



Universidade do Algarve

Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais

**Viabilização da reutilização de efluente tratado,
usos, aplicações e respectivos impactos na gestão
dos mesmos**

Bruno Filipe de Matos Lopes da Costa

Mestrado em Engenharia Biológica

2008



Universidade do Algarve

Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais

**Viabilização da reutilização de efluente tratado, usos,
aplicações e respectivos impactos na gestão dos mesmos**

Bruno Filipe de Matos Lopes da Costa

Mestrado em Engenharia Biológica

Orientador externo

Engenheira Cristina Santos

Orientador interno

Professora Lídia Dionísio

2008

Resumo

A escassez de água é uma problemática cada vez mais presente nos dias de hoje, com impacto na gestão dos recursos hídricos. Torna-se, assim, necessário adoptar estratégias que combatam este problema. Uma dessas estratégias, a qual é também o objectivo deste trabalho, passa pelo estudo e implementação de um sistema que viabilize a reutilização de água residual tratada na ETAR de Fernão Ferro para rega paisagística. No sentido de obter um correcto enquadramento técnico e legal desta aplicação, realizou-se uma revisão bibliográfica das técnicas e metodologias utilizadas para reutilização de água residual tratada em Portugal e no Mundo. É descrito um caso de estudo de viabilização da reutilização de água residual tratada para possível aplicação em rega de campos de golfe, recorrendo a uma análise estatística dos principais parâmetros físico-químicos do efluente final, assim como um estudo técnico-económico da sua aplicação. Os estudos efectuados permitiram concluir que 81%, 2% e 19% do total de determinações de coliformes fecais, SST e salinidade respectivamente, se encontram acima dos valores máximos recomendados pela legislação. Face ao investimento calculado e respectivo tarifário apresentado, conclui-se que os potenciais utilizadores desta água poderão beneficiar de uma poupança de entre 85 a 94% dos custos associados ao consumo de água para rega.

Palavras-chave: águas residuais, reutilização, rega, microrganismos patogénicos, desinfecção, benefícios, riscos, regulamentação.

Abstract

Nowadays, the lack of water is an increasingly problematic issue, with a huge impact on water resources management. Therefore, it is necessary to adopt strategies in order to solve this problem. One of these strategies, which is also the main aim of this work, is related with the study and implementation of a system that allows the reuse of wastewater treated by the Fernão Ferro wastewater treatment plant for landscape irrigation. In order to obtain a proper legal and technical framework of this application, it was made a literature review of the techniques and methodologies used for reuse of treated wastewater in Portugal and all around the world. It is described a study case of feasibility of treated wastewater reuse for possible use in golf courses irrigation, bearing in mind a statistical analysis of the main physical and chemical parameters of the final effluent as well as a techno-economic study of its application. Studies showed that 81%, 2% and 19% of all determinations of fecal coliforms, SST and salinity respectively, are above the maximum recommended by law. Due to the investment calculated and to the tariff presented, it appears that potential users of water may benefit from savings of between 85 to 94% of the costs associated with the consumption of water for irrigation.

Keywords: wastewater, reuse, irrigation, pathogens, disinfection, benefits, risks, regulation.

Índice

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJECTIVOS	2
3 – REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	3
3.1 – APLICAÇÕES DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS	6
3.2 – REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS PARA REGA	7
3.2.1 – <i>Influência dos principais parâmetros físico-químicos das águas residuais para rega</i>	8
3.2.1.1 - <u>Salinidade</u>	8
3.2.1.2 – <u>Nutrientes</u>	11
3.2.1.3 – <u>Azoto</u>	11
3.2.1.4 – <u>Fósforo</u>	12
3.2.1.5 – <u>Potássio</u>	13
3.2.1.6 – <u>Micronutrientes</u>	13
3.2.2 – <i>Avaliação da quantidade de nutrientes a aplicar na rega</i>	14
3.2.3 – <i>Influência dos parâmetros microbiológicos das águas residuais para rega</i>	15
3.2.3.1 – <i>Meios de transmissão de patogénicos com águas residuais tratadas</i>	17
3.2.3.2 – <i>Indicadores de contaminação microbiológica</i>	18
3.2.3.3 – <i>Medidas e processos para remoção de microrganismos patogénicos</i>	19
3.2.3.3.1 – <i>Tecnologias de desinfecção</i>	20
3.3 – DISTRIBUIÇÃO E GESTÃO NA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS PARA REGA.....	21
3.3.1 - <i>Segurança</i>	22
3.3.2 – <i>Armazenamento das águas residuais a reutilizar para rega</i>	23
3.3.3 – <i>Gestão sustentável de água para rega</i>	25
3.3.4 – <i>Tipos de rega</i>	26
3.3.4.1 – <i>Descrição dos tipos de rega mais comuns</i>	27
3.4 – REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS NO MUNDO – PERSPECTIVA HISTÓRICA E FUTURA	30
3.4.1 – <i>Continente Europeu</i>	32
3.4.2 – <i>Continente Americano</i>	32
3.4.3 – <i>Continente Africano</i>	34
3.4.4 – <i>Continente Asiático e Médio Oriente</i>	35
3.4.5 – <i>Oceânia</i>	36
4 – ESTUDOS NECESSÁRIOS PARA VIABILIZAÇÃO DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS	37
4.1 – ESTUDOS SOCIAIS	37
4.2 – ESTUDOS ECONÓMICO-FINANCEIROS	38
4.3 – ESTUDOS DE CARÁCTER LEGAL E REGULAMENTAR	38
5 – AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS E RISCOS ASSOCIADOS REGA COM ÁGUAS RESIDUAIS EM PORTUGAL	39
6 – REGULAMENTAÇÃO E RECOMENDAÇÕES À REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS PARA REGA EM PORTUGAL	41
6.1 – NORMA PORTUGUESA – REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS NA REGA – NP 4434:2005	42
6.1.1 - <i>Requisitos de qualidade mínima nas águas residuais urbanas para rega</i>	42
6.1.2 - <i>Critérios na escolha de métodos e tipos de equipamento para rega</i>	43
6.1.3 – <i>Procedimentos relativos ao método de rega</i>	43
6.1.4 - <i>Procedimentos para protecção ambiental</i>	46
6.1.5 - <i>Procedimentos de monitorização ambiental</i>	48
6.2 – RECOMENDAÇÃO N.º 02/2007 DO INSTITUTO REGULADOR DE ÁGUAS E RESÍDUOS (IRAR) – UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS	49
6.2.1 – <i>Utilização de Águas Residuais Tratadas</i>	49
6.2.2 – <i>Produção e Distribuição de Águas Residuais Para Reutilização</i>	50
6.2.3 – <i>Controlo de Qualidade</i>	50
6.2.4 – <i>Utilizadores de Água Residual Tratada</i>	51
6.2.5 – <i>Tarifário</i>	51
7 - CASO DE ESTUDO – ANÁLISE À VIABILIDADE DA REUTILIZAÇÃO	53

DE ÁGUA RESIDUAL TRATADA PARA REGA PAISAGÍSTICA	53
7.1 - LOCALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA AMBIENTAL	53
7.2 - DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA ETAR DE FERNÃO FERRO	53
7.2.1 - <i>Descrição sucinta da ETAR de Fernão Ferro</i>	53
7.2.2 - <i>Valores base para dimensionamento hidráulico da ETAR</i>	55
7.2.3 - <i>Objectivos de qualidade do efluente líquido</i>	56
7.2.4 - <i>Condições limite de descarga licenciadas para a ETAR Fernão Ferro</i>	56
7.3 - DIAGRAMA DE TRATAMENTO REALIZADO NA E.T.A.R. DE FERNÃO FERRO.....	57
7.4 - CONCEPÇÃO DETALHADA DO FUNCIONAMENTO DA ETAR FERNÃO FERRO	58
7.4.1 - <i>Nota Introdutória</i>	58
7.4.2 - <i>Obra de Entrada / Tratamento Preliminar</i>	58
7.4.3 - <i>Decantação Primária</i>	62
7.4.4 - <i>Tratamento Biológico</i>	63
7.4.4.1 - <i>Tanque de Contacto “selector”</i>	63
7.4.4.2 - <i>Reactor Biológico</i>	64
7.4.5 - <i>Decantador Secundário</i>	66
7.4.6 - <i>Estação Elevatória de Recirculação de Lamas</i>	67
7.4.7 - <i>Desinfecção UV</i>	68
7.4.7.1 - <i>Reciclagem e Reutilização das águas residuais tratadas</i>	69
7.4.7.2 - <i>Circuito de by-pass</i>	70
7.4.8 - <i>Tratamento da Fase Sólida (LAMAS ACTIVADAS)</i>	70
7.4.8.1 - <i>Espessamento de lamas</i>	70
7.4.8.2 - <i>Digestão Anaeróbia</i>	71
7.4.8.3 - <i>Desidratação das lamas</i>	73
7.5 - ESTUDO À REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS DA ETAR DE FERNÃO FERRO PARA REGA PAISAGÍSTICA.....	74
7.5.1 - <i>Análise ao Efluente Final da ETAR de Fernão Ferro</i>	74
7.5.1.1 - <i>pH</i>	75
7.5.1.2 - <i>Oxigénio Dissolvido (OD)</i>	76
7.5.1.3 - <i>Condutividade eléctrica</i>	77
7.5.1.4 - <i>Sólidos Suspensos Totais</i>	78
7.5.1.5 - <i>CBO₅ e CQO</i>	80
7.5.1.6 - <i>Nutrientes – Azoto e Fósforo Total</i>	81
7.5.1.7 - <i>Coliformes Fecais</i>	83
7.5.2 - <i>Caracterização da Oferta</i>	84
7.5.2.1 - <i>Características médias do Efluente final (2007-2008)</i>	84
7.5.3 - <i>Caracterização da Procura</i>	88
7.5.4 - <i>Cruzamento entre a Oferta e a Procura</i>	91
7.5.5 - <i>Avaliação da Quantidade Máxima Anual de Nutrientes</i>	92
8 - AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA DOS CUSTOS ADICIONAIS DE TRATAMENTO COMPLEMENTAR.....	93
8.1 - QUANTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA REUTILIZADA NA ETAR	93
8.2 - DEFINIÇÃO DOS CUSTOS ASSOCIADOS AO INVESTIMENTO ADICIONAL.....	94
8.3 - DEFINIÇÃO DOS CUSTOS DE EXPLORAÇÃO	95
8.3.1 - <i>Custos de Exploração Fixos</i>	95
8.3.2 - <i>Custos de Exploração Variáveis</i>	97
8.4 - DEFINIÇÃO DO CUSTO DE OPORTUNIDADE	98
8.5 - TARIFA PROPOSTA.....	98
8.6 - GANHOS POTENCIAIS DO UTILIZADOR.....	99
8.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
9 - CONCLUSÕES	101
10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

Índice de Quadros

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS	5
QUADRO 2 - APLICAÇÕES E USOS DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS	7
QUADRO 3 - AGENTES PRESENTES NAS ÁGUAS RESIDUAIS.	15
QUADRO 4 - TIPOS DE RESERVATÓRIO E POSSÍVEIS PROBLEMAS ASSOCIADOS	24
QUADRO 5 - DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO/CRONOLÓGICO DA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS NO MUNDO.	31
QUADRO 6 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SOLOS A MONITORIZAR	43
QUADRO 7 - VMA DE CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS NOS SOLOS	44
QUADRO 8 - DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE A ZONA DE REGA E ZONAS HABITACIONAIS.	45
QUADRO 9 - VMA PARA PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS E TRATAMENTOS ADEQUADOS EM FUNÇÃO DO TIPO DE CULTURAS A REGAR.	46
QUADRO 10 - VMA PARA A VELOCIDADE DO VENTO EM FUNÇÃO DO TIPO DE REGA	47
QUADRO 11 - BASES PARA DIMENSIONAMENTO PROCESSUAL E HIDRÁULICO DA ETAR FERNÃO FERRO. ...	55
QUADRO 12 - OBJECTIVOS DE QUALIDADE DO EFLUENTE LÍQUIDO.....	56
QUADRO 13 - CONDIÇÕES DE DESCARGA PARA A ETAR FERNÃO FERRO.	56
QUADRO 14 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RELATIVOS AO PH (2007 E 2008).....	76
QUADRO 15 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RELATIVOS AO OD (2007 E 2008).....	77
QUADRO 16 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RELATIVOS À CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA (2007 E 2008).	78
QUADRO 17 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RELATIVOS AO TEOR DE SST (2007 E 2008).....	79
QUADRO 18 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RELATIVOS AO TEOR DE CBO ₅ E CQO (2007 E 2008).	80
QUADRO 19 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RELATIVOS AO TEOR DE AZOTO E FÓSFORO TOTAL (2007 E 2008).....	82
QUADRO 20 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RELATIVOS À CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES FECAIS (2007 E 2008).....	83
QUADRO 21 - PERCENTAGEM DE REMOÇÃO MÉDIAS DURANTE 2008.	84
QUADRO 22 - CARACTERÍSTICAS MÉDIAS DO EFLUENTE FINAL (2007-2008).	85
QUADRO 23 - AMOSTRAGEM PONTUAL A PARÂMETROS IMPORTANTES PARA ENQUADRAMENTO LEGAL ...	86
QUADRO 24 - QUANTIDADE DE NUTRIENTES VEICULADA AOS SOLOS ATRAVÉS DAS ÁGUAS RESIDUAIS... 92	92
QUADRO 25 - CAUDAL DE ÁGUA RESIDUAL ACTUALMENTE EM REUSO.	93
QUADRO 26 - CUSTO TOTAL DE INVESTIMENTO.	94
QUADRO 27 - CUSTO TOTAL DO CONTROLO DE QUALIDADE.....	96
QUADRO 28 - CUSTO TOTAL DOS RECURSOS HUMANOS	97
QUADRO 29 - GANHOS POTENCIAIS DO UTILIZADOR REFERENTES A UM CAUDAL MÍNIMO ANUAL.	99
QUADRO 30 - GANHOS POTENCIAIS DO UTILIZADOR REFERENTES A UM CAUDAL MÁXIMO.....	99

Índice de Figuras

FIGURA 1 - LOCAL PREFERÍVEL DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	9
FIGURA 2 - SINAL INDICATIVO. FIGURA 3 - BOMBAS DE REUTILIZAÇÃO DAS AR FIGURA 4 - ACESSÓRIOS. 22	
FIGURA 5 - RESERVATÓRIO ABERTO (TAMPA BAY / E.U.A.). FIGURA 6 - RESERVATÓRIO FECHADO (SAN DIEGO / E.U.A.).....	25
FIGURA 7 - REGA POR SULCOS.....	27
FIGURA 8 - REGA POR FAIXAS NO SOLO.....	28
FIGURA 9 - REGA ATRAVÉS DE GOTEJAMENTO.....	29
FIGURA 10 - REGA POR ASPERSÃO NUM CAMPO DE GOLFE FIGURA 11 - ASPERSOR PARA REGA COM ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS.....	29
FIGURA 12 - EXEMPLO DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA NUM CAMPO DE GOLFE.....	30
FIGURA 13 - VALE MEZQUITAL (MÉXICO).....	33
FIGURA 14 - NECESSIDADES HÍDRICAS EM PORTUGAL.....	40
FIGURA 15 - CONSUMO EFECTIVO DE ÁGUA EM PORTUGAL.....	40
FIGURA 16 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL EM PORTUGAL.....	40
FIGURA 17 - DIAGRAMA DESCRITIVO DO TRATAMENTO REALIZADO NA ETAR FERNÃO FERRO.....	57
FIGURA 18 - EDIFÍCIO REFERENTE À OBRA DE ENTRADA ONDE SE PROCESSA O TRATAMENTO PRELIMINAR.....	59
FIGURA 19 - CÂMARA DE RECEPÇÃO E GARRA BIVALVE.....	59
FIGURA 20 - TRATAMENTO PRELIMINAR EM EQUIPAMENTO COMPACTO (TAMISADOR + DESARENADOR/DESENGORDURADOR).....	61
FIGURA 21 - ELECTROBOMBAS DA UC.....	62
FIGURA 22 - UNIDADE COMPACTA DE TRATAMENTO DE LAMAS DE FOSSAS SÉPTICAS.....	62
FIGURA 23 - DECANTADOR PRIMÁRIO. FIGURA 24 - PONTE RASPADORA DO DEC. PRIMÁRIO.....	63
FIGURA 25 - TANQUE DE CONTACTO “SELECTOR”.....	64
FIGURA 26 - LOCAL DE AFLUÊNCIA DO REACTOR BIOLÓGICO.....	65
FIGURA 27 - ZONA AERÓBIA DO REACTOR BIOLÓGICO. FIGURA 28 - ZONA ANÓXICA DO REACTOR BIOLÓGICO.....	66
FIGURA 29 - AGITADOR MECÂNICO TIPO “BANANA BLADE”.....	66
FIGURA 30 - DECANTADORES SECUNDÁRIOS.....	67
FIGURA 31 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE RECIRCULAÇÃO DE LAMAS.....	68
FIGURA 32 - SISTEMA DE CONTROLO DA DESINFECÇÃO UV FIGURA 33 - LÂMPADAS UV PRESENTES NO CANAL.....	69
FIGURA 34 - GRUPO HIDROPRESSOR.....	69
FIGURA 35 - ESPESSADOR GRAVÍTICO.....	71
FIGURA 36 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	72
FIGURA 37 - NOVO DIGESTOR ANAERÓBIO. FIGURA 38 - DIGESTOR ANAERÓBIO REABILITADO.....	72
FIGURA 39 - CENTRIFUGAS. FIGURA 40 - SISTEMA DE DOSEAMENTO DE POLÍMERO.....	73
FIGURA 41 - SILO DE ARMAZENAMENTO LAMAS DESIDRATADAS. FIGURA 42 - SILO ARMAZENAMENTO CAO.....	73
FIGURA 43 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE PH DO EFLUENTE FINAL, AO LONGO DO ANO DE 2007... 75	
FIGURA 44 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE PH DO EFLUENTE FINAL, AO LONGO DO ANO DE 2008... 75	
FIGURA 45 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE OD AO LONGO DE 2007.....	76
FIGURA 46 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE OD AO LONGO DE 2008.....	76
FIGURA 47 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE CONDUTIVIDADE AO LONGO DE 2007.....	77
FIGURA 48 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE CONDUTIVIDADE AO LONGO DE 2008.....	78
FIGURA 49 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE SST AO LONGO DE 2007.....	79
FIGURA 50 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE SST AO LONGO DE 2008.....	79
FIGURA 51 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE CBO ₅ E CQO AO LONGO DE 2007.....	80
FIGURA 52 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE CBO ₅ E CQO AO LONGO DE 2008.....	80
FIGURA 53 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE AZOTO TOTAL ENTRE 2007-2008.....	82
FIGURA 54 - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS MENS AIS DE FÓSFORO TOTAL ENTRE 2007-2008.....	82
FIGURA 55 - VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE COLIFORMES FECAIS MÉDIO MENSAL ENTRE 2007-2008.....	83
FIGURA 56 - POSSÍVEL LOCALIZAÇÃO DO CAMPO DE GOLF E DISTRIBUIÇÃO SUGERIDA.....	89
FIGURA 57 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA ÁREA A REGAR. FIGURA 58 - TIPO DE SOLOS NA ÁREA A REGAR... 90	
FIGURA 59 - DIAGRAMA DO TRATAMENTO PROPOSTO.....	99

Lista de Siglas e Abreviaturas

Al – Alumínio
AR – Águas Residuais
C – Concentração
CaO – Óxido de Cálcio
CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio, durante 5 dias à temperatura média de 20°C
CE – Condutividade Eléctrica
CF – Coliformes Fecais
CQO – Carência Química de Oxigénio
CV – Coeficiente de Variação
ENDS – Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável
EPA – Environmental Protection Agency
ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais
Fe – Ferro
IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos
LABQUI – Laboratório de Química e Ambiente
M – Massa
MBR – Bio-Reactor Membranas
Mg – Magnésio
MLSS – Concentração de Lamas Activadas
MS – Mistura Sólida
n – Número Total de Determinações
N-Kjeldahl – Azoto Orgânico e Amoniacal
N-Total – Azoto Total
Na – Sódio
NMP – Número Mais Provável
NP – Norma Portuguesa
OD – Oxigénio Dissolvido
OMS – Organização Mundial de Saúde
P-Total – Fósforo Total
PEAASAR - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais
PID – Controlador Proporcional-Integral-Derivativo
REN – Reserva Ecológica Nacional
s – Desvio Padrão
SAR – Razão de Adsorção Sódio
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
SIMARSUL – Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal
SST – Sólidos Suspensos Totais
SVI – Índice de Volume de Lamas
SVL – Carga de Volume de Lamas
UC – Unidade Compacta
UFC – Unidades Formadoras de Colónias
UV – Ultravioleta
V – Volume
VMA – Valor Máximo Admissível
VMR – Valor Máximo Recomendado
 \bar{x} - Média Aritmética

1 – Introdução

A água constitui um recurso essencial, é uma substância vital ao desenvolvimento e estabelecimento das diversas formas de vida. A quantidade de água em estado líquido cobre aproximadamente 75% da superfície da Terra, sendo que apenas 3% desta é água doce. O volume total de água estima-se que seja de $1\ 380 \times 10^5 \text{ m}^3$. É considerado um recurso limitado e indispensável, sendo no entanto irregularmente distribuído pelo planeta. Já em 1987 quando a “*World Commission on Environment and Development*” publicou o famoso *Relatório Brundtland*, era manifestado a preocupação com o aumento da escassez dos recursos ambientais como a água e de estes poderem estar na origem de futuros conflitos militares [1].

O consumo de água para rega aumentou cerca de 30 vezes nos últimos séculos, para que fosse possível viabilizar zonas agrícolas em regiões áridas. Algumas das zonas do planeta onde o consumo excessivo de água está ligado à agricultura intensiva são o Egipto, o sul da Califórnia ou até a zona de Múrcia, em Espanha [1].

O projecto SIAM “*Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts, and Adaptation Measures*” teve como objectivo avaliar na íntegra os impactos das alterações climáticas em Portugal e chegou a conclusões nada animadoras no que toca aos recursos hídricos, onde haverá uma diminuição das disponibilidades hídricas e um aumento das assimetrias sazonais e regionais. A tendência generalizada será uma diminuição da precipitação anual, principalmente na região sul onde poderá atingir 30% em 2100. No verão haverá uma diminuição generalizada dos caudais dos rios o que terá como consequência a diminuição da qualidade da água disponível. O stresse hídrico irá aumentar e provocar necessidade acrescidas de rega devido também ao aumento da evapotranspiração [2].

Derivado das necessidades constantes e preocupantes da falta deste recurso natural, surge então um dos desafios para o século XXI e que consiste em procurar alternativas de modo a sustentabilizar o crescimento populacional e os recurso hídricos disponíveis.

2 – Objectivos

A presente dissertação teve como objectivo descrever todos os factores que influenciam o desenvolvimento de um projecto de reutilização de águas residuais para rega paisagística, analisando a viabilidade da sua implementação na ETAR de Fernão Ferro. Procurou-se nesta dissertação reunir as principais informações relativas a esta aplicação, assim como abordar a sua legalidade de acordo com a regulamentação em vigor e os documentos que regem as principais linhas de orientação.

3 – Reutilização de Águas Residuais

A utilização das águas residuais tratadas constitui um dos desafios mais importantes a implementar a curto prazo, a uma escala global. A utilização destas águas surge da necessidade de uma estratégia de conservação da água, um bem essencial que se torna cada vez mais escasso também a uma escala global.

