crenças culturais está a opinião pública. Mesmo quando os projectos são tecnicamente bem planeados e todas as medidas de protecção da saúde pública foram contempladas, o projecto pode falhar se não for direccionado para a população. A informação à população é essencial, para que o projecto seja conhecido, bem interpretado e aceite.

Os padrões comportamentais humanos são um factor determinante na transmissão de doenças relacionadas com águas residuais. A possibilidade de alterar estes padrões de modo a introduzir sistemas de reutilização de água ou reduzir a transmissão de doenças nos sistemas já existentes, deve ser avaliado num projecto específico [11].

### **2.2 ASPECTOS ECONÓMICO – FINANCEIROS**

Os factores económicos são especialmente importantes quando a viabilidade de um novo projecto de utilização de ARUT está a ser estudado. No entanto, até um projecto economicamente apelativo pode falhar se não for elaborado um plano financeiro rigoroso, que permita garantir a sua sustentabilidade.

A análise económica e as considerações financeiras são cruciais para incentivar a reutilização segura de água. A análise económica procura estabelecer a viabilidade de um projecto e comparar diferentes opções. A transferência de custos para outros sectores (por exemplo a saúde e impactes ambientais nas populações) deve também ser incluída numa análise deste tipo. Esta análise pode ser facilitada pelo recurso a processos de tomada de decisão multi-objectivos.

O plano financeiro procura determinar como será pago o projecto. Para estabelecer a viabilidade financeira de um projecto é importante definir fontes de rendimentos e por quem serão suportados os custos. A possibilidade de comercializar não só produtos regados com ARUT como a própria ARUT, deve também ser objecto de análise [11].

## 2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS

A água residual é uma importante fonte de água e de nutrientes para muitos agricultores em zonas áridas e semi-áridas. Por vezes, poderá ser a única fonte de água disponível para a agricultura. Quando o uso de água residual é bem gerido, promove a reciclagem dos nutrientes e da água, diminuindo consequentemente, os custos com fertilizantes.

A utilização de águas residuais na agricultura pode originar impactes negativos ou positivos, dependendo do planeamento do projecto e da gestão que for praticada [11]. A rega com águas residuais, caso não seja devidamente regulada, poderá representar riscos para a saúde pública, nomeadamente pela exposição a organismos patogénicos, metais pesados, disruptores endócrinos e compostos farmacêuticos [12].

## 2.4 POTENCIALIDADES, BENEFÍCIOS E RISCOS DA UTILIZAÇÃO DE ARUT EM PORTUGAL

Embora Portugal seja dos países da União Europeia com mais recursos hídricos disponíveis *per capita*, as condições de seca verificadas nos últimos anos e os graves incêndios que anualmente afectam o país, diminuem a disponibilidade de água, provocando alterações no regime hídrico e, consequentemente, na recarga dos lençóis freáticos e das águas superficiais. Estes acontecimentos obrigam a elevados investimentos em infra-estruturas de armazenamento e transporte para as zonas mais críticas [13].

Existem várias aplicações possíveis para a utilização de ARUT, tanto a nível urbano, como a nível agrícola ou industrial, que poderão ajudar a mitigar as consequências da escassez de água.

A tipologia de uso urbano pressupõe dois tipos de utilização de ARUT: aplicações em que exista contacto condicionado com o público ou aplicações em que o contacto com o público não é condicionado. Também a tipologia de uso agrícola se pode dividir em dois tipos: o tipo alimentar e o tipo não alimentar. Por fim a tipologia de uso industrial pode ter diferentes graus de exigência em termos de qualidade da ARUT [1].

De acordo com o tipo de aplicação definido, a qualidade requerida para a ARUT irá determinar o nível de tratamento complementar a que esta deverá ser sujeita, assim como influenciará as medidas de protecção de saúde pública e do ambiente a implementar.

No Quadro 2.1 encontram-se as potenciais aplicações de ARUT em Portugal.

Quadro 2.1 – Potenciais aplicações de ARUT em Portugal [12]

Tipologia	Aplicações
Uso urbano	Irrigação de parques, cemitérios, campos desportivos e combate a incêndios urbanos e florestais
	Sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de pavimentos e fontes decorativas
	Construção civil, controlo de poeiras, desobstrução de redes de drenagem
Uso agrícola	Irrigação de campos agrícolas com culturas forrageiras, gramíneas, hortícolas, viveiros de plantas ornamentais
Uso industrial	Refrigeração, alimentação de caldeiras, águas de processamento

Entre os benefícios recorrentes da utilização de ARUT, distinguem-se os seguintes [15]:

- conservação dos recursos hídricos;
- benefícios económicos e ambientais relativamente a outros métodos de descarga;
- disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficiente e adequada;
- redução da utilização de fertilizantes devido à presença de nutrientes nos efluentes;
- redução da procura do abastecimento de água potável.

Não obstante os benefícios recorrentes da utilização de ARUT, existem alguns riscos potenciais, tais como [11]:

- a deposição de sais no solo e nas plantas;
- a presença de microrganismos patogénicos e as suas repercussões na saúde pública;
- o aparecimento de incrustações nas tubagens;
- a presença de produtos tóxicos ou de nutrientes eutrofizantes;
- a não aceitação do público.

Estes riscos potenciais poderão ser minimizados, ao serem estabelecidos valores de referência para cada tipo de uso e através de uma boa gestão de todo o sistema de reutilização de água. A informação ao longo das várias fases de projecto e respectiva implementação deverá ser detalhada e sempre direccionada para a população.

### 3 LINHAS DE ORIENTAÇÃO PARA A UTILIZAÇÃO DE ARUT

#### 3.1 NP 4434:2005 – NORMA PORTUGUESA PARA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS NA REGA

A reutilização de água para rega agrícola tornou-se uma prioridade em Portugal, devido às condições de seca verificadas nos últimos anos (Fig.3.1). Outras aplicações devem ser também consideradas, como por exemplo aplicações em espaços urbanos ou industriais.



Fig.3.1– Seca verificada no Concelho do Alandroal, em 2005

A Norma Portuguesa NP 4434:2005 estabelece os requisitos de qualidade das águas residuais urbanas tratadas a utilizar na rega e define critérios de escolha dos equipamentos e processos de rega, assim como a sua execução. Define ainda os procedimentos a adoptar na protecção e monitorização ambiental nas zonas regadas com água residual.

A Norma aplica-se exclusivamente à utilização de águas residuais urbanas, sujeitas a tratamento em Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), aplicáveis na rega de culturas agrícolas e florestais, viveiros, relvados e outros espaços verdes [16].

#### 3.1.1 Requisitos de aplicação

##### 3.1.1.1 Qualidade das águas residuais tratadas para rega

A qualidade da água a utilizar na rega deve satisfazer as exigências impostas pela legislação em vigor relativamente às características físicas, químicas e microbiológicas, assim como ser adequada à cultura a regar e ao processo e equipamentos de rega a utilizar.

Os valores máximos recomendados (VMR) assim como os valores máximos admissíveis (VMA) dos parâmetros que possam constituir potenciais riscos ambientais estão referidos no Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. Também aqui se encontram os parâmetros limitantes da qualidade de água para rega tais como o pH, a salinidade, a razão de adsorção de sódio (RAS) e os sólidos suspensos totais (SST). Em relação às características microbiológicas, as restrições são relativas à presença de ovos de parasitas intestinais (Helmintas) e de coliformes fecais.

O tratamento das águas residuais deve cumprir os requisitos impostos pela legislação em vigor.

Os VMR e VMA encontram-se reproduzidos no Quadro I.1 do Anexo I.

### 3.1.1.2 Métodos, processos e tipos de rega

Os métodos de rega utilizados em Portugal são essencialmente a rega por escorrimento, infiltração, aspersão e alagamento. Apenas este último é considerado inadequado à rega com ARUT. A escolha do método de rega depende da qualidade físico-química e microbiológica da água, do tipo de culturas, do tipo do solo, topografia, hidrogeologia e proximidade com zonas habitacionais (Quadro I.2, Anexo I).

Os processos de rega escolhidos devem minimizar o contacto da água com as partes comestíveis das plantas, reduzir ao máximo o risco de escoamento superficial e o transporte de aerossóis e gotas por acção do vento. Os processos mais vantajosos recorrendo à rega com ARUT são os processos de rega por gravidade, os processos de rega subterrânea e rega gota-a-gota (Fig.3.2), pois minimizam o contacto da ARUT com as partes superiores das plantas e evitam o surgimento de aerossóis ou gotas que possam ser transportadas pelo vento [16].



Fig.3.2 – Rega gota-a-gota

### 3.1.1.3 Características da área a regar

De modo a evitar impactes ambientais negativos no solo, as características físicas e químicas de uma área a regar deverão ser compatíveis com a sua utilização em regadio. Apenas têm de ser excluídos os solos que apresentem teores de metais pesados superiores aos valores máximos admitidos para os solos sujeitos à aplicação de lamas de ETAR, indicados na Portaria n.º 176/96 de 3 de Outubro (Quadro I.3, Anexo I).

Também o declive do terreno não deve ser superior a 20%, de forma a prevenir a erosão e a formação de escorrências superficiais. Alguns processos de rega exigem declives muito baixos, devendo nestes casos respeitar-se os valores máximos indicados no quadro seguinte.

Quadro 3.1 – Declives máximos do terreno para diferentes tipos de rega

Método de rega	Processo e tipo de rega	Declive
Infiltração	Sulcos rectos	3%
	Sulcos de nível	8%
Aspersão	Com equipamento semovente	15%
Escorrimento	Regadeiras de nível	3%
	Regadeiras inclinadas	8%
	Faixas	7%

É importante considerar que em zonas com alto risco de infiltração e percolação de águas superficiais, não devem ser criadas instalações de rega com ARUT. Também que a profundidade do nível freático durante o período de rega deverá ser no mínimo entre 1 a 4 m dependendo do processo de rega utilizado (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Profundidade do nível freático durante a rega

Método de rega	Processo e tipo de rega	Profundidade do nível freático
Infiltração	Gota-a-gota superficial	1,0m
	Gota-a-gota subterrânea	1,5m
	Rega subterrânea	4,0m
Aspersão	-	3,0m
Escorrimento	Sulcos	4,0m

Outro aspecto a considerar é a distância a adoptar entre os limites das zonas regadas ou o local de armazenamento da ARUT e as zonas habitacionais dependendo do método de rega. Os afastamentos a garantir encontram-se resumidos no quadro seguinte.

Quadro 3.3 – Distância mínima entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana permanente

Método de rega	Tipo de zona habitada	Concentração de coliformes fecais nas águas residuais tratadas		
		$\leq 2 \times 10^2 \text{CF}/100\text{mL}$	$2 \times 10^2 < \text{CF}/100\text{mL} \leq 10^3$	$> 10^3 \text{CF}/100\text{mL}$
Rega por aspersão	Habitacões isoladas	30m	60m	70m
	Zonas habitacionais	50m	80m	100m
Outros métodos de rega	Habitacões isoladas	10m	20m	30m
	Zonas habitacionais	30m	60m	70m

Caso existam captações de água de abastecimento público nas proximidades, deve ser garantido um afastamento mínimo de 100 m, devendo ainda assim respeitar-se a legislação em vigor (Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro).

#### 3.1.1.4 Classificação das culturas a serem regadas com águas residuais tratadas

A classificação das culturas foi atribuída de acordo com o risco de contaminação microbiológica, tendo as culturas sido agrupadas em quatro classes:

- **Classe A:** culturas hortícolas para consumo em cru;
- **Classe B:** relvados, parques e jardins públicos e relvados para a prática de desportos, zonas florestadas com fácil acesso para o público;
- **Classe C:** culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares;
- **Classe D:** culturas cerealíferas (com exclusão do arroz por ser regado por alagamento); culturas hortícolas para laboração industrial; culturas destinadas à produção de matérias-primas para as indústrias têxtil, de extracção de óleos e essências vegetais e similares; culturas florestais e relvados situados em locais de difícil acesso para o público ou com acesso controlado.

Para cada classe de culturas a possibilidade de regar com ARUT depende do tipo de tratamento aplicado às águas residuais. São necessários, por vezes, alguns tratamentos de afinação à água residual disponível para que esta possa ser utilizada para rega. O quadro seguinte apresenta as linhas de tratamento adequadas e os parâmetros de qualidade microbiológica a cumprir para a rega com ARUT de vários tipos de culturas.

Quadro 3.4 – Valores máximos admissíveis para os parâmetros de qualidade microbiológica das águas residuais tratadas para reutilização em rega e linhas de tratamento adequadas

Classes	Tipos de culturas	Coliformes fecais (NMP ou ufc/100mL)	Ovos de parasitas entéricos (ovos/L)	Linhas de tratamento adequadas	Observações
A	culturas hortícolas para consumo em cru	100	1	Secundário=>Filtração=>Desinfecção ou Terciário=>Filtração>Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O <sub>3</sub> preferíveis à cloragem.
B	relvados, parques e jardins públicos e relvados para a prática de desportos, zonas florestadas com fácil acesso para o público	200	1	Secundário=>Filtração=>Desinfecção ou Terciário=>Filtração=>Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O <sub>3</sub> preferíveis à cloragem. A rega deve ser efectuada de modo a evitar contacto com o público.
C	culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares	10 <sup>3</sup>	1	Secundário=>Filtração=>Desinfecção ou Terciário=>Filtração=>Desinfecção ou Lagunagem (sistema com 3 ou mais lagoas e t <sub>r</sub> ≥ 25 dias)	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O <sub>3</sub> preferíveis à cloragem. A rega de vinha e pomares deve ser efectuada de modo a evitar o contacto com os frutos. Não devem ser aproveitados os frutos caídos no solo.
D	culturas cerealíferas (com exclusão do arroz por ser regado por alagamento), culturas hortícolas para laboração industrial, culturas destinadas à produção de matérias-primas para as indústrias têxtil, de extracção de óleos e essências vegetais e similares, culturas florestais e relvados situados em locais de difícil acesso para o público ou com acesso controlado	10 <sup>4</sup>	1	Secundário=>Lagoas de maturação (t <sub>r</sub> ≥ 10 dias) ou Secundário=>Filtração=>Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O <sub>3</sub> preferíveis à cloragem. A rega deve ser efectuada de modo a evitar contacto com o público.

Nota: t<sub>r</sub> – tempo de retenção; ufc – unidades formadoras de colónias

### 3.1.2 Minimização dos impactes ambientais e riscos para a saúde pública

Para além do nível de qualidade exigido às águas residuais tratadas e dos limites impostos pelo tipo de cultura, de rega, equipamento e características do local, deverão ser elaborados procedimentos

que minimizem os riscos de contaminação de águas superficiais e subterrâneas, de contacto de pessoas e animais, de arrastamento de gotas para zonas situadas fora da área a regar e de inalação de aerossóis. Devem ser elaborados e postos em prática procedimentos relativos à sinalização das instalações de rega, à instalação de condutas e órgãos de comando e controlo, à realização das regas e às medidas de protecção da área envolvente. Seguidamente são dados alguns exemplos de procedimentos que devem ser postos em prática.

- a zona a regar deve ser devidamente sinalizada com tabuletas com a inscrição: *Atenção! Zona de rega com águas residuais tratadas*;
- nos locais onde for possível retirar água do sistema, devem ser colocados avisos com o seguinte texto: *Água não potável*;
- a instalação de condutas e órgãos de comando e controlo deve respeitar o posicionamento e afastamentos mínimos impostos pela regulamentação em vigor (Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto);
- relativamente à execução das regas, para evitar o contacto com pessoas e animais, esta deve ser executada durante a noite;
- devem ser tidos em conta os valores da distância da zona a regar relativamente a zonas habitacionais e a velocidade do vento;
- os operadores, durante as regas, devem utilizar equipamento de protecção individual de forma a reduzir o contacto com a água residual e a inalação de aerossóis;
- a área a regar poderá ser limitada por uma cortina de protecção, composta por sebes, árvores ou arbustos.

### **3.1.3 Controlo e monitorização**

A rega com ARUT deve ser realizada de modo a que os poluentes nela contidos não sejam em quantidade suficiente para alterar a qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas e da atmosfera.

A quantidade de azoto, fósforo e potássio presente na água de rega durante o ciclo vegetativo de uma cultura não deve exceder as quantidades que satisfaçam as necessidades da mesma. Com o intuito de incluir os nutrientes veiculados pelas águas residuais nos cálculos da fertilização de um solo, as entidades gestoras deverão possuir boletins de análise referentes à água utilizada na rega, registos dos volumes de água aplicados e das quantidades de nutrientes e metais pesados aplicados ao solo, por cada parcela de área regada, bem como um plano de fertilização referente à totalidade da área.

A entidade responsável pela instalação de rega deve dispor de um Plano de Monitorização Ambiental, com toda a informação, metodologias e localização dos locais a monitorizar. As águas residuais, o

solo e os meios hídricos deverão ser monitorizados periodicamente. No quadro seguinte encontra-se resumida a monitorização que deve ser efectuada e a periodicidade da mesma.

Quadro 3.5 – Monitorizações a serem realizadas e respectivas periodicidades

	Monitorização	Responsabilidade	Periodicidade mínima
Águas Residuais	Qualidade da ARUT a utilizar na rega.	Entidade gestora da ETAR, responsável pelo fornecimento de ARUT.	Determinação semanal: pH, salinidade, fósforo e azoto total e inorgânico.
	Qualidade da ARUT a utilizar na rega, caso exista um tratamento complementar e/ou armazenamento a jusante da ETAR.	Entidade responsável pelo tratamento e/ou armazenamento.	Determinação semanal: pH, salinidade, fósforo e azoto total e inorgânico.
Solo	Análise da terra.	Entidade ou pessoa responsável pela zona a regar (deve garantir o arquivo dos boletins de análise).	Determinação anual: fósforo e potássio assimiláveis, matéria orgânica e pH.
			Determinação de 5 em 5 anos: cádmio, cobre, níquel, zinco, mercúrio e crómio, e outros metais que a legislação imponha limites.
Meios Hídricos	Qualidade dos meios hídricos através da instalação de piezómetros	Entidade ou pessoa responsável pela zona a regar (deve garantir o arquivo dos boletins de análise).	Determinação mensal e no início e final da época de rega: salinidade através da condutividade eléctrica e medição da profundidade dos níveis freáticos.
			Determinação no início e final da época de rega: azoto nítrico e total, em amostras recolhidas dos piezómetros e de origens de água localizadas nas parcelas regadas e área envolvente.

### 3.2 RECOMENDAÇÃO IRAR N.º 02/2007 – UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS

*O Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) tem a função de regulamentar, orientar e fiscalizar a concepção, execução, gestão e exploração dos sistemas multimunicipais e municipais de águas e resíduos, bem como da actividade das respectivas entidades gestoras, assim como regular os respectivos sectores e o equilíbrio entre a sustentabilidade económica dos sistemas e a qualidade dos serviços prestados, de modo a salvaguardar os interesses e direitos dos cidadãos no fornecimento de bens e serviços essenciais (Artigo 5º do Estatuto do IRAR).*

O IRAR formulou uma recomendação relativa à produção e distribuição de águas residuais tratadas, dirigida às entidades gestoras dos sistemas multimunicipais e municipais de saneamento de águas residuais urbanas.

### **3.2.1 Utilização de águas residuais tratadas**

Na base de um projecto de utilização de águas residuais tratadas deve fazer parte um estudo técnico, económico, ambiental e social. Neste estudo deve ser considerada a procura potencial de modo a que o projecto seja económica e financeiramente sustentável. Deverá assegurar-se atempadamente a sensibilização e a informação do público-alvo. Consoante a utilização pretendida são necessárias as seguintes licenças/autorizações:

- licença de descarga da ETAR;
- licença pela Administração da Região Hídrica (ARH) para rega de culturas agrícolas e florestais;
- autorização da ARH para rega de jardins públicos mediante parecer do Delegado Regional de Saúde.

### **3.2.2 Produção de águas residuais para reutilização**

No caso de os parâmetros de descarga no meio receptor exigidos pelo Decreto-Lei n.º 152/97 (com redacção do Decreto-Lei n.º 149/2004) não serem suficientes para assegurar a qualidade necessária da água para rega, será necessária uma afinação do tratamento de acordo com o fim em causa, assim como um controlo de qualidade mais exigente, levados a cabo pela entidade gestora da ETAR. Na mesma ETAR poderão ser implementadas linhas distintas de afinação, para diferentes aplicações da ARUT que exijam diferentes níveis de qualidade. A afinação suplementar poderá ser feita pelos utilizadores, caso estes pretendam níveis de qualidade mais exigentes.

Caso não exista regulamentação específica para a aplicação pretendida, os parâmetros de qualidade deverão ser definidos em articulação com a Direcção Geral de Saúde (DGS) e o seu licenciamento com os Delegados Regional e Concelhio de Saúde.

### **3.2.3 Distribuição de águas residuais para reutilização**

O armazenamento, elevação e transporte das águas residuais para reutilização podem ser efectuados pela entidade gestora ou por terceiros através de procedimentos relativos a concursos. Caso a distribuição e venda seja feita por terceiros, este acordo deverá ser objecto de contratualização onde são transferidas para estes todas as obrigações relativas à actividade de distribuição e de relacionamento com os utilizadores.

A distribuição de ARUT deve ser efectuada através de uma rede específica, que será alvo de uma identificação clara e de uma limitação em termos de acesso por parte do público em geral. Estas medidas visam salvaguardar contaminações da rede de água para consumo humano e usos indevidos. Ainda na rede de distribuição de ARUT deve ser tido em conta o tempo de retenção nas tubagens, de modo a ser evitada a deterioração da qualidade da água.

É ainda de extrema importância acordar com os utilizadores os pontos de entrega de ARUT, colocando nesses pontos instrumentos de medição, para que haja um controlo da ARUT consumida.

A ARUT pode também ser distribuída por meios móveis pertencentes à entidade gestora ou a terceiros.

### 3.2.4 Controlo de qualidade

Deve ser monitorizada para controlo de qualidade a ARUT utilizada na rega, assim como o meio receptor (caso se aplique). Por outro lado, as condições para a monitorização da qualidade dos meios receptores deverão ser definidas pelas ARH, devendo a entidade distribuidora responsabilizar-se pelo cumprimento dos requisitos de qualidade e pelo seu controlo nos pontos de entrega. Os resultados deverão ser remetidos ao Delegado Concelhio de Saúde, indicando as utilizações a que se destinam e os volumes distribuídos. Sempre que os utilizadores detectem potenciais incumprimentos na qualidade da ARUT, deverão informar imediatamente a entidade gestora e o Delegado Concelhio de Saúde.

A entidade gestora deve garantir o controlo operacional da ETAR e dos sistemas de distribuição para reutilização. As orientações a seguir devem ser as expressas na norma portuguesa NP 4434 e na publicação emitida pela Organização Mundial de Saúde (*WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*) como complemento à legislação aplicável ou para colmatar lacunas legais. As linhas de orientação da OMS têm como objectivo salvaguardar a saúde pública e maximizar os benefícios ambientais associados à utilização de águas residuais na agricultura, impedindo desta forma a transmissão de doenças e a exposição a produtos químicos perigosos. Estas linhas de orientação devem ser consideradas no contexto ambiental, social, económico e cultural do país onde serão aplicadas. As linhas de orientação da OMS foram elaboradas de acordo com duas componentes: saúde e implementação.

Saúde:

- estabelece um nível de perigo associado a cada risco para a saúde pública identificado;
- define um nível de protecção da saúde pública que se expressa como meta para cada risco;
- identifica as medidas de protecção da saúde pública, que usadas colectivamente, podem alcançar as metas definidas.

Implementação:

- estabelece procedimentos de avaliação dos sistemas e da monitorização dos mesmos;
- define responsabilidades;
- define a documentação do sistema;
- requer confirmação por um auditor independente.

O controlo de qualidade é um aspecto fundamental a ser salvaguardado na utilização de ARUT e que abrange todas as entidades envolvidas no processo.

### **3.2.5 Utilizadores de água residual tratada**

A entidade gestora de um sistema municipal ou multimunicipal de saneamento deve recorrer à celebração prévia de contratos com os potenciais utilizadores, de modo a que se assegure uma procura suficiente face à oferta. Devem, por isso, ser definidos com cada utilizador os volumes máximos diários que a entidade gestora (ou distribuidora) se obriga a garantir. Poderão existir casos potenciais onde a procura seja superior à oferta, porque as necessidades dos utilizadores ultrapassam as disponibilidades do sistema ou porque se verificam cenários anormais de escassez de ARUT. Ambas as situações deverão ser contempladas num regulamento elaborado pela entidade gestora, o qual deve ter em conta os seguintes princípios: a importância relativa de cada aplicação de ARUT juntamente com os custos e complexidade do tratamento de afinação necessário à qualidade pretendida, e em situações de escassez, quando as aplicações são idênticas, o fornecimento de ARUT deve ser alvo de uma divisão proporcional aos volumes máximos diários contratados, caso os utilizadores não tenham fontes alternativas de água.

### **3.2.6 Tarifário**

Deverão ser distinguidos dois tipos de tarifários: o de saneamento aplicado aos utilizadores que entregam efluentes (suporta custos com a recolha e o tratamento necessário à descarga em meio hídrico) e o de venda de água residual tratada aplicado aos utilizadores que adquirem o produto (suporta custos adicionais provenientes da actividade de produção e distribuição de águas residuais aptas à reutilização).

## 4 TECNOLOGIAS DE DESINFECÇÃO – REMOÇÃO DE ORGANISMOS PATOGENICOS

O processo de desinfeção num sistema de utilização de águas residuais tem como objectivo reduzir a presença de organismos patogénicos para melhorar a qualidade microbiológica do efluente. Na União Europeia a solução mais comum é o tratamento secundário através de sistemas de lamas activadas, o que produz um efluente com qualidade suficiente para ser rejeitado, mas não para ser utilizado na maioria dos usos possíveis com ARUT, anteriormente referidos.

Para se escolher uma técnica de desinfeção adequada há que ter em conta variados factores. As características a verificar num desinfectante ideal são apresentadas no quadro seguinte:

Quadro 4.1 – Características de um desinfectante ideal [17]

Características	Propriedades
Disponibilidade	Deve estar disponível em grandes quantidades e a preços razoáveis
Capacidade de desodorização	Deve desodorizar enquanto desinfecta
Homogeneidade	A solução deve ter uma composição uniforme
Interacção com materiais estranhos	Não deve ser absorvido por outra matéria orgânica que não células bacterianas
Não corrosivo e anti-manchas	Não deve corroer os metais ou manchar a roupa
Não tóxico para formas de vida superiores	Deve ser tóxico para microrganismos e não para os humanos e outros animais
Penetração	Deve ter a capacidade de penetrar nas superfícies
Segurança	Deve ser seguro para transportar, armazenar, manusear e utilizar
Solubilidade	Deve ser solúvel em água ou tecidos celulares
Estabilidade	Deve ter baixa perda de acção germicida ao longo do tempo de contacto
Toxicidade para microrganismos	Deve ser eficaz em grandes diluições
Toxicidade à temperatura ambiente	Deve ser eficaz à temperatura ambiente

O maior grupo de organismos patogénicos presentes numa água residual tratada resultante de um tratamento secundário e terciário, inclui bactérias, vírus, ovos de helmintas e cistos de protozoários. Geralmente a presença de organismos patogénicos em águas residuais é regulada através de análises a indicadores microbianos. Estes indicadores são utilizados para detectar a poluição da água residual a nível de matéria fecal, indicando a presença de organismos patogénicos.

Um bom indicador de poluição fecal deve obedecer aos seguintes requisitos [18]:

- estar globalmente presente e em grande número nas fezes humanas e animais de sangue quente;

- ser facilmente detectável através de métodos simples;
- não crescer em águas naturais;
- ter propriedades idênticas às dos organismos patogénicos em termos de persistência em águas residuais tratadas e em termos de remoção através de técnicas de recuperação de águas residuais para reutilização.

Os organismos patogénicos e os indicadores para cada categoria estão ilustrados no seguinte quadro:

Quadro 4.2 – Organismos patogénicos potencialmente presentes num efluente secundário e indicadores utilizados [18]

Organismos patogénicos	Indicadores	Observações
Bactérias	<i>E. coli</i> , Coliformes Fecais, Coliformes Totais, <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Legionella Pneumophila</i>	A determinação mais usual é a de Coliformes Fecais, embora a determinação de <i>E. coli</i> venha lentamente a substituí-la.
Vírus	<i>Enterovirus</i> Vírus da Hepatite A <i>Bacteriophages</i>	Ainda não existe um indicador aceitável. O <i>Bacteriophages</i> está ainda a ser estudado.
Helminas - Nemátodos	Ovos de nemátodos ( <i>Ascaris</i> , <i>Trichuris</i> , <i>Ancylostoma</i> como indicado pela OMS)	Uma grande quantidade de resultados negativos numa série de países. A viabilidade dos ovos não é requisito.
Outros Helminas (ex.: Ténia)	Não é conhecido qualquer indicador.	Em alguns casos existe risco relacionado com a saúde dos animais.
Protozoários (inclui: <i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Amoeba</i> , <i>Balantidium</i> )	Não é conhecido qualquer indicador. A presença de um deles pode indicar a presença de outro.	As ferramentas analíticas ainda não estão bem desenvolvidas. Para algumas técnicas de desinfecção têm sido utilizados substitutos –ex.: bacteriófago MS-2 para tratamento com UV
Fungos e algas tóxicas	Não é conhecido qualquer indicador.	Apenas detectados alguns casos raros

Embora existam inúmeras tecnologias de desinfecção, físicas, químicas ou bionaturais, apenas a cloragem, a radiação U.V. e a ozonização são tecnologias equacionáveis a uma escala industrial, na eliminação ou inactivação de microrganismos da água residual [15]. A cloragem tem vindo a ser substituída pelos sistemas de desinfecção UV ou por sistemas combinados: ozonização/cloragem ou UV/ cloragem. Os bio-reactores de membrana (MBR) têm vindo a ganhar importância, pois o efluente resultante é de elevada qualidade, podendo ser utilizado em várias aplicações de reutilização [18].

## 4.1 CLORO E COMPOSTOS DE CLORO

A cloragem é o sistema de desinfecção mais económico. O cloro pode ser utilizado na forma de gás (Fig.4.1) – cloro gás ( $\text{Cl}_2$ ), na forma líquida – hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ) ou ainda na forma sólida – pastilhas de hipoclorito de cálcio. Por um lado, este método é bastante eficiente na eliminação de bactérias, por outro lado, é ineficaz na eliminação dos vírus e os resíduos da cloragem permanecem na corrente filtrada, com graves inconvenientes ambientais e de saúde pública.



Fig.4.1 – Cilindros de cloro gasoso [18]

As principais características associadas ao cloro indicam que [17]:

- o cloro é uma substância bastante tóxica, podendo pôr em risco a saúde dos operadores e do público em geral em caso de acidente;
- uma vez que o cloro é uma substância bastante tóxica devem ser tomadas fortes medidas de protecção quanto ao acondicionamento e à neutralização;
- o cloro reage com compostos orgânicos presentes em águas residuais, formando subprodutos, muitos deles conhecidos como carcinogénicos e/ou mutagénicos;
- o cloro residual, presente no efluente tratado, é tóxico para a vida aquática;
- existem algumas preocupações quanto à descarga de compostos organoclorados no ambiente, pois os efeitos a longo prazo são desconhecidos.

## 4.2 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV)

A radiação UV (Fig.4.2) é considerada um agente físico e não um agente químico desinfectante. A radiação penetra na parede celular do microrganismo e é absorvida pelos ácidos nucleicos, o que impede qualquer replicação ou promove até a morte celular [17]. Outros designam a radiação UV como *a melhor tecnologia disponível que não envolve custos excessivos*, para desinfecção de ARUT, sendo preferível à cloragem ou à ozonização quando não se pretende obter um residual de cloro e para casos onde o contacto humano, nas aplicações de reutilização, seja elevado ou médio [18].



Fig.4.2 – Unidade de desinfecção UV em Castell – Platja d’Aro, Espanha [18]

As vantagens e desvantagens da desinfecção com radiações UV encontram-se resumidas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Vantagens e desvantagens da desinfecção com radiações UV vs Cloragem [18]

Vantagens	Desvantagens
Não forma subprodutos; não é tóxico para a vida aquática; não altera as propriedades físico-químicas da água (não promove a diminuição do oxigénio nem aumenta a concentração de sólidos suspensos)	Grande investimento inicial
Tempo de contacto necessário muito curto; Perigosidade baixa e fácil manuseamento (sem problemas de armazenamento; não corrosivo)	Pode ser necessário um programa de manutenção preventiva para controlar a sujidade no equipamento
Boa acção bactericida. Desinfectante eficaz para <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> . Oxidiza eficazmente resíduos orgânicos quando combinado com um oxidante	Fraca acção contra alguns tipos de vírus, sendo necessário outro desinfectante para a distribuição e armazenamento. A foto-reactividade poderá ser um problema ao serem usadas lâmpadas UV de baixa pressão se o sistema for dimensionado abaixo da dose mínima de UV necessária.
Desinfectante eficiente com efluente não nitrificado. Não confere odor nem sabor à água	Eficácia dependente da qualidade da água. Não deixa residual de modo a monitorizar-se a sua eficácia

### 4.3 OZONIZAÇÃO

Hoje em dia o ozono (Fig.4.3) é considerado o oxidante mais eficiente aplicado no tratamento de águas para consumo humano. Até para os microrganismos mais difíceis de eliminar, como é o caso dos protozoários, o ozono garante uma adequada inactivação com doses e tempos de contacto razoáveis. Outra grande vantagem do ozono é a oxidação de compostos persistentes, tais como pesticidas, compostos farmacêuticos e disruptores endócrinos [18].



Fig.4.3 – Geração de ozono numa ETAR no Bahrain [18]

O ozono elimina os organismos patogénicos oxidando as paredes celulares (lise celular), a estrutura das membranas celulares e ainda o material genético. No Quadro 4.4 encontram-se sumariadas as vantagens e desvantagens da ozonização.

Quadro 4.4 – Vantagens e desvantagens da desinfecção com ozono [18]

Vantagens	Desvantagens
Desinfetante eficaz para bactérias vegetativas, vírus e <i>Giardia</i>	Implica um investimento inicial elevado
Remoção de sabores e odores desagradáveis, assim como da cor da água	Envolve custos de operação e manutenção relativamente elevados
Oxidante selectivo de substância persistentes (pesticidas, substâncias químicas industriais, etc.)	Produz carbono orgânico assimilável, o que faz com que haja risco de reaparecimento dos organismos
Não requer armazenagem ou transporte de reagentes químicos tóxicos	Tem que ser produzido localmente
Dá origem apenas a pequenas quantidades de subprodutos da desinfecção	Requer técnicos de manutenção especializados
Estimula a coagulação	É corrosivo e tóxico: é necessário material apropriado e apertadas medidas de segurança
Oxida o ferro, o manganês e os sulfitos	
O tempo de contacto necessário é curto	

#### 4.4 MBR – BIO-REACTOR DE MEMBRANA

O sistema de MBR (Fig.4.4) é uma tecnologia emergente, cujos custos têm vindo a diminuir rapidamente, oferecendo uma alternativa viável de desinfecção para aplicações de reutilização de alta qualidade. Esta tecnologia é baseada na tecnologia de lamas activadas e filtração com membranas. Os microrganismos são eliminados através de uma separação física [18].

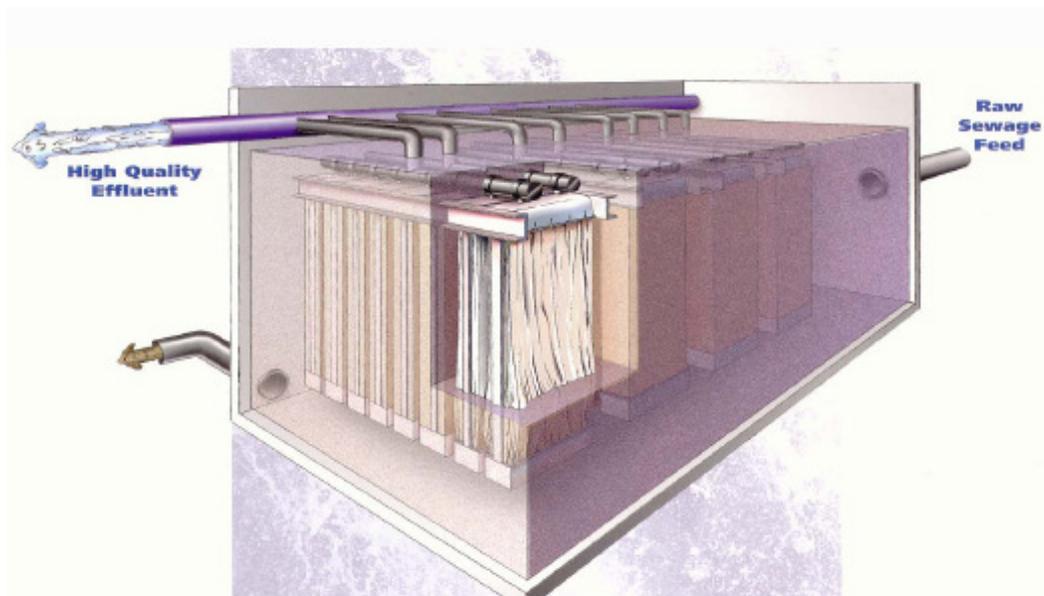


Fig.4.4 – Bio-reator de membrana (Dégremont Suez)

A membrana actua como barreira física, onde apenas a água e substâncias dissolvidas podem passar. As vantagens e desvantagens desta tecnologia encontram-se resumidas no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Vantagens e desvantagens da tecnologia MBR [18]

Vantagens	Desvantagens
Sistema muito compacto	A substituição das membranas é dispendiosa
Produz um efluente de elevada qualidade	Os custos de primeiro investimento apenas são competitivos para instalações de grande dimensão, pois os custos associados à construção civil dos MBR são muito inferiores aos custos de construção civil de um tratamento tradicional
Redução da produção de lama (quando dimensionado para baixa carga)	
Grande flexibilidade para expansão do tratamento	

## 4.5 APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE DESINFECÇÃO

A escolha da tecnologia de desinfecção a adoptar passa em grande parte pelas características do efluente que queremos tratar. No Quadro 4.6 encontram-se resumidos os impactes que cada parâmetro de qualidade tem em cada tecnologia de desinfecção utilizada mais frequentemente.