Reutilização e reciclagem por vezes surgem como palavras sinónimas, embora efectivamente não o sejam, uma vez que o conceito de *reciclagem* se aplica à utilização da água uma ou mais vezes dentro do mesmo processo, enquanto que *reutilização*, é a aplicação da água noutros processos que diferem da sua utilização inicial. A reciclagem é também uma estratégia para conservação da água. Assim define-se reutilização de águas residuais à recuperação das águas residuais através de um tratamento adequado e posterior utilização para uma finalidade diferente da primeira. A reutilização de água é um processo utilizado pelo homem para diversos fins, não incluindo no entanto a finalidade de abastecimento directo de água potável, embora seja previsível que a médio prazo, o abastecimento público seja também um objectivo dada a escassez de água potável no planeta. Um exemplo de abastecimento público de água potável reutilizada, pratica-se na Namíbia, onde se verifica uma enorme escassez de água potável [3]. A redução constante do volume de água nos aquíferos e também a má qualidade desta, leva a que o fornecimento de água às populações em quantidade e qualidade seja feito em captações que cada vez mais se encontram geograficamente distantes das redes de distribuição que as servem, envolvendo assim custos adicionais elevados e inviabilizando empreendimentos turísticos e unidades industriais. A reutilização de águas residuais surge assim como uma hipótese de fornecimento de água de qualidade secundária para aplicações secundárias que não o seu consumo. A reutilização de águas residuais permite que o efluente não seja descarregado na sua totalidade nos meios hídricos receptores, reduzindo assim a poluição das águas superficiais e subterrâneas.

Generalizando, o tratamento e reutilização de águas residuais deverá ser uma origem alternativa de água e deverá ser incluída no planeamento de recursos hídricos com os seguintes objectivos:

- O aumento da procura de água à escala mundial leva à procura de estratégias que sustentem uma correcta gestão deste importante recurso, para que seja possível um crescimento sustentado da população e da tecnologia.

- Em países industrializados deverão ser criadas condições para gestão das descargas de águas residuais e respectiva protecção do meio ambiente. Para evitar custos em tratamentos avançados que possibilitem a descarga das águas residuais em águas superficiais, não prejudicando o meio ambiente, a reutilização surge assim como uma estratégia competitiva.
- A escassez de água verificada em muitos países com climas áridos deverá ser combatida com uma recuperação importante de água para o correcto funcionamento de actividades sustentadoras, como a agrícola e a industrial.
- A saúde pública é um dos factores mais importantes a ser defendido em regiões onde as condições de acesso a água potável sejam precárias. Neste sentido, o difícil acesso à água potável leva ao consumo de água não adequada criando deste modo problemas de saúde pública. A reutilização de águas residuais pode combater a falta de acesso a água tratada e adequada para diversos fins, diminuindo o risco de saúde pública nestas regiões.
- O aumento do custo da água potável consumida leva à criação de diversas estratégias sociais e empresariais de apoio a projecto de reutilização de águas residuais como forma alternativa e mais barata de acesso a água potável.

Para que se possa haver reutilização de águas residuais é necessário que se cumpram determinados parâmetros de ordem qualitativa no efluente final.

As águas residuais urbanas constituem uma mistura complexa de substâncias orgânicas, inorgânicas, dissolvidas e suspensas na água. São também constituídas por numerosos microrganismos de origem fecais e patogénicos. É necessário um conhecimento detalhado das características físicas, químicas e microbiológicas das águas residuais, para que possa haver um correcto dimensionamento e funcionamentos das estações tratadoras de águas residuais. As características das águas residuais urbanas variam imenso de população servida para população servida, devido não só à qualidade das águas de abastecimento como as características socio-económicas da própria população. As características qualitativas das águas residuais dividem-se em três grandes grupos: físicos, químicos e biológicos.

Quadro 1 - Características qualitativas das águas residuais [4]

Grupo	Parâmetros	Origem
Físicos	Cor	Resíduos domésticos/industriais e decomposição de matéria orgânica.
	Cheiro	Decomposição de substâncias.
	Temperatura	AR domésticas/industriais
	Sólidos	Água de abastecimento, Erosão, infiltrações e AR domésticas/industriais.
Químicos	<u>Orgânicos</u>	
	Carboidratos	AR domésticas/industriais
	Proteínas	
	Óleos e Gorduras	
	Detergentes	
	Pesticidas	Resíduos agrícolas
	Fenóis	AR industriais
	Compostos Voláteis	AR domésticas/industriais
	Compostos Carcinogénicos	
	<u>Inorgânicos</u>	
	Alcalinidade	AR domésticas/industriais, água potável e água subterrânea infiltrada
	Cloretos	
	Metais Pesados	AR industriais
	Azoto	AR domésticas e escorrências agro-pecuárias
	Fósforo	AR domésticas/industriais e escorrências naturais
	pH	AR domésticas/industriais
	Enxofre	AR domésticas/industriais e águas de abastecimento
	<u>Gases</u>	
	Ácido Sulfídrico e Metano	Decomposição de AR domésticas
	Oxigénio	Água de abastecimento e infiltração de águas superficiais
Biológicos	Plantas e Animais	Cursos de Água e ETAR
	Vírus e Bactérias	AR domésticas e ETAR

As características qualitativas são avaliadas através de parâmetros analisados laboratorialmente e também *in situ* na estação de tratamento de águas residuais. Os parâmetros documentados e legislados pelas entidades competentes são analisados de acordo com a aplicação da água residual reutilizada.

3.1 – Aplicações da reutilização de águas residuais

A reutilização de águas residuais pode ter diversas aplicações. Deve-se ressaltar que se está a abordar a temática da reutilização *directa* de águas residuais, o que difere da reutilização *indirecta* de águas residuais. A reutilização *indirecta* de águas residuais pode ser entendida como a descarga do efluente num ciclo hidrológico que irá ser utilizado para captação de água para consumo. Os três grandes domínios de aplicação de reutilização de águas residuais são por ordem decrescente de volume a utilizar a rega agrícola, rega paisagística e recarga de aquíferos.

A qualidade final da água residual a reutilizar difere de aplicação para aplicação, se no caso da sua reutilização na indústria como água de processo (*make-up water*) é importante eliminar a sílica, metais e dureza devido à corrosão que estes parâmetros causam nas tubagens, já no caso da reutilização da água residual para rega agrícola ou paisagística é importante uma análise aos parâmetros que interferem na relação solo-planta. Os investimentos a aplicar para que esta tecnologia seja possível também vão ser diferentes mediante o destino final das águas residuais tratadas. Para o caso referido da reutilização na indústria é comum a tecnologia de microfiltração, permuta iónica e osmose reversa para eliminar metais, dureza, sólidos suspensos e dissolvidos. Ora como é natural o investimento associado à reutilização da água residual para rega é mais baixo, uma vez que, em grande parte das situações o efluente de uma ETAR comum que faça tratamento secundário é compatível com o seu uso, necessitando apenas um tratamento terciário que em grande parte dos casos inclui uma desinfecção e uma afinação final [5]. A reutilização de águas residuais com fins de rega agrícola tem a grande vantagem ambiental de reduzir o uso de adubos comerciais, uma vez que, as características desta água proporcionam os nutrientes que as culturas necessitam, principalmente compostos de fósforo e azoto e evita-se também assim a sua descarga nos meios hídricos o que poderia provocar a sua eutrofização.

Quadro 2 - Aplicações e usos da reutilização de águas residuais. Adp. [5]

Aplicação	Uso
<u>Rega agrícola</u>	Rega de culturas
	Viveiros
<u>Rega paisagística</u>	Parques
	Campos de golfe
	Espaços verdes de áreas residenciais
	Cemitérios
	Margens de estradas
<u>Reutilização industrial</u>	Arrefecimento
	Caldeiras
	Água de processo
	Construção pesada e refinarias
<u>Recarga de aquíferos</u>	Reforço do volume de águas subterrâneas
	Controlo da salinidade
<u>Recreação</u>	Lagos e lagoas
	Zonas húmidas
	Pesca
	Aumento do caudal de ribeiros
<u>Usos urbanos não potáveis</u>	Protecção contra incêndios
	Limpeza de sanitas
	Lavagens municipais
<u>Água potável</u>	Mistura na água bruta a potabilizar
	Água a potabilizar

3.2 – Reutilização de águas residuais para rega

A parcela mais importante na reutilização de águas residuais é o seu uso para rega, pois é aquela que também acomoda um maior volume de acordo com o seu uso. Para se reutilizar águas residuais para rega, seja ela agrícola ou paisagística, é necessário haver um estudo prévio da relação do biosistema planta-solo. Os principais objectivos desta aplicação são aumentar a disponibilidade hídrica para rega, contribuindo também para uma protecção do foro ambiental, encontrando destino o efluente final das estações de

tratamento de águas residuais. Nas águas para rega é necessário ter em atenção alguns parâmetros químicos importantes como a salinidade, elementos tóxicos como os metais pesados, valores de sódio e azoto presentes nas águas e que podem ter um impacto negativo no biosistema. É necessário também avaliar a quantidade de microrganismos patogénicos nas águas a utilizar, pois podem contemplar um risco para a saúde pública, já que podem contaminar as culturas regadas, o solo e até as águas subterrâneas. Resumindo, os três principais problemas a encontrar no biosistema solo-planta são a salinidade do solo ou na água, a taxa de infiltração da água no solo e a toxicidade dos metais pesados e de alguns iões específicos.

3.2.1 – Influência dos principais parâmetros físico-químicos das águas residuais para rega

3.2.1.1 - Salinidade

Toda a água, seja ela potável ou residual tem na sua constituição sais dissolvidos. Estes sais dissolvidos podem ser quantificados através de diversos parâmetros, entre eles encontra-se o mais utilizado que é a condutividade eléctrica (CE). A condutividade eléctrica exprime-se em valores no sistema SI o dS / m e que significa deciSiemen por metro.

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) dividem-se em voláteis e fixos, consoante a sua natureza e a concentração de iões específicos como o Na^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- . etc. Para se avaliar a salinidade de uma água terá então de se analisar para além da sua condutividade, também os iões que a constituem. A relação entre a condutividade eléctrica e o teor de sólidos dissolvidos totais pode ser exprimida de acordo com as seguintes equações:

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

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

É importante também avaliar a proporção do teor de Sódio (Na) relativamente aos teores de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). A condutividade mede predominantemente a presença de iões Na^+ e outros catiões. Para não se correr o risco de uma incorrecta avaliação da salinidade da água recorre-se também a outro parâmetro indicador da proporção dos catiões anteriormente indicados, designado de Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e concentrações expressas em meq/L.

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{1}{2}([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}} \quad (III)$$

Regra geral as águas residuais em comparação às águas naturais, comportam um teor mais elevado de sais dissolvidos e também uma proporção mais elevada de Sódio em relação aos outros iões, ou seja, um SAR mais elevado.

Um dos problemas da quantidade sais dissolvidos aplicados está relacionado com a evapotranspiração de parte da água aplicada para rega e que provoca uma concentração e acumulação de sais dissolvidos na zona do solo molhado. A repetição deste processo pode impedir que a planta absorva a água que necessita, já que a absorção é realizada pelas raízes da planta através de um processo osmótico que regula a concentração de sais nos seus tecidos. [6] Assim caso o solo se encontre com uma concentração de sais muito elevada, torna que a planta necessite de muita energia para este processo, impedindo o seu normal crescimento. Como exemplificado na figura 1, a planta extrai água nos pontos preferencialmente onde ocorre menor resistência à absorção e que geralmente coincide com a parte superior da raiz, a parte que se encontra mais próxima do topo do solo, local onde se poderão acumular os sais concentrados.



Figura 1 - Local preferível de absorção de água.

Este problema agrava-se em condições climáticas de variação na humidade do ar e a presença de nevoeiro. Em condições de clima seco e quente é necessário também uma maior frequência de rega em casos de aumento da salinidade das águas.

Outro dos problemas associados à elevada salinidade é a alteração de características do próprio solo a nível de percolação e infiltração. Por exemplo, se a água para rega conter elevada concentração de iões sódio, pode originar um problema de infiltração em solos do tipo argilosos devido à permuta com os catiões (Al, Mg e Fe) presentes no solo argiloso e causar a diminuição da permeabilidade do solo ao ar e à água [5].

Entre as medidas que proporcionam o controlo do efeito da salinidade nas culturas e nos solos a longo prazo destacam-se:

- **Drenagem** – O solo deverá dispor de condições de drenagem suficientes, evitando assim que o nível freático atinja as raízes. Em regiões áridas ou semi-áridas deverá ser assegurada a estabilização do nível freático a mais de 2 metros de profundidade, para que a água subterrânea salobra não atinja as culturas.
- **Preferência a culturas tolerantes à salinidade** – O objectivo passará sempre por analisar a drenagem do solo e a salinidade da água de rega, seleccionando assim culturas compatíveis com este sistema. Existem 4 categorias de plantas que reagem à salinidade de formas diferentes: as sensíveis, as moderadamente sensíveis, as moderadamente tolerantes e as tolerantes. A tolerância destas culturas é também afectada pelo clima e pela sua fase de crescimento, durante a estação quente e em fase de germinação as culturas apresentam em geral mais sensibilidade à salinidade da água de rega.
- **Reduzir problemas de infiltração** – A persistência deste tipo de problema poderá causar para além da diminuição da água disponível à planta, a proliferação de outro tipo de vegetação, a saturação da zona superior do solo e a ocorrência de doenças e má nutrição das culturas. Estes problemas podem ser solucionados (exceptuando os relacionados com a textura do solo) diminuindo a SAR da água, aumentando o teor de cálcio na água. É frequente o uso de sulfato de cálcio para solucionar este problema. Poderão também ser empregados métodos físicos com a adição de resíduos orgânicos que permitem solucionar o problema a curto prazo.

3.2.1.2 – Nutrientes

Dentro do grande grupo de nutrientes que não englobam o carbono, oxigênio e hidrogênio, uma vez que são obtidos através da atmosfera, estão outros 16 elementos. Em função da quantidade que a planta necessita, os 16 elementos reagrupam-se em dois subgrupos: os macronutrientes e os micronutrientes. Os macronutrientes incluem o azoto que se assume como o principal elemento indispensável ao crescimento e desenvolvimento da planta. Para além do azoto, o subgrupo compreende também o fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cloro e o silício.

3.2.1.3 – Azoto

São três as formas inorgânicas em que o azoto é absorvido pelas plantas: NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^- . Existem culturas que também obtêm azoto através do azoto molecular na atmosfera. A contabilização deste macronutriente é feita em azoto total, seja ele orgânico ou inorgânico.

As reacções químicas que ocorrem no solo e que transformam os compostos de azoto são:
[5]

- **Aminização** – Microrganismos heterotróficos vão transformar os compostos orgânicos azotados em compostos azotados mais simples ainda não utilizáveis pelas plantas.
- **Amonificação** – Também os microrganismos heterotróficos vão transformar os compostos azotados mais simples em formas amoniacais já assimiláveis pelas raízes das plantas.
- **Nitrificação** – As formas amoniacais vão ser oxidadas por meio de bactérias autotróficas do género *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, em nitritos e depois nitratos.
- **Desnitrificação** – As bactérias desnitrificantes do género *Pseudomonas*, *Thiobacillus desnitrificans*, entre outras, quando em condições de anaerobiose reduzem o azoto nítrico em azoto volátil ou insolúvel na água do solo. O azoto molecular formado irá então para a atmosfera.

Estas transformações que ocorrem no solo estão sujeitas ao crescimento das populações microbianas, o que torna todo o processo de transformação de azoto lento e moroso. Assim torna-se necessário contabilizar o azoto de anos anteriores, evitando aplicações excessivas de azoto ao solo [5]. A possível retenção do azoto no solo pode ocorrer através de fenómenos físico e químicos. A superfície coloidal dos solos carregada negativamente, pode causar retenção do azoto amoniacal, mas as formas de azoto nitroso e azoto nítrico devido à sua carga negativa e ao seu tamanho, são facilmente arrastados podendo até atingir os lençóis de água subterrânea.

Os problemas relacionados com a adição excessiva deste nutriente estão directamente relacionados com a fase de crescimento das culturas. Culturas em fases iniciais necessitam mais de azoto, mas durante o seu crescimento e floração necessitam de quantidade reduzidas, caso contrário, poderá ocorrer uma redução da produção. O excesso de azoto também provoca o crescimento vegetativo de espécies espontâneas.

O azoto é também responsável pela possível eutrofização da água em reservatórios de armazenamento a montante da rega, como tal deverá ser mantido a uma concentração adequada.

3.2.1.4 – Fósforo

Depois do azoto, o fósforo apresenta-se como o segundo macronutriente mais importante para as plantas. A sua absorção ocorre de diversas formas, o fósforo sob a forma orgânica é insolúvel, tornando-se assim de difícil absorção. A forma mais assimilável de fósforo por parte da planta é o ortofosfato primário (H_2PO_4^-).

O pH dos solos tem um papel importante nas formas de fósforo disponíveis, a um pH inferior a 6 ocorre precipitação de fosfatos de ferro e de alumínio e a um pH superior a 7 fosfatos de cálcio. A concentração destes catiões e o pH do solo tem assim um papel fundamental na quantidade de fósforo disponível para a planta. Solos com um pH próximo da neutralidade são os ideais em quantidade de fósforo.

Não existem muitos problemas relacionados com a abundância deste nutriente nos solos, uma vez que este nutriente tem uma reduzida mobilidade, tornando assim difícil penetrar os leitos de água subterrânea mais profundos. As plantas regra geral também só absorvem a quantidade de fósforo necessária ao seu desenvolvimento.

3.2.1.5 – Potássio

O potássio é um macronutriente de extrema importância no ciclo biológico das plantas. Tem funções de regulação das perdas de água por transpiração e resistência a pragas e doenças. A disponibilidade adequada de potássio fortalece as culturas pois evita perdas de água pela planta. O íon K^+ é a forma mais assimilável pelas plantas e é também a forma mais abundante de potássio nas águas para rega (residuais e abastecimento). A acumulação deste nutriente no solo ocorre sobre a forma de minerais potássicos na superfície coloidal ou em íon livre na solução do solo. Dever-se-á ter mais atenção ao movimento do potássio em solos arenosos devido a estes terem baixa troca iónica.

3.2.1.6 – Micronutrientes

Relativamente aos micronutrientes, existe uma ténue linha que separa as questões nutricionais de questões relativas à toxicidade por eles causada. A planta necessita de micronutrientes em quantidade muito reduzidas. Do grupo de micronutrientes fazem parte o ferro, zinco, boro, cobalto, cobre, alumínio, molibdénio e manganês. Estes elementos causam toxicidade severa nas plantas, acumulando-se nas folhas quando absorvidos pela planta. O boro é o elemento mais preocupante, pois é aquele que em solos alcalinos e ricos em cálcio a sua fixação e insolubilização, torna-se complicada de gerir. A gestão de boro nos solos está relacionada com a textura, humidade e teor de matéria orgânica destes. Em solos ácidos os restantes micronutrientes (excepto molibdénio) tendem a solubilizar e estarem mais disponíveis para absorção.

O problema da toxicidade varia de acordo com o tempo de exposição, a concentração e a quantidade de água absorvida. As águas residuais do tratamento secundário transportam na maior parte dos casos valores elevados destes micronutrientes, pelo que deverá ser avaliado correctamente o seu potencial de toxicidade. As soluções para evitar casos de toxicidade para as culturas passam por: [5]

- **Mistura de águas de rega** – Se possível torna-se a solução mais eficaz e menos dispendiosa. Ocorre uma redução da concentração de elementos potencialmente tóxicos através da mistura da água residual tratada com outras fontes de água.

- **Aplicação de correctivos no solo** – Uma medida rápida que pode ser aplicada depois de estudado o elemento a controlar. Os correctivos mais comuns são o ácido sulfúrico, sulfato e óxido de cálcio.
- **Alteração do método de rega** – Sabe-se que um aumento da quantidade de água a regar lixiviando o solo como solução aparente à toxicidade dos microelementos poderá ser ainda mais prejudicial se a rega ocorrer por aspersão devido ao efeito do cloro e do sódio nas folhas, o que alterando o método de rega solucionará este problema.
- **Seleção de culturas tolerantes** – Outra das medidas possíveis de tomar é seleccionar culturas mais tolerantes aos elementos que causam problemas.

3.2.2 – Avaliação da quantidade de nutrientes a aplicar na rega

A quantidade de nutrientes a aplicar nas culturas é uma análise de extrema importância na sobrevivência das espécies vegetais. No grupo da reutilização de águas residuais para rega paisagística, as espécies mais sensíveis à quantidade de nutrientes são as gramíneas ou especificamente os relvados. Os macronutrientes e os metais pesados podem ser quantificados através da equação: [7]

$$M = \frac{V \times C}{1000} \quad (\text{IV})$$

M (kg) – quantidade de nutriente ou metal pesado aplicado, por hectare, num determinado intervalo de tempo.

V (m³) – volume de águas residuais aplicadas, por hectare, no mesmo intervalo de tempo.

C (mg/L) – concentração do nutriente ou metal pesado na água residual, durante o intervalo de tempo em que se aplicou o volume V.

Para rega o mais comum é quantificarem-se os macronutrientes azoto, fósforo e potássio.

3.2.3 – Influência dos parâmetros microbiológicos das águas residuais para rega

As águas residuais urbanas transportam uma elevada quantidade e variedade de microrganismos patogénicos que podem criar problemas de saúde pública se não forem eliminados. A rega através de águas residuais tratadas só se torna possível à luz da tecnologia que permita a eliminação e inativação destes microrganismos. Torna-se assim necessário um estudo que permita o conhecimento das características microbiológicas do efluente a reutilizar. Os tipos de microrganismos presentes no efluente de uma ETAR dependem sobretudo das características das águas residuais antes do seu tratamento, assim como a eficiência da sua remoção nos processos unitários integrados nas ETAR. Os microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais que se podem facilmente disseminar no meio ambiente são agrupados em quatro grandes grupos: bactérias, protozoários, vírus e helmintas.

O quadro 3 menciona alguns agentes presentes em águas residuais e doenças que podem provocar no hospedeiro:

Quadro 3 - Agentes presentes nas águas residuais. [5]

Grupo	Agente	Sintomas
Bactérias	<i>Escherichia coli</i>	Diarreia
	<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Diarreia e septicemia
Protozoários	<i>Balantidium coli</i>	Diarreia, desinteria e úlcera do cólon
	<i>Entamoeba histolytica</i>	
	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia e má absorção
	<i>Isoospora belli</i>	Gastroenterite
Helmintas	<i>Taenia saginata</i>	Teníase
	<i>Trichuris trichura</i>	Tricuríase
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascaridíase
	<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobíase
Vírus	Agente de Norwalk	Gastroenterites
	Vírus da Hepatite A	Hepatite A
	Vírus do grupo Rotavírus	Gastroenterites infantis
	Vírus do grupo Adenovírus	Doenças respiratórias e diarreia

Os riscos potenciais que os microrganismos transportam para uma população dependem não só das características epidemiológicas de cada microrganismo como também da susceptibilidade e nível de imunidade da população exposta. São três as características que definem o potencial risco de uma população: [5]

- **Latência** – é o intervalo de tempo que decorre entre a excreção de um microrganismo patogénico e a sua infecção num hospedeiro vertebrado. Todas as bactérias, vírus e protozoários de origem fecal não têm período de latência. Os helmintas são o único grupo de microrganismos que têm um período de latência longo e necessitam por vezes de hospedeiros intermédios para se tornarem infecciosos.
- **Persistência** – É a capacidade de alguns microrganismos sobreviverem durante longos períodos fora do seu habitat. Alguns microrganismos têm inclusive a capacidade de se multiplicarem fora do seu habitat.
- **Dose Infectante** - A dose infectante consiste na quantidade de um determinado microrganismo patogénico suficiente para causar doença relacionada. Os estudos de quantificação são geralmente muito complicados de se realizarem devido aos indivíduos voluntários pertencerem a áreas não endémicas. No caso de zonas endémicas também é difícil aplicar este termo devido a muitos dos indivíduos não manifestarem sinais clínicos de doença, mas serem portadores e excretarem para o meio ambiente os vectores das doenças.