Quadro 4.6 – Impacte das características da qualidade do efluente na Cloragem, UV e Ozonização [17]

Parâmetro	Cl <sub>2</sub>	UV	O <sub>3</sub>
CBO, CQO e COT	Afecta a carência de cloro. A interferência depende dos grupos funcionais e da estrutura química.	Nenhum impacto ou pouco significativo, a não ser que o material húmico represente uma grande parte do CBO.	Afecta a carência de ozono. A interferência depende dos grupos funcionais e da estrutura química.
Material húmico	Reduz a eficácia por formar compostos orgânicos clorados, medidos como Cl <sub>2</sub> residual mas não eficazes para a desinfecção	Grande absorvente de radiação UV	Afecta a taxa de decomposição do ozono e a sua carência.

Quadro 4.6 – Impacte das características da qualidade do efluente na Cloragem, UV e Ozonização (continuação)

Parâmetro	Cl <sub>2</sub>	UV	O <sub>3</sub>
Óleos e gorduras	Pode reduzir a carência de cloro.	Podem acumular-se nos tubos de quartzo das lâmpadas, podem absorver radiação UV	Pode reduzir a carência de ozono.
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Protegem as bactérias agregadas	Absorvem a radiação UV, podem proteger as bactérias agregadas	Aumentam a carência de ozono e protegem as bactérias agregadas
Alcalinidade	Nenhum impacto ou pouco significativo	Afecta a solubilidade dos metais que absorvem a luz UV	Nenhum impacto ou pouco significativo
Dureza	Nenhum ou impacto pouco significativo	Cálcio, magnésio e outros sais podem depositar-se nos tubos de quartzo, principalmente a temperaturas elevadas	Nenhum ou impacto pouco significativo
Amónia	Combina-se com o cloro, formando cloraminas, aumentando a carência de cloro.	Nenhum ou impacto pouco significativo	Nenhum ou impacto pouco significativo, pode reagir a pH elevados
Nitratos	Na presença de nitratos, as cloraminas não se formam. Assim a nitrificação parcial pode levar a ocorrerem dificuldades na escolha da dose indicada (e a nitrificação total pode levar à formação de N-Nitrosodimetilamina)	Nenhum ou impacto pouco significativo	Pode reduzir a eficácia do ozono
Nitritos	Oxidados pelo cloro, formam NDMA (N-Nitrosodimetilamina)	Nenhum ou impacto pouco significativo	Oxidados pelo ozono
Ferro	Oxidado pelo cloro	Grande absorvente de radiação UV, pode precipitar nos tubos de quartzo, pode absorver os SS e encobrir as bactérias por absorção	Oxidado pelo ozono
Manganês	Oxidado pelo cloro	Grande absorvente de radiação UV	Oxidado pelo ozono
pH	Afecta a formação de ácido hipocloroso e do ião hipoclorito	Pode afectar a solubilidade dos metais e dos carbonatos	Afecta a taxa de decomposição do ozono
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	-	Pode fomentar a formação de precipitados	-

## 5 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA PARA REGA

A concepção de um sistema de distribuição de ARUT será muito semelhante ao de uma rede de distribuição de água para consumo humano. Todos os materiais e equipamentos devem ser identificados de forma clara ou até, se possível, devem ser utilizados materiais diferentes para uma melhor distinção.

### 5.1 SEGURANÇA

Os sistemas de gestão da distribuição de água recuperada devem definir medidas de segurança exigentes de modo a ser salvaguardada a saúde pública. A principal preocupação, quer em fase de projecto, quer em fase de construção ou de operação do sistema de abastecimento de ARUT, deverá ser a garantia da não existência, em caso algum, de ligações cruzadas quer com a rede de água potável como com a rede de drenagem de águas residuais. Outra preocupação a ter consiste em prevenir o uso indevido ou inadvertido de ARUT como se de água para consumo humano se tratasse [20].

#### 5.1.1 Identificação das tubagens e acessórios

Todas as tubagens e acessórios dos sistemas de abastecimento de ARUT devem ser identificados de forma clara e sem ambiguidades ao longo de todo o sistema. A identificação deve ser realizada utilizando uma única cor, etiquetagem e marcação (Fig.5.1).

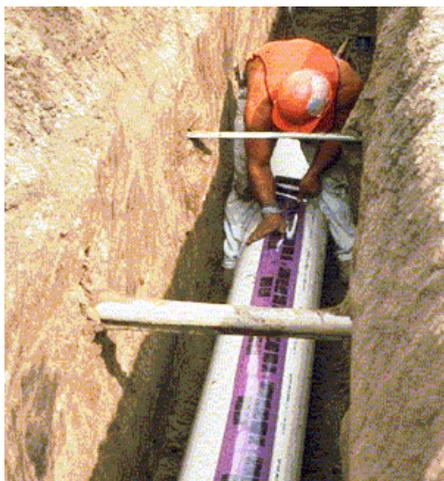


Fig.5.1 – Identificação da tubagem de ARUT com vinil de cor roxa

Todos os dispositivos de fecho de câmaras de válvulas, num sistema de abastecimento de ARUT, devem ter um formato que não seja compatível com outros dispositivos dos sistemas de abastecimento de água para consumo humano ou de drenagem de águas residuais. Devem ainda

conter uma inscrição moldada na superfície da tampa, assim como uma cor consistente com o código adoptado (Fig.5.2).



Fig.5.2 – Caixa de válvulas e ligação rápida identificada com etiqueta, ambas de cor roxa

As juntas não devem ser compatíveis com as juntas de outros dispositivos dos sistemas de abastecimento de água para consumo humano ou de drenagem de águas residuais, de modo a impedir-se as ligações cruzadas. Também as mangueiras e juntas de ligação utilizadas num sistema de ARUT não devem ser utilizadas noutro sistema. Devem ser utilizados letreiros para identificar as ligações rápidas de ARUT (Fig.5.2). Quando os dispositivos de ligação de mangueiras de água para consumo humano se localizem a distâncias inferiores a 18 metros dos de ARUT, ambos devem estar devidamente assinalados com letreiros [21].

### 5.1.2 Afastamentos entre tubagens

Para a distância horizontal mínima entre tubagens, dado que a lei portuguesa é omissa em relação às redes de abastecimento de ARUT, poderão ser seguidos os valores de referência utilizados em São Francisco, no estado da Califórnia, dos EUA (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Distância horizontal mínima entre tubagens de ARUT e água potável

Distância horizontal	Esquema	Permissão
ARUT a < 1,20 m da água potável		Não é permitido
ARUT a 1,20 a 3,00 m da água potável		Necessidade de protecções especiais

Quadro 5.1 – Distância horizontal mínima entre tubagens de ARUT e água potável (continuação)

Distância horizontal	Esquema	Permissão
ARUT a $\geq 3,00$ m da água potável		Permitido, sem necessidade de protecções especiais
Água potável       ARUT		

No que respeita à distância vertical entre tubagens, a Norma Portuguesa NP 4434:2005 sugere que sejam respeitados os afastamentos mínimos impostos pela regulamentação em vigor no n.º 3 do Artigo 24º, do Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto. Assim sendo, a implantação das condutas de ARUT deve ser feita num plano superior ao dos colectores de águas residuais e num plano inferior às tubagens de água para consumo humano, sendo que a distância entre a tubagem de água potável e os colectores de drenagem de águas residuais não deve ser inferior a 1,0 m (Quadro 5.2).

Quadro 5.2 – Distância vertical mínima entre tubagens de ARUT e água potável

Distância vertical	Esquema	Permissão
ARUT a $< 1,0$ m abaixo da água potável		Necessidade de protecções especiais
ARUT a $\geq 1,0$ m abaixo da água potável		Permitido, sem necessidade de protecções especiais
Água potável       ARUT		

### 5.1.3 Reaparecimento de microrganismos na rede de distribuição

No final do tratamento feito na ETAR, mesmo quando a ARUT apresenta o nível de qualidade pretendido, a qualidade da ARUT que chega ao utilizador por vezes pode não ser exactamente a mesma da água residual tratada que saiu da ETAR. O fenómeno de reaparecimento dos microrganismos pode acontecer e é necessária especial atenção:

- pode acontecer uma contaminação na rede de abastecimento de ARUT;
- pode ocorrer um crescimento de microrganismos. Este fenómeno pode ser desencadeado pelos microrganismos que não foram eliminados durante a desinfecção ou pelos que foram apenas parcialmente atingidos, tendo a capacidade de se auto-regenerarem;
- o desenvolvimento de biofilme nas redes de distribuição de ARUT é alvo de preocupação, pois este pode abrigar organismos patogénicos que ao desprenderem-se poderão aparecer na ARUT.

É evidente que as alterações químicas, físicas e microbiológicas da ARUT ao longo do sistema de distribuição dependem da qualidade da água à saída da ETAR. O Quadro 5.3 resume os parâmetros que influenciam a proliferação de microrganismos nos sistemas de distribuição de ARUT.

Quadro 5.3 – Parâmetros que podem influenciar o crescimento de microrganismos num sistema de distribuição de ARUT [18]

Parâmetros
O tempo de retenção no sistema de distribuição e as condições hidráulicas
A temperatura da ARUT
O pH da ARUT
A concentração de nutrientes
As condições de arejamento do sistema de distribuição
As características físicas, químicas e microbiológicas iniciais da ARUT
O material das tubagens (rugosidade)
As condições em que se encontra o material das tubagens (o biofilme fixa-se mais facilmente em tubagens velhas e rugosas)

Para manter as redes de distribuição livres de biofilme (Fig.5.3) é necessário garantir uma concentração de cloro residual. Com a descoberta da formação de produtos organoclorados, a desinfecção da água residual através de cloragem tem vindo a cair em desuso. No entanto, deverá ser realizada uma desinfecção adequada na ETAR (que não inclua cloro) e antes da distribuição deverá ser injectada uma quantidade de cloro que garanta um residual de cloro de 0,2 mg/L. As tubagens devem sofrer periodicamente uma cloragem, com grandes doses de cloro, de forma a evitar o aparecimento de biofilme [18].



Fig.5.3 – Tubagem de fibrocimento para encaminhamento de ARUT, com biofilme acumulado durante 10 anos

### 5.1.4 Filtros nos sistemas de rega

Devem ser instalados filtros para proteger medidores de caudal e ligações de serviço e para evitar colmatações dos aparelhos de rega, devido à existência de sólidos suspensos na ARUT. Os filtros Y não devem ser instalados abaixo do nível do pavimento. Nestes casos são mais indicados os filtros de cesto, sendo estes também indicados para instalações acima dos pavimentos. Nos sistemas de rega gota-a-gota os filtros são normalmente instalados acima dos pavimentos (Fig.5.4).



Fig.5.4 – Filtro Y e Filtro de Cesto

### 5.1.5 Técnicas de rega

É proibido utilizar ARUT em condições que possam provocar aerossóis que, transportados pelo vento, possam ser arrastados para fora da zona aprovada para utilização.

As etiquetas de aviso das entidades competentes devem ser instaladas em estruturas próprias para esse fim tais como painéis de controlo, hidrantes em autotanques, etc. As etiquetas devem assinalar que o sistema contém ARUT e que não é adequada para consumo humano.

Caso a água seja utilizada para encher lagoas ou lagos em zonas de recreio ou para irrigação, os sinais de aviso devem ser instalados para notificar que a água é imprópria para consumo humano. Deve ser preparado um plano detalhado, definindo a localização e o espaçamento dos referidos sinais. Os sinais de aviso e as tabuletas devem ser na língua local e na língua dos visitantes mais frequentes da zona em questão e deverão incluir o sinal internacional “NÃO BEBA” (Fig.5.5).



Fig.5.5 – Sinal internacional de proibição de beber

## 5.2 ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS

### 5.2.1 Reservatórios abertos e fechados

A utilização de reservatórios para armazenamento de ARUT é recomendada nos casos em que as aplicações não estão relacionadas com uma rede de distribuição e, por isso, o abastecimento tem que ser efectuado por intermédio de camiões-cisterna. É também adequado nos casos de rega, sendo que o reservatório será o ponto de armazenamento da ARUT proveniente da ETAR durante o dia, para durante a noite ser utilizada na rega.

Os reservatórios podem ser abertos ou fechados, tendo em cada um dos casos problemas específicos que precisam ser controlados, de modo a que se possa garantir a qualidade da ARUT. Esses problemas encontram-se discriminados no quadro seguinte.

Quadro 5.4 – Problemas associados a reservatórios abertos e fechados [17]

Tipo de Reservatório	Problemas associados
Reservatório Aberto	Libertação de odores, principalmente gás sulfídrico
	Estratificação provocada pela temperatura
	Perda de cloro residual livre
	Baixos teores de oxigénio dissolvido, provocando odores e mortandade dos peixes
	Crescimento excessivo de algas e de fitoplâncton
	Níveis elevados de turvação e cor
	Repovoamento de microrganismos
Reservatório Fechado	Deterioração da qualidade da água devido à presença de um número excessivo de aves e roedores
	Estagnação
	Libertação de odores, principalmente gás sulfídrico
	Perda de cloro residual livre (perdas menos significativas que nos reservatórios abertos)
	Repovoamento de microrganismos

## 5.2.2 Estratégias de gestão de reservatórios abertos e reservatórios fechados

Embora muitas estratégias de resolução dos problemas em reservatórios abertos possam ser adoptadas, a mais eficiente é a aplicação de sistemas de arejamento que resolve paralelamente o problema da falta de oxigénio e o problema da estratificação. No caso dos reservatórios fechados não existe nenhuma estratégia que seja realmente a melhor, devendo-se recorrer ao arejamento, juntamente com a cloragem e a recirculação, de modo a promover a circulação de água, evitar zonas mortas e manter um residual de cloro livre [17]. No quadro seguinte encontram-se as estratégias que podem ser adoptadas para a resolução dos problemas associados a reservatórios.

Quadro 5.5 – Estratégias de gestão de reservatórios para armazenamento de ARUT [17]

Estratégias de gestão	Comentários
<b>Reservatórios abertos</b>	
Arejamento/destratificação	Mantém as condições aeróbias e elimina a estratificação térmica. O arejamento pode permitir a libertação do fósforo dos sedimentos depositados no fundo do reservatório
Precipitação com alumínio	Remove sólidos em suspensão e fósforo. Pode ser utilizada para impedir a libertação de fósforo dos sedimentos acumulados no fundo do reservatório
Biomanipulação	Controla da taxa de crescimento dos microrganismos
Adição de sulfato de cobre	Controla o crescimento de algas. A acumulação de cobre pode ser tóxica
Destratificação (incluindo recirculação)	Agitadores submersos ou de aspiração podem ser utilizados para eliminar a estratificação térmica, assim como bombas de recirculação. Pode promover a libertação de fósforo dos sedimentos acumulados no fundo do reservatório
Diluição	Água de outra origem pode ser misturada com a água armazenada para permitir uma melhor gestão da qualidade da mesma
Dragagem	Os sedimentos acumulados no fundo do reservatório devem ser removidos anualmente, para limitar a formação de depósitos que dão origem ao gás sulfídrico
Filtração	A água armazenada pode ser filtrada em filtros de areia ou microtamizadores para remover as algas e reduzir a turvação
Deterioração natural de microrganismos	A eficiência de inactivação natural dos microrganismos depende da operação do reservatório e do tempo de retenção da ARUT no reservatório
Remoção de nutrientes	Remoção de nutrientes para controlar o crescimento de organismos aquáticos
Foto-oxidação	Com uma mistura adequada, podem ser aproveitadas as vantagens resultantes da exposição da água à luz do sol
Filtração em solo	A água armazenada pode ser filtrada em zonas pantanosas construídas para remover as algas e reduzir a turvação
Retirar água a diferentes profundidades	A diferentes profundidades pode-se obter água com qualidade diferente

Quadro 5.5 – Estratégias de gestão de reservatórios para armazenamento de ARUT (continuação)

Estratégias de gestão	Comentários
<b>Reservatórios fechados</b>	
Arejamento	Mantém o nível de oxigénio dissolvido residual para eliminar a formação de odores
Cloragem	Utilizado no controlo do crescimento de microrganismos
Recirculação	Uma recirculação adequada pode limitar o crescimento de microrganismos e a formação de odores

## 6 **Case-study: UTILIZAÇÃO DE ARUT PARA REGA DO PARQUE DA PAZ NO MUNICÍPIO DE ALMADA**

### 6.1 OBJECTIVOS

O presente *case-study* pretende avaliar a viabilidade de rega do Parque da Paz em Almada (Fig.6.1), com ARUT proveniente da ETAR da Mutela, também situada no concelho de Almada. Será primeiramente caracterizada a oferta e a procura, assim como as limitações existentes à reutilização de água para a aplicação pretendida. Serão definidas soluções de tratamento adicional, para que a qualidade do efluente tratado satisfaça as exigências de qualidade impostas. Posteriormente será realizado o cruzamento entre a oferta e a procura, de modo a avaliar técnica, económica e ambientalmente a viabilidade deste projecto de reutilização de águas residuais. Serão ainda apresentados os resultados de um inquérito feito aos utilizadores do Parque da Paz, de modo a avaliar a potencial aceitação deste projecto e o grau de conhecimento dos utentes sobre o tema “Reutilização de Águas Residuais Tratadas”.



Fig.6.1 – Parque da Paz, no concelho de Almada

### 6.2 OFERTA: ARUT DA ETAR DA MUTELA

#### 6.2.1 Caracterização da ETAR da Mutela

O sistema de drenagem de águas residuais do concelho de Almada (Fig.6.2) subdivide-se em três grandes sub-sistemas: o sub-sistema da Costa de Caparica-Trafaria que contempla a ETAR do

Portinho da Costa, o sub-sistema de Corroios (ETAR da Quinta da Bomba) e o sub-sistema de Almada, que para além da ETAR do Valdeão (que serve apenas uma parte da população da freguesia do Pragal e o Hospital Garcia de Orta), contempla também a ETAR da Mutela.