No seguimento destas características e abordando o objectivo da reutilização de águas residuais, é importante referir que os microrganismos patogénicos com maior persistência, um intervalo de latência maior e uma dose infectante relativamente baixa são os microrganismos mais perigosos para a saúde pública. Todas estas três características influenciam a manutenção dos microrganismos patogénicos nas águas residuais entre o período de excreção, passagem pela ETAR, aplicação sobre as plantas pela rega, infiltração no solo e comercialização/consumo das culturas. No caso da rega paisagística o perigo reside sobretudo no contacto directo com a população através actividades recreativas dentro dos espaços verdes.

3.2.3.1 – Meios de transmissão de patogénicos na rega com águas residuais tratadas

As possíveis vias de transmissão de microrganismos patogénicos em águas residuais tratadas podem ser através de:

1. Ingestão de água contaminada;
2. Ingestão directa de culturas anteriormente regadas com água contaminada ou indirectamente através de produtos que derivam do consumo dessas águas (carne ou leite);
3. Através de aerossóis inalados durante a rega por aspersão com água contaminada;
4. Contacto directo com as águas residuais contaminadas, com o solo, com as plantas e com objectos contaminados através da água.

A persistência dos microrganismos está sujeita a diversos factores que podem ser químicos, físicos, ambientais e até biológicos. De entre os diversos factores, os mais importantes no entanto são a temperatura e o intervalo de tempo a que os microrganismos estão fora do seu hospedeiro.

O tempo de sobrevivência dos diferentes grupos de microrganismos patogénicos fora do seu hospedeiro varia muito de acordo com o local onde proliferam e também com o próprio grupo de microrganismos. Se no caso de solos propícios à sua proliferação (arenosos, ácidos, pouco húmidos e a uma temperatura alta) os grupos de microrganismos sobrevivem em média 15 dias (exceptuando os helmintas que sobrevivem meses), já o caso da sua sobrevivência em plantas e águas residuais é diferente. Os vírus sobrevivem melhor em águas residuais podendo atingir um tempo de sobrevivência até 120 dias. Importante é referir que as bactérias coliformes fecais em média sobrevivem 22 dias no conjunto de águas residuais, plantas e solos [5].

A exposição aos microrganismos e consequente contaminação pode ocorrer de diversas formas dependendo do tipo de rega e do tipo de contacto com a fonte contaminada. Nos casos de reutilização de águas residuais para rega são listadas possíveis formas de exposição aos patogénicos:

- Em rega agrícola, os agricultores são o grupo mais exposto a este problema devido ao contacto directo com o solo e culturas regadas. Os consumidores das culturas regadas também podem estar sujeitos a contaminação, uma vez que se não forem tomadas medidas de eliminação dos patogénicos através da lavagem e preparação dos alimentos, estes poderão ser ingeridos contaminados.
- Em rega paisagística o grupo mais sensível à contaminação são os técnicos envolvidos na manutenção dos espaços verdes, podendo também os frequentadores do mesmos serem contaminados. Em casos de loteamentos turísticos em que os espaços verdes sejam regados com águas residuais os habitantes também podem estar expostos se não for assegurada uma distância mínima com o local de rega (principalmente loteamentos turísticos envolvendo campos de golfe).

O método de rega assume então um papel fundamental na possível transmissão de patogénicos. A rega gravítica ou por aspersão (frequentemente utilizada) origina a formação dos chamados aerossóis que são partículas aquosas em suspensão no ar. As condições atmosféricas podem proporcionar o seu transporte a centenas de metros em casos de baixas temperaturas, velocidade de vento e humidade elevadas. O perigo para a saúde pública torna-se evidente, na medida em que devido ao tamanho das partículas (até 50µm) estas podem ser inaladas directamente e causar infecções respiratórias e até gastrointestinais.

3.2.3.2 – Indicadores de contaminação microbiológica

As análises realizadas às águas residuais que indicam e quantificam a presença de microrganismos patogénicos são realizadas através da quantificação de um grupo de bactérias designado de bactérias coliformes. Este é o grupo de microrganismos que indica a presença de contaminação fecal nas águas. O relatório 71, do *Department of Health and Social Security* (G.B. 1969) define este grupo como: [1]

- “Coliformes são organismos que apresentam as seguintes características: Gram-negativos, reacção oxidase negativa, bacilos não esporulados que crescem, aerobicamente, em meio de agar contendo sais biliares e capazes de fermentar a lactose a 37°C, em 48 horas, com produção de ácido e de gás.”

Os coliformes podem ser quantificados em totais e fecais. Eijkmann (1904) foi o primeiro a identificar métodos para diferenciar coliformes fecais de não fecais e chegou à conclusão que as temperaturas elevadas de incubação são um ponto-chave na diferenciação. Assim, definem-se coliformes fecais como todos os bacilos em forma de bastonete, Gram-negativos, não esporulados, que provocam, em menos de 24 horas, à temperatura de 44°C, a fermentação da lactose, com produção de ácido e de gás [1].

A quantificação é realizada através de tabelas de probabilidades (distribuição de Poisson -95%) que indicam o número mais provável (NMP) de microrganismos presentes em 100ml de água. Refira-se no entanto que a quantificação de coliformes fecais tem vindo a ser substituída pela quantificação de *Escherichia coli* nas águas residuais.

Outros possíveis indicadores de contaminação microbiológica nas águas residuais é são os ovos de parasitas intestinais, que quantificam cistos de protozoários e helmintas através da sua contagem microscópica.

3.2.3.3 – Medidas e processos para remoção de microrganismos patogénicos

A remoção de microrganismos patogénicos é uma medida de extrema importância em qualquer processo de reutilização de águas residuais, mas também se revela de extrema importância no processo normal de tratamento e descarga das águas residuais. A esta medida estão há largos anos associados vários processos unitários que permitem uma correcta desinfecção do efluente final. Durante décadas, em Portugal o tratamento secundário era a última medida para desinfecção do efluente, ora isto só era possível com o processo de tratamento biológico de lamas activadas e/ou lagoas de maturação, o que permitia a sua descarga já com uma certa inactivação de patogénicos [5].

Para que as águas residuais possam ser reutilizadas torna-se necessário assim proceder a um tratamento terciário nas estações de tratamento de águas residuais, o que proporcionará um efluente de elevada qualidade microbiológica. O processo de tratamento mais utilizado é a desinfecção.

3.2.3.3.1 – Tecnologias de desinfecção

Existem inúmeras tecnologias de desinfecção que podem ter um mecanismo químico, físico ou biológico. A tecnologia de desinfecção deverá ser escolhida sob o ponto de vista da utilização final do efluente e também do ponto de vista económico, uma vez que não é adequado um investimento avultado numa tecnologia de desinfecção quando o destino do efluente final seja a simples descarga em meios hídricos. Seguidamente são apresentadas as tecnologias de desinfecção mais comuns e mais promissoras.

Cloragem

É claramente a tecnologia desinfectante mais comum e a mais viável sob o ponto de vista económico. Consiste na adição de cloro sobre a forma gasosa (Cl_2), líquida (hipoclorito de sódio NaClO) ou sólida (hipoclorito de cálcio). É uma tecnologia eficaz que deverá deixar um resíduo de cloro assegurando assim a sua desinfecção. No entanto é uma tecnologia que poderá originar em casos de águas residuais ricas em matéria orgânica, compostos organoclorados que são altamente tóxicos e carcinogénicos para as populações, constituindo assim um grave risco para a saúde pública [8] [5].

Ozonização

O ozono ao contrário do cloro é um poderoso desinfectante, que por vezes até tem impactos positivos no meio ambiente, uma vez que se decompõe rapidamente em oxigénio depois da sua aplicação. A ozonização tem como principais vantagens o seu tempo de contacto ser curto e a eliminação dos organismos patogénicos e outras fontes de poluição tais como pesticidas. É também um poderoso agente de alteração de características organolépticas das águas (cor, sabor e odores desagradáveis). As suas grandes desvantagens são devido a ser um processo caro do ponto de vista económico, uma vez que a geração de ozono é complexa e perigosa [8] [5].

Radiação UV

A radiação ultravioleta resulta de um mecanismo de acção físico. Os UV's com comprimentos de onda de 254 nm, são absorvidos pelos ácidos nucleicos dos microrganismos causando a morte celular. O processo é considerado vantajoso sob o ponto de vista económico e seguro, não originando subprodutos da desinfecção. Deverão ser controlados os SST do efluente a montante da desinfecção, uma vez que estes causam um baixo rendimento de desinfecção devido à absorção de parte dos UV's radiados [8] [5].

Bio-Reactor de Membrana (MBR)

Este sistema tratamento e desinfecção é aplicado há alguns anos, embora só muito recentemente o seu custo associado tenha vindo a descer. É uma alternativa muito viável na produção de águas residuais a reutilizar. O seu sistema consiste na integração do tratamento biológico com uma ultrafiltração que produz um efluente final com altíssima qualidade, não necessitando praticamente de afinação. Uma das desvantagens é que só será racional a sua aplicação em estações de tratamento de águas residuais a construir, já que este sistema envolve tratamento secundário e terciário, não sendo muito natural a sua aplicação em estações onde o processo de tratamento secundário e terciário já estejam implementados [8].

3.3 – Distribuição e Gestão na reutilização de águas residuais para rega

Tanto a distribuição como a gestão das águas residuais para rega deverá ser conceptualizada de forma semelhante às águas destinadas ao consumo das populações. O modelo de distribuição e gestão das águas residuais a reutilizar deverá conter aspectos como: segurança, armazenamento das águas residuais a reutilizar, gestão da água a regar e métodos de rega.

3.3.1 - Segurança

Para protecção da saúde pública é necessário a concepção de medidas de segurança que impeçam não só o consumo de águas residuais potencialmente perigosas como evitar problemas de ordem logística no modelo de transporte e armazenamento das águas residuais a reutilizar. Seguidamente são listadas as medidas de segurança a abordar no contexto de reutilização de águas residuais:

Tubagens e Acessórios

O sistema de abastecimento de águas residuais reutilizadas deverá estar claramente distinto do sistema de abastecimento de águas potáveis. Para tal propõe-se o uso de uma cor forte e identificadora apenas da circulação de águas residuais não potáveis. Actualmente assume-se que a cor que identifica este sistema é a púrpura, figuras 2,3 e 4. As câmaras de válvulas e outros dispositivos deverão também ter um funcionamento diferente dos outros utilizados para água potável. Deverão ser evitadas ligações cruzadas entre as tubagens de águas residuais e água potável incompatibilizando as juntas de ligação.

Segundo valores de referência utilizados em São Francisco na Califórnia [8], a distância mínima entre as tubagens de águas residuais a reutilizar e água potável deverá ser de 3 metros. Relativamente à distância vertical entre as tubagens, deverá ser respeitado a regulamentação n.º3 do Artigo 24º do Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto e que indica que as condutas de águas residuais a reutilizar devem ficar situadas entre as condutas de águas potáveis em plano superior e águas residuais plano inferior, a uma distância mínima de 1 metro.



Figura 2 - Sinal indicativo. Figura 3 - Bombas de reutilização das AR. Figura 4 - Acessórios.

Microrganismos nas Redes de Distribuição

O reaparecimento de microrganismos em águas residuais a reutilizar é devido não só à possível contaminação das redes de distribuição como à formação de biofilmes nas tubagens e ao próprio crescimento dos mesmos em casos de tempos de retenção elevados nas condutas.

Para evitar este perigo que pode inviabilizar o seu uso final deverá ser proposto um tratamento desinfectante mesmo após a desinfeção das águas residuais ao longo do tratamento terciário. A cloragem surge como tecnologia óbvia para solucionar este problema, muito embora também envolva alguns perigos associados, como a formação de organoclorados quando as águas residuais a reutilizar são ricas em matéria orgânica. As opções disponíveis passam por proceder à cloragem directamente nas tubagens, com o objectivo de assegurar um cloro residual de 0,2 mg/L.[8] Ou em alternativa proceder à cloragem a jusante no local de armazenamento, não evitando assim a formação de biofilme nas tubagens.

3.3.2 – Armazenamento das águas residuais a reutilizar para rega

O armazenamento das águas residuais a reutilizar tem o objectivo de poupar energia gasta pela elevação e transporte das águas residuais tratadas na ETAR até ao ponto de interesse. Existem dois tipos de reservatórios para este tipo de utilização das águas. Ambos os tipos de reservatórios comportam vantagens e desvantagens entre si, como exemplificado no quadro 4.

Tanto nos reservatórios abertos como nos reservatórios fechados deverão assegurar alimentação de águas residuais a reutilizar assim como águas de abastecimento público a fim de se poder proceder em casos de correcções de características da água à mistura e diluição de ambas as águas.

Quadro 4 - Tipos de reservatório e possíveis problemas associados. [4]

Reservatório	Possíveis problemas
Reservatórios Abertos (Exemplo: Figura 5)	Eutrofização das águas
	Libertação de gás sulfídrico
	Diminuição de cloro livre
	Concentração baixa de OD
	Crescimento de algas
	Turvação e cor elevadas
	Crescimento de microrganismos
	Animais provocam deterioração da água
Reservatórios Fechados (Exemplo: Figura 6)	Eutrofização das águas
	Estagnação
	Libertação de gás sulfídrico
	Diminuição de cloro livre (embora mais pequena que em reservatórios abertos)
	Crescimentos de microrganismos

Aos problemas mais graves associados aos tipos de reservatórios existem um conjunto de soluções eficientes e viáveis tecnicamente e que passam por:

- **Arejamento** – a implementação de um sistema de arejamento produz efeitos benéficos nas águas armazenadas mantendo o nível de oxigénio dissolvido adequado, remove odores e liberta o fósforo dos sedimentos.
- **Cloragem** – Inibe e inactiva a formação de microrganismos que podem crescer nos reservatórios.
- **Dragagem** – Remove sedimentos acumulados no fundo do reservatório evitando assim a libertação de gás sulfídrico causado pelos mesmos.
- **Recirculação** – O crescimento de microrganismos e a libertação de odores pode ser controlada com uma adequada recirculação das águas dentro do reservatório.



Figura 5 - Reservatório aberto (Tampa Bay / E.U.A.). **Figura 6 - Reservatório fechado (San Diego / E.U.A.).**

3.3.3 – Gestão sustentável de água para rega

Para não se causarem problemas nas culturas a regar nem se desperdiçar a matéria-prima que são as águas residuais a reutilizar, deverá ser feito um estudo prévio das necessidades de água por parte das espécies a regar. O caudal de água necessário é uma base de dimensionamento importante para os processos de armazenamento e distribuição a montante do local de rega. Aspectos como implicações agronómicas, espécies e variáveis cultivadas, plano de fertilização, manutenção e controlo dos espaços verdes são importantes para uma boa gestão da água para rega.

De um modo geral as taxas de aplicação têm um perfil irregular e a rega deverá ser realizada maioritariamente durante a noite num período de 6 a 8 horas [9]. Durante as regas os agricultores ou os técnicos de manutenção de espaços verdes deverão utilizar medidas protectoras que evitem ao máximo o contacto directo com a água de rega. A área envolvente ao local de rega também deverá ser alvo de medidas especiais para evitar possíveis focos de contaminação, para tal, a área a regar deverá ser isolada com sebes formando uma barreira que evite o transporte de gotículas através do vento. O sistema de drenagem também deverá ser cuidadosamente dimensionado para evitar acumulação excessiva da água.

O controlo e a monitorização da rega é o aspecto mais importante para uma boa gestão de água. O controlo e a monitorização deverão ser feitos abordando os seguintes aspectos [8]:

- Volume total de água aplicado diariamente na área a regar;
- Concentração e quantidade de macronutrientes (fósforo, azoto e potássio) transportados nas águas residuais para rega;
- Concentração e quantidade de metais pesados nas águas residuais para rega;
- Plano de fertilização abordando o programa descritivo de fertilização, análises ao solo e às plantas e todos os cálculos referentes à quantidade de nutrientes a aplicar nas culturas.

Os meios hídricos deverão conter piezómetros que recolham amostras de água até uma profundidade de 1,8 metros que deverão estar localizados em zonas de concentração de águas escoadas.

3.3.4 – Tipos de rega

De forma a evitar impactos negativos como toxicidade, salinização do solo e contaminações causados pelo tipo de rega aplicado deverá haver um conhecimento adequado dos tipos de rega e seleccionar o tipo de rega mais adequado a cada situação. Existem três métodos globais de rega classificados de acordo com a aplicação no solo, o método superficial, o subterrâneo e o aéreo [10].

A rega superficial consiste na aplicação da água através do seu escoamento, a gravidade actua como a força motriz. Entre os métodos mais utilizados neste tipo de rega estão o escoamento, a submersão e a infiltração.

Na rega subterrânea a água é transportada e distribuída através de tubagens de plástico, enterradas no solo [5].

O tipo de rega por aspersão faz parte do método de rega aérea. Aqui a água é pulverizada sobre as culturas, levando por vezes à formação de aerossóis benéficos na maior parte das vezes para as culturas contribuindo para um abaixamento da temperatura que as rodeia, favorecendo a sua absorção em detrimento da sua evaporação.

3.3.4.1 – Descrição dos tipos de rega mais comuns

Quando se trata de rega com águas residuais tratadas é importante referir que para além dos tipos ou métodos de rega deverá ser assegurado no local capacidade para rega através de água de abastecimento, evitando assim uma possível falha no sistema de alimentação ou até problemas técnicos na ETAR que inviabilizem o uso destas águas tratadas. É importante também seleccionar todos os acessórios envolvidos num método de rega para aumentar assim o rendimento desta operação. Entre os acessórios destacam-se os filtros dos sistemas de rega que evitam colmatações e protegem medidores de caudais causados muitas vezes pelos SST presentes nas águas residuais tratadas [8]. De seguida serão apresentados alguns sistemas de rega mais comuns:

Rega por sulcos

Este método de rega, exemplificado na figura 7, é o que ocupa a maior parte da área regada a nível mundial. É um tipo de rega superficial em que a água é aplicada apenas a uma parte do terreno e infiltra-se de forma vertical e horizontal. Este tipo de rega é ideal para tipos de solos de textura média e fina. No entanto a sua eficiência é discutível recebendo por isso várias críticas [5] [11].



Figura 7 - Rega por sulcos.

Rega por faixas

A eficiência deste tipo de rega (figura 8) chega aos 80% desde que acauteladas as condições necessárias. Consiste na divisão do terreno em faixas de comprimento entre 100 a 800 metros e largura que varia entre 3 a 30 metros. O escoamento da água é realizado em toda a sua largura, terminando no extremo oposta da faixa. O caudal a utilizar é um facto essencial neste tipo de rega assegurando a infiltração em toda a sua largura. Solos muito argilosos ou arenosos complicam este tipo de rega devido ao difícil controlo ao nível do volume a utilizar [5].



Figura 8 - Rega por faixas no solo

Rega gota-a-gota

O gotejamento (figura 9) consiste num método em que a água é transportada através de tubos ao longo das culturas até à zona da raiz das mesmas. A sua aplicação é realizada com elevada frequência mas com pouca intensidade. Por consequência o solo na zona de plantação está constantemente húmido. Este tipo de rega aplica-se a qualquer tipo de solo, embora não a qualquer tipo de água, águas com elevado teor de SST (como é o caso das águas residuais) não são recomendadas para este tipo de aplicação em função de poderem causar entupimentos no sistema de gotejamento. Os custos deste sistema de rega são, regra geral, mais elevados que os restantes métodos de rega porque envolvem um sistema instrumental de controlo da rega [5].



Figura 9 - Rega através de gotejamento

Rega por aspersão

O objectivo deste tipo de rega é simular um ambiente como a chuva natural. A maioria dos países industrializados utiliza este género de rega preferencialmente devido à sua versatilidade e mobilidade. Consiste numa rede de tubos sob pressão que lança a água no solo de forma aérea, criando ambientes altamente húmidos favoráveis às plantas [5]. Este método (figura 10 e 11) é o mais utilizado em casos de rega paisagística (campos de golfe, relvados, etc.) devido às superfícies a regar serem muito grandes. Uma das desvantagens deste método é a existência de aerossóis que poderão ser transportados com o vento originando possíveis contaminações (no caso de rega com águas residuais tratadas) a vários metros de distância do local de rega.



Figura 10 - Rega por aspersão num campo de golfe.

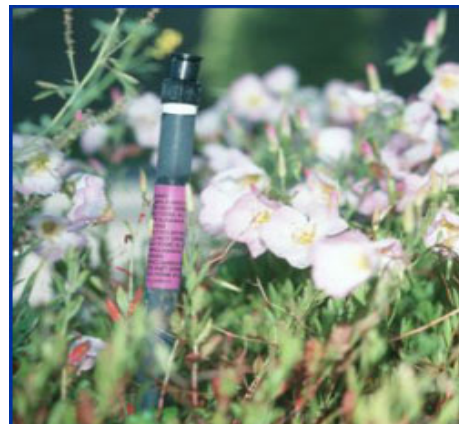


Figura 11 - Aspersor para rega com águas residuais tratadas.

Para concluir este sub capítulo, o método de selecção do tipo de rega é importante na viabilidade das culturas, solos e do próprio projecto de reutilização das águas residuais para rega. Seja qual for o método seleccionado, nos casos em que a rega seja paisagística deverá estar associado ao sistema de rega uma pequena estação meteorológica (figura 12) que fornece auxílio à rega com sensores que avaliam a

pressão barométrica, precipitação, temperatura do ar, temperatura do solo, radiação solar e velocidade e direcção do vento. Estes mecanismos sujeitos a análise por parte de um perito podem tornar-se uma ferramenta essencial no bom rendimento da rega assim como na protecção da população em redor.



Figura 12 - Exemplo de uma estação meteorológica num campo de golfe.

3.4 – Reutilização de águas residuais no mundo – Perspectiva histórica e futura

Preocupações com a água disponível às populações datam da época do império romano quando aquedutos foram erguidos para transportar a água para locais onde esta era necessitada. O contexto de reutilização de águas surgiu assim na necessidade de conservar este bem essencial [12]. O desenvolvimento inicial do conceito de reutilização de águas residuais está intrinsecamente ligado à descarga de águas residuais nos solos. Na Europa e nos E.U.A. no início do século vinte, as águas residuais começaram a ser descarregadas nas chamadas “*sewage farms*” que eram zonas de produção agrícola, onde acidentalmente as águas residuais funcionaram como fertilizante. Durante o século passado inúmeros projectos de reutilização de águas residuais foram surgindo um pouco por todo o mundo [13]. O quadro 5 faz uma breve perspectiva do desenvolvimento desta tecnologia no mundo.

Quadro 5 - Desenvolvimento histórico/cronológico da reutilização de águas residuais no mundo.
[adap.13]

Ano	Local	Aplicação
1912	Golden Gate Park, São Francisco, Califórnia, E.U.A.	Humedecer relvados e abastecimento de lagos ornamentais
1929	Cidade de Pomona, Califórnia, E.U.A.	Rega de relvados e jardins
1942	Cidade de Baltimore, Maryland, E.U.A.	Arrefecimento de metais e processamento de ferro em industria de ferro
1960	Cidade de Colorado Springs, Colorado, E.U.A.	Rega de campos de golfe, parques e cemitérios
1962	La Soukra, Tunísia	Rega de citrinos e redução de intrusão salina em águas subterrâneas
1968	Cidade de Windhoek, Namíbia	Reutilização de águas residuais como fonte de água potável
1969	Cidade de Wagga Wagga, Austrália	Rega de campos desportivos, relvados e cemitérios
1970	Industria de produção de papel, Enstra, África do Sul	Reutilização de águas residuais domésticas para produção de papel
1976	Orange County Water District, Califórnia, E.U.A.	Abastecimento de aquíferos por injeção directa
1977	Dan Region Project, Tel-Aviv, Israel	Drenagem para águas subterrâneas e bombeamento destas para o sul de Israel para rega em cultivos
1984	Governo metropolitano de Tokyo, Japão	Projecto de reciclagem de águas residuais para autoclismos, em 19 edifícios, localizados no centro congestionado da área metropolitana
1989	Consórcio da Costa Brava, Girona, Espanha	Rega de campos de golfe

3.4.1 – Continente Europeu

Os principais países que se destacam no domínio da reutilização das águas residuais são os que estão abrangidos pelo clima mediterrânico: Espanha, França, Itália, Grécia e Chipre. No entanto países como a Inglaterra e a Alemanha têm um nível cultural que lhes permite tratar a reutilização de águas residuais como uma séria solução ambiental, visto não terem problemas de falta de água. A Alemanha foi inclusive o primeiro país europeu a classificar a qualidade das águas residuais para rega [5].