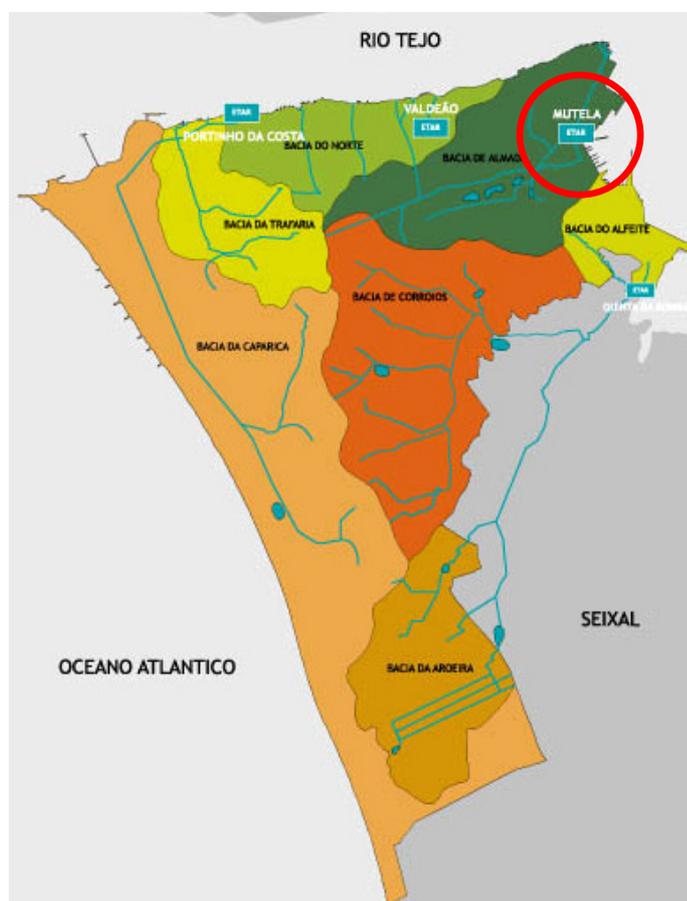


Fig.6.2 – Mapa de localização das bacias hidrográficas e das ETAR do concelho de Almada

A ETAR da Mutela localiza-se na freguesia da Cova da Piedade, concelho de Almada, e ocupa uma área de 3 hectares. Foi dimensionada, no horizonte de projecto (2020), para uma população equivalente de 147.900 habitantes. Funciona com um nível de tratamento secundário com desinfecção. Parte do efluente tratado é utilizado no interior da ETAR para rega de espaços verdes e para lavagem das instalações. A Figura 6.3 apresenta o diagrama de processo da ETAR da Mutela e encontra-se seguida da explicação de cada etapa do processo.

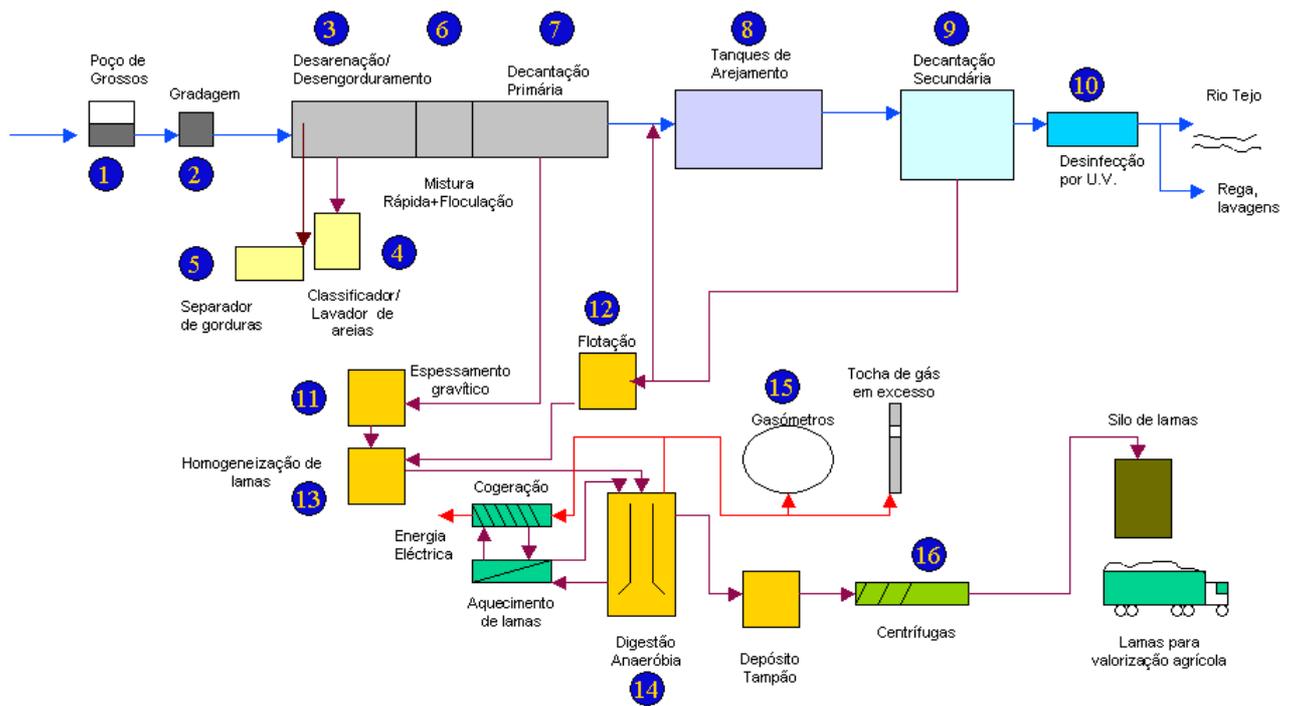


Fig.6.3 – Diagrama de processo da ETAR da Mutela (fonte: SMAS de Almada)

1. Caixa de chegada onde são recebidas as águas residuais afluentes. Estas passam por um poço de grossos, onde sedimentam os sólidos de maiores dimensões. A água residual segue para a gradagem.
2. A água residual passa através de uma grade onde são retirados os sólidos com dimensões superiores a 3 mm, impedindo a sua passagem para os outros órgãos da ETAR. A água residual segue para o desarenador/desengordurador.
3. O desarenador/desengordurador combina duas etapas: a desarenação e o desengorduramento da água residual. A água residual segue para as câmaras de mistura rápida e floculação. As areias removidas seguem para o classificador/lavador de areias, as gorduras seguem para o concentrador de gorduras.
4. O classificador/lavador de areias, através de vórtex, ao mesmo tempo que lava as areias, separa-as pelo tamanho das partículas. As areias resultantes desta etapa são acondicionadas num contentor e reutilizadas na construção civil.
5. O concentrador de gorduras encaminha a gordura presente na água residual para ser armazenada em bidões que são depois despejados pelo limpa-fossas, num leito de plantas macrófitas.
6. A água proveniente do desarenador/desengordurador segue para as câmaras de mistura rápida e floculação, onde são adicionados reagentes (cloreto férrico, cal apagada e polielectrólito) com a finalidade de formar flocos de lama facilmente sedimentáveis. A água segue para o decantador primário.

**7.** Nesta operação são retirados sólidos em suspensão sedimentáveis: decantação primária. As lamas sedimentadas são bombeadas para o espessador gravítico. As águas residuais seguem para o tanque de arejamento.

**8.** Este tanque é arejado com difusores de microbolha, de modo a que as bactérias que necessitam de oxigénio para sobreviver se multipliquem e se alimentem da matéria orgânica presente na água residual. A população de bactérias é denominada de biomassa.

**9.** Das lamas sedimentadas nesta operação, parte são recirculadas e parte são encaminhadas para o flotor. As águas residuais tratadas seguem para o canal de desinfecção por U.V. (ultra violeta).

**10.** A água tratada vai para o Rio Tejo, mas uma parte é armazenada numa cisterna para usos compatíveis (rega e lavagens).

**11.** As lamas resultantes da decantação primária vão para o espessador gravítico, aumentando a sua concentração, sendo posteriormente encaminhadas para o tanque de homogeneização.

**12.** As lamas resultantes da decantação secundária vão para o flotor, onde se concentram à superfície. Estas lamas são encaminhadas para o tanque de homogeneização.

**13.** O tanque de homogeneização tem como objectivo fazer uma mistura das lamas primárias e secundárias, obtendo-se assim uma lama mista. Esta lama é encaminhada para o digestor anaeróbio.

**14.** A digestão anaeróbia das lamas tem como objectivo mineralizar a matéria orgânica, através da acção de bactérias anaeróbias a uma temperatura elevada. Deste processo resulta biogás (com cerca de 60% de Metano). Depois de digeridas, as lamas são encaminhadas para um depósito tampão para posteriormente serem desidratadas.

**15.** O biogás é armazenado no gasómetro e é valorizado na produção de energia térmica e eléctrica, por cogeração (para aquecimento das lamas do digestor e outros consumos energéticos da ETAR). Quando há biogás em excesso é queimado na tocha.

**16.** Na unidade de desidratação é adicionado às lamas um reagente (polielectrólito) para formação de flocos que são desidratados em centrífugas. O líquido resultante volta para a caixa de chegada das águas residuais e as lamas desidratadas são acondicionadas no silo de lamas e reutilizadas posteriormente como fertilizante (valorização agrícola).

A ETAR da Mutela arrancou em Julho de 2003. Entre 2006 e 2007 a ETAR esteve parada em vários períodos de tempo, devido a problemas de dimensionamento, tanto das bombas de água bruta como do sistema de desinfecção. A ETAR arrancou novamente em 2008, com novas bombas de água bruta e um novo canal de desinfecção UV. Encontra-se presentemente em fase de estabilização do processo. No Quadro 6.1 são apresentados os valores médios anuais dos parâmetros de qualidade da ARUT, à saída da ETAR, para o ano de 2005, ainda que o processo da ETAR não estivesse totalmente estabilizado e nos Quadros 6.2 e 6.3 estão resumidos os valores da caracterização físico-química e microbiológica respectivamente, também para o mesmo ano.

Quadro 6.1 – Resultados da exploração

	Ano 2005
Caudal médio diário (m <sup>3</sup> /dia)	13.267
População servida (hab.eq)	108.641
Volume total tratado (m <sup>3</sup> )	4.856.563
Carga orgânica afluyente média (kg CBO <sub>5</sub> /d)	7.313

Quadro 6.2 – Caracterização físico-química da água tratada pela ETAR da Mutela em 2005

	pH	SST (mg/L)	CBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	CQO (mgO <sub>2</sub> /L)	N <sub>total</sub> (mgN/L)	P <sub>total</sub> (mgP/L)	Óleos e gorduras (mg/L)
<b>N.º de determinações</b>	115	118	88	114	56	46	2
<b>Máximo</b>	7,87	278	246	584	110	8,8	10,2
<b>Mínimo</b>	6,07	3	4	8	0	1,2	2,0
<b>Média</b>	7,26	41 (redução 89%)	35 (redução 89%)	88 (redução 88%)	65	3	6,1
<b>C.Máx.</b>		35 ou redução > 90%	25 ou redução > 70% a 90%	125 ou redução > 75%			
<b>VMR</b>	6,5-8,4	60					
<b>VMA</b>	4,5-9,0						

C. Máx. – Concentração máxima de descarga, D.L. n.º152/97  
 VMR – Valor máximo recomendado, qualidade das águas destinadas a rega, D.L. n.º 236/98  
 VMA – Valor máximo admissível, qualidade das águas destinadas a rega, D.L. n.º 236/98

Quadro 6.3 – Caracterização microbiológica da água tratada pela ETAR da Mutela em 2005

	Salinidade (dS/m a 25°C)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)
<b>Máximo</b>	1,30E-05	1,8E+06
<b>Mínimo</b>	1,24E-05	3,2E+04
<b>Média</b>	1,19E-05	5,5E+05
<b>C.Máx.</b>		
<b>VMR</b>	1	100
<b>VMA</b>		

C. Máx. – Concentração máxima de descarga, D.L. n.º152/97  
 VMR – Valor máximo recomendado, qualidade das águas destinadas a rega, D.L. n.º 236/98  
 VMA – Valor máximo admissível, qualidade das águas destinadas a rega, D.L. n.º 236/98

Dos quadros anteriores, pode-se constatar que todos os parâmetros se encontram dentro dos limites impostos pela legislação, à excepção dos coliformes fecais. Com o novo canal de desinfecção UV

instalado em 2007 é esperada uma concentração de coliformes fecais na ordem dos 2.000NMP/100mL.

## 6.2.2 Identificação das limitações existentes à reutilização de água

Actualmente, na ETAR da Mutela, o tratamento efectuado às águas residuais afluentes termina com uma desinfecção por radiação UV, que garante uma qualidade do efluente à saída de 2.000NMP/100mL de coliformes fecais. A qualidade do efluente não é suficiente para aplicação directa desta água na rega. Será, por isso, necessário adicionar um tratamento complementar na ETAR com o objectivo de produzir uma ARUT com uma concentração de coliformes fecais inferior a 200NMP/100mL, como indicado na Norma Portuguesa NP4434:2005.

## 6.2.3 Análise da viabilidade do armazenamento na ETAR da Mutela

Existe uma cisterna de armazenamento de água tratada na ETAR da Mutela, cuja capacidade é de 165m<sup>3</sup>. Este volume é suficiente para a rega diária dos espaços verdes da ETAR, lavagens internas e para futuras lavagens dos autocarros dos Transportes Sul do Tejo (protocolo assinado em 2007).

Caso seja necessário a ETAR possui uma grande área envolvente disponível para construção de um novo reservatório.

## 6.2.4 Controlo de qualidade da ARUT para rega

O controlo de qualidade da ARUT é essencial para o sucesso de um projecto de reutilização.

Segundo a norma portuguesa NP 4434:2005 a ETAR da Mutela será responsável pelo controlo de qualidade da ARUT até chegar ao Parque da Paz, uma vez que é a entidade responsável pelo tratamento de afinação da ARUT.

A frequência das determinações deve satisfazer o estabelecido no Anexo XVII do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto (Quadro I.4 do Anexo I) e deve ser adequada à variabilidade das características médias das águas residuais afluentes à ETAR e às condicionantes da própria ETAR.

As determinações a serem efectuadas semanalmente, encontram-se resumidas no quadro seguinte.

Quadro 6.4 – Monitorizações a serem realizadas e respectivas periodicidades

	Monitorização	Responsabilidade	Periodicidade mínima
Águas Residuais	Qualidade da ARUT armazenada na ETAR da Mutela	SMAS de Almada – ETAR da Mutela	<u>Determinação semanal:</u> pH, salinidade, fósforo (total e ortofosfatos) e azoto total e inorgânico (azoto nítrico e amoniacal).
	Qualidade da ARUT a utilizar na rega, no ponto de aplicação	CMA – Divisão do Parque da Paz	<u>Determinação semanal:</u> pH, salinidade, fósforo (total e ortofosfatos) e azoto total e inorgânico (azoto nítrico e amoniacal).

Dos parâmetros que devem ser monitorizados o Laboratório de Águas Residuais dos SMAS de Almada executa actualmente a determinação dos seguintes parâmetros: pH, salinidade, fósforo total, azoto total e azoto amoniacal.

Durante o ano de 2008 está previsto iniciar as determinações de cádmio, chumbo, cobre e ovos de parasitas intestinais entéricos.

Para rega do Parque da Paz, enquanto espaço de lazer com fácil acesso para o público, a Norma Portuguesa NP 4434:2005 indica que os valores máximos admissíveis para os ovos de parasitas intestinais entéricos seja de 1 ovo/L e para os coliformes fecais de 200NMP/100mL. Para além destes parâmetros, será necessário determinar os ortofosfatos e o azoto nítrico, assim como determinar a razão de adsorção de sódio (SAR), pela importância que este último parâmetro tem na capacidade de infiltração e percolação do solo onde será aplicada a ARUT.

## 6.3 PROCURA: PARQUE DA PAZ

### 6.3.1 Estimativa dos consumos de água para rega do Parque da Paz e distribuição dos consumos

O Parque da Paz tem uma área total de 60 hectares, sendo que apenas as zonas relvadas e as zonas de árvores plantadas recentemente necessitam de rega. Encontra-se no Quadro 6.5 o plano de rega actual do Parque da Paz, assim como o resumo dos consumos de água ao longo do ano.

Quadro 6.5 – Plano de rega do Parque da Paz

	Sectores	Hora de início	Tempo de cada sector	Ciclos diários	Consumo diário de água em 2007
Relvado do Chegadoinho	12	22:30	30 Minutos	1	<u>Outono/Inverno</u> 480m <sup>3</sup> /dia <u>Primavera/Verão</u> 580m <sup>3</sup> /dia
Relvado do Estádio	18	02:30	10, 17, 18 – 20 Minutos Restantes 30 Minutos	1	
Relvado do Lago	13	22:00	30 Minutos	1	
Relvado do Monte-anascente	4	06:30	30 Minutos	1	
Relvado lateral da Alameda	4	04:10	35 Minutos	1	

Prevê-se que os consumos diários de água para rega, daqui a 10 anos, reduzam cerca de 100m<sup>3</sup>/dia, pois não está prevista uma expansão da plantação e as árvores que hoje são jovens daqui a 10 anos necessitarão de menor quantidade de água.

### 6.3.2 Caracterização das origens de água disponível para rega actualmente

O Parque da Paz é servido por três linhas de escorrência (Fig.6.4) provenientes das áreas circundantes e por uma linha de água natural (Fig.6.5), sendo que todas elas desaguam no Lago do Parque da Paz. Nos meses de Outono/Inverno o Lago encontra-se cheio, não havendo escassez de água para rega. Nos meses mais quentes o caudal da linha de água natural é muito baixo e as escorrências são menores, não existindo por isso capacidade de rega.

Um entrave à utilização da água do Lago, como origem de água para rega, é a grande concentração de sólidos existente durante todo o ano, provenientes das escorrências. Os sólidos suspensos entopem os filtros que protegem os aspersores. Por esta razão, actualmente, a origem da água para rega é a água da rede de abastecimento público.

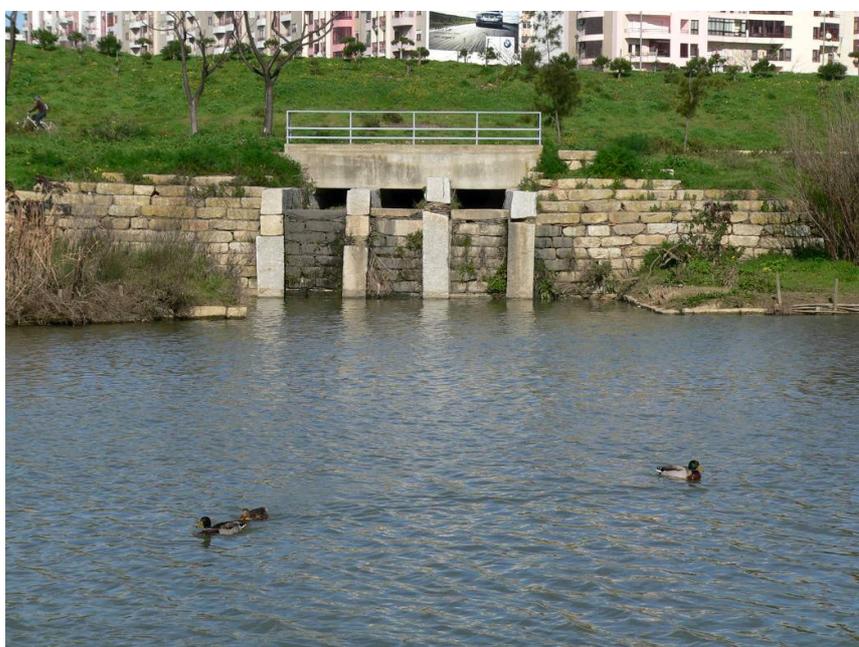


Fig.6.4 – Lago do Parque da Paz onde desaguam as três linhas de escorrência



Fig.6.5 – Linha de água natural que desagua no Lago do Parque da Paz

### 6.3.3 Análise da viabilidade do armazenamento

O Parque da Paz possui um lago com capacidade para 24.000m<sup>3</sup> (Fig.6.6). Devido à população de patos, gansos e outros seres vivos, que habitam o Lago, a concentração de coliformes fecais é muito elevada durante todo o ano, agravando-se bastante nos meses mais quentes. Esta excessiva concentração de coliformes fecais limita a escolha do Lago para armazenamento final, pois a ARUT chegaria com uma concentração de 200NMP/100mL e ao ser armazenada no Lago iria ficar novamente contaminada.



Fig.6.6 – Lago do Parque da Paz com 24.000m<sup>3</sup> de capacidade

Existe também um reservatório elevado nas proximidades do Parque da Paz que se encontra desactivado (antigamente abastecia a freguesia do Feijó), com uma capacidade de 100m<sup>3</sup>, que

poderá armazenar a ARUT para a rega do Parque (Fig.6.7). Este reservatório encontra-se a cerca de 400m da zona Sul do Parque da Paz, no Feijó.



Fig.6.7 – Reservatório elevado no Feijó, com 100m<sup>3</sup> de capacidade

### 6.3.4 Caracterização da flora do Parque da Paz e da sua fertilização

O estrato herbáceo do Parque da Paz é muito diversificado, podendo-se encontrar o Jacinto-dos-campos (*Scilla monophyllos* Link in Schrader), as Candeias (*Arizarum vulgare* Trag. – Toz), a Erva-moira (*Solanum nigrum* L.), a Erva-das-sete-sangrias (*Lithodora difusa* (Lag.) I. M. Johnston), a Erva-canária ou Azedas (*Oxalae pés-caprae* L.), o Trevo-dos-Prados (*Trifolium pratense* L.).

Existem variadas espécies de arbustos, como é o caso do Rosmaninho (*Lavandula stoechas* L.), do Mirto (*Mirtus communis* L.), do Medronheiro (*Arbutus unedo* L.), da Estevinha (*Cistus salvifolius* L.), do Carrasco (*Quercus coccifera* L.), entre muitos outros, localizados sobretudo, na sua forma espontânea.

O Alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), o Loureiro (*Laurus nobilis* L.), a Santolina (*Santolina* sp.), os Rapazinhos (*Salvia microphylla* Benth.) foram, pela sua importância ecológica e pela sua grande beleza e agradável fragrância, cultivados ao longo das veredas, e nas estadias.

No que respeita às árvores, destaca-se o Pinheiro-manso (*Pinus pinea* L.), diferentes espécies de *Quercus* L., Oliveiras (*Olea europea* L.), Ameixoeira-de-Jardim (*Prunus cerasifera* var. *pissardi* Ehrh.), Árvore-dos-Rosários (*Melia azedarach* L.), Plátanos (*Platanus x Hispânica* Muench.), o Sobreiro (*Quercus suber* L.) e o Pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Aiton).

Relativamente aos relvados, a mistura de semente dos relvados é constituída por: *Agrostis stolonifera* (10%), *Cynodon dactylon* (10%), *Dactylis glomerata* (15%), *Festuca pratensis* (10%), *Festuca rubra* (10%), *Lolium multiflorum* (10%), *Lolium perenne* (20%), *Poa pratensis* (10%), *Trifolium incarnatum* (2,5%) e *Trifolium repens*(2,5%).

Em termos de fertilização dos relvados é aplicado anualmente estrume de cavalo e a relva cortada mensalmente é deixada sobre o relvado. Não existe recurso a fertilizantes químicos.

## 6.4 CRUZAMENTO ENTRE A OFERTA E A PROCURA

### 6.4.1 Cruzamento entre o volume da oferta e da procura

Analisando os dados referentes ao ano de 2005, a ETAR da Mutela apresenta um caudal médio de 13.267m<sup>3</sup>/dia, sendo o caudal mínimo registado de 5.000m<sup>3</sup>/dia. O Parque da Paz, para os meses de maior consumo, necessita de um volume diário de 600m<sup>3</sup>, pelo que não existe qualquer limitação em termos de disponibilidade de ARUT por parte da ETAR.

## 6.4.2 Análise sobre o armazenamento de água

Para uma alimentação do reservatório da ETAR durante 24 horas/dia (volume disponível) e para uma adução de 9 horas/dia (volume de adução), perfazendo um caudal total de 750m<sup>3</sup>/dia (contando com 10% de perdas), de acordo com os resultados apresentados no Quadro 6.6, o reservatório da ETAR da Mutela terá uma capacidade de armazenamento de 470m<sup>3</sup>.

Quadro 6.6 – Cálculo da capacidade do reservatório a construir na ETAR da Mutela

	0h00 – 5h30	5h30 – 7h00	7h00 – 20h30	20h30 – 22h00	22h00 – 24h00
<b>Volume disponível (m<sup>3</sup>)</b>	172	47	422	47	63
<b>Volume disponível acumulado (m<sup>3</sup>)</b>	172	219	641	688	750
<b>Volume de adução (m<sup>3</sup>)</b>	367	0	0	100	133
<b>Volume de adução acumulado (m<sup>3</sup>)</b>	367	367	367	467	600
<b>Volume de armazenamento (m<sup>3</sup>)</b>	-195	-148	274	221	150
<b>Capacidade do reservatório da ETAR (m<sup>3</sup>)</b>	<b>469</b>				

O armazenamento de água na ETAR da Mutela terá que ser feito recorrendo a um novo reservatório, uma vez que a cisterna de água tratada existente não tem capacidade suficiente (a cisterna actual tem 165m<sup>3</sup> e são necessários 470m<sup>3</sup>). Este reservatório poderá ser aberto, servindo simultaneamente de espelho de água.

No Parque da Paz para uma adução de ARUT de 9 horas/dia (volume de adução) e uma distribuição de água para rega de 9 horas/dia (volume de rega), o caudal total terá de perfazer 600m<sup>3</sup>/dia. De acordo com os resultados apresentados no Quadro 6.7 o reservatório do Parque da Paz terá uma capacidade de 100m<sup>3</sup>.

Quadro 6.7 – Cálculo da capacidade do reservatório do Parque da Paz

	0h00 – 5h30	5h30 – 7h00	7h00 – 20h30	20h30 – 22h00	22h00 – 24h00
<b>Volume de adução (m<sup>3</sup>)</b>	367	0	0	100	133
<b>Volume de adução acumulado (m<sup>3</sup>)</b>	367	367	367	467	600
<b>Volume de rega (m<sup>3</sup>)</b>	367	100	0	0	133
<b>Volume de rega acumulado (m<sup>3</sup>)</b>	367	467	467	467	600
<b>Volume de armazenamento (m<sup>3</sup>)</b>	0	-100	-100	0	0
<b>Capacidade do reservatório do Parque (m<sup>3</sup>)</b>	<b>100</b>				

### 6.4.3 Soluções de tratamento e localização do armazenamento

O tratamento complementar a adoptar na ETAR da Mutela passa sobretudo por uma desinfecção (Fig.6.8).

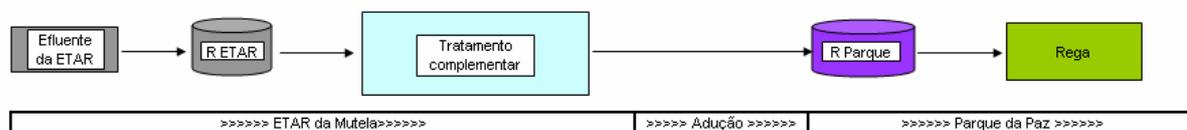


Fig.6.8 – Esquema geral de armazenamento, tratamento e transporte proposto

A etapa de desinfecção poderá ou não ser precedida de uma filtração. No entanto, dado que se está perante um sistema de lamas activadas e podem surgir facilmente desequilíbrios no funcionamento do sistema biológico, dando origem a elevadas concentrações de sólidos suspensos totais, será prudente optar-se por uma filtração a montante da desinfecção. Os sistemas de tratamento complementar mais adequados à escala industrial incluem a desinfecção com radiação UV, a ozonização e um sistema de MBR.

Terá ainda que ser realizada uma picagem de cloro à saída da ETAR, de modo a deixar na ARUT um residual de cloro. Desta forma previne-se o aparecimento de biofilme nas tubagens, assim como o reaparecimento de microrganismos patogénicos na ARUT.

De seguida apresentam-se os três cenários propostos para o tratamento complementar da água residual da ETAR da Mutela.

#### Cenário I

Para o primeiro cenário propõe-se que, a montante do reservatório da ETAR, exista uma filtração rápida de modo a que os sólidos suspensos que se encontrem no efluente sejam retidos. De seguida o efluente será armazenado num reservatório aberto. O tratamento complementar continua com uma desinfecção com radiação UV, havendo uma recirculação neste ponto, pois as lâmpadas UV demoram alguns minutos a aquecer. A adução acontece de seguida, com uma picagem de hipoclorito de sódio à saída da ETAR, encaminhando a ARUT para o reservatório no Parque da Paz. A ARUT fica disponível para rega. Na figura seguinte encontra-se o esquema de tratamento proposto para o cenário I.

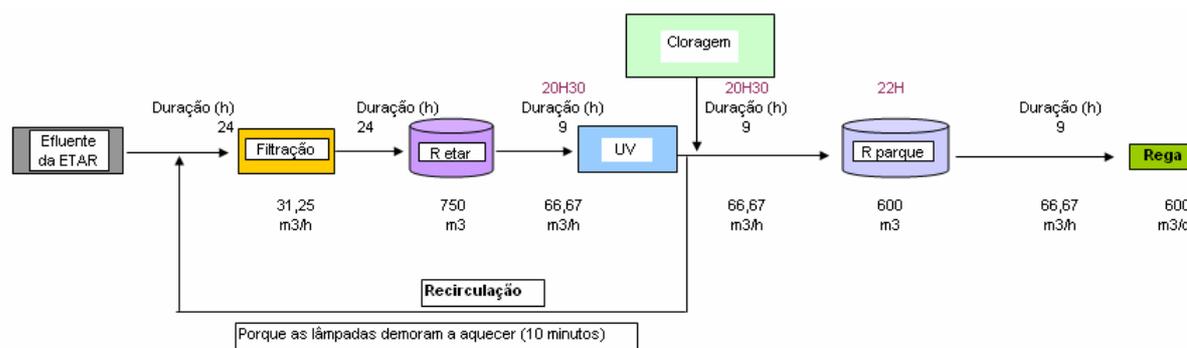


Fig.6.9 – Esquema proposto para o Cenário I



#### 6.4.4 Transporte da ARUT desde a ETAR da Mutela até ao Parque da Paz

O transporte da ARUT da ETAR da Mutela até ao Parque da Paz far-se-á através de um sistema de adução (Fig.6.12).

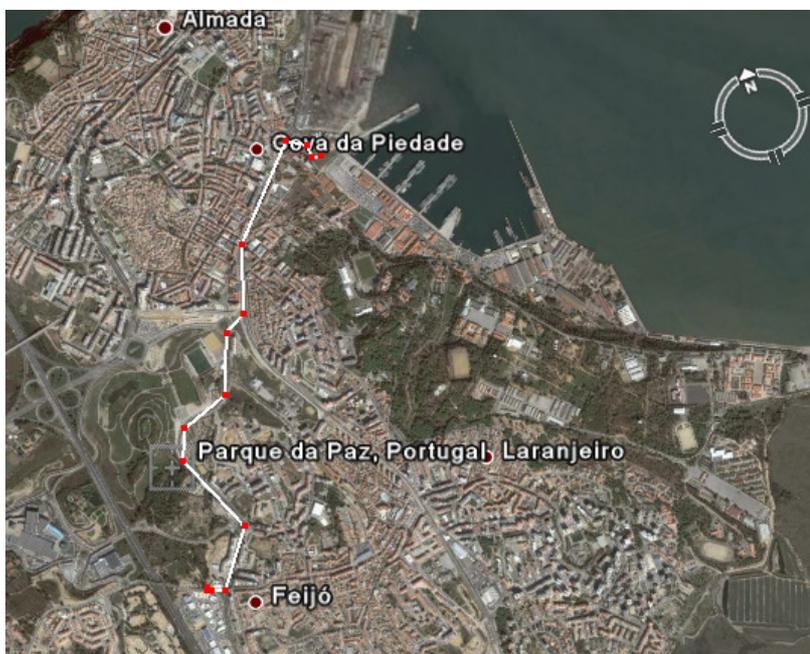


Fig.6.12 – Sistema de adução a construir desde a ETAR da Mutela até ao reservatório do Feijó  
As características do sistema de adução encontram-se resumidas no Quadro 6.8.

Quadro 6.8 – Características do sistema de adução da ETAR da Mutela até ao Parque da Paz

<b>Tipo</b>	Elevatória
<b>Função</b>	Adutora
<b>Reservatório alimentado</b>	Parque da Paz
<b>Comprimento total da adutora (km)</b>	3
<b>Cota topográfica início (m)</b>	5
<b>Cota topográfica chegada (m)</b>	63
<b>Pressão máxima que a conduta é sujeita (m.c.a.)</b>	158
<b>Material</b>	Ferro Fundido Dúctil (FFD)
<b>Caudal de adução (L/s)</b>	21
<b>Diâmetro interno (mm)</b>	250
<b>Altura geométrica (m.c.a.)</b>	58
<b>Altura manométrica (m.c.a.)</b>	62

Deverá ser contemplada à saída da ETAR uma injeção de hipoclorito de sódio que garanta um residual de cloro na ordem dos 0,2mg/L. Tal como referido anteriormente este residual de cloro irá evitar o reaparecimento de microrganismos patogénicos e actuará também como medida preventiva no aparecimento de biofilme nas tubagens. Não obstante, devem ser efectuadas lavagens periódicas para remoção de biofilme que eventualmente se forme, com recurso a cloro. Nestas ocasiões as condutas devem ser isoladas e, após o tratamento, devem ser bem lavadas antes de se reiniciar o sistema de distribuição. Desta forma, evita-se que as elevadas doses de cloro utilizadas nas lavagens cheguem aos sistemas de irrigação, prevenindo-se assim os possíveis danos nas culturas e plantas. Esta limpeza sistemática do biofilme nas condutas faz-se através do enchimento da tubagem com cloro adequado em concentrações elevadas (100 a 200mg/L), deixando-se repousar durante 8 a 24 horas. A rede será lavada a alta velocidade durante um determinado período de tempo (0,5 a 1 hora) para remover o restante biofilme.

#### 6.4.5 Avaliação da quantidade de nutrientes veiculada pela ARUT

A avaliação da quantidade de nutrientes é de extrema importância para a sobrevivência das espécies vegetais a regar. No Parque da Paz, as zonas mais sensíveis em termos de nutrientes são os relvados. As espécies de árvores, arbustos e plantas herbáceas no geral, são diariamente regadas com reduzida quantidade de água, apenas para que a humidade seja mantida, pelo que um excesso de nutrientes não será motivo de preocupação.

A quantidade de nutrientes por hectare pode ser calculada recorrendo à seguinte expressão:

$$M = (V \times C) / 1000$$

onde:

M – quantidade do nutriente ou metal pesado aplicada, por hectare, no período em questão, expressa em kg;

V – volume de águas residuais tratadas aplicado, por hectare, no mesmo período, expresso em m<sup>3</sup>;

C – concentração do nutriente ou metal pesado na água utilizada, durante o período em que se aplicou o volume V, expressa em mg/L.

Os macronutrientes cuja quantidade deve ser determinada para a rega são o azoto, fósforo e o potássio. Actualmente a ETAR da Mutela não efectua a determinação do potássio presente na água residual. As quantidades dos restantes macronutrientes são apresentadas no quadro seguinte.

Quadro 6.9 – Quantidade de nutrientes veiculada pela ARUT da ETAR da Mutela

	Quantidade (kg/ha/dia)	Quantidade (kg/ha/ano)	Valores – recomendados [22] (kg/ha/ano)
<b>Azoto</b>	0,65	237	500
<b>Fósforo</b>	0,03	11	500
<b>Potássio</b>	-	-	500

Pela observação do Quadro 6.9 pode constatar-se que, quer a quantidade de azoto quer a quantidade de fósforo, estão abaixo dos valores recomendados para fertilização de relvados. Conclui-se assim que não existe risco de aplicar um excesso de nutrientes nos relvados. Provavelmente, manter-se-á a necessidade de recorrer ao estrume de cavalo, embora em menor quantidade.

## 6.4.6 Gestão da rega com ARUT

### 6.4.6.1 Sinalização

O Parque da Paz deve ser devidamente sinalizado de forma a ser evidente que a rega é efectuada com águas residuais tratadas. Como todo o Parque é de fácil acesso ao público, as zonas de rega devem estar sinalizadas recorrendo a tabuletas com afastamento de 100 metros. As tabuletas devem ter o texto *Atenção! Zona de rega com águas residuais tratadas*, em Português e Inglês, e devem ser semelhantes às da Figura 6.13.



Fig.6.13 – Tabuletas de aviso utilizadas na Florida, EUA

Os aspersores de rega deverão ter bicos de cor roxa, indicando assim que a água utilizada para rega é água residual tratada (Fig.6.14).



Fig.6.14 – Acessórios de rega e tampas de caixas de rega com ARUT

As ligações rápidas deverão ser identificadas com etiquetas roxas, de borracha ou vinil, como as que se apresentam na Fig.6.15.