O stresse hídrico verificado na Europa indica que os países Chipre, Bulgária, Malta, Bélgica, Espanha e Alemanha estão em níveis de stresse hídrico alto [8].

A principal aplicação da reutilização de águas residuais na Europa é a rega agrícola e de campos de golfe [5].

3.4.2 – Continente Americano

E.U.A.

Como já foi identificado no Quadro 5, os Estados Unidos da América foram um dos países pioneiros na reutilização de águas residuais. A existência de um verdadeiro modelo de gestão dos recursos hídricos permite com que estados localizados no sul do país (Califórnia, Florida, Texas e Arizona) onde existe uma verdadeira escassez de recursos hídricos sejam líderes nacionais de reutilização de águas residuais [8].

O estado da Califórnia conta a partir de 1960 com um regulamento, designado de *California title 22* que restringe a reutilização de águas residuais a uma política de segurança que envolva nenhum risco para a saúde pública.

O estado do Texas conta com cerca de 190 aplicações para reutilização de águas residuais, entre elas a rega de campos de golfe e as diversas utilizações na indústria. O volume total diário do uso destas águas no estado do Texas ascende aos 600 Milhões de m³ [14].

México

A cidade do México, uma das grandes metrópoles a nível mundial reutiliza 90% das águas residuais juntamente com águas pluviais, a um caudal de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ para a rega do Vale Mezquital (figura 13) [15]. Mas como a maioria das águas residuais não passam por qualquer desinfecção, a quantidade de coliformes fecais nas águas para rega é da ordem dos $10^6 - 10^8 \text{ CF} / 100 \text{ ml}$, as taxas de contaminações em agricultores e crianças é elevada. O problema ainda se verifica nos dias de hoje embora haja uma vontade política e um plano estratégico de solução deste problema [16].



Figura 13 - Vale Mezquital (México).

Chile

No Chile a cidade de Santiago nos anos 90 era caracterizada por descarregar quase a sua totalidade de águas residuais, sem tratamento, no Rio Mapocho que serviria para regar 16 000 ha onde cultivavam culturas para alimentação. Resultado disso foi elevadas taxas de febre tifóide na população [5]. A solução deste problema passou pela construção, já no século XXI, de uma das maiores estações de tratamento de águas residuais da América Latina que processa diariamente 120 toneladas de matéria seca e trata $8,8 \text{ m}^3 / \text{s}$ [17].

Restantes países

O Peru é um dos países da América Latina, onde a reutilização de águas residuais para rega assume um papel de extrema importância devido ao clima muito árido ao longo da costa. Os principais tratamentos de águas residuais são através de lagoas de estabilização [5].

O Brasil é o país da América Latina onde existe mais apoios a projectos que envolvam a reutilização de águas residuais. As principais aplicações de interesse no Brasil são o consumo directo, aplicações industriais em larga escala e rega de espaços verdes [18].

3.4.3– Continente Africano

O continente africano é dos continentes do mundo com mais escassez de água. Esta escassez de água encontra-se localizada sobretudo na região entre os países banhados pelo mediterrâneo até ao sul do deserto do Sahara. Em Agosto de 2008, durante a “2008 World Water Week – Stockholm” foi publicado um relatório pelo Instituto Internacional de Gestão de Água que indica que a maioria dos países da África subsariana utiliza águas residuais não tratadas ou pouco tratadas para rega em agricultura. É mencionado no relatório que em Accra, a capital do Ghana, cerca de 200 000 habitantes consome diariamente vegetais irrigados com águas residuais [19].

No entanto, países do norte de África são regionalmente pioneiros e até avançados, visto que já utilizam frequentemente águas residuais tratadas para diversos fins.

Tunísia

A Tunísia tem uma menção honrosa neste aspecto devido às políticas implementadas desde 1980's, o que permitiu criar condições de qualidade na reutilização de águas residuais. Estima-se que em 2020 a reutilização de águas residuais perfaça um volume total de 290 Milhões de m³, qualquer coisa como 18% das águas subterrâneas disponíveis [20].

África do Sul

A utilização de águas residuais neste país já desempenha um papel importante desde os anos de 1970. É dos países do mundo onde a legislação é mais apertada na reutilização de águas residuais. Exemplo disso é a proibição da rega com qualquer tipo de águas residuais, de vegetais que sejam comidos sob a forma crua. Os coliformes fecais não se podem encontrar nas águas residuais para reutilização em campos desportivos, pastagens onde animais leiteiros se alimentam e águas para descargas de autoclismos. As culturas de árvores frutíferas podem ser regadas com águas residuais com o

tratamento terciário e o valor máximo de 1000 *E. coli* (tipoI) / 100 mL. Existem também casos bastante atractivos em que as águas residuais são descarregadas para corpos de água que drenam para rios ou barragens, criando zonas interessantes sob o ponto de vista ambiental. A reutilização de águas residuais na indústria tem também um papel importante neste país, onde cerca de 7,1% das águas residuais reutilizadas é aplicada na indústria como águas de arrefecimento ou caldeiras [5] [12].

3.4.4 - Continente Asiático e Médio Oriente

Ásia

A reutilização de águas residuais no continente asiático está associada ao crescimento não sustentado das enormes áreas metropolitanas, onde a água de abastecimento é escassa e de fraca qualidade. Países como Singapura e Japão reutilizam frequentemente as águas residuais nos edifícios em descargas de autoclismos [5].

A aposta na ciência como solução à elevada poluição das águas na China, tem surtido efeito com os diversos avanços na áreas das tecnologias de membrana que permitem que a China reutilize as águas residuais de forma segura para as aplicações mais comuns [8].

Médio Oriente

Esta região instável do planeta é ainda hoje caracterizada por as culturas terem preconceitos religiosos hebraicos e muçulmanos que não permitem a reutilização de águas residuais em alguns países.

Israel é o país onde esta tecnologia é mais consistente e está mais desenvolvida fruto das políticas que gerem os recursos hídricos do país devido aos escassos recursos hídricos que limitavam a produção agrícola. Com a aplicação destas políticas espera-se que o país em 2010 reutilize águas residuais ao ponto de serem 20% do consumo total de água. Ao sistema de reutilização estão associadas tecnologias ímpares como o armazenamento sazonal dos efluentes para mais tarde serem utilizados em rega [5].

Também países como Palestina e Síria têm vindo a desenvolver políticas de reutilização de águas residuais principalmente para rega agrícola, já que são países onde a produção agrícola representa uma parcela muito forte no seu desenvolvimento [21].

3.4.5– Oceânia

A prática de reutilização de águas residuais neste continente é antiga e data do século XIX. A principal aplicação da reutilização é a rega agrícola e paisagística, embora com o desenvolvimento das novas tecnologias a reutilização urbana em habitações seja já uma prática muito comum. A Austrália está separada por 2 tipos de climas: o clima tipo mediterrânico e o clima muito árido. Esta situação levou a que o governo implementasse até 2012, duas estratégias diferentes que envolvem para a região mediterrânica a reutilização de águas residuais em 20% e para a região árida a reutilização entre 50 – 100% das águas residuais [8].

4 – Estudos Necessários Para Viabilização da Reutilização de Águas Residuais

Os projectos para reutilização de águas residuais deverão ser realizados sempre aliados a uma análise detalhada à gestão dos mesmos, passando por adoptar metodologias que possam monitorizar todos os parâmetros de ordem técnica, administrativa, logística, social, económica, ambiental e de protecção da saúde pública. O controlo de todos estes parâmetros permite não só um rendimento adequado do projecto, como também um impacto positivo nas populações que beneficiam desta tecnologia.

4.1 – Estudos Sociais

A aceitação das populações de um projecto de reutilização de águas residuais é o aspecto mais importante a levar em linha de conta. Um projecto deste género deverá ter uma forma comunicativa acessível a todo o tipo de público, o público que analisa o projecto tecnicamente, o público que analisa o projecto ao nível do impacte ambiental, o público que analisa o projecto sob o ponto de vista da legislação e o publico que beneficia directamente do projecto. A situação socio-económica das populações que podem beneficiar de um projecto deste tipo, é uma característica importante na aceitação do projecto, se por um lado populações ilustradas e com um bom nível socio-económico tendem a aceitar melhor este tipo de projectos, por outro lado populações não tão ilustradas e com um nível socio-económico médio já tendem a defender situações de mudança. Também há aquele tipo de populações que devido às suas condições socio-económicas serem más aceitam qualquer tipo de projectos que envolvam benefícios financeiros (vide Cap. 3.4.2). Outro motivo de relevo que traduz confiança nas populações em introduzir a reutilização das águas residuais, é a eficiência e a reputação das entidades que gerem e exploram os sistemas de tratamento de águas residuais. Em suma, é importante estudar o balanço entre a aceitação do público e a aplicação da tecnologia de reutilização de águas residuais.

4.2– Estudos Económico-Financeiros

Para viabilizar um projecto, seja ele de que natureza for, é necessário estar assegurado que durante o tempo de vida útil não haja apenas prejuízo para as entidades ou para os utilizadores. Os países mais desenvolvidos do mundo já vêm a reutilização de águas residuais como uma condição de restabelecer os meios hídricos disponíveis a um custo considerável. A avaliação do estudo económico-financeiro é realizada comparando sempre alternativas da relação custo/benefício, seleccionando sempre a alternativa mais baixa. Se o projecto for considerado viável do ponto de vista económico, passa-se então à fase seguinte do financiamento do mesmo, capítulo onde se encontram muitas vezes as barreiras à implementação do projecto. Na maioria das situações isto deve-se a factores conjunturais de elevadas taxas de juro reais e a falta de transparência do mercado (nas situações de rega agrícola) [5].

4.3 – Estudos de Carácter Legal e Regulamentar

Os possíveis prejuízos causados pela reutilização de águas residuais devem estar precavidos com a criação de regulamentação que defenda o uso correcto e sustentável da reutilização de águas residuais. As entidades gestoras do meio hídrico devem ter um papel fundamental na salvaguarda dos interesses do país nesta matéria, assim como as autoridades ligadas à protecção do ambiente, da agricultura e saúde pública.

O estudo ao enquadramento e suporte legal reveste-se assim de extrema importância na análise de viabilidade de um projecto para assegurar:

- Disponibilidade e águas residuais tratadas;
- Uso correcto de solos e práticas agrícolas;
- Monitorização ambiental dos ecossistemas atingidos pela rega;
- Direito a reutilizar a água;
- Tarifas justas;
- Formação;
- Inspecção;

5 – Avaliação dos Benefícios e Riscos Associados à Rega com Águas Residuais em Portugal

O sector da agricultura sempre desempenhou um papel fundamental na estrutura económica do país (figuras 14 e 15). Este sector sempre foi caracterizado em Portugal por pouca produtividade, ao qual está associado a disponibilidade de água para rega. Se de acordo com o relatório de 2007 de avaliação ambiental da Agência Europeia do Ambiente, Portugal tem uma boa quantidade de recursos hídrico per capita por ano, também é legítimo afirmar que a sua distribuição geográfica não é equilibrada. De acordo com o mesmo relatório Portugal tem uma percentagem de captação de águas superficiais de aproximadamente 60% e uma captação de águas subterrâneas de aproximadamente 40% em relação captação total de água. As águas subterrâneas não serão o tipo de água adequada à rega agrícola por na maior parte das vezes conterem níveis de salinidade elevados e quantidades nutritivas baixas. Ao nível da precipitação, Portugal está dividido em duas zonas, a zona norte onde a precipitação ocorre com frequência devido às condições climáticas e tem a zona centro e sul que é carenciada em precipitação e fontes de água (figura 16) [22]. É precisamente no Sul e Centro do país que existe maior interesse na reutilização de águas residuais, quer para fins agrícolas quer para fins paisagísticas. O Alentejo e o Algarve são as regiões de Portugal mais carenciadas em recursos hídricos, sendo o Alentejo a maior superfície agrícola do país e o Algarve a zona do país com mais de 40% do total de campos de golfe e até considerado mundialmente como um dos melhores destinos para a prática de golfe [5] [9]. Assim um dos grandes benefícios da reutilização de águas residuais será certamente o aproveitamento de um recurso hídrico como matéria-prima de inegável valor, principalmente nos domínios agrícolas e paisagísticas, mais concretamente em rega de campos desportivos. No entanto a aplicação da reutilização de águas residuais em Portugal deverá ser sempre alvo de um *feedback* da população e dos organismos reguladores dos recursos hídricos e da saúde pública, para minimizar os possíveis riscos associados a esta tecnologia e que podem passar por:

- **Perigo real para a saúde pública devido à possível presença de microrganismos potencialmente patogénicos nas águas residuais reutilizadas;**
- **Comunicação inadequada às populações resultando a sua não-aceitação;**

- **Aplicação indevida desta técnica causando danos ambientais nas zonas envolventes;**
- **Possível reutilização de águas residuais em rega sem o tratamento mínimo adequado;**
- **Tarifas aplicadas inadequadamente;**

Os riscos associados à reutilização de águas residuais são reais e devem ser sempre confrontados com os benefícios inerentes a esta tecnologia já bastante aplicada em diversas zonas do mundo e que passam por:

- **Sustentação dos recursos hídricos associados ao país;**
- **Redução da aplicação de adubos nos solos, pois a reutilização de águas residuais permite uma fertilização natural dos solos;**
- **Reabastecimento dos aquíferos e das águas superficiais devido à diminuição da sua procura como fonte de rega;**
- **Protecção do ambiente evitando a sua descarga em meios hídricos;**
- **Benefícios económicos das entidades gestoras das águas residuais e das entidades interessadas nas águas residuais tratadas;**

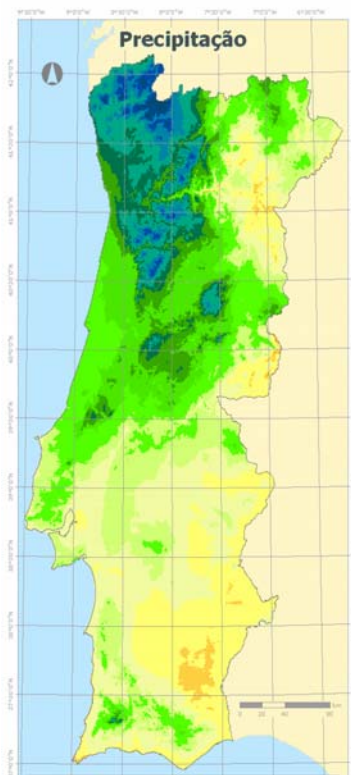


Figura 16 - Precipitação média anual em Portugal. [fonte:Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos]

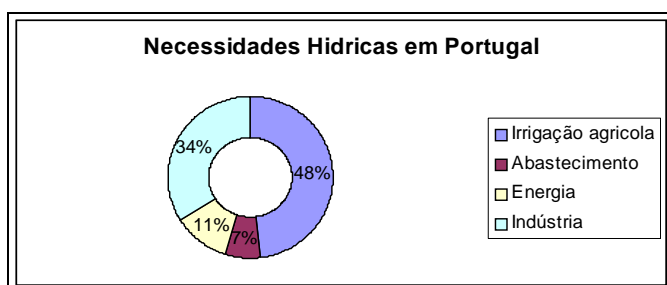
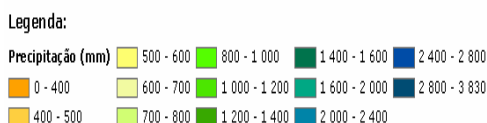


Figura 14 - Necessidades Hídricas em Portugal. [23]

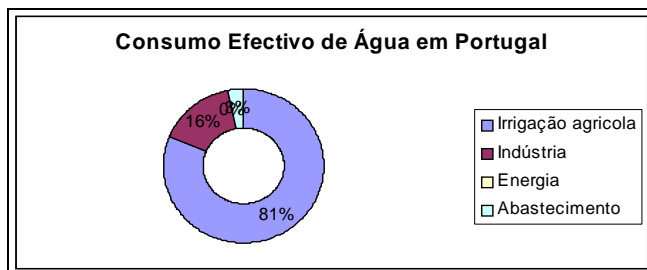


Figura 15 - Consumo Efectivo de Água em Portugal. [23]

6 – Regulamentação e Recomendações à Reutilização de Águas Residuais Para Rega em Portugal

Uma das prioridades em Portugal em relação à gestão dos recursos hídricos passa, nos últimos anos, por recomendar a reutilização de águas residuais, principalmente para rega agrícola e/ou paisagística devido não só ao factor climático que proporciona um semestre de precipitação abundante e outro semestre de seca como a distribuição da disponibilidade hídrica ser muito irregular [5]. A reutilização de águas residuais foi legalmente abordada em pela primeira vez através do Artigo 11.º do Decreto-lei n.º 152/97 que afirma “*As águas residuais tratadas, bem como as lamas, devem ser reutilizadas, sempre que possível ou adequado*”. O enquadramento legal desta tecnologia para rega é então introduzido no artigo 60.º, anexos XVI e XVII do Decreto-lei 236/98 que define então as normas de qualidade mínima para a eficiente reutilização de águas residuais em rega.

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II 2007-2013) lançado pelo Ministério de Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, também dedica um capítulo exclusivo à reutilização de águas residuais de onde são retiradas as seguintes considerações:

- Tem sido realizado um investimento avultado pelos Sistemas Multimunicipais para dotar as infra-estruturas de tratamento adequado à reutilização de águas residuais;
- As novas ETAR têm vindo a reutilizar e reciclar as águas residuais para fins de regas de espaços verdes, água de serviço e preparação de reagentes;
- O Norte e o Sul de Portugal têm necessidades diferentes de reutilização de águas residuais;
- A reutilização de águas residuais nem sempre é economicamente viável;
- A rega de campos de golfe no Sul do país, já tem elevada importância;
- É sugerido a prática de reutilização de águas residuais em zonas onde os recursos hídricos sejam escassos;
- Necessidade de sensibilização aos potenciais utilizadores desta tecnologia;

- Implementar o mínimo de 10% de reutilização de águas residuais durante o plano estratégico;
- Suporte à execução de estratégias que envolvam investigação e inovação no domínio do aumento da reutilização de águas;
- O PEAASAR II 2007-2013 vai contribuir juntamente com a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS) para um “*Melhor Ambiente e Gestão Sustentável dos Recursos Naturais*” através da prioridade ao uso de origens de águas alternativas como a reutilização de águas residuais.

6.1 – Norma Portuguesa – Reutilização de Águas Residuais Urbanas Tratadas na Rega – NP 4434:2005

A norma portuguesa, sem cariz legal, foi criada no sentido de estabelecer condições para uma prática de reutilização de águas residuais potencialmente segura. Foi elaborada pela Subcomissão 3 “Reutilização de Águas Residuais” da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização CT 90 “Sistemas de Saneamento Básico” e estabelece:

- Requisitos de qualidade mínima nas águas residuais urbanas para rega;
- Critérios na escolha de métodos e tipos de equipamento para rega;
- Procedimentos relativos ao método de rega;
- Procedimentos para protecção ambiental;
- Procedimentos de monitorização ambiental;

6.1.1 - Requisitos de qualidade mínima nas águas residuais urbanas para rega

Os requisitos de qualidade mínima das águas residuais urbanas para rega seguem os valores estabelecidos pela legislação em vigor, anexo XVI do Decreto-lei 236/98 de 1 de Agosto.

A norma portuguesa também recomenda, em relação às características microbiológicas o seguinte: adequação da qualidade microbiológica das águas residuais tratadas e das características das culturas a regar, processo de rega a utilizar e objectivo final das culturas regadas.

6.1.2 - Critérios na escolha de métodos e tipos de equipamento para rega

A selecção dos métodos de rega a aplicar deverá ser feita de acordo com a qualidade físico-química e microbiológica da água assim como o tipo de cultura a regar e os condicionalismos que a zona a regar apresenta.

A NP 4434:2005 recomenda no entanto, e uma vez que foi elaborada para situações de rega, que se dê preferência a métodos de rega que envolvam pouco contacto da água com as partes aéreas das plantas, transporte aéreo de aerossóis e escoamento abundante de água superficial. É afirmado então que os processos de rega subterrâneos e de gotejamento são mais vantajosos e que processos de rega de aspersão envolvem riscos acrescidos de saúde pública.

6.1.3 – Procedimentos relativos ao método de rega

Os solos devem ter características compatíveis com a sua utilização em regadio e deve haver um controle sobre as seguintes características indicadas no quadro 6:

Quadro 6 - Características Químicas e Físicas dos solos a monitorizar. [7]

Tipo de Características	Parâmetros
Físicas	Textura
	Estrutura e Profundidade
	Permeabilidade
	Capacidade de Retenção
	Condutividade Hidráulica
Químicas	pH
	Salinidade
	Capacidade de Troca Catiónica
	Teor de Nutrientes
	Teor de Elementos Poluentes
	Teor de Matéria Orgânica
	Percentagem do Sódio de Troca

A percentagem de metais pesados nos solos também deve ser quantificada e adequada de acordo com os valores máximos admissíveis para as concentrações de metais pesados e que estão listados no Quadro 7:

Quadro 7 - VMA de Concentrações de Metais Pesados nos solos (mg /kg solo seco).[7]

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 no caso de culturas destinadas a consumo humano ou a pastagens. Para estas culturas aplicam-se os valores referentes aos solos com valores de pH entre 5,5 e 7,0.

Fonte: Decreto-Lei n.º118/2006 de 21 de Junho

De forma a evitar o possível risco de contaminação dos meios hídricos superficiais envolventes, deverão ser evitados declives acima de 20% e os terrenos não devem ficar localizados em zonas de inundações frequentes. No entanto de acordo com a selecção do tipo de rega os declives máximos admitidos podem diminuir:

Rega por escoamento

- **Regadeiras de nível** – O declive máximo admitido é **3%**
- **Regadeiras inclinadas** – O declive máximo admitido é **8%**
- **Faixas** – O declive máximo admitido é **7%**

Rega por infiltração

- **Sulcos rectos** – O declive máximo admitido é **3%**
- **Sulcos de nível** – O declive máximo admitido é **8%**

Rega por aspersão

- **Com equipamento deslocável** – O declive máximo admitido é **15%**

As instalações de rega não devem também localizar-se em zonas consideradas de vulnerabilidade hidrogeológica, isto é, com alto risco de infiltração e percolação de

águas superficiais. Estão incluídos nesta situação entre outros, solos cárscicos, solos com elevada condutividade hidráulica e solos sobrejacentes a aquíferos.

Com a ajuda de um piezômetro deve ser verificado o nível freático no período de rega e este deve ser no mínimo **1 metro** para gotejamento superficial, **1,5 metros** para gotejamento subterrâneo e mini-aspersão, **3 metros** para aspersão e **4 metros** para rega por sulcos ou subterrânea.