As etiquetas devem ser à prova de água com o texto semelhante ao da figura seguinte.



Fig.6.15 – Etiquetas para sinalização dos acessórios de rega

#### 6.4.6.2 Conduitas e órgãos de controlo

A rede de rega do Parque da Paz deve ser instalada garantindo que em locais de cruzamento ou instalação em paralelo de condutas de ARUT e condutas de água para consumo humano, sejam respeitados o posicionamento e os afastamentos mínimos impostos pela regulamentação em vigor (n.º 3 do artigo 24º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto).

As tubagens devem ser identificadas com sinalização semelhante à sinalização da Fig.6.16, ou seja, pintadas de cor roxa e com inscrições a alertar para o tipo de água que transportam.



Fig.6.16 – Tubagens, juntas e contadores de cor roxa utilizados na Florida, EUA

Os órgãos de controlo e comando do sistema de rega devem ser instalados de modo a que a sua operação seja feita apenas por pessoas afectas à instalação, tal como simulado na figura seguinte.



Fig.6.17 – Contador de água do Parque da Paz e válvulas de seccionamento (simulação das cores das válvulas, tubagem e contador de ARUT), com acesso permitido apenas a pessoas afectas aos serviços do Parque da Paz

#### **6.4.6.3 Realização das regas**

As regas devem continuar a ser executadas durante a noite, fora do horário de acesso ao público. Como a rega é feita por aspersão, o Parque da Paz deverá ter no mínimo um anemómetro amovível para medir a velocidade do vento junto de qualquer aspersor. Sempre que se detecte uma velocidade de vento com capacidade suficiente para arrastar as gotículas para fora da zona a regar, a rega não deverá ser iniciada e caso já tenha sido iniciada, deverá ser suspensa de imediato.

Durante as regas, caso exista algum trabalhador por perto, este deverá usar equipamento de protecção individual adequado para evitar o contacto com as águas residuais e evitar a inalação de aerossóis, nomeadamente, deverá utilizar uma máscara para protecção das vias respiratórias.

#### **6.4.6.4 Medidas de protecção da área envolvente**

Visto existirem zonas habitacionais na área envolvente do Parque da Paz (distância inferior a 50m), tal como referido na Norma NP 4434:2005, a área regada deve ser isolada com sebes ou cortinas de material adequado. Caso sejam utilizadas sebes, estas devem ter altura e constituição (tipo e densidade de ramagem e folhagem) adequadas à função pretendida e à rega por aspersão, de modo a formar uma barreira que evite o transporte das gotículas pelo vento. Tal não acontece actualmente uma vez que os arbustos plantados são ainda muito jovens.

A zona regada deve dispor de um sistema de drenagem superficial e subsuperficial que assegure a drenagem da água de rega excedente. Este sistema deve incluir uma vala de cintura para garantir a não ocorrência de escoamentos para o exterior da zona regada.

#### **6.4.6.5 Controlo da instalação**

A Divisão do Parque da Paz (Divisão da Câmara Municipal de Almada que gere o Parque da Paz) deverá controlar as quantidades de nutrientes e metais pesados veiculados pela ARUT. Para tal deverá obter regularmente dos SMAS de Almada (entidade gestora da ETAR da Mutela), os boletins de análise da qualidade da água. Deverá ainda ter, pelo menos no final de cada mês, um Mapa de Registo de Nutrientes e Metais Pesados Aplicados ao Solo (Fig.I.1, Anexo I), por cada parcela regada com ARUT, onde constem:

- o volume de água aplicado diariamente na parcela (incluindo eventuais consumos acidentais devidos a rupturas de condutas ou erros de operação);
- a concentração de fósforo, azoto e potássio presente na ARUT;
- a concentração dos metais pesados veiculados pela ARUT;
- as quantidades de nutrientes e metais pesados aplicados.

A Divisão do Parque da Paz deverá ainda possuir um Plano de Fertilização correspondente a toda a área regada. Este Plano de Fertilização deverá ser elaborado para cada parcela a regar com ARUT e deverá ser constituído por:

- um Boletim de Análise de Terra e/ou Boletins de Análise Foliar
- um Mapa de Cálculos das Quantidades de Nutrientes a Aplicar
- um Mapa de Programação da Fertilização (Fig.I.2 do Anexo I)
- um Mapa de Execução da Fertilização (Fig.I.3 do Anexo I)

#### **6.4.6.6 Monitorização**

A Divisão do Parque da Paz deverá dispor de um Plano de Monitorização Ambiental que inclua a identificação dos meios hídricos objecto de controlo, as metodologias a seguir na recolha e amostras de solos e águas, a localização dos pontos de monitorização, as determinações a efectuar e a periodicidade das mesmas.

Em termos de águas residuais, embora o controlo de qualidade da ARUT seja feito pela ETAR da Mutela, uma vez que existirá um armazenamento no Parque da Paz, a Divisão do Parque da Paz é responsável por fazer o controlo de qualidade da ARUT neste ponto.

No que diz respeito ao solo, a Divisão deverá efectuar anualmente a análise à terra, incluindo as determinações do fósforo e potássio assimiláveis, a matéria orgânica e o pH, com vista à elaboração do Plano de Fertilização das parcelas a regar.

Os teores de metais pesados no solo deverão ser analisados, no mínimo, a cada cinco anos. Caso sejam detectadas concentrações próximas do limite legislativo imposto, a periodicidade deverá ser entre um a dois anos.

A salinidade do solo deverá também ser pontualmente analisada caso o solo tenha salinidade na sua origem ou caso a análise da ARUT revele uma salinidade elevada.

De forma a monitorizar os meios hídricos deverão ser instalados piezómetros (de material não contaminante), que assegurem a recolha de amostras de água até uma profundidade de 1,8 metros. Estes devem ser instalados em zonas de concentração de águas escoadas superficialmente e subsuperficialmente, criando uma malha de pontos de monitorização adequada às características do Parque da Paz. A medição do nível freático e da salinidade (através da determinação da condutividade) deve ser efectuada mensalmente pela Divisão do Parque da Paz e registados no Mapa de Acompanhamento da Qualidade da Água no Solo (Fig.I.4, Anexo I).

## **6.4.7 Viabilidade técnico-económica relativamente aos custos de tratamento adicional, transporte e armazenamento**

### **6.4.7.1 Custos de investimento**

Para esta avaliação técnico-económica foram estabelecidos os seguintes critérios de dimensionamento:

- o tratamento adicional inclui: uma operação de filtração seguida de uma operação de desinfecção por radiação UV ou desinfecção por ozonização, ou um MBR, armazenamento num reservatório aberto com 470m<sup>3</sup>, elevação da ARUT com injeção de hipoclorito de sódio e adução durante 3km, para caudais na ordem dos 75m<sup>3</sup>/h;
- o funcionamento previsto para os equipamentos foi de 9 horas diárias;
- os custos de primeiro investimento associados às três tecnologias seleccionadas foram estimados em função da dimensão da ETAR da Mutela e do tratamento previsto para satisfação da qualidade recomendada pela NP 4434:2005;
- na desinfecção por UV considerou-se uma transmitância de 80%;
- os custos de investimento associados à construção civil são função do novo equipamento a adquirir, da construção da adutora da ETAR até ao Parque da Paz e da construção de um reservatório na ETAR da Mutela;
- considerou-se um horizonte de 30 anos para a vida útil das infra-estruturas;
- considerou-se um horizonte de 15 anos para a vida útil do equipamento.

Os estudos económicos para os três cenários apresentados encontram-se no Anexo II (Fig.I.1, Fig.I.2 e Fig.I.3).

No quadro seguinte encontram-se resumidos os custos estimados para o primeiro investimento em equipamento e construção civil para as três soluções em estudo.

Quadro 6.10 – Custos de investimento associados aos três cenários propostos

UV		Ozonização		MBR	
Investimento total (€)		Investimento total (€)		Investimento total (€)	
Equipamento	Construção civil	Equipamento	Construção civil	Equipamento	Construção civil
147.609	513.920	270.609	512.420	433.609	551.420

#### 6.4.7.2 Custos de exploração

Os custos de exploração foram estimados com base em indicadores para cada uma das três tecnologias em estudo, incluindo a conservação e manutenção, a energia eléctrica e os reagentes. Os custos do consumo de água, do controlo analítico e da mão-de-obra são considerados internalizados nos custos associados ao funcionamento da ETAR da Mutela. Os custos de exploração estimados foram actualizados a uma taxa de inflação de 3% ao ano.

Os custos de conservação e manutenção referem-se à construção civil e ao equipamento, tendo-se considerado que são função do valor do investimento inicial (1% e 2,5% ao ano, respectivamente). Os custos de energia eléctrica foram estimados com base no tempo de funcionamento dos equipamentos e respectivas potências, admitindo-se um custo de 0,07€/kWh. O custo dos reagentes foi obtido com base numa estimativa de consumo anual.

No Quadro 6.11 encontram-se os custos estimados de exploração, para as três soluções em estudo.

Quadro 6.11 – Custos de exploração associados aos três cenários propostos

UV	Ozonização	MBR
Custos de exploração (€/ano)	Custos de exploração (€/ano)	Custos de exploração (€/ano)
25.012	35.460	288.125

#### 6.4.7.3 Custos totais actualizados e tarifas

Do exposto anteriormente resultam os custos totais actualizados (Quadro 6.12) e as tarifas apresentadas no Quadro 6.13.

Quadro 6.12 – Custos totais actualizados associados aos três cenários propostos

UV	Ozonização	MBR
Custos totais (€)	Custos totais (€)	Custos totais (€)
960.120	1.206.344	4.424.642

Quadro 6.13 – Tarifas associadas aos três cenários propostos

UV	Ozonização	MBR
Tarifa (€/m <sup>3</sup> )	Tarifa (€/m <sup>3</sup> )	Tarifa (€/m <sup>3</sup> )
0,29	0,36	1,39

#### 6.4.7.4 Análise e discussão dos resultados

Nas duas figuras seguintes apresentam-se os custos do primeiro investimento e da exploração para as soluções de desinfecção por UV, por ozonização e MBR, todas contemplando a elevação e a adução. Na Figura 6.18 são apresentados os custos actualizados e na Figura 6.19 as tarifas, para os cenários em estudo.

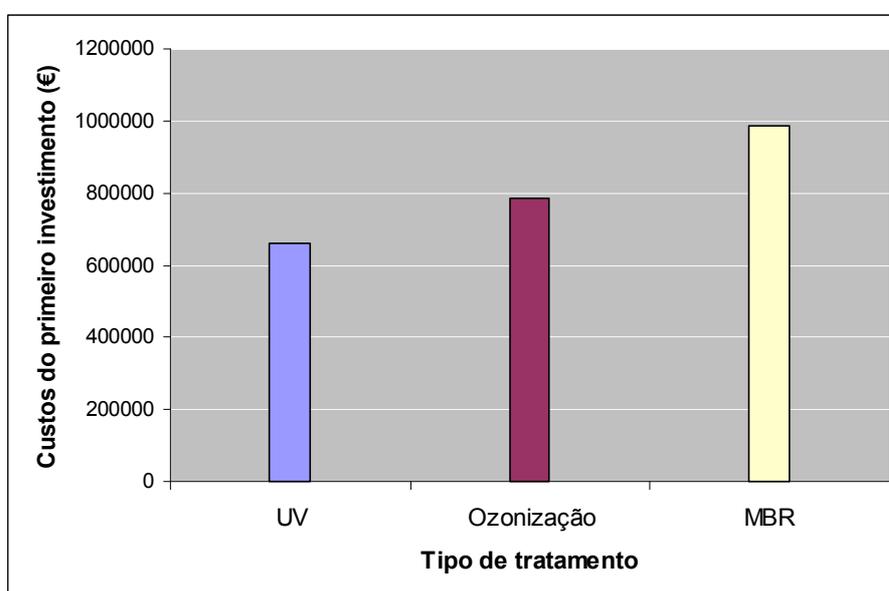


Fig.6.18 – Custos do primeiro investimento associados à desinfecção com UV, ozonização e MBR

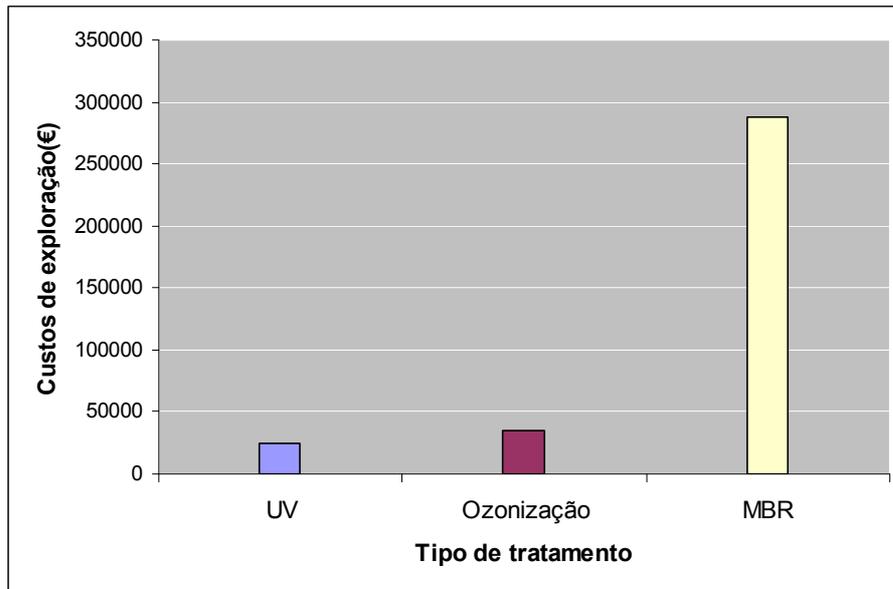


Fig.6.19 – Custos da exploração associados à desinfecção com UV, ozonização e MBR

Os custos totais actualizados e as tarifas são apresentados de seguida para volumes de 219.000m<sup>3</sup>/ano (consumo anual do Parque da Paz).

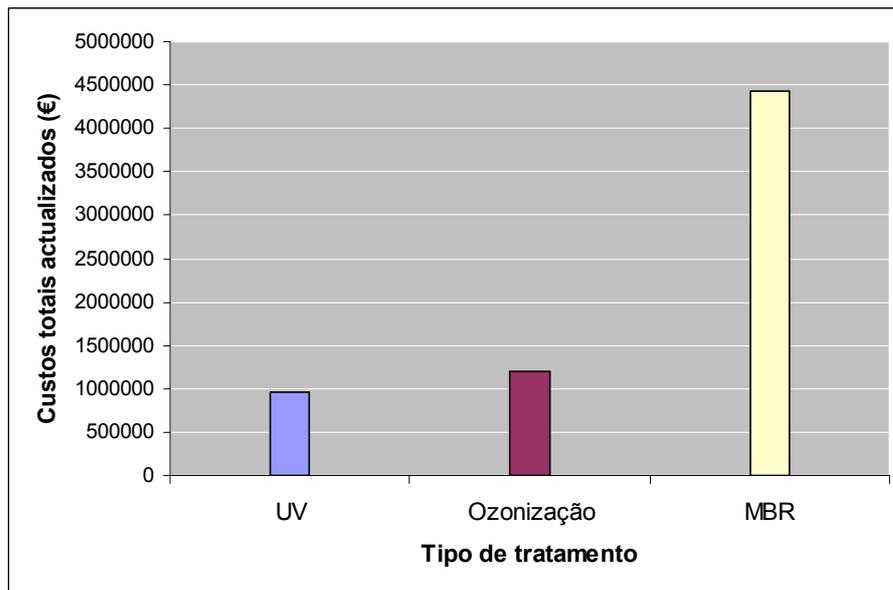


Fig.6.20 – Custos totais actualizados, associados à desinfecção com UV, ozonização e MBR

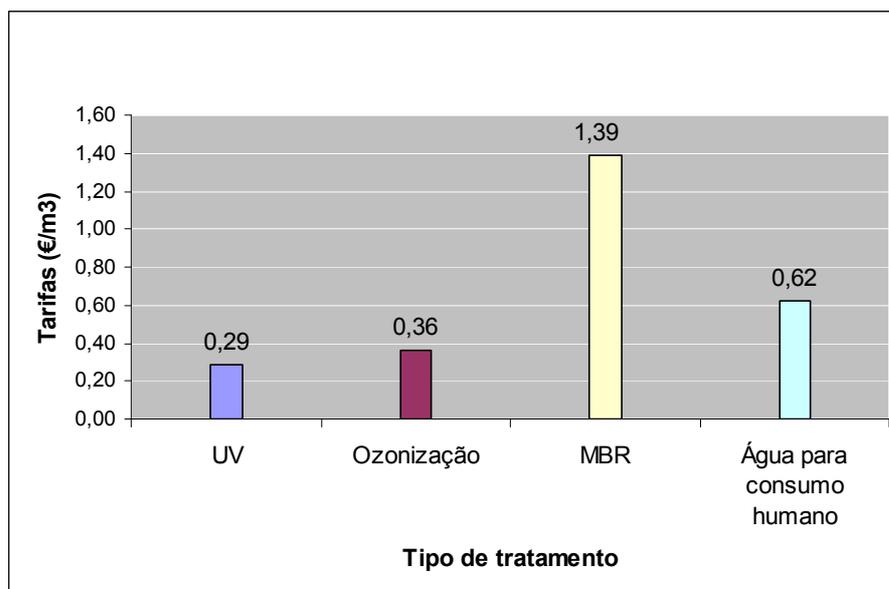


Fig.6.21 – Tarifas associadas à desinfecção com UV, ozonização e MBR, e a tarifa actual da água de abastecimento para usos municipais.

Da análise dos resultados obtidos realça-se os seguintes aspectos:

- os custos do primeiro investimento associados à desinfecção por ozonização são superiores aos custos da desinfecção por UV e os custos do primeiro investimento do MBR são muito superiores às tuas tecnologias anteriores;
- os custos de exploração associados à desinfecção por ozonização são superiores aos custos da desinfecção por UV, embora a diferença seja pouco acentuada. Os custos de exploração do MBR são muitíssimo superiores aos custos de exploração da ozonização ou da desinfecção por UV;
- os custos totais actualizados associados à desinfecção por ozonização são superiores aos custos da desinfecção por UV, sendo os custos totais actualizados de ambas as tecnologias bastante inferiores aos custos totais actualizados do MBR;
- as tarifas associadas à ozonização e à radiação UV são semelhantes, sendo a primeira ligeiramente superior. Ambas têm um valor bastante inferior à tarifa da água para consumo humano. A tarifa associada ao tratamento por MBR é muito elevada, sendo praticamente o dobro da tarifa da água para consumo humano.

No âmbito do estudo efectuado e com base nos critérios assumidos, as conclusões mais relevantes incluem os seguintes aspectos:

- os custos do primeiro investimento associados à ozonização são superiores em 16% aos custos do primeiro investimento associados à desinfecção por radiação ultravioleta; o mesmo acontece em relação aos custos de exploração, sendo a diferença mais acentuada (29%);

- os custos totais actualizados associados ao tratamento por ozonização são superiores aos custos totais actualizados associados ao tratamento por desinfecção com radiação ultravioleta, não sendo a diferença muito acentuada (20%);
- as tarifas associadas aos dois tratamentos de desinfecção são bastante competitivas, sendo a tarifa associada à desinfecção por radiação ultravioleta mais baixa; ambas as tarifas são substancialmente inferiores à tarifa da água para consumo humano camarária, sendo a tarifa do tratamento com radiação UV mais barata em cerca de 50%;
- o tratamento através de MBR não é competitivo para um projecto desta natureza, onde a qualidade da água que se pretende obter não tem que ser de qualidade elevada. Todos os custos são substancialmente superiores aos custos quer da ozonização quer da desinfecção com radiação UV.

Perante os resultados obtidos pode-se concluir que este projecto de reutilização de água é viável dos pontos de vista técnico e económico, tanto para a ETAR da Mutela como para o Parque da Paz, pois o Parque pouparia anualmente cerca de 100.000€ em despesas associadas à água para rega, assumindo que os SMAS de Almada aplicariam igualmente tarifas relativas à drenagem e ao tratamento da ARUT consumida no Parque da Paz (Quadro 6.14 e Quadro 6.15).

Quadro 6.14 – Custos totais em água para rega suportados pelo Parque da Paz actualmente

<b>Água para consumo humano</b>		
<b>Custo água para consumo humano/m<sup>3</sup></b>	0,62€	135.780€
<b>Drenagem</b>	0,4	54.312€
<b>Custo tratamento/m<sup>3</sup></b>	0,17€	37.230€
<b>Custos totais anuais</b>		<b>227.322€</b>

Quadro 6.15 – Custos totais em água para rega suportados pelo Parque da Paz se optar pela rega com ARUT

<b>Água Residual Tratada – tecnologia utilizada: desinfecção com radiação UV</b>		
<b>Custo ARUT/m<sup>3</sup></b>	0,29€	63.305€
<b>Drenagem</b>	0,4	25.322€
<b>Custo tratamento/m<sup>3</sup></b>	0,17€	37.230 €
<b>Custos totais anuais</b>		<b>125.857€</b>

## 6.5 OPINIÃO-PÚBLICA: INQUÉRITO AOS UTENTES DO PARQUE DA PAZ

A opinião pública pode ser um factor limitante ao avanço de um projecto de reutilização de águas residuais tratadas. Para avaliar a adesão do público a um projecto desta natureza efectuou-se um inquérito de forma a perceber as crenças e conhecimentos dos utentes do Parque da Paz, relativamente à reutilização de águas residuais.

Os dados existentes na Câmara Municipal de Almada relativos ao número de utentes do Parque da Paz indicam que durante um dia de fim-de-semana, com condições climatéricas favoráveis, pelo menos 500 utentes usufruem do Parque da Paz (entradas registadas nas instalações sanitárias).

Os inquéritos foram realizados em dois dias consecutivos de fim-de-semana.

A dimensão da amostra foi de 43 pessoas, composta por 23 homens e 20 mulheres (Fig.6.22), com idades compreendidas entre os 14 e os 70 anos, sendo a média de idades 40 anos (Fig.6.23).

**Distribuição da amostra por género**

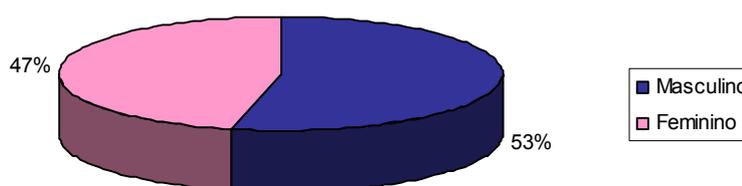


Fig.6.22 – Distribuição da amostra por género

**Idades da amostra**

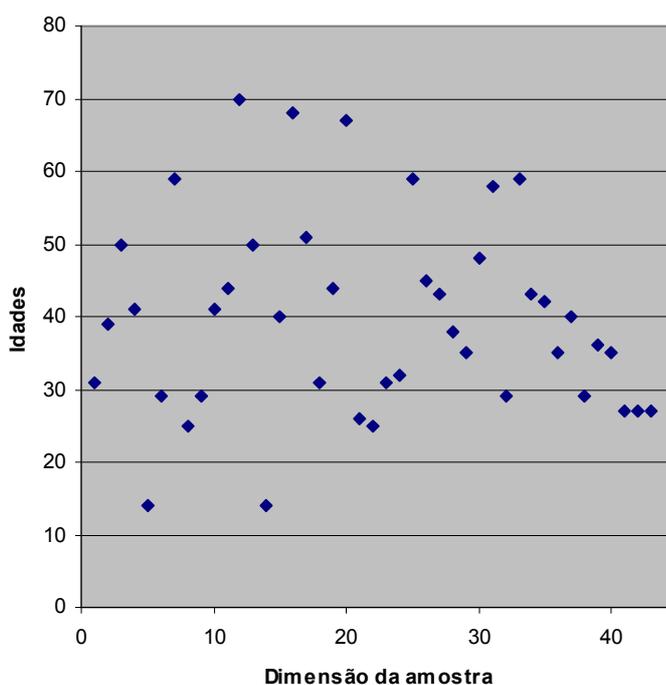


Fig.6.23 – Distribuição de idades da amostra

Em relação às habilitações literárias, pela análise da Figura 6.24, pode-se constatar que predominam os utentes com licenciatura ou o 12º ano.

**Habilitações literárias da amostra**

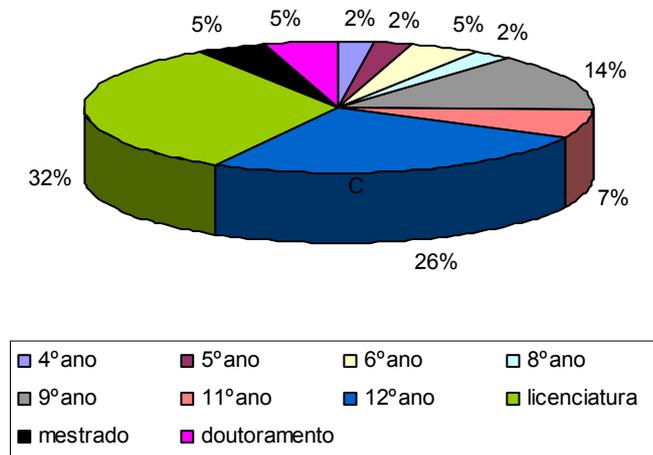


Fig.6.24 – Habilitações literárias da amostra

Colocou-se a seguinte questão aos inquiridos: “Sabe o que é uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)?”. Mais de metade dos inquiridos (65%) sabem o que é uma ETAR e 33% têm uma ideia (Fig.6.25).

**Sabe o que é uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)?**

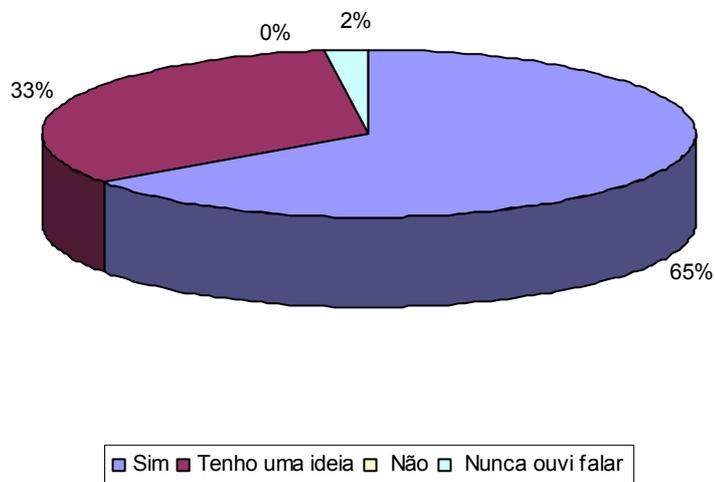


Fig.6.25 – Resultados sobre o conhecimento de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais

Os utentes do Parque da Paz foram depois questionados acerca do conhecimento da expressão *reutilização de águas residuais tratadas*. Pela análise da Figura 6.26 pode-se verificar que 42% da amostra já ouviu falar, 35% conhece plenamente a expressão, 14% não conhece e 9% nunca ouviu falar. Dos que já tinham ouvido falar ou conheciam, a maioria referiu a televisão, o jornal ou *outra* como fontes principais de conhecimento daquela expressão. As fontes apontadas como *Outra* foram, sobretudo, a actividade profissional e as conversas sociais (conhecidos, amigos e familiares).

**Conhece a expressão: *reutilização de águas residuais tratadas*?**

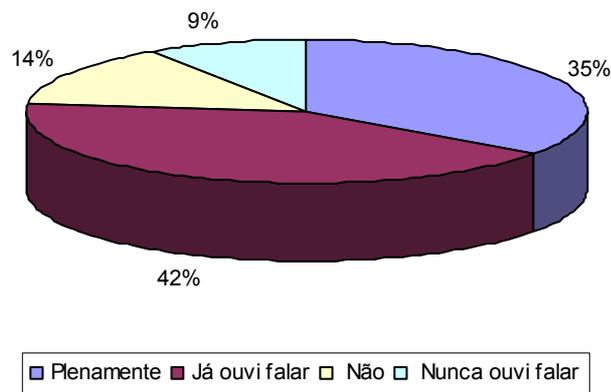


Fig.6.26 – Resultados sobre o conhecimento da expressão *reutilização de águas residuais tratadas*

A questão seguinte foi sobre as aplicações que a reutilização das águas residuais tratadas poderão ter. A Figura 6.27 revela que 53% dos inquiridos referiu a rega de jardins e campos agrícolas, os restantes indicaram a lavagem de carros e usos domésticos não potáveis, entre outros usos possíveis.

### Usos possíveis para reutilização de águas residuais tratadas

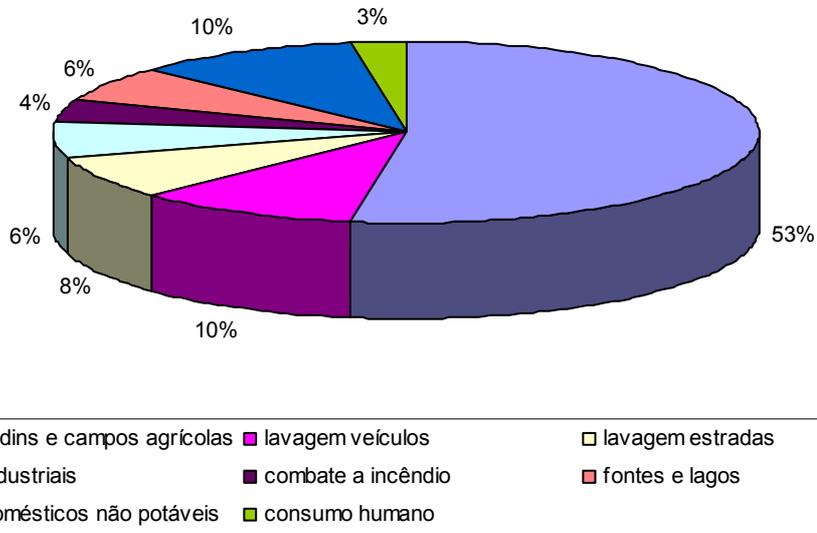


Fig.6.27 – Resultados sobre os usos possíveis para a reutilização de águas residuais tratadas

Quando inquiridos sobre as vantagens da reutilização de águas residuais tratadas, 79% da amostra referiu a poupança de água potável, havendo alguns utentes que referiram as vantagens económicas, a minimização da poluição e outros ainda a reciclagem da água (Fig.6.28).

### Vantagens da reutilização de águas residuais tratadas

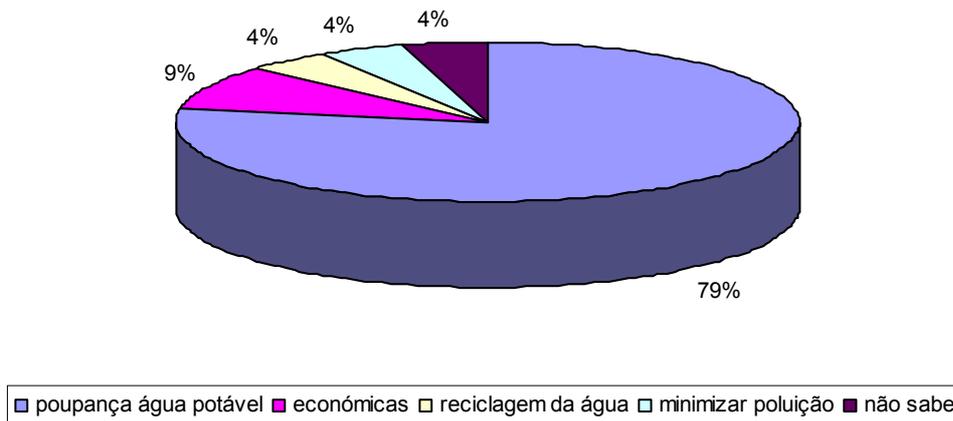


Fig.6.28 – Resultados sobre as vantagens da reutilização de águas residuais tratadas

Quando questionados se concordavam com a rega do Parque da Paz recorrendo a águas residuais tratadas, 70% da amostra disse concordar plenamente, 28% concordava e 2% dos inquiridos discordavam (Fig.6.29).

**Desde que fosse garantida a saúde dos utentes do Parque da Paz, concordaria que a rega do mesmo fosse feita com águas residuais tratadas?**

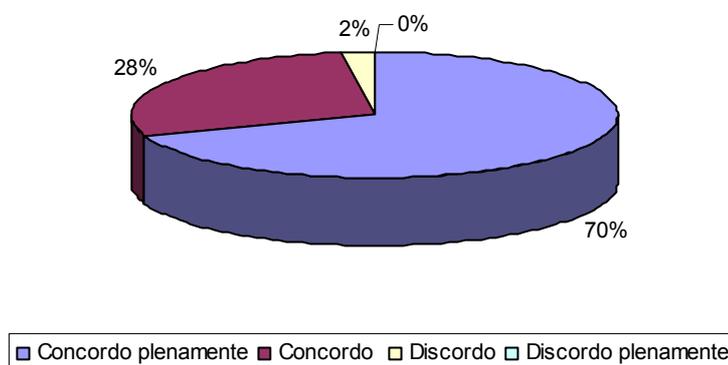


Fig.6.29 – Resultados sobre a opinião relativa à rega do Parque da Paz com águas residuais tratadas

A última questão referia-se às preocupações dos utentes, caso o Parque da Paz viesse a ser regado com águas residuais tratadas. Os resultados são apresentados na Figura 6.30. A principal preocupação referida por 53% da amostra foi a garantia da qualidade da água para rega. Houve 14% de utentes que disseram não ter qualquer tipo de preocupação. A protecção das espécies vegetais e a transmissão de doenças foram referidas por 9% dos utentes e 5% dos utentes referiu a garantia de não ingestão da água de rega e também os odores.

**Preocupações relativas à rega do Parque da Paz com águas residuais tratadas**

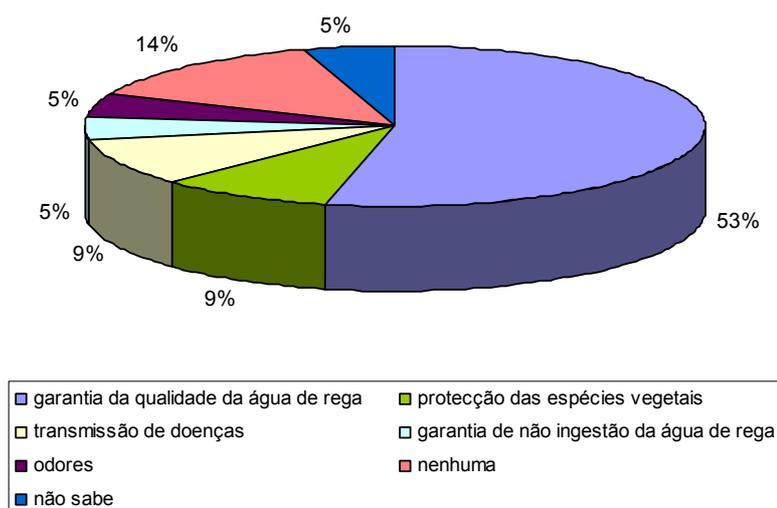


Fig.6.30 – Resultados das preocupações relativas à rega do Parque da Paz com águas residuais tratadas

Dos resultados obtidos no inquérito aos utentes do Parque da Paz, foi interessante constatar que a sua opinião é bastante favorável à rega recorrendo a águas residuais tratadas. É de ressaltar que os

resultados obtidos poderão ser apenas uma declaração de intenções e que na prática as preocupações dos utentes sejam superiores.

Este projecto, a ser implementado, deverá ser acompanhado de um projecto de educação ambiental que poderá incluir folhetos informativos, artigos na imprensa local e sessões de esclarecimento periódicas. Os valores das análises da água para rega deverão ser publicados no site dos SMAS de Almada, assim como no Boletim Municipal e afixados no Parque da Paz, por exemplo junto das plantas de localização já existentes (Fig.6.31).



Fig.6.31 – Plantas de localização existentes no Parque da Paz

## 7 CONCLUSÕES

Nesta dissertação constata-se que a população mundial não olha mais para a água como um recurso natural inesgotável. Um pouco por todo o Mundo têm surgido projectos de reutilização de águas residuais, essencialmente aplicados à agricultura e à indústria, de modo a que as reservas de água potável possam ser exclusivamente direccionadas para o consumo humano.

A viabilidade de um projecto de reutilização de águas residuais depende de vários aspectos, não só ambientais como também económico-financeiros e socioculturais. Só a integração destes factores permitirá o sucesso de um projecto desta natureza. Os benefícios que daí advêm são inúmeros, podendo-se destacar a poupança de água potável para consumo humano e a redução da poluição nos meios hídricos, receptores actuais das descargas dos efluentes.

Em Portugal as potencialidades da reutilização de ARUT são, essencialmente, as aplicações na agricultura e na indústria, em particular nas regiões do nordeste do país e nas regiões abaixo do rio Tejo, onde se têm verificado recorrentemente períodos de seca.