Devem ser tomadas precauções (excepto no método de gotejamento) com as populações presentes nos meios habitacionais que rodeiam as zonas de rega e o local de armazenamento das águas residuais, minimizando assim o risco da ocorrência de doenças associadas à contaminação por patogénicos potencialmente presentes nas águas. As zonas de rega devem estar no mínimo a 100 metros de distância de captações de água para abastecimento público e a distâncias mínimas de zonas de ocupação humana permanente ilustradas no Quadro 8:

Quadro 8 - Distância mínima entre a zona de rega e zonas habitacionais.[7]

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

São também recomendados os tratamentos e os parâmetros microbiológicos adequados a cada tipo de cultura a regar através do Quadro 9:

Quadro 9 - VMA para parâmetros microbiológicos e tratamentos adequados em função do tipo de culturas a regar. [7]

Tipos de cultura	Coliformes fecais (NMP ou ufc/100 mL)	Ovos de parasitas entéricos (ovos/L)	ESQUEMAS DE TRATAMENTO ADEQUADOS	OBSERVAÇÕES
Culturas horticolas para consumo em cru.	100	1	Secundário⇒Filtração⇒Desinfecção ou Terciário⇒Filtração⇒Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O ₃ preferíveis à cloragem.
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 ₃ preferíveis à cloragem. A rega deve ser efectuada de modo a evitar contacto com o público.
Culturas horticolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares.	10 ³	1	Secundário⇒Filtração⇒Desinfecção ou Terciário⇒Filtração⇒Desinfecção ou Lagunagem (Sistema com 3 ou mais lagoas e t _R ≥ 25 dias)	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O ₃ preferíveis à cloragem. A rega de vinha e pomares deve ser efectuada de modo a evitar contacto com os frutos. Não devem ser aproveitados os frutos caídos no solo.
Culturas cerealíferas*, culturas horticolas 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 ⁴	1	Secundário ⇒ Lagoas de maturação (t _R ≥ 10 dias) ou Secundário ⇒Filtração⇒Desinfecção	Desinfecção por UV (lâmpadas com auto-limpeza) ou O ₃ preferíveis à cloragem. A rega deve ser efectuada de modo a evitar contacto com o público.

6.1.4 - Procedimentos para protecção ambiental

De forma a evitar possíveis complicações no meio ambiente e na saúde dos técnicos envolvidos nos procedimentos de rega deverão ser adoptados procedimentos que ajudem no controlo dos potenciais riscos associados a esta prática.

1. Deverá haver uma sinalização adequada, informando claramente que se está na presença de uma zona irrigada com águas residuais. Este procedimento deverá ser feito nas zonas limites de rega e nos locais de armazenamento das águas residuais.
2. O afastamento entre as tubagens da rede de distribuição deve respeitar o n.º 3 do Artigo 24º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto.

3. As regas devem ser realizadas no período nocturno evitando o acesso ao público. Nos casos do tipo de rega por aspersão deverá existir anemómetros amovíveis que indiquem a velocidade do vento, evitando as regas em casos de vento forte ou suspendendo em casos em que já decorre. O Quadro 10 indica os VMA para a velocidade do vento em período de rega.
4. Os operadores devem usar todo o tipo de equipamento de protecção incluindo mascara que evite o inalamento de aerossóis formados no caso de rega por aspersão.
5. Os animais não devem pastar na semana seguinte à rega de águas residuais em pastagens.
6. As árvores frutíferas não devem ser regadas nas duas semanas antes da colheita.
7. As zonas regadas devem ser separadas das zonas habitacionais através de cortinas constituídas por sebes, árvores ou arbustos com altura e densidade de ramagem e folhagem adequadas.
8. A zona irrigada deverá ter um escoamento adequado drenando assim os excedentes de água. Também deverá ser constituída por um vale cintura para que a água não escoe para fora da zona irrigada.
9. Deverá existir uma zona de protecção a linhas de água superficiais constituída por solo não irrigado com águas residuais com a largura mínima de 2 metros para ambos os lados.
10. As espécies pratenses não leguminosas deverão assegurar uma cobertura total e permanente da zona irrigada.

Quadro 10 - VMA para a velocidade do vento em função do tipo de rega. [7]

Processo de rega	Distância relativamente a zonas habitadas (m)	Valor máximo admissível para a velocidade do vento (m/s)
Aspersão	> 100	3,5
	100 a 70	2,0
	70 a 50*	2,0
Mini-aspersão	> 50	2,5
	50 a 30	2,0

* Só é permitida a irrigação se as águas forem de elevada qualidade microbiológica.

6.1.5 - Procedimentos de monitorização ambiental

A monitorização ambiental é realizada com a função de controlar as quantidades de nutrientes e elementos poluentes veiculados nas águas residuais para rega. Os nutrientes a contabilizar são o azoto, fósforo e potássio e estes não devem exceder as quantidades necessárias a cada tipo de cultura. Os elementos poluentes são monitorizados com o objectivo de impedir inconvenientes de ordem ambiental e saúde pública.

As entidades gestoras devem possuir e preencher três tipos de documentos:

- Boletins de análise às águas utilizadas na rega.
- Registo de volumes de água aplicados e quantidades de metais pesados e nutrientes aplicados ao solo.
- Plano de Fertilização da área total para rega

Para a realização da monitorização deverá ser elaborado um *Plano de Monitorização Ambiental*, com toda a informação respeitante ao procedimento de monitorização posto em prática e que incluem a identificação dos meios hídricos, metodologias na recolha de amostras de água e solo e periodicidade das mesmas. A análise de metais pesados deverá no entanto ser realizada em laboratório devidamente acreditado.

O possível armazenamento e tratamento complementar das águas residuais a jusante da ETAR deverá ser da exclusiva competência das entidades gestoras da rega que deverão ser responsáveis pelas análises das mesmas estando a periodicidade e a qualidade devidamente legisladas (Decreto-lei 236/98, de 1 de Agosto).

6.2 – Recomendação n.º 02/2007 do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) – Utilização de Águas Residuais Tratadas

Ao Instituto Regulador de Águas e Resíduos foi atribuído o estatuto de autoridade competente para a qualidade de água para consumo humano ao abrigo do Decreto-lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, e que transpõe a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro. Assim este organismo tem como principal função regular serviços de águas e resíduos, relacionando-se com todas as entidades gestoras dos mesmos.

Segundo a sua Declaração de Política Ambiental, aprovada a 1 de Outubro de 2008, este instituto propõe-se a criar procedimentos que visem “*Minimizar a produção de resíduos através de medidas de produção, de reutilização e de separação selectiva, e promover uma utilização eficiente da água e energia*”.

A 20 de Agosto de 2007, o IRAR publicou uma recomendação às entidades que gerem o tratamento de águas residuais domésticas e que se apresenta aqui de forma sucinta.

6.2.1 – Utilização de Águas Residuais Tratadas

- Em alternativa à descarga dos efluentes para os meios receptores e sempre que económica, tecnicamente e ambientalmente a reutilização de águas residuais for viável, deverá ser equacionado a sua produção e distribuição.
- Será necessário uma comunicação adequada e esclarecedora entre o público e a entidade gestora das águas residuais.
- Em águas residuais utilizadas para rega agrícola, as entidades deverão obter os licenciamentos adequados junto da Administração de Região Hidrográfica, Direcção Regional de Agricultura e Delegado Regional de Saúde.
- Em águas residuais utilizadas para rega paisagística, as entidades deverão obter autorização da Administração de Região Hidrográfica e do Delegado Regional de Saúde.

As premissas descritas têm um enquadramento legal adequado ao abrigo dos artigos 12º e 15º do Decreto-lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio e artigo 58º do Decreto-lei 236/98, de 1 de Agosto.

6.2.2 – Produção e Distribuição de Águas Residuais Para Reutilização

- Os parâmetros de descarga no meio receptor abrangidos pelo Decreto-lei n.º 152/97, de 19 de Junho, poderão não assegurar a qualidade mínima para reutilização das águas residuais, devendo a entidade gestora do tratamento de águas residuais proceder aos tratamentos necessários de afinação.
- As actividades subsequentes de tratamento como a elevação, transporte e armazenamento, deverão ser asseguradas por outras entidades caso a entidade gestora das águas residuais assim o entenda. Tal procedimento deve no entanto ser alvo de contrato que indique todas as obrigações inerentes a cada entidade.
- A distribuição deve ser realizada em redes específicas de distribuição e com sinalização devida. Poderá no entanto ser preferível a sua distribuição em meios móveis.

6.2.3 – Controlo de Qualidade

- As entidades gestoras devem ser responsáveis pelo cumprimento dos parâmetros mínimos aplicados à reutilização das águas residuais, os quais deve remeter ao Delegado Concelhio de Saúde.
- As condições de monitorização dos meios receptores das águas residuais devem ser indicadas pela Administração de Região Hidrográfica e os seus resultados remetidos ao Delegado Concelhio de Saúde.
- Nos casos em que os parâmetros não sejam cumpridos ou que se espere que não venham a ser cumpridos, deve ser interrompido imediatamente o abastecimento de águas residuais, devendo os utilizadores, entidade licenciadora e Delegado Concelhio de Saúde ser informadas.
- De forma a colmatar eventuais lacunas legais na legislação aplicável, deverão ser atendidas a norma portuguesa NP 4434:2005 e a *WHO Guideline for the safe use of the wastewater, excreta and greywater*.

6.2.4 – Utilizadores de Água Residual Tratada

- Devem ser assegurados e contratualizados junto dos utilizadores os volumes máximos diários, uma vez que é um aspecto determinante no dimensionamento e exploração do sistema de distribuição de águas residuais.
- Deve ser elaborado um regulamento pela entidade gestora que deve contemplar de forma clara os seguintes aspectos: importância da utilização, qualidade de tratamento necessário e custos inerentes.

6.2.5 – Tarifário

- O tarifário deve contemplar os custos inerentes à actividade de produção e distribuição de águas residuais para reutilização.
- O tarifário deve ter em conta os custos de investimento associados ao projecto, custos específicos relativos ao utilizador (infra-estruturas dedicadas), custos de exploração e remuneração do capital empregue.

O modelo de tarifário proposto pelo IRAR é o seguinte:

- 1) *Parcela fixa*: Inclui os custos de disponibilidade do serviço, ou seja, custos gerais de investimento, custos fixos de exploração e a remuneração do capital empregue, definida para cada utilizador em função do volume máximo diário contratado, sendo calculada nos seguintes moldes:

$$PF_{i(N)} = \frac{\sum_{j=1}^m (A - PPTe + CEF + COC)_{j(N)}}{\sum_{i=1}^n Q_{\max i(N)}} * Q_{\max i(N)} \quad (V)$$

- 2) *Parcela variável*: Incorpora os custos variáveis de exploração num valor unitário (€/m³) igual para todos os utilizadores, sendo calculada nos seguintes moldes⁹:

$$PV_{i(N)} = T_{v(N)} * Q_{i(N)} = \frac{\sum_{j=1}^m (CEV)_{j(N)}}{\sum_{i=1}^n Q_{i(N-1)}} * Q_{i(N)} \quad (VI)$$

em que:

PF = Valor anual da parcela fixa;

PV = Valor anual da parcela variável;

i = Utilizador;

⁹ Para o primeiro ano de exploração de um novo sistema, $\sum_{i=1}^n Q_{i(N-1)}$ pode ser substituído por valor estimado. (VII)

n = Número total de utilizadores servidos pela entidade gestora

j = Estação de tratamento;

m = Número total de estações de tratamento onde se produz água para reutilização;

N = Ano para o qual se está a efectuar o cálculo do tarifário;

$N-1$ = Ano anterior;

A = Amortizações do exercício;

$PPTE$ = Proveitos resultantes do pagamento dos troços de distribuição específicos;

CEF = Custos de exploração fixos;

CEV = Custos de exploração variáveis;

COC = Custo de oportunidade do capital empregue afecto ao financiamento desta actividade (quer capitais alheios, quer capitais próprios);

Q_{max} = Volume máximo diário contratado por cada utilizador;

T_v = Tarifa variável (valor unitário, €/m³)

Q = Caudal consumido.

7 - Caso de Estudo – Análise à Viabilidade da Reutilização de Água Residual Tratada para Rega Paisagística

7.1 - Localização e Importância Ambiental

A empresa SIMARSUL foi criada e aprovada pelo Decreto-Lei 286/2003 de 8 de Novembro. É uma sociedade de capitais públicos que detém a concessão, em regime de exclusividade de todo o processo de recolha, tratamento e rejeição de efluentes em 8 dos Municípios que fazem parte da Península de Setúbal – Alcochete, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal.

A ETAR de Fernão Ferro é um subsistema do Sistema Multimunicipal de Saneamento de Águas Residuais da Península de Setúbal (**SIMARSUL**). Encontra-se localizada junto à EN 378, no Pinhal das Freiras, freguesia de Fernão Ferro, concelho do Seixal, distrito de Setúbal e ocupa uma área de aproximadamente 2 hectares.

Este subsistema revela-se de extrema importância na manutenção do equilíbrio natural da zona, uma vez que o efluente tratado é descarregado no Rio Judeu que desagua na Baía do Seixal que integra a Reserva Ecológica Nacional (REN). É considerada uma zona sensível, pelas ameaças a que estão sujeitos, os esteiros e as zonas entre marés das linhas de água da península de Setúbal que drenam para o estuário do Tejo. O estuário do Tejo é uma das maiores zonas húmidas do mundo e tem diversos valores naturais que decorrem em particular, da sua dimensão, da biodiversidade da fauna e flora e dos ecossistemas que nele existem.

7.2- Descrição do funcionamento da ETAR de Fernão Ferro

7.2.1 - Descrição sucinta da ETAR de Fernão Ferro [24]

A ETAR de Fernão Ferro foi alvo de um projecto de Ampliação e Beneficiação que visou sobretudo o aumento do nível de atendimento da população com tratamento de águas residuais urbanas e também dotar os subsistemas de equipamentos modernos e eficazes de tratamento. A ETAR foi dimensionada para um equivalente populacional de

32.700 hab.eq. e o seu esquema de tratamento desenvolve-se sobre 2 linhas de tratamento (exceptuando a decantação primária). O tratamento biológico baseia-se num sistema de lamas activas em regime de arejamento convencional. A ETAR já possuía um sistema de tratamento biológico composto por leito percolador e que se encontra actualmente fora de serviço, existindo possibilidade da sua reactivação.

Fase Líquida:

O esquema de tratamento da fase líquida é composto por recepção das águas residuais brutas numa caixa que vai reter os sólidos mais grosseiros para seguidamente ser encaminhado para um sistema compacto de pré-tratamento composto por gradagem e remoção de areias, óleos e gorduras. O efluente pré-tratado é elevado por um sistema de 2 bombas de poço seco para um decantador primário onde vai ocorrer a primeira separação sólido-líquido. O efluente segue então duas linhas de tratamento constituídas por dois tanques de contacto e sem seguida, o tratamento biológico que ocorre em dois reactores *Carrousel*® com dois canais possuindo arejadores de superfície de eixo vertical. De seguida o efluente é encaminhado para um decantador secundário e por fim para a desinfecção final que ocorre em dois canais com lâmpadas UV de baixa pressão, alto rendimento e limpeza automática. Parte deste efluente é armazenado numa pequena cisterna e reciclado sendo utilizado como água de serviço da própria ETAR.

Fase Sólida:

O tratamento da fase sólida consiste essencialmente na desidratação e estabilização das lamas formadas no processo. Consiste num espessamento gravítico das lamas mistas produzidas no tratamento da fase líquida seguido de digestão anaeróbia que ocorre em 2 digestores, um já anteriormente existente e devidamente reabilitado e outro integralmente novo e construído de acordo com os princípios de protecção ambiental. Seguidamente as lamas digeridas sofrem uma desidratação mecânica em 2 centrífugas e são armazenadas num silo de lamas para serem cedidas com o objectivo de valorização agrícola. O biogás formado durante a fase de digestão anaeróbia é tratado e encaminhado para queima, já que é extremamente prejudicial a sua libertação directa na atmosfera sendo o metano um dos seus principais constituintes, este é 20 vezes mais potente que o dióxido de carbono como gás de estufa.

7.2.2 - Valores base para dimensionamento hidráulico da ETAR

No quadro 11 encontram-se resumidos os dados base para dimensionamento da da ETAR de Fernão Ferro.

Quadro 11 - Bases para dimensionamento processual e hidráulico da ETAR Fernão Ferro. [24]

ETAR FERNÃO FERRO			
POPULAÇÃO	habitantes equivalentes	Ano inicial	Ano Horizonte
		16 100	32 700
CAUDAL	Tipo	Ano inicial	Ano Horizonte
	Q _{médio} (m ³ / d)	2 500	5 890
	Q _{ponta em tempo seco} (m ³ / h)	192	453
	Q _{ponta em tempo chuvoso} (m ³ / h)	330	760
CARGAS	Parâmetro	Ano inicial	Ano Horizonte
	CQO (kg / d)	2 420	4 905
	CBO ₅ (kg / d)	970	1 970
	SST (kg / d)	1 450	2 950
	N – kjeldahl (kg /d)	190	390
	P – total (kg / d)	45	90

Considera-se que o ano horizonte é 2034, referente ao final da concessão. Considera-se também que a concentração de coliformes totais afluente é 10¹⁰ NMP / 100ml.

7.2.3 – Objectivos de qualidade do efluente líquido

O quadro 12 indica os objectivos da qualidade final do efluente líquido segundo o seu enquadramento legal vigente e o Caderno de Encargos da ETAR.

Quadro 12 - Objectivos de qualidade do efluente líquido. [24]

Parâmetro	CBO₅	CQO	SST	Coliformes Fecais	Óleos e Gorduras
Concentração	25 mg / L	125 mg / L	35 mg / L	1000 NMP / 100 ml	15 mg / L

7.2.4 - Condições limite de descarga licenciadas para a ETAR Fernão Ferro

No quadro 13 são indicadas a condições de descarga licenciadas para a ETAR de Fernão Ferro.

Quadro 13 - Condições de descarga para a ETAR Fernão Ferro.

Parâmetro	Valor Limite
Q_{médio}	5 890 m ³ / d
pH	6 – 9
CBO₅	25 mg / L
CQO	125 mg / L
SST	35 mg / L
Coliformes Fecais	2000 NMP / 100ml

7.3 - Diagrama de tratamento realizado na E.T.A.R. de Fernão Ferro

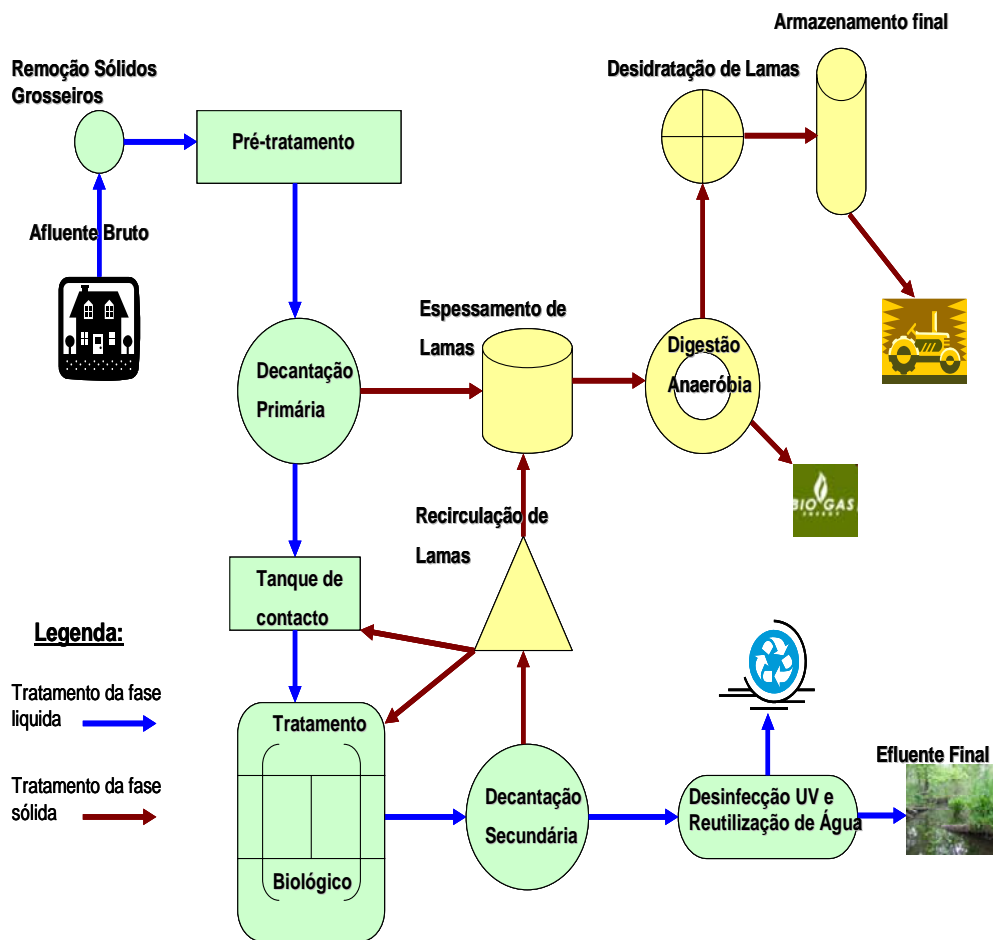


Figura 17 - Diagrama descritivo do tratamento realizado na ETAR Fernão Ferro.

7.4 - Concepção detalhada do funcionamento da ETAR Fernão Ferro

7.4.1 - Nota Introdutória

No presente sub capítulo será abordada a concepção detalhada e o funcionamento da ETAR de Fernão Ferro, tendo como base o ano de referência 2034 relativo aos parâmetros de dimensionamento hidráulico e parâmetros processuais. A apresentação será feita secção por secção e na direcção do fluxo normal de tratamento.

A ETAR de Fernão Ferro sofreu um processo de remodelação e reabilitação com o objectivo de dotar o concelho do Seixal de um saneamento adequado às exigências populacionais e também ambientais. Os novos equipamentos introduzidos no sistema, assim como o novo sistema de tratamento biológico (valas oxidação) e desinfecção, visam sobretudo um efluente depurado de acordo com as preocupações ambientais.

Um dos objectivos foi também dotar a estação de tratamento com um sistema de recirculação de água residual tratada e desinfectada, para que assim fosse possível a diminuição do consumo de água da rede publica de abastecimento assim como os encargos financeiros relacionado com o consumo desta.

A possível utilização do biogás formado como fonte de energia também é uma possibilidade num futuro próximo.

7.4.2 - Obra de Entrada / Tratamento Preliminar

O edifício referente à Obra de Entrada foi totalmente construído (figura 18), sendo no entanto remodelada a estação elevatória. A Obra de Entrada possui um sistema de by-pass a montante da câmara de recepção e liga directamente ao local de descarga da ETAR.

O edifício está também equipado com um sistema de extracção e desodorização de ar através de filtros biológicos, visto que é um local de acumulação de odores e gases tóxicos, sendo o mais perigoso o ácido sulfídrico.



Figura 18 - Edifício referente à obra de entrada e onde se processa o tratamento preliminar.

Câmara de recepção do afluente

O afluente entra na ETAR graviticamente e estabiliza numa câmara de recepção de volume 8 m^3 , onde ocorre uma dissipação de energia e uma deposição de sólidos grosseiros. Estes sólidos grosseiros são então removidos mecanicamente através de uma garra bivalve (figura 19).



Figura 19 - Câmara de recepção e garra bivalve.

A jusante da câmara de recepção encontra-se uma grade de limpeza manual grossa com espaçamento mínimo entre as barras de 50 mm para proteger o equipamento de

tratamento a jusante. O fluxo de águas residuais na câmara de recepção é controlado através de 2 válvulas murais que podem ser controladas manualmente ou automaticamente através de cilindro pneumático. A válvula mural manual encontra-se a montante da Obra de Entrada e serve para isolamento da câmara de recepção. A válvula mural automática instalada a jusante da câmara de recepção controla o caudal afluente. O controlo desta é realizado através da altura do líquido no poço de bombagem que se encontra a jusante da Obra de Entrada e tratamento preliminar.

Tratamento Preliminar

A secção do tratamento preliminar é constituída por 2 linhas de tratamento mecânico realizadas por um equipamento compacto composto por tamisador e desarenador / desengordurador. As vantagens deste sistema prendem-se com o facto de ser pouco sensível a situações de caudais baixos e produzir menos odores.