A protecção da saúde pública e do ambiente são assumidamente os pontos essenciais a considerar neste tipo de projectos, o que levou à elaboração, em Portugal, de dois documentos de extrema relevância. Um deles é a Norma Portuguesa sobre a Reutilização de ARUT para rega (NP4434:2005), que traça as linhas de orientação sobre a qualidade da água para rega, a escolha das tecnologias de rega, a gestão dos impactes ambientais, a protecção da saúde pública e os aspectos de controlo e monitorização. O outro documento de referência é a Recomendação n.º 02/2007 do Instituto Regulador de Águas e Resíduos, dirigido às entidades gestoras dos sistemas de saneamento de águas residuais urbanas. Não obstante a existência destas importantes ferramentas há aspectos que continuam por esclarecer, nomeadamente, no que respeita à segurança e técnicas de controlo da qualidade da ARUT nos sistemas de distribuição e da gestão do armazenamento.

Relativamente às tecnologias de desinfecção disponíveis para tratamento de afinação das águas residuais, os bio-reactores de membranas, para usos onde se pretenda uma água com qualidade para rega, não são ainda economicamente competitivos face à desinfecção por radiação UV ou à ozonização.

Portugal é um país que poderá facilmente apostar na reutilização de águas residuais, pois grande parte das ETAR já efectua o tratamento secundário do efluente e, muitas das que foram construídas a partir do início do século XXI, apresentam um sistema de desinfecção a jusante do tratamento secundário ou até mesmo um tratamento terciário. Neste sentido o investimento inicial para tratamentos de afinação com vista à reutilização não será demasiado elevado. Estes custos dependerão obviamente de variados factores, que precisam ser avaliados caso a caso, como por exemplo, o caudal disponível na ETAR, as opções de armazenamento, a distância aos pontos de aplicação ou a orografia do terreno.

Com o estudo efectuado, conclui-se que o projecto de reutilização de águas residuais para rega do Parque da Paz, em Almada, será viável não só do ponto de vista económico, como também do ponto de vista ambiental e social. Por um lado, a ARUT poderá ter um custo cerca de 50% inferior ao custo da água para consumo camarário. Por outro lado, a quantidade de nutrientes veiculados pela ARUT não provoca impactes negativos na flora existente no Parque e consegue-se uma efectiva reutilização dos recursos hídricos.

A opinião pública é um factor muito importante que não pode ser de modo algum desvalorizado. Principalmente em aplicações de ARUT em zonas onde o acesso ao público não seja condicionado, é necessário um projecto de educação ambiental bem estruturado. No caso dos utentes do Parque da Paz foi notória, na amostra inquirida, uma aceitação muito elevada relativamente à reutilização da água e à rega dos espaços verdes como aplicação principal da ARUT.

Em termos de políticas governamentais existe um longo caminho a percorrer. É necessário estipular metas e criar incentivos, à semelhança do que foi feito em relação aos resíduos de embalagens. A Directiva Europeia 91/272/EEC refere apenas que *se reutilizem as águas residuais sempre que possível*. Esta recomendação é extremamente vaga e foi aplicada na legislação portuguesa, no Decreto-Lei n.º152/97 sem qualquer tipo de objectivo mais concreto.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] US EPA – *Guidelines for Water Reuse* – US Agency for International Development, Technical Report No. EPA/625/R-92/004, 1992
- [2] Bixio, D., Thoeve, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T., *Water Reuse in Europe*, Desalination, 187 (2006) 89-101.
- [3] *Organisation for Economic Co-operation and Development, Water – Performance and challenges in the OECD countries*, Environmental Performance Reviews, 2003.
- [4] Waterlines 2004
- [5] Zhang, Y., Chen, X., Zheng, X., Zhao, J., Sun, Y., Zhang, X., Ju, Y., Shang, W., Liao, F., *Review of water reuse practices and development in China*, Water Science & Technology Vol 55 No 1–2 pp 495–502 Q IWA Publishing 2007.
- [6] Australian Guidelines for water recycling
- [7] *Water Reuse for Florida: Strategies for Effective Use of Reclaimed Water* (2003)
- [8] *Water Reuse in Texas*, Vol. XI, No. 2 - A quarterly publication of the Texas Water Development Board - Spring 2001
- [9] Hespanhol, I., *Wastewater as a resource for beneficial uses in Brazil*, Conferência de Chefes de Estado da América do Sul e dos Países Árabes, 2004
- [10] *Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean*, UNEP International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga, Japan, 1997
- [11] *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*, 2006
- [12] Stagnitti F., Hamilton, A., Versace, V., Lerodiaconou, D., *Wastewater reuse: Environmental Impacts and Risk Assessment*, 1998
- [13] Beltrão, J., *A reutilização de águas residuais em Portugal*, Faculdade de Engenharia e Recursos Naturais, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas.
- [14] Marecos do Monte M.H., *Reutilização de Águas Residuais para Usos Urbanos, Industriais, Recreativos e Ambientais*, Curso sobre Reutilização de Águas Residuais, ABOUTBLUE. 2007
- [15] Mano, António P., Pombo, Sónia C., Barros, Lídia C., *Reutilização de Água Residual Urbana Tratada para Rega*, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- [16] Instituto Português da Qualidade, *Norma Portuguesa sobre Reutilização de Águas Residuais Urbanas Tratadas na Rega*, NP 4434, IPQ, Caparica. 2006
- [17] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4ª Edição. McGraw-Hill, New York

- [18] Bixio, D., Wintgens, T., *Water Reuse System Management Manual – AQUAREC 2006*
- [19] Zhiqiang Liua, Miao Qunb, Wenchao Anc, Zhenai Sund, *An application of membrane bio-reactor process for the wastewater treatment of Qingdao International Airport*, *Desalination* 202 (2006) 144–149
- [20] Correia, M., *Reutilização de Águas Residuais – Reserva e Distribuição*, Curso sobre Reutilização de Águas Residuais, ABOUTBLUE. 2007
- [21] SOUTH BAY RECYCLING PROGRAM, *Rules and Regulations for Design and Operation of On-Site Recycled Water Facilities*, San Francisco Bay Regional Water Quality Board
- [22] Quelhas dos Santos, J., *Campos de Golfe: A Fertilização e a Qualidade do Ambiente*,

## 9 ANEXO I – QUADROS E FIGURAS INFORMATIVAS

Quadro I.1 – Qualidade das águas destinadas à rega

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMR	VMA
Alumínio (Al)	mg/L	5,0	20
Arsénio (As)	mg/L	0,10	10
Bário (Ba)	mg/L	1,0	
Berílio (Be)	mg/L	0,5	1,0
Boro (B)	mg/L	0,3	3,75
Cádmio (Cd)	mg/L	0,01	0,05
Chumbo (Pb)	mg/L	5,0	20
Cloretos (Cl)	mg/L	70	-
Cobalto (Co)	mg/L	0,05	10
Cobre (Cu)	mg/L	0,20	5,0
Crómio total (Cr)	mg/L	0,10	20
Estanho (Sn)	mg/L	2,0	
Ferro (Fe)	mg/L	5,0	
Flúor (F)	mg/L	1,0	15
Lítio (Li)	mg/L	2,5	5,8
Manganês (Mn)	mg/L	0,20	10
Molibdénio (Mo)	mg/L	0,005	0,05
Níquel (Ni)	mg/L	0,5	2,0
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/L	50	
Selénio (Se)	mg/L	0,02	0,05
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/L	575	
Vanádio (V)	mg/L	0,10	1,0
Zinco (Zn)	mg/L	2,0	10,0

Quadro I.1 – Qualidade das águas destinadas à rega  
(continuação)

Parâmetros		Expressão dos resultados	VMR	VMA
Salinidade	CE	dS/m	1	
	SDT	mg/L	640	
SAR		adimensional		8
Sólidos Suspensos Totais (SST)		mg/L	60	
pH		Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0
Coliformes fecais		unidades/100mL	100	
Ovos de parasitas intestinais		unidades/L		1
<b>Fonte:</b> Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto				

Quadro I.2 – Métodos, processos e tipos de rega potencialmente utilizáveis num sistema de rega com águas residuais urbanas tratadas

Métodos de rega	Processos e tipos de rega
Escorrimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Regadeiras de nível</li> <li>▪ Regadeiras inclinadas</li> <li>▪ Planos inclinados</li> <li>▪ Faixas</li> </ul>
Infiltração	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caldeiras</li> <li>▪ Sulcos</li> <li>▪ Rega subterrânea</li> <li>▪ Rega gota-a-gota               <ul style="list-style-type: none"> <li>- superficial</li> <li>- subterrânea</li> </ul> </li> </ul>
Aspersão	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aspersão convencional               <ul style="list-style-type: none"> <li>- com equipamento estacionário</li> <li>- com equipamento semovente</li> </ul> </li> <li>▪ Mini-aspersão               <ul style="list-style-type: none"> <li>- estática ou micro-aspersão</li> <li>- dinâmica</li> </ul> </li> </ul>

Quadro I.3 – Valores máximos admissíveis para concentrações de metais pesados nos solos a regar com águas residuais tratadas (mg/kg solo seco)

Metal	pH do solo		
	< 5,5	5,5 a 7,0	> 7,0*
Cádmio (Cd)	1	3	4
Chumbo (Pb)	50	300	450
Cobre (Cu)	50	100	200
Crómio (Cr)	50	200	300
Mercúrio (Hg)	1	1,5	2
Níquel (Ni)	30	75	110
Zinco (Zn)	150	300	450

\*Não aplicável para culturas destinadas a consumo humano ou pastagens. Para estes casos aplicam-se os valores referentes aos solos com pH entre 5,5 e 7,0

Quadro I.4 – Métodos analíticos de referência e frequência mínima de amostragem das águas destinadas à rega

Parâmetros		Expressão dos resultados	Métodos analíticos de referência	Periodicidade mínima *
Alumínio (Al)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica ou absorção molecular	(1)
Arsénio (As)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica ou absorção molecular	(1)
Bário (Ba)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica	(1)
Berílio (Be)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica	(1)
Boro (B)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica ou absorção molecular	(1)
Cádmio (Cd)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica ou polarografia	(1)
Chumbo (Pb)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica Polarografia	(1)
Cloretos (Cl)		mg/L	Titulação (método de Mohr) ou espectrometria de absorção molecular	Semestral <sup>(2)</sup>
Cobalto (Co)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica	(1)
Cobre (Cu)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica ou espectrometria de absorção molecular ou polarografia	(1)
Crómio total (Cr)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica ou espectrometria de absorção molecular	(1)
Ferro (Fe)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica depois de filtração sobre membrana filtrante (0,45 µm) ou espectrometria de absorção molecular depois de filtração sobre membrana filtrante (0,45 µm)	(1)
Flúor (F)		mg/L	Espectrometria de absorção molecular ou eléctrodos específicos	(1)
Lítio (Li)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica	(1)
Manganês (Mn)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica Espectrometria de absorção	(1)
Molibdénio (Mo)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica	(1)
Níquel (Ni)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica	(1)
Nitrato (NO <sub>3</sub> )		mg/L	Espectrometria de absorção ou eléctrodos específicos	(1)
Selénio (Se)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica	(1)
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )		mg/L	Gravimetria ou complexometria ou espectrometria	(1)
Vanádio (V)		mg/L	Absorção atômica	(1)
Zinco (Zn)		mg/L	Espectrometria de absorção atômica ou espectrometria de absorção molecular	(1)
Salinidade	CE	dS/m	Electrometria	Semestral <sup>(2)</sup>
	SDT	mg/L	Secagem a 180°C e pesagem	

Quadro I.4 – Métodos analíticos de referência e frequência mínima de amostragem das águas destinadas à rega (continuação)

Parâmetros	Expressão dos resultados	Métodos analíticos de referência	Periodicidade mínima *
SAR	adimensional	$SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$ **	Semestral <sup>(2)</sup>
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	Centrifugação (tempo mínimo de 5 minuto; aceleração média de 2800g a 3000g), secagem a 105°C e pesagem ou filtração através da membrana filtrante de 0,45 µm, secagem a 105°C e pesagem	(1)
pH	Escala de Sorensen	Electrometria	Semestral <sup>(2)</sup>
Coliformes fecais	unidades/100mL	Fermentação em tubos múltiplos e subcultura dos tubos positivos em meios de confirmação. Determinação por NMP	(1)
Ovos de parasitas intestinais	unidades/L	Contagem com o auxílio de microscópio	(1)
<p>* Quando não se verifique a conformidade da água para rega, de acordo com o disposto no n.º 2 do artigo 61º, deve a DRAg definir o prazo para novas amostragens.</p> <p>** Concentração dos cationes expressa em meq/L.</p> <p><sup>(1)</sup> As águas doces para rega não apresentam normalmente teores elevados desse elemento, pelo que se recomenda uma análise de despistagem. Sempre que haja degradação da água de rega, devem as DRA, com base na fonte poluidora, definir a frequência de amostragem, após parecer das DRAg.</p> <p><sup>(2)</sup> Quando, em dois anos consecutivos, os resultados analíticos forem inferiores ou iguais ao valor máximo recomendado (VMR) e não se verificar nenhum fenómeno susceptível de provocar uma degradação da qualidade da água, recomenda-se como frequência mínima de amostragem uma vez por ano (durante o período de rega). No entanto as DRA podem definir outra frequência de amostragem, após parecer da DRAg.</p>			











## 10 ANEXO II – ESTUDO ECONÓMICO

FILTRAÇÃO+UV								
Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)	Caudal (m <sup>3</sup> /ano)	I.C.F. (€)	Custos de Exploração(€)	Custo Total(€)	Factor de Actualização(€)	Custos Totais Actualizados(€)	
0	2008	600	219000	661.529 €		661.529 €	1,00	661.529 €
1	2009	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,97	24.284 €
2	2010	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,94	23.576 €
3	2011	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,92	22.890 €
4	2012	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,89	22.223 €
5	2013	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,86	21.576 €
6	2014	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,84	20.947 €
7	2015	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,81	20.337 €
8	2016	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,79	19.745 €
9	2017	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,77	19.170 €
10	2018	600	219000		25.012 €	25.012 €	0,74	18.611 €
11	2019	500	182500		25.012 €	25.012 €	0,72	18.069 €
12	2020	500	182500		25.012 €	25.012 €	0,70	17.543 €
13	2021	500	182500		25.012 €	25.012 €	0,68	17.032 €
14	2022	500	182500		25.012 €	25.012 €	0,66	16.536 €
15	2023	500	182500		25.012 €	25.012 €	0,64	16.054 €
<b>Somatório</b>	<b>8500</b>	<b>3321500</b>						<b>960.122 €</b>
<b>Total construção</b>				513.920 €				
<b>Total equipamentos</b>				147.609 €				
<b>ICF</b>				661.529 €				
<b>Custos de exploração</b>				25.012 €				
<b>Custos totais actualizados</b>				960.122 €				
<b>Custos Actualizados/m3.ano</b>				0,29 €				
<b>Custos para o Parque/ano (até ao ano 10)</b>				63.304,77 €				
<b>Custos para o Parque/ano (depois do ano 10)</b>				52.753,97 €				

Fig.II.1 – Estudo económico para o cenário I

FILTRAÇÃO+OZONIZAÇÃO								
Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)	Caudal (m <sup>3</sup> /ano)	I.C.F. (€)	Custos de Exploração(€)	Custo Total(€)	Factor de Actualização(€)	Custos Totais Actualizados(€)	
0	2008	600	219000	783.029 €		1,00	783.029 €	
1	2009	600	219000		35.460 €	0,97	34.427 €	
2	2010	600	219000		35.460 €	0,94	33.424 €	
3	2011	600	219000		35.460 €	0,92	32.451 €	
4	2012	600	219000		35.460 €	0,89	31.505 €	
5	2013	600	219000		35.460 €	0,86	30.588 €	
6	2014	600	219000		35.460 €	0,84	29.697 €	
7	2015	600	219000		35.460 €	0,81	28.832 €	
8	2016	600	219000		35.460 €	0,79	27.992 €	
9	2017	600	219000		35.460 €	0,77	27.177 €	
10	2018	600	219000		35.460 €	0,74	26.385 €	
11	2019	500	182500		35.460 €	0,72	25.617 €	
12	2020	500	182500		35.460 €	0,70	24.871 €	
13	2021	500	182500		35.460 €	0,68	24.146 €	
14	2022	500	182500		35.460 €	0,66	23.443 €	
15	2023	500	182500		35.460 €	0,64	22.760 €	
<b>Somatório</b>		<b>8500</b>	<b>3321500</b>				<b>1.206.344 €</b>	
<b>Total construção</b>				512.420 €				
<b>Total equipamentos</b>				270.609 €				
<b>ICF</b>				783.029 €				
<b>Custos de exploração</b>				35.460 €				
<b>Custos totais actualizados</b>				1.206.344 €				
<b>Custos Actualizados/m3.ano</b>				0,36 €				
<b>Custos para o Parque/ano (até ao ano 10)</b>				79.539,16 €				
<b>Custos para o Parque/ano (depois do ano 10)</b>				66.282,63 €				

Fig.II.2 – Estudo económico para o cenário II

MBR								
Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /dia)	Caudal (m <sup>3</sup> /ano)	I.C.F. (€)	Custos de Exploração(€)	Custo Total(€)	Factor de Actualização(€)	Custos Totais Actualizados(€)	
0	2008	600	219000	985.029 €		1,00	985.029 €	
1	2009	600	219000		288.125 €	0,97	279.733 €	
2	2010	600	219000		288.125 €	0,94	271.585 €	
3	2011	600	219000		288.125 €	0,92	263.675 €	
4	2012	600	219000		288.125 €	0,89	255.995 €	
5	2013	600	219000		288.125 €	0,86	248.539 €	
6	2014	600	219000		288.125 €	0,84	241.300 €	
7	2015	600	219000		288.125 €	0,81	234.272 €	
8	2016	600	219000		288.125 €	0,79	227.448 €	
9	2017	600	219000		288.125 €	0,77	220.824 €	
10	2018	600	219000		288.125 €	0,74	214.392 €	
11	2019	500	182500		288.125 €	0,72	208.147 €	
12	2020	500	182500		288.125 €	0,70	202.085 €	
13	2021	500	182500		288.125 €	0,68	196.199 €	
14	2022	500	182500		288.125 €	0,66	190.484 €	
15	2023	500	182500		288.125 €	0,64	184.936 €	
<b>Somatório</b>		<b>8500</b>	<b>3321500</b>				<b>4.424.642 €</b>	
<b>Total construção</b>				551.420 €				
<b>Total equipamentos</b>				433.609 €				
<b>ICF</b>				985.029 €				
<b>Custos de exploração</b>				288.125 €				
<b>Custos totais actualizados</b>				4.424.642 €				
<b>Custos Actualizados/m3.ano</b>				1,39 €				
<b>Custos para o Parque/ano (até ao ano 10)</b>				304.874,65 €				
<b>Custos para o Parque/ano (depois do ano 10)</b>				254.062,21 €				

Fig.II.3 – Estudo económico para o cenário III