As águas residuais brutas entram no tamisador que as vai separar das matérias sólidas em suspensão que são encaminhadas para um compactador que as desidrata até um teor de 40% em sólidos, que depois vão para um contentor através da gravidade, sendo as escorrências encaminhadas para tratamento. De seguida ocorre a desarenação e remoção de gorduras sob a forma longitudinal e arejada, onde a areia decantada é transportada em contracorrente e o arejamento possibilita a flotação das gorduras no compartimento. As gorduras separadas no compartimento são encaminhadas para um reservatório de armazenamento para serem encaminhadas directamente para os digestores anaeróbios.

Se ocorrer avaria mecânica ou falha energética, um canal de by-pass encaminha directamente as águas residuais brutas para um sistema de gradagem introduzido na caixa do tamisador.

Este sistema possui um tempo de retenção mínimo de 220 s, para um caudal máximo de 400 m³/h e granulometrias superiores a 0,20 mm. Estas condições asseguram uma eficiência mínima de separação de 90%.



Figura 20 - Tratamento preliminar em equipamento compacto (tamisador + desarenador/desengordurador).

Estação Elevatória

Findo o tratamento preliminar o efluente é dirigido à elevação inicial que é constituída por 3 grupos electrobomba, funcionando 1 deles como reserva. O caudal máximo das 2 bombas a funcionar em paralelo é de 783 m³/h. A estação elevatória está dotada de diverso equipamento de medição e controle (medidor de nível ultrasónico, medidor de caudal electromagnético e detectores de gás sulfídrico) cujos sinais são introduzidos num autómato de comando e transmitidos ao Comando Central do sistema.

Recepção e tratamento de lamas de fossas sépticas

O edifício da Obra de Entrada compreende também uma unidade compacta de recepção e pré-tratamento de lamas de fossas sépticas. Esta unidade tem a capacidade máxima de 80 m³/h e é constituída por uma gradagem e uma desarenação. A recepção das lamas é realizada directamente através de um *racord* de ligação rápida.

Após tratamento a fase sólida é descarregada num contentor e a fase líquida armazenada num tanque com agitação e arejamento de capacidade máxima 50 m³, sendo posteriormente encaminhadas de forma gradual ao esquema de tratamento. Em alternativa pode também ser encaminhada directamente para o espessador gravítico de lamas mistas.



Figura 21 – Electrobombas da UC.



Figura 22 -Unidade compacta de tratamento de lamas de fossas sépticas.

7.4.3 - Decantação Primária

O projecto de reabilitação da ETAR de Fernão Ferro permitiu construir uma nova caixa de alimentação ao decantador primário o que proporciona um possível by-pass a esta operação.

O decantador tem um diâmetro útil de 18,5 m e foi necessário um aumento da profundidade da caleira de recolha de efluente primário por motivos de escoamento hidráulico. A extracção das lamas decantadas é realizada aproveitando a diferença de cota da ETAR em relação ao decantador primário e são encaminhadas para o espessador

de lamas mistas. Esta acção é controlada por uma válvula de diafragma de accionamento pneumático, o que permite uma extracção temporizadas das mesmas.



Figura 23 - Decantador Primário.



Figura 24 - Ponte Raspadora do Dec. Primário

7.4.4 - Tratamento Biológico

7.4.4.1 - Tanque de Contacto “selector”

Com o objectivo de eliminar a proliferação de microrganismos filamentosos responsáveis por lamas activadas de difícil decantabilidade, são criadas condições que favorecem a absorção de substratos e nutrientes e respectiva proliferação dos microrganismos não filamentosos designados de floculantes. É alimentado ao tanque para além do efluente primário, uma fracção de lamas de recirculação.

O tanque é compartimentado e dividido por septos para que ocorra um fluxo tipo pistão e também para obter um gradiente máximo de concentrações de CQO e CBO₅.

Principio de funcionamento dos Tanques de Contacto

Os Tanques de Contacto foram dimensionados de acordo com 3 factores fundamentais:

- Tempo de retenção;
- Carga mássica horária (kg CBO₅ / kg MS . h);
- *Floc Loading* (g CQO / kg MLSS);

Tendo como objectivo um tempo de contacto mínimo de 10 minutos das águas em circulação e um *floc loading* não superior a 180 foram construídos 2 tanques de contacto com 45 m³ de volume, com agitação mecânica e sem arejamento para evitar o desenvolvimento de microrganismos *Nocardia*. A carga mássica afluyente ao tanque é regulada de acordo com a introdução de parte das lamas em recirculação. As lamas em recirculação são introduzidas para manter um *floc loading* entre 75 – 175 g CQO / kg MLSS. Este valor é calculado de acordo com o caudal e concentração de CQO nas águas pré-tratadas e nas lamas em recirculação.

O tanque de contacto permite uma melhoria acentuada no processo de decantação a jusante, uma vez que aumenta a sedimentabilidade das mesmas.



Figura 25 - Tanque de Contacto “selector”.

7.4.4.2 - Reactor Biológico

Os reactores biológicos instalados na ETAR foram desenhados segundo o mecanismo *Carrousel*[®], que é uma evolução do mecanismo convencional de valas de oxidação tipo *Pasveer*. Este mecanismo permite simular condições de mistura completa associadas a condições de fluxo tipo pistão. Ao contrário do mecanismo *Pasveer*, o reactor é constituído por uma parede longitudinal que vai separar uma zona anóxica de uma zona oxigenada. O afluyente entra no reactor através de uma zona onde estão situados arejadores de superfície e percorre um canal onde os microrganismos aeróbios vão actuar e iniciar a remoção da carga orgânica das águas residuais em regime turbulento, criado através do agitador tipo “*banana blade*” e da geometria do reactor que permite

obter um fluxo em forma de espiral que é deflectido para o canal a jusante da zona aeróbia. Esse canal permite a passagem do efluente para uma zona anóxica onde vão ser criadas condições a uma nitrificação / desnitrificação devido a uma diminuição linear do oxigénio dissolvido nas águas residuais. O arejamento do reactor biológico é controlado por 2 sondas com instrumentação tipo PID, uma sonda que mede o oxigénio dissolvido e outra que mede o potencial Redox.

Uma das grandes vantagens deste sistema é a recirculação interna de mistura de águas residuais, afluente e lamas de recirculação ser amplamente maior do que nos outros sistemas. Isto permite que o sistema não seja tão afectado a situações de ponta do tipo de cargas poluentes, compostos tóxicos, pH, entre outros.

Os dois reactores biológicos foram dimensionados para uma concentração de lamas activadas (MLSS) de $3 \text{ kg} / \text{m}^3$ com um volume de 900 m^3 cada o qual garante uma idade de lamas de 5 dias. Sob estas condições carga mássica no tratamento biológico não excederá os $0,26 \text{ kg CBO}_5 / \text{kg MLSS} \cdot \text{d}$.

O excesso de lamas produzidas no tratamento biológico é de $0,91 \text{ kg MLSS} / \text{kg CBO}_5$ removido. Este valor está relacionado com a razão SST/CBO₅ nas águas residuais afluentes, a idade das lamas fixada e fracções inorgânicas, não bio degradáveis e bio degradáveis dos SST afluentes e da biomassa em suspensão.



Figura 26 - Local de afluência do reactor biológico.



Figura 27 - Zona aeróbia do reactor biológico.



Figura 28 - Zona anóxica do reactor biológico.

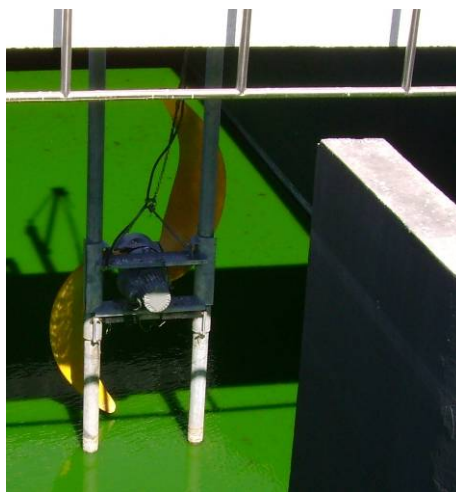


Figura 29 - Agitador mecânico tipo “banana blade”.

7.4.5 - Decantador Secundário

Para que o tratamento de decantação secundária seja eficaz para o ano horizonte projectado, foi necessário a construção de uma novo decantador secundário que irá operar em conjunto com o decantador secundário já existente.

A repartição do efluente é realizada proporcionalmente de acordo com as áreas dos respectivos decantadores. O processo de decantação secundária é afectado por carga hidráulica, características das lamas activadas (SVI), a carga de volume de lamas e a razão de lamas de recirculação. A recirculação de lamas é realizada neste processo para manter uma concentração adequada de biomassa no reactor biológico. Vai também causar um aumento do rendimento de desinfecção por UV a jusante da decantação

secundária, uma vez que os SST absorvem os raios UV impedindo assim que as membranas dos microrganismos patogénicos absorvam a radiação.

O dimensionamento do novo decantador teve como objectivo um índice de volume de lamas (SVI) de 125 mL/g e uma carga de volume de lamas (SVL) 400 L / m².h.

Com este objectivo foi construído um novo decantador com 24 m de diâmetro.



Figura 30 - Decantadores Secundários.

7.4.6 - Estação Elevatória de Recirculação de Lamas

Associadas directamente a cada decantador secundário, estão 2 estações elevatórias às quais estão associadas 4 bombas (2 em cada estação) com capacidade unitária de 110 m³ / h na estação elevatória associada ao decantador secundário antigo e 185 m³ / h na que está associada ao decantador secundário novo.

A razão de recirculação das lamas indicada para os caudais associados ao horizonte de projecto é de 0,4 em tempo chuvoso e 0,6 em tempo seco. Para regular este processo estão associados 2 medidores de caudal electromagnéticos monitorizados por controlador PID, regulados através do *setpoint* e do caudal afluente à estação elevatória de recirculação de lamas.



Figura 31 - Estação elevatória de recirculação de lamas.

Este processo torna-se extremamente importante para o funcionamento da ETAR, uma vez que é neste processo de recirculação de lamas que é contabilizado o caudal diário de lamas em excesso e a idade das lamas introduzidas no reactor biológico. Para tal é necessário a medição da concentração das lamas activadas nos poços de recirculação, aferindo assim a melhor razão de recirculação e a quantidade de lamas em excesso a extrair.

7.4.7 – Desinfecção UV

O sistema de desinfecção por UV foi dimensionado para um caudal de ponta máximo de $760 \text{ m}^3 / \text{h}$. Uma vez que os SST presentes nas águas residuais influenciam a desinfecção por UV, o sistema foi concebido para uma concentração máxima de SST de $25 \text{ mg} / \text{L}$ a que corresponde uma transmitância mínima de 60%. Com estes pressupostos assegura-se uma qualidade mínima de efluente final de 1000 NMP / 100 mL coliformes fecais.

O sistema foi concebido com 2 canais de desinfecção com módulos de lâmpadas UV de baixa pressão, elevado rendimento e que assegura uma limpeza interna automática.

A intensidade das lâmpadas pode ser regulada entre 55% a 100%. O sistema de limpeza é automático e consiste num anel de limpeza que percorre cada lâmpada e injecta um gel biodegradável de ácido cítrico ou fosfórico a 5% sendo totalmente recuperado.

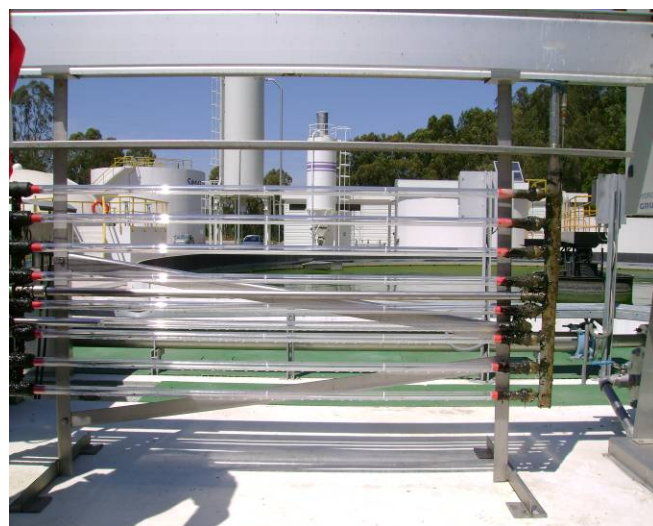


Figura 32 - Sistema de controlo da desinfecção UV **Figura 33 - Lâmpadas UV presentes no canal.**

7.4.7.1 – Reciclagem e Reutilização das águas residuais tratadas

Associado ao local de desinfecção está um tanque de armazenamento com 60 m³ e que recebe parte do efluente final tratado e depurado. Esta água serve para utilizar na rede de águas da ETAR, evitando assim o consumo de água da rede pública de abastecimento. Um grupo hidropressor é responsável pelo transporte de água para os diversos locais e tem a capacidade de 28 m³ / h.



Figura 34 - Grupo hidropressor.

7.4.7.2 – Circuito de by-pass

No mesmo local de desinfecção localiza-se também um canal aberto tipo *parshall* em que a água é forçada a percorrer uma garganta mais estreita que antecede uma secção divergente e que liga directamente ao local de descarga final. Existem também medidores de caudal para monitorizar situações de by-pass à decantação primária, reactores biológicos e/ou desinfecção UV.

7.4.8 – Tratamento da Fase Sólida (LAMAS ACTIVADAS)

A fase de tratamento das lamas é uma etapa obrigatória no sistema de lamas activadas, já que estas são um produto do tratamento das águas residuais. O produtor deste tipo de resíduos é responsável pelo seu tratamento e destino final. É também responsável pelo seu acompanhamento na respectiva utilização final, assim como acompanhamento técnico ao nível de análises qualitativas e quantitativas às lamas tratadas.

As lamas produzidas na ETAR de Fernão Ferro são utilizadas para valorização agrícola, como tal são também monitorizadas a nível químico e biológico para o uso em questão. A reutilização agrícola das lamas tem como suporte legal a Directiva n.º 86/278/CE e o Decreto-Lei n.º 118/2006. Os 4 pontos-chave a classificar e analisar nas lamas são os metais pesados, microrganismos, compostos orgânicos tóxicos e sais dissolvidos.

São 3 as etapas obrigatórias no tratamento de lamas, estabilização, condicionamento e desidratação.

7.4.8.1 - Espessamento de lamas

A primeira etapa de tratamento das lamas é constituída por um espessador gravítico circular. Ao espessador afluem as lamas do decantador primário e as lamas biológicas em excesso presentes no poço de recirculação de lamas. Também podem afluir as lamas pré tratadas das fossas sépticas.

O dimensionamento deste espessador foi realizado de acordo com uma carga de sólidos máxima de 65 kg MS / m².d e permite obter uma concentração 5% MS (p/v).

O sobrenadante do espessador é encaminhado para o circuito de escorrências presente na Obra de Entrada. Para evitar a anaerobiose das lamas no início de funcionamento deste sistema e uma vez que a carga será reduzida, é adicionado água de serviço ao espessador, garantindo assim a carga hidráulica e o tempo de retenção mínimo das lamas no espessador.

As lamas são finalmente encaminhadas para os digestores através de 2 bombas de rotor excêntrico com a capacidade máxima de 6 m³/h.



Figura 35 - Espessador gravítico.

7.4.8.2 – Digestão Anaeróbia

A etapa de estabilização das lamas é realizada através de digestão anaeróbia em 2 digestores com um volume de 1400 m³ cada e uma capacidade para estabilizar 2 345 kg/d a um caudal de 51 m³/d.

O processo é realizado a frio, com um tempo de retenção hidráulico de 55 dias onde 20% dos sólidos voláteis são eliminados. Os sólidos voláteis dão assim origem a uma mistura gasosa de dióxido de carbono e metano, vulgarmente designada de biogás. O biogás é encaminhado a uma unidade de queima para ser libertado para a atmosfera.

O processo de digestão anaeróbia consiste em 3 etapas:

- 1ª Etapa – Etapa Hidrolítica, onde ocorre a hidrólise de matéria orgânica, proteínas, celulose e lípidos que são transformados em ácidos gordos, álcool, dióxido carbono e amónia através do metabolismo de enzimas extracelulares.
- 2ª Etapa – Etapa Acidogénea, em que as bactérias acidogéneas transformam os compostos da etapa anterior em ácido acético, ácido propiónico, hidrogénio, carbono anidrido, sulfureto de hidrogénio e outros compostos de baixo peso molecular.
- 3ª Etapa – Etapa Metanogénea, em que bactérias metanogéneas convertem os compostos obtidos na etapa anterior em metano e dióxido de carbono.

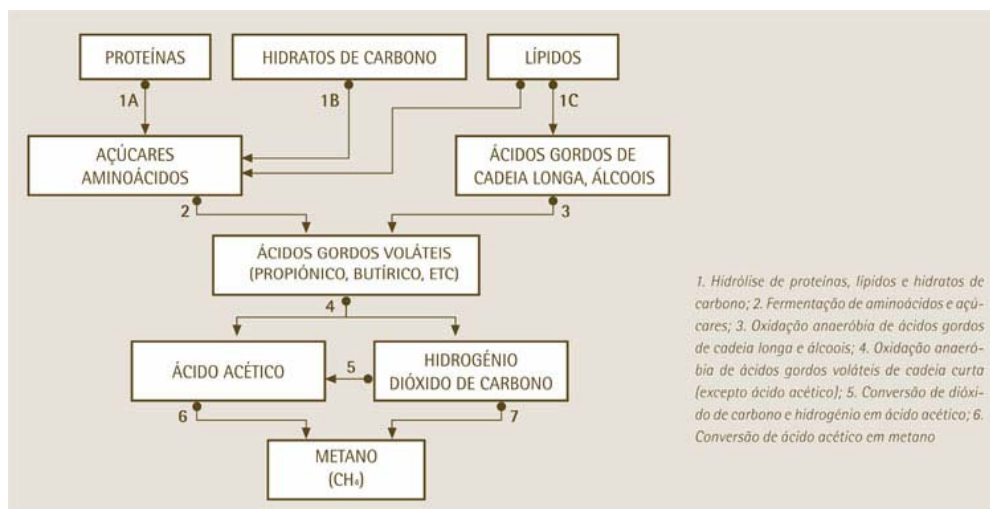


Figura 36 - Diagrama do processo de digestão anaeróbia.

Finalmente, as lamas digeridas são encaminhadas para a centrífuga para serem desidratadas.



Figura 37 - Novo digestor anaeróbio.



Figura 38 - Digestor anaeróbio reabilitado.

7.4.8.3 – Desidratação das lamas

O processo de desidratação das lamas digeridas, ocorre em 2 centrifugas com a capacidade máxima de 5,1 m³ / h. O grau de desidratação deste sistema é de 25% MS (p/v), a que corresponde uma produção de lamas diária de 7,6 m³ e uma eficiência de remoção de 95%, garantida com a adição de 6 – 8 g / kg MS de um polímero catiónico, preparado num sistema com a capacidade de 1000 L. A fase líquida desta separação é encaminhada para o local de escorrências na Obra de Entrada, enquanto que a fase sólida é encaminhada para um silo com um volume de 70 m³ e uma autonomia máxima de armazenamento de 9 dias.

Para uma possível estabilização química de emergências a estas lamas, está previsto um sistema de dosagem de cal viva que elevará o pH destas até 12,5 durante um período máximo de 24 horas, atingindo as lamas os 50°C, temperatura à qual a maior parte dos microrganismos não sobrevive. Como já foi atrás referido, será expectável um grau de desidratação de 25% MS e que indicará uma dosagem de cal viva na ordem dos 0,5 kg CaO / kg MS.



Figura 39 - Centrifugas.



Figura 40 - Sistema de doseamento de polímero.



Figura 41 - Silo de armazenamento lamas desidratadas.



Figura 42 - Silo armazenamento CaO.

7.5 – Estudo à Reutilização de Águas Residuais da ETAR de Fernão Ferro para Rega Paisagística

Como já foi referido a ETAR de Fernão Ferro já reutiliza as águas residuais como água de serviço, lavagens e rega dos espaços verdes envolventes.

Um projecto de reutilização das águas residuais para rega paisagística, mais propriamente campos de golfe, será um desafio importante para a região e também para as populações que nela habitam. No caso de novos empreendimentos turísticos que envolvam rega de campos de golfe tem sido norma o recurso à reutilização de águas residuais como exigência para Declaração de Impacte Ambiental. [9]

7.5.1 – Análise ao Efluente Final da ETAR de Fernão Ferro

A ETAR de Fernão Ferro está dimensionada para servir uma população equivalente de 32 700 habitantes equivalentes para o ano de 2034 e que correspondem a um caudal médio de 5 890 m³/d. O objectivo final da qualidade do efluente líquido e licença de descarga do efluente estão referidos no capítulo 7.2.3, Quadro 12 e 7.2.4, Quadro 13 respectivamente. Possui um tratamento biológico do tipo de Lamas Activadas, o que promove uma maior flexibilidade de exploração. Relativamente às exigências de qualidade final do efluente, estão abrangidas pelo artigo 60.º anexos XVI do Decreto-lei 236/98, de 1 de Agosto. Para uma caracterização média do efluente final em termos físico-químicos e microbiológicos é realizada uma análise estatística relativa aos anos de 2007 e 2008. A determinação dos metais pesados e alguns outros parâmetros importantes na caracterização do efluente foram realizados de forma condicionada devido à ETAR proceder ao tratamento de águas residuais urbanas, não sendo expectável a presença destes. Os parâmetros estatísticos determinados foram: [25]

- **(n)** – Número total de determinações – Determina o conjunto total de resultados analíticos obtidos. Quanto maior for este valor mais representativo ele é do universo de dados em estudo.
- **(\bar{x})** – Média Aritmética – É a soma de todos os valores individuais dividido pelo número de valores (n). Descreve a localização das medições quantitativas.
- **(s)** – Desvio Padrão – É utilizado para medir a dispersão das medições.

- (v) – Coeficiente de Variação – Indica a variação das medições em relação à sua média, sendo por isso também utilizado para medir a dispersão das medições.

Seguidamente é indicado o perfil e os parâmetros estatísticos analisados no decorrer dos anos 2007 e 2008.

7.5.1.1 - pH

O pH desempenha um papel fundamental na absorção dos nutrientes por parte das culturas. Águas para rega demasiado ácidas podem provocar toxicidade das culturas devido ao aumento da absorção de metais pesados. Como já foi referido no capítulo 3.2.1.4, o pH desempenha um papel fundamental na quantidade de fósforo disponível para as culturas. A acidez da água com pH inferiores a 7 pode corroer as tubagens metálicas e assim aumentar os teores de chumbo, cádmio e outros metais pesados nas águas. A alcalinidade por sua vez com valores superiores a 8 pode diminuir a eficiência da cloragem e aumentar a formação de incrustações. [1]

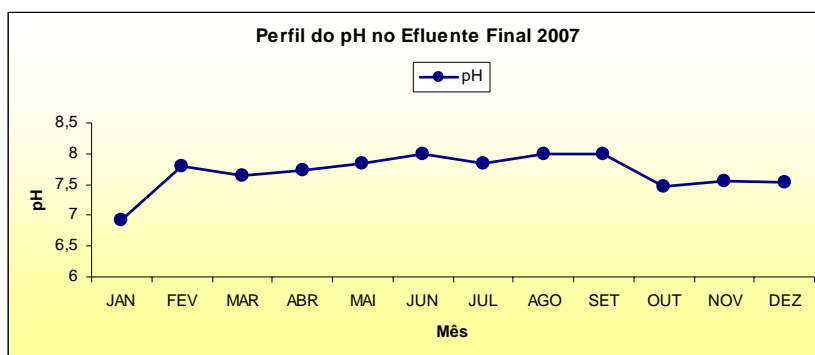


Figura 43 - Variação dos valores médios de pH do efluente final, ao longo do ano de 2007.

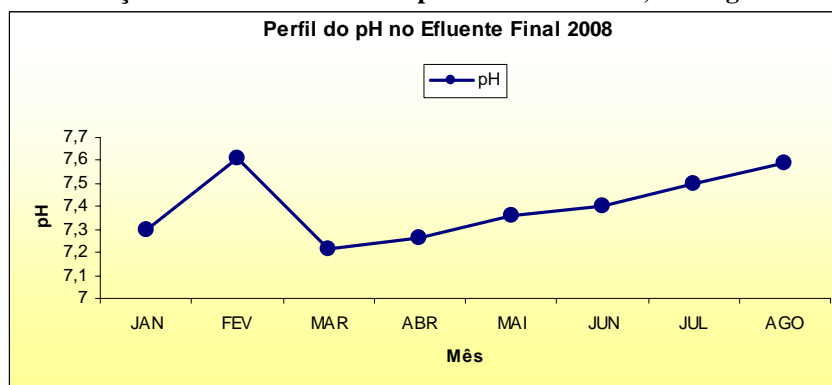


Figura 44 - Variação dos valores médios de pH do efluente final, ao longo do ano de 2008.

Quadro 14 - Parâmetros Estatísticos relativos ao pH (2007 e 2008).

pH	n	\bar{x}	máximo	mínimo	s	CV (%)
	102	7,53	8,36	5,91	0,403	5,35

O perfil da variação do pH ao longo do ano não é muito irregular, a média mensal do pH ao longo dos dois anos encontrou-se sempre entre 7 e 8, valores dentro dos parâmetros relativos à licença de descarga da ETAR, indicados no Quadro 13.

7.5.1.2 - Oxigénio Dissolvido (OD)

Dada a reactividade química e biológica deste gás dissolvido, este composto intervém nas reacções oxidativas com o ferro, ou seja, intervém directamente nos processos de corrosão dos materiais. O Decreto-lei 236/98 é omissivo, quanto ao valor mínimo deste composto nas águas residuais para reutilização, no entanto a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda um valor mínimo de 5 mg/L para evitar corrosões nas canalizações e possível crescimento microbiano [1].

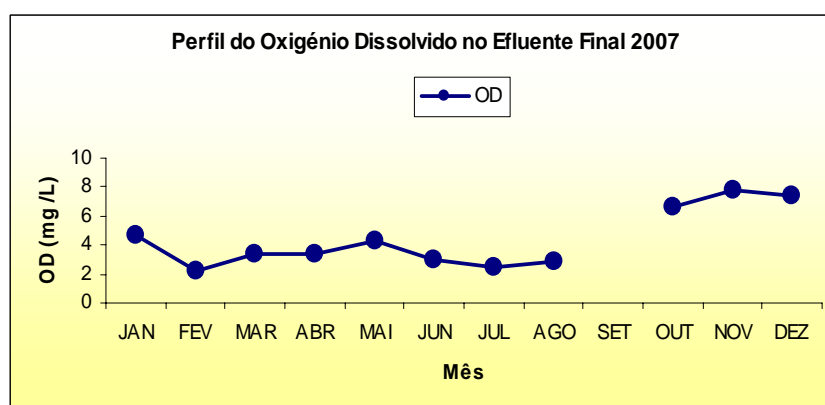


Figura 45 - Variação dos valores médios mensais de OD ao longo de 2007.

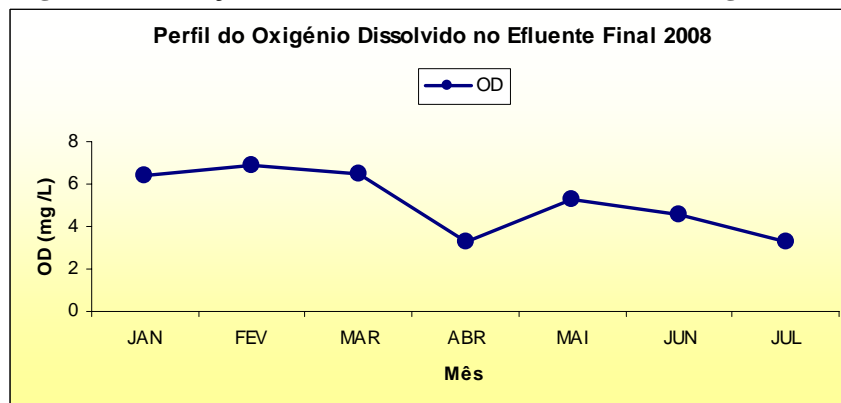


Figura 46 - Variação dos valores médios mensais de OD ao longo de 2008.

Quadro 15 - Parâmetros Estatísticos relativos ao OD (2007 e 2008).

OD (mg/L)	n	\bar{x}	máximo	mínimo	s	CV (%)
	76	4,67	9,42	0,38	2,27	48,66

A variação do oxigénio dissolvido nos dois anos analisados tem o perfil esperado, uma vez que entre o final de 2007 e o início de 2008, coincidiu com a data de arranque definitivo da exploração da nova ETAR de Fernão Ferro já com um novo tipo de tratamento biológico que causou um aumento da quantidade de oxigénio dissolvido no efluente final.

7.5.1.3 – Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica é um parâmetro que permite avaliar rapidamente a mineralização da água. Segundo o Decreto-lei 236/98 a condutividade eléctrica em águas residuais para rega “*Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo*”, também segundo o mesmo documento legal, o valor máximo recomendado (VMR) é de 1 dS/m ou 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sabe-se também que águas com elevada condutividade eléctrica provocam processos de corrosão e formação de depósitos [1]. Este é o parâmetro que permite avaliar a salinidade da água residual.

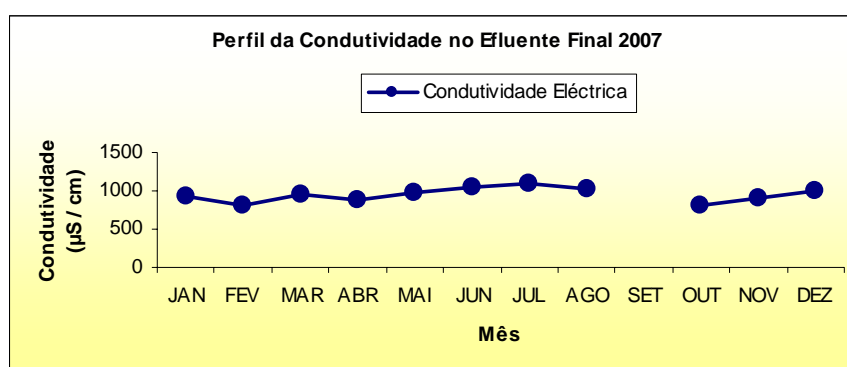


Figura 47 - Variação dos valores médios mensais de condutividade ao longo de 2007.

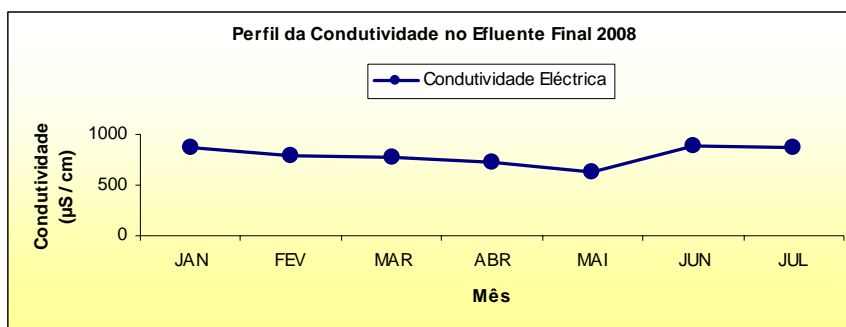


Figura 48 - Variação dos valores médios mensais de condutividade ao longo de 2008.

Quadro 16 - Parâmetros Estatísticos relativos à condutividade eléctrica (2007 e 2008).

Condutividade (µS / cm)	n	\bar{x}	máximo	mínimo	s	CV (%)
	75	885,85	1185	210	174,96	19,75

O perfil da condutividade é regular o que indica que a salinidade do efluente final não variou muito, o que é positivo para a reutilização do efluente em rega. No total das determinações, 14 apresentaram valores superiores aos recomendados, ou seja, aproximadamente 19% do total de amostras.

7.5.1.4 – Sólidos Suspensos Totais

Os SST estão geralmente associados à turbidez das águas e podem ser divididos em dois grupos: os SST decantáveis e os SST coloidais. A constituição dos SST é variada e pode incluir argilas, lamas, plâncton, microrganismos, entre outros. A presença de SST em efluentes para rega é muito indesejável, pois podem favorecer o desenvolvimento de microrganismos, adsorção de iões, criação de zonas anaeróbias nos locais de armazenamento e diversos problemas nos sistemas de rega através de acumulações nos locais de saída de água [1]. O Decreto-lei 236/98 indica que “*Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos*” e estabelece um VMR de 60 mg/L.

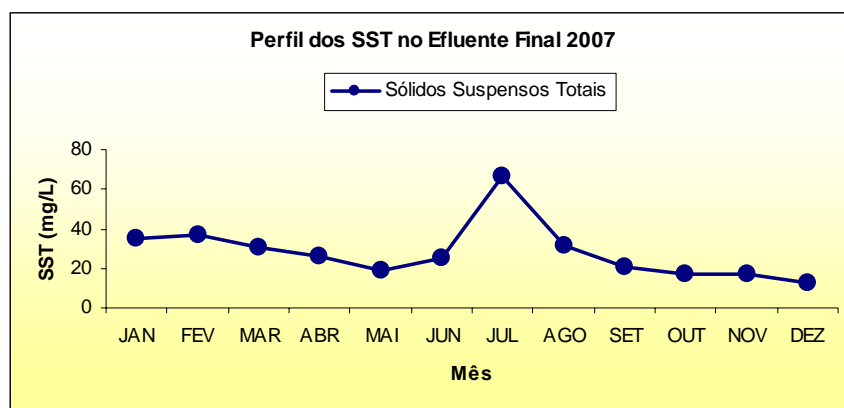


Figura 49 - Variação dos valores médios mensais de SST ao longo de 2007.

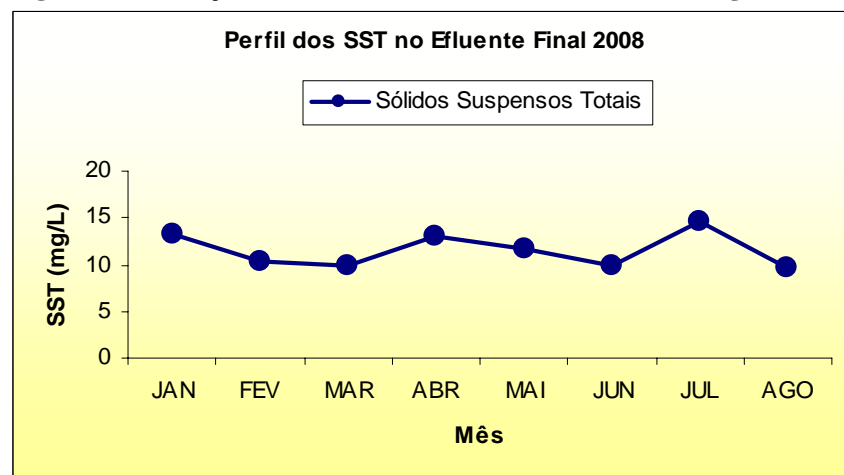


Figura 50 - Variação dos valores médios mensais de SST ao longo de 2008.

Quadro 17 - Parâmetros Estatísticos relativos ao teor de SST (2007 e 2008).

SST (mg/L)	n	\bar{x}	máximo	mínimo	s	CV (%)
	91	19,74	113	3,9	16,51	83,63

Através da análise à quantidade média de SST no efluente final nos anos de 2007 e 2008, realça-se uma diminuição da quantidade média, devido à reabilitação da ETAR permitir um aumento na eficiência de remoção de SST. O teor médio de SST no efluente final é de 19,74 mg/L, valor que se encontra abaixo do legislado no Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto. Das 91 amostras, apenas 2 amostras apresentaram valores superiores aos recomendados, ou seja, aproximadamente 2%.

7.5.1.5 – CBO₅ e CQO

Os parâmetros CBO₅ e CQO medem indirectamente a quantidade de matéria biodegradável e química respectivamente. São então importantes na avaliação do tratamento biológico realizado na ETAR e é eficaz tanto quanto maior for a sua remoção. Os parâmetros devem respeitar a licença de descarga indicada no capítulo 7.2.4, Quadro 13.

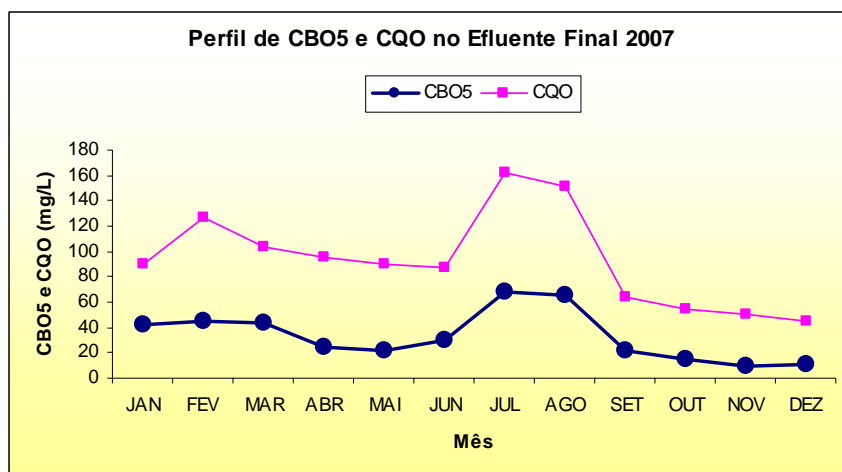


Figura 51 - Variação dos valores médios mensais de CBO₅ e CQO ao longo de 2007.

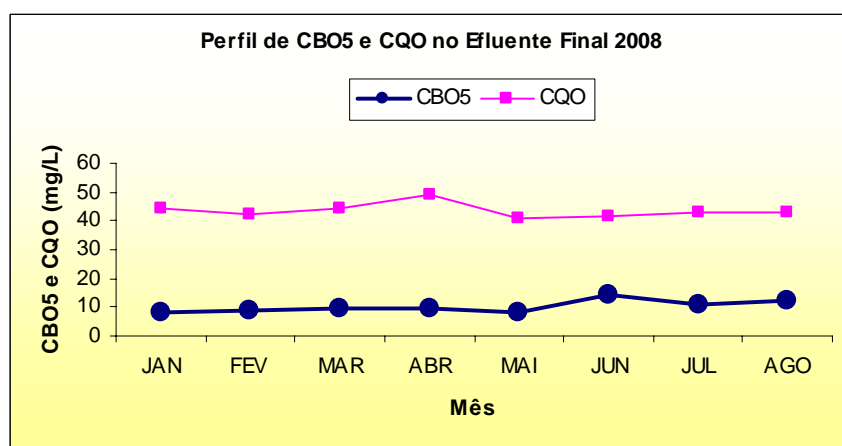


Figura 52 - Variação dos valores médios mensais de CBO₅ e CQO ao longo de 2008.

Quadro 18 - Parâmetros Estatísticos relativos ao teor de CBO₅ e CQO (2007 e 2008).

	n	\bar{x}	máximo	mínimo	s	CV (%)
CBO₅ (mg/L O₂)	103	22,13	115	3,7	21,11	95,38
CQO (mg/L O₂)	109	69,30	243	17,4	43,45	62,70

Pode-se observar pelo perfil que em 2007, nos meses de Verão, sofreu um aumento do teor de CBO_5 e CQO no efluente final. Esta situação foi devido ao novo sistema de tratamento biológico ainda não estar disponível nessa época, funcionando a ETAR apenas com o tratamento biológico de leitos percoladores. No ano de 2008, como o sistema de Lamas Activas suporta melhor as cargas afluentes mais elevadas, o aumento já não foi tão circunstancial. Os valores médios de CQO e CBO_5 encontram-se dentro dos limites estabelecidos no licenciamento de descarga.

7.5.1.6 – Nutrientes – Azoto e Fósforo Total

O azoto total corresponde ao conjunto de azoto orgânico e azoto amoniacal presente na água. O parâmetro que determina o azoto total presente na água é o $\text{azoto}_{\text{Kjeldahl}}$ e que não contabiliza as formas azotadas de nitratos e nitritos. O azoto orgânico presente nos efluentes finais para reutilização até pode ser benéfico para as culturas permitindo assim uma fertilização extra aos cultivos, no entanto não se deve encontrar em excesso pois pode causar problemas de toxicidade nas plantas. O azoto amoniacal já pode ser um problema, em águas cujo pH não se encontre entre 6,5 e 8,5 causando corrosão nas condutas [1].

Relativamente aos compostos fosfatos que estão presentes nas águas residuais, eles podem ser ortofosfatos, fosfatos condensados ou fosfatos ligados a matéria orgânica. A contribuição dos fosfatos presentes nas águas residuais, para fertilização agrícola não é muito grande em comparação com o azoto, uma vez que este se fixa ao solo sob a forma de fosfato de cálcio. O fósforo é também um indicador indirecto do potencial de eutrofização das águas [1].

A legislação através do Decreto-lei 236/98 mais uma vez é omissa à quantidade máxima de nutrientes nos efluentes para reutilização em rega, deverá então o mesmo ser calculado através da fórmula IV, indicada no capítulo 3.2.2 e veiculada pela norma portuguesa NP 4434:2005.

A entidade gestora apenas iniciou as análises à quantidade destes nutrientes a partir de Setembro de 2007, pelo que nas Figuras 53 e 54 estarão ambos os anos incluídos.

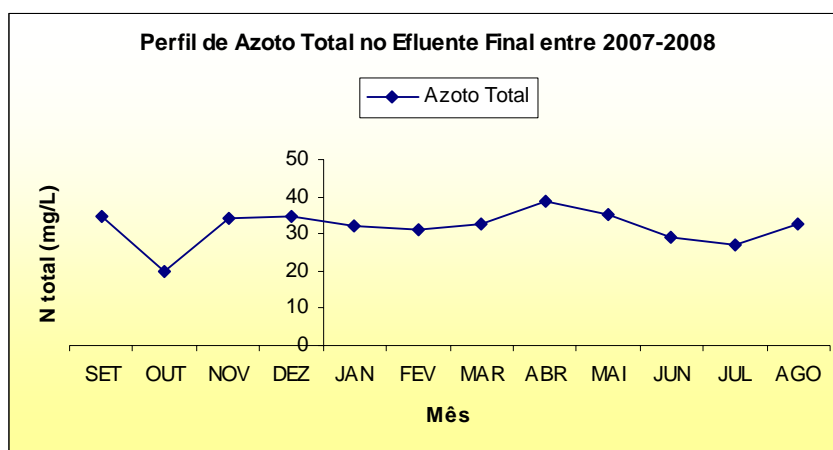


Figura 53 - Variação dos valores médios mensais de Azoto total entre 2007-2008.

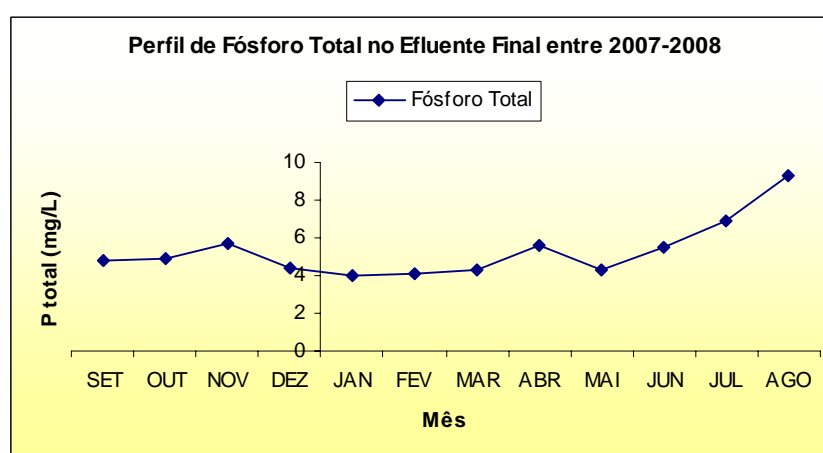


Figura 54 - Variação dos valores médios mensais de Fósforo total entre 2007-2008.

Quadro 19 - Parâmetros Estatísticos relativos ao teor de Azoto e Fósforo Total (2007 e 2008).

	n	\bar{x}	máximo	mínimo	s	CV (%)
Azoto Total (mg/L)	55	31,35	50,30	16	7,10	22,64
Fósforo Total (mg/L)	57	5,17	11	1,40	1,81	34,93

O perfil de azoto total é regular a partir do ano 2008, mesmo nos meses onde as cargas afluentes ao sistema são superiores. Os processos de nitrificação/desnitrificação são eficazes na remoção de azoto das águas residuais. Relativamente ao fósforo total, ocorreu um aumento esperado nos meses onde a carga afluente é maior devido ao aumento de fósforo orgânico nas águas residuais.

7.5.1.7 – Coliformes Fecais

A remoção de coliformes fecais é uma etapa fundamental para a reutilização de águas residuais. O Decreto-lei 236/98 indica um VMR de 100 NMP/100mL. A norma portuguesa NP 4434:2005 indica que um valor de 200 NMP/100mL aceitável quando a aplicação da reutilização de águas residuais for para rega paisagística. Os parâmetros estatísticos relativos aos coliformes fecais podem não representar a sua população devido ao baixo número (21) de determinações realizadas ao longo do ano.

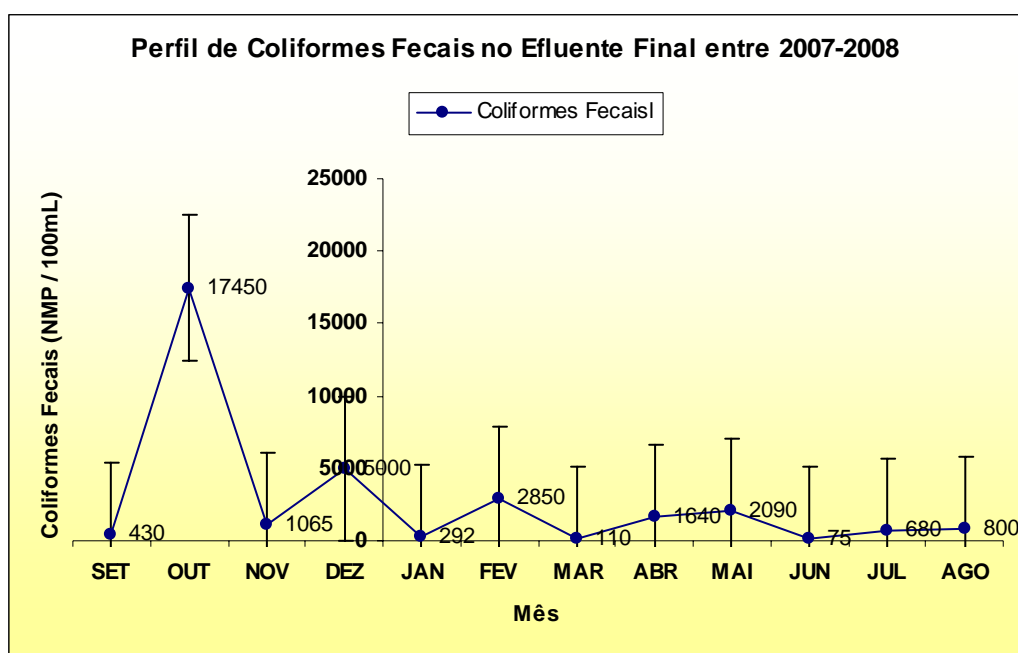


Figura 55 - Variação da quantidade de Coliformes Fecais médio mensal entre 2007-2008.

Quadro 20 - Parâmetros Estatísticos relativos à concentração de Coliformes Fecais (2007 e 2008).

CF (NMP/100mL)	n	\bar{x}	máximo	mínimo	s	CV (%)
	21	3029,71	34000	0	7332,75	242,03

De facto o perfil de Coliformes Fecais presentes no efluente final é algo irregular, embora tenda a estabilizar a partir do ano 2008. Esta situação ocorreu devido ao novo sistema de desinfecção UV instalado e que permitiu uma redução na quantidade de coliformes fecais nas águas residuais. A média de determinações mensais deste parâmetro foi 2 determinações, o que torna inconclusivo o estudo microbiológico do

efluente final. Aproximadamente 19% das amostras se encontraram abaixo do VMR segundo a NP 4434:2005.

7.5.2 – Caracterização da Oferta

Na fase de caracterização da oferta é importante definir as características médias que o efluente final apresenta para poder apresentar as limitações existentes à reutilização das águas residuais para rega paisagística e as possíveis soluções. É também importante definir as potencialidades de reutilização e abordar a questão do armazenamento de água.

7.5.2.1 – Características médias do Efluente final (2007-2008)

Antes de apresentar as características médias do efluente final, será importante referir que a ETAR de Fernão Ferro apresenta um intervalo de tempo em que sofre uma profunda remodelação nas suas estruturas e equipamentos e por isso apresentará valores não concordantes com os objectivos finais (capítulo 7.2.3) do seu tratamento.

Os seguintes quadros 21 e 22 apresentam algumas percentagens de remoção com o objectivo de avaliar os processos de tratamento quanto ao seu rendimento no ano de 2008 e as características médias do efluente final durante 2007 e 2008

Quadro 21 - Percentagem de Remoção médias durante 2008.

Parâmetro	Teor médio Afluente	Teor médio Efluente	Percentagem Remoção
SST (mg/L)	214,22	11,70	95 %
CBO ₅ (mg/L O ₂)	199,27	9,89	95 %
CQO (mg/L O ₂)	431,85	43,62	90 %
N total (mg/L)	48,49	32,25	33,5 %
P total (mg/L)	6,97	5,24	25 %

Quadro 22 - Características médias do Efluente final (2007-2008).

Parâmetro	Resultado Médio	Enquadramento Legal (Dec. Lei 236/98 e NP 4434:2005)
pH (Escala Sorensen)	7,53	4,5 a 9,0 (Decreto-Lei 236/98)
OD	4,67 mg/L	
Condutividade Eléctrica	885,85 µS/cm	1 dS/m (Decreto-Lei 236/98)
SDT ^(a)	566,9 mg/L	640 mg/L (Decreto-Lei 236/98)
SST	19,74 mg/L	60 mg/L (Decreto-Lei 236/98)
CBO ₅	22,13 mg/L O ₂	
CQO	69,30 mg/L O ₂	
Azoto Total	31,35 mg /L	
Fósforo Total	5,17 mg/L	
Coliformes Fecais	3029,71 NMP/100mL	200 NMP /100 mL (NP 4434:2005)

(a) – Calculado de acordo com a fórmula II, indicada no capítulo 3.2.1.1

Com o objectivo de adequar legalmente o efluente final a reutilizar e uma vez que a entidade gestora não realiza despistagem à presença de metais pesados no efluente final, foi realizada uma amostragem do tipo *pontual* no mês de Julho de 2008 para também se tornar mais representativa de um dos meses onde a necessidade de água para rega é mais elevada.

Quadro 23 - Amostragem pontual a parâmetros importantes para enquadramento legal.

Parâmetros	Resultado (mg/L)	Enquadramento Legal (Dec. Lei 236/98)
Crómio Total	0,10 *	0,10 (VMR) – 20 (VMA)
Arsénio Total	0,40 *	0,1 (VMR) – 10 (VMA)
Bário	0,05 *	1 (VMR)
Boro	0,18	0,3 (VMR) – 3,75 (VMA)
Berílio	0,004 *	0,5 (VMR) – 10 (VMA)
Cádmio Total	0,05 *	0,01 (VMR) – 0,05 (VMA)
Chumbo Total	0,1 *	5,0 (VMR) – 20 (VMA)
Cálcio	39	X
Magnésio	9,0	
Sódio	86	
SAR (meq /L)	6,73	8 (VMR)
Alumínio	0,30	5,0 (VMR) – 20 (VMA)
Zinco	0,06	2,0 (VMR) – 10 (VMA)
Estanho	0,40 *	2,0 (VMR)
Ferro	0,11	5,0 (VMR)
Flúor	0,2 *	1,0 (VMR) – 15 (VMA)
Lítio	0,10*	2,5 (VMR) – 5,8 (VMA)
Manganês Total	0,05 *	0,20 (VMR) – 10 (VMA)
Molibdénio	0,05 *	0,005 (VMR) – 0,05 (VMA)
Níquel Total	0,20 *	0,5 (VMR) – 2,0 (VMA)
Nitratos	95	50 (VMR)
Selénio	0,40 *	0,02 (VMR) – 0,05 (VMA)
Sulfatos	40	575 (VMR)
Vanádio	0,10 *	0,10 (VMR) – 1,0 (VMA)
Cloretos	100	70 (VMR)

* - <Limite de Quantificação

Considerações Gerais

Os estudos das características médias do efluente final foram realizados incluindo o 2007 e 2008. A ETAR de Fernão Ferro só iniciou o arranque em pleno de todos os equipamentos e estruturas novas e remodeladas em finais de 2007 – início de 2008.

De acordo com os dados aqui apresentados, conclui-se que apenas os parâmetros relativos aos coliformes fecais não estão de acordo com o enquadramento legal que indica um valor máximo recomendado de 200 NMP/100mL (NP 4434:2005), quando o valor médio de descarga se situa nos 3000 NMP/100mL aproximadamente. Se contabilizarmos apenas o ano de 2008 a quantidade média de coliformes fecais no efluente final é de aproximadamente 1155 NMP/100mL, valor mais próximo do projectado e indicado no Quadro 12, capítulo 7.2.3. Ainda assim é um valor que não satisfaz os critérios mínimos para reutilização de águas residuais em rega paisagística. Relativamente à amostragem pontual realizada para despistar a possível presença de metais pesados e o perigo da sodicidade da água relativamente aos solos, conclui-se que estão todos abaixo dos valores legislados não apresentando assim riscos de toxicidade por metais pesados nem de sodicidade para os solos. Há no entanto dois parâmetros que estão acima dos valores máximos recomendados e que são os nitratos e os cloretos. A quantidade de cloretos presentes na água é relativamente mais alta que a recomendada, não sendo assim preocupante sob o ponto de vista ambiental. A remoção de cloretos poderia ser feita através de osmose inversa, electrodiálise e destilação, processos que envolvem um investimento avultado, recorrendo-se por isso a uma diluição com águas contendo poucos cloretos. Relativamente aos nitratos também a quantidade não é muito superior à recomendada. Os nitratos em quantidades muito superiores às recomendadas podem causar problemas de possível eutrofização das águas e a sua remoção é feita através de processos de desnitrificação [1], podendo a ETAR de Fernão Ferro realizar esses tratamentos através dos reactores biológicos tipo *Carroussel*.

Não foi possível analisar a presença de ovos de parasitas intestinais, sendo um parâmetro importante de quantificar, sugere-se a despistagem constante destes patogénicos. A desinfecção por UV e a cloragem são tratamentos eficazes na remoção destes microrganismos [4].

Em Setembro de 2004 a EPA “ *United States – Environmental Protection Agency*” publicou um documento com as linhas de orientação para reutilização de águas residuais EPA/625/R-04/108 e que sugere que para fins de reutilização de águas residuais em rega paisagística/recreativas o tratamento envolva na ETAR para além do tratamento biológico (lamas activadas, o mais indicado), uma filtração a montante da desinfecção e a jusante do tratamento biológico e que remova os SST que podem influenciar a desinfecção das águas, principalmente quando utilizados UV’s. Para além da filtração estas linhas de orientação também sugerem a aplicação de uma cloragem para garantir um total de cloro residual de 1mg/L, depois de um tempo mínimo de retenção de 30 minutos. O sistema de distribuição de águas residuais também deverá assegurar uma quantidade de cloro residual de 0,5 mg/L [26].

Seguindo estas linhas de orientação é sugerido então que seja aplicado uma filtração e uma cloragem com solução de hipoclorito de sódio ou cálcio, para que as águas residuais possam apresentar a qualidade mínima para a sua reutilização em rega paisagística e isto garante entre 90 – 99% de inactivação de bactérias e protozoários [26].

Relativamente ao armazenamento das águas residuais depois da sua desinfecção, extensa bibliografia sugere que a construção de reservatórios de armazenamento é uma hipótese que deve ser muito bem ponderada, uma vez que será difícil justificar economicamente a rega com águas residuais regadas com caudais inferiores a 2500 m³/d [5] [27]. No entanto em casos de aplicação em campos de golfe, o armazenamento já começa a ser justificável, na medida em que ocorrem grandes variações sazonais na quantidade de água a utilizar [26].

7.5.6 – Caracterização da Procura

A caracterização da procura é baseada numa proposta realizada à entidade gestora das águas residuais e que tem como base adquirir um caudal mínimo de 375 m³/d e um caudal máximo de 1000 m³/d de águas residuais a reutilizar num campo de golfe. Este caudal está naturalmente sujeito a variações de acordo não só com o próprio tamanho do campo de golfe, como também com a época do ano, sendo que no verão haverá um pico maior na utilização das águas.

A localização do campo de golfe a construir e segundo informações obtidas junto da entidade gestora poderá ser como ilustrado na seguinte Figura 56, convenientemente adaptada:

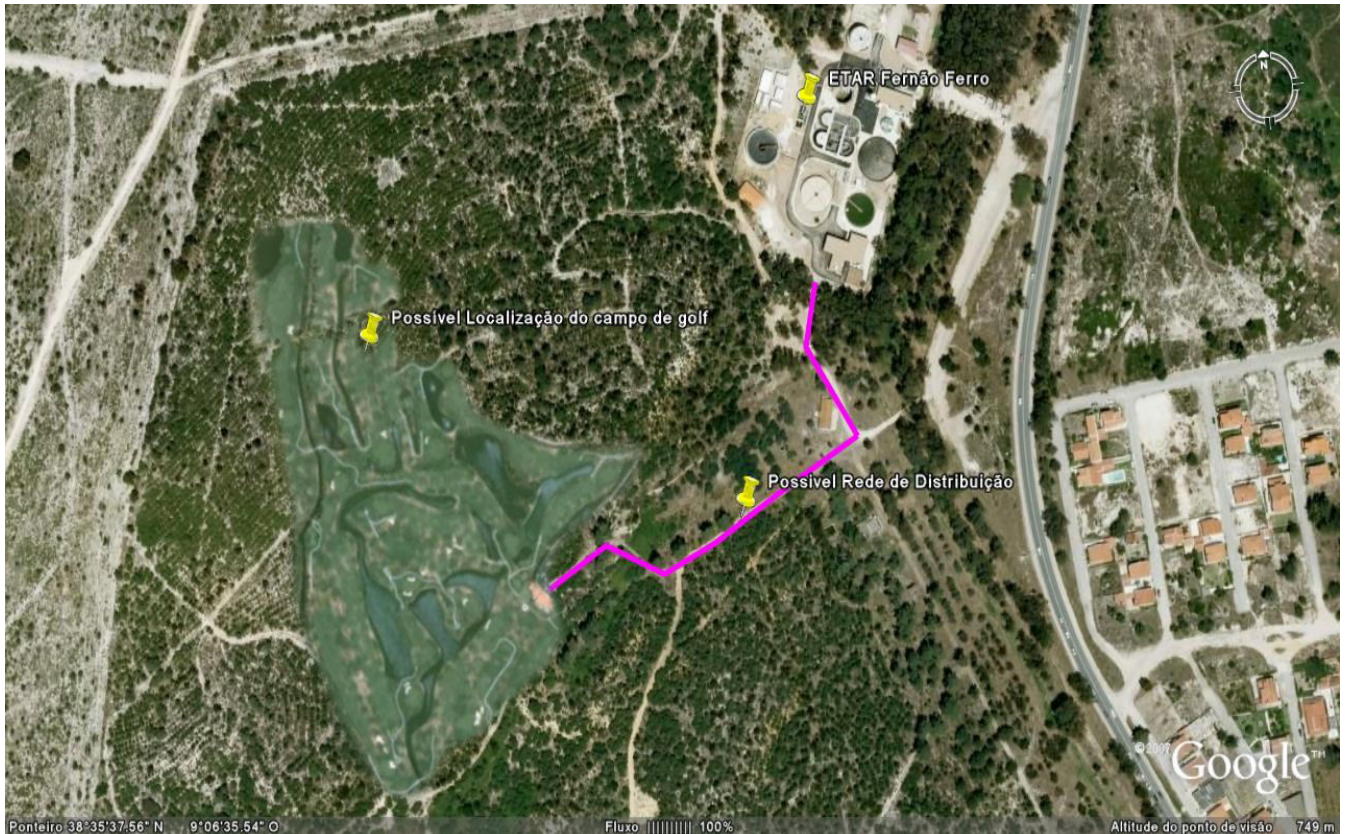


Figura 56 - Possível localização do campo de golfe e distribuição sugerida. (Retirado e adaptado do software *Google Earth* - ©2008 Google)

A figura é ilustrativa da aparente proximidade que o projecto de rega com águas residuais irá ter do local onde elas são tratadas e correctamente afinadas para a sua aplicação.

Será necessário também um estudo sobre os tipos de solos e a evapotranspiração real no local onde ficará situado o campo de golfe para que o rendimento da rega seja o maior possível. As figuras 57 e 58 indicam a evapotranspiração real e o tipo de solo nas áreas a regar com águas residuais [fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos].

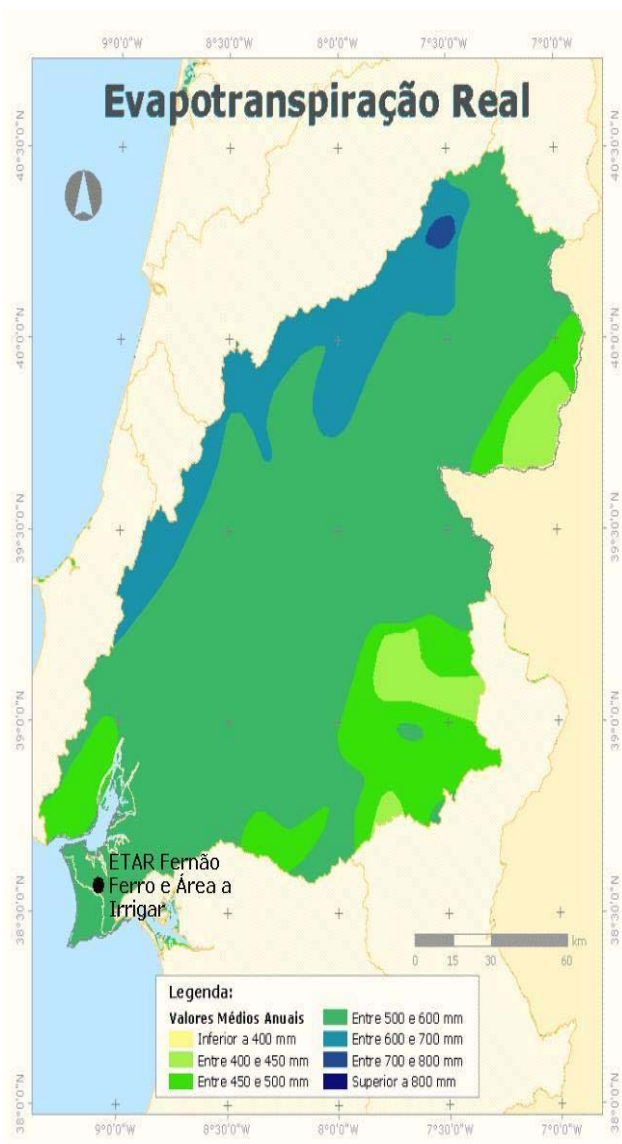


Figura 57 - Evapotranspiração da área a regar.

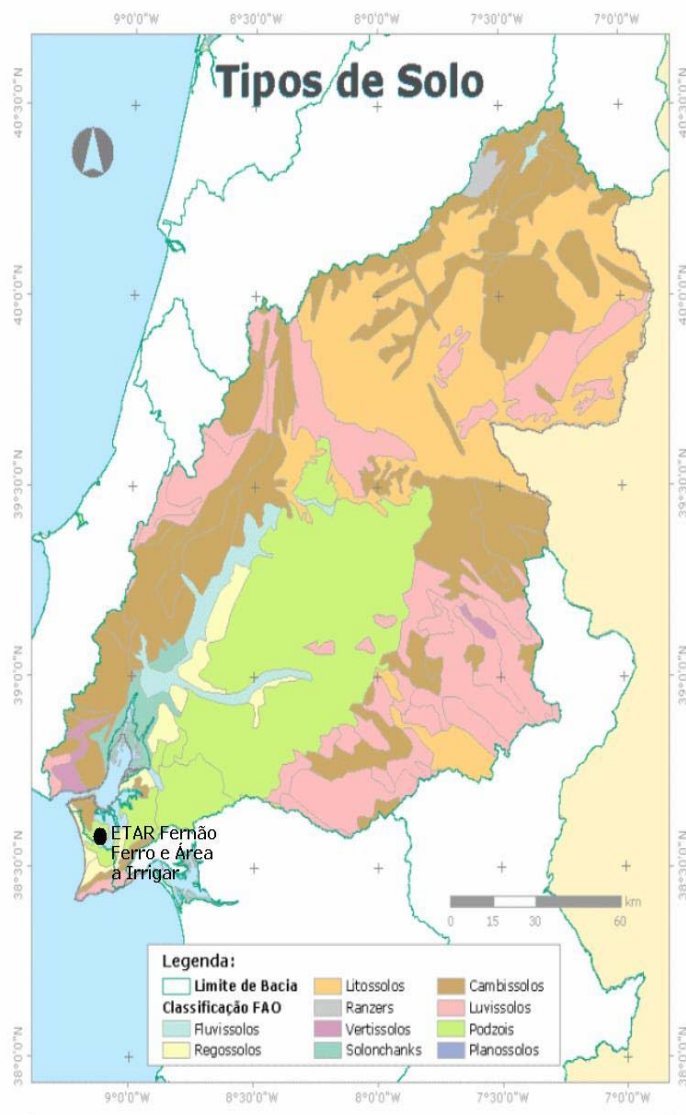


Figura 58 - Tipo de Solos na área a regar.

Como se pode concluir a evapotranspiração no local tem um valor médio [500-600mm]. Relativamente ao tipo de solos a localidade apresenta solos entre podzois e regossolos. Os solos podzois caracterizam-se da seguinte maneira: [fonte: Confederação Nacional das Cooperativas Agrícolas]

- Relativamente ácidos;
- Capacidade de troca catiónica muito baixa e pobre em elementos orgânicos;
- Arenosos;
- Elevada concentração de compostos orgânicos no seu perfil interior junto de óxidos de ferro e alumínio.

Os regossolos por sua vez são caracterizados por:

- Baixo teor de matéria orgânica;
- Elevada espessura e inexistência de diferentes camadas no seu interior;
- Também são relativamente ácidos.

7.5.7 – Cruzamento entre a Oferta e a Procura

A ETAR Fernão Ferro está dimensionada para receber um caudal médio, relativamente ao ano inicial de 2500 m³/d, sendo 2,5 vezes superior ao caudal máximo que o potencial utilizador procura. Em termos de caudal necessário a entidade gestora através da sua ETAR garante assim o caudal máximo pretendido.

Relativamente ao armazenamento e uma vez que a ETAR se encontra perto do local onde as águas residuais vão ser aplicadas, não se preconiza a construção de outro reservatório, aproveitando assim o tanque de betão situado sob a laje de implantação do sistema de desinfecção, onde actualmente é armazenada a água residual reutilizada na própria ETAR e com a capacidade de 60m³.

A qualidade actual do efluente final para rega, resumidas no Quadro 22, indica que o efluente final é de boa qualidade, como tal, a solução avançada para prevenir possíveis riscos associados aos SST e aos microrganismos patogénicos presentes no efluente para reutilização, passa por introduzir na nova linha de tratamento um sistema de filtração a jusante do tratamento biológico/decantação secundária e um sistema de cloragem a jusante da desinfecção por UV que garanta 0,5 mg/L de cloro residual no sistema de distribuição. O sistema proposto é o indicado na figura 59:

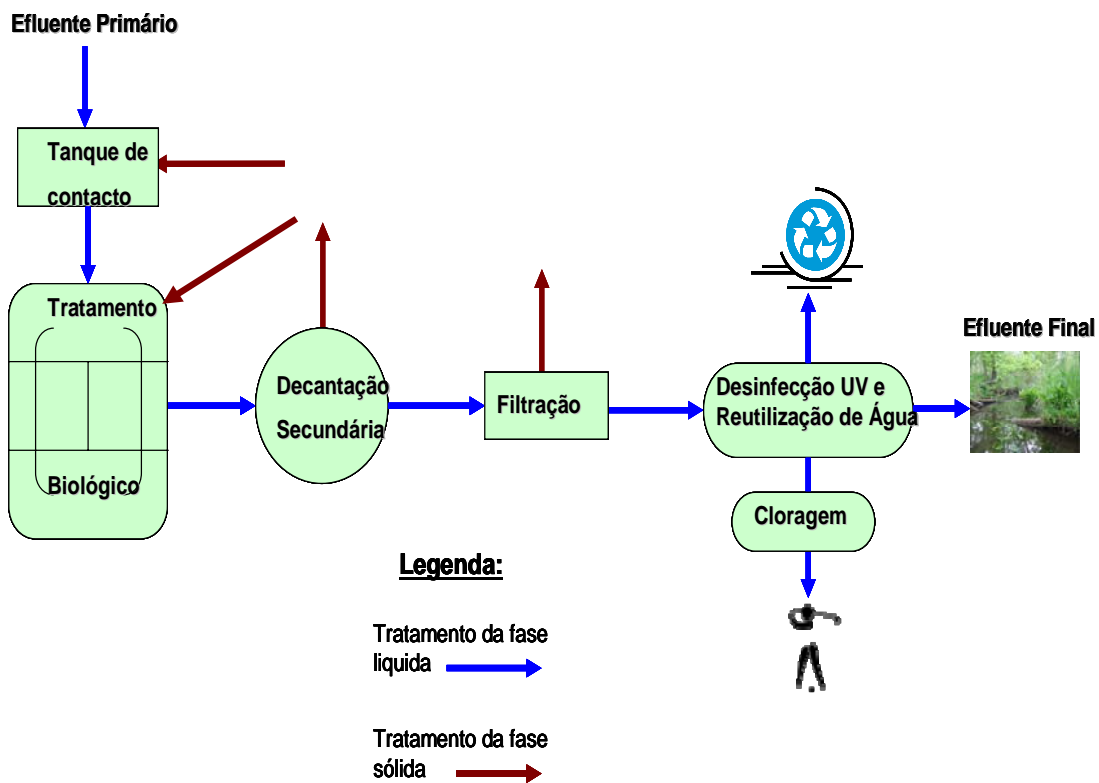


Figura 59 - Diagrama de tratamento complementar proposto.

7.5.5 – Avaliação da Quantidade Máxima Anual de Nutrientes

Partindo da fórmula IV, indicada no capítulo 3.2.2 é calculada a quantidade máxima anual de Azoto e Fósforo nas águas para rega. Sem informações acerca da área total para rega, estimou-se a quantidade máxima anual por hectare e a sua área total a partir do caudal máximo diário pretendido ($1000 \text{ m}^3/\text{d}$), das concentrações médias de nutrientes presentes nas águas residuais e dos seguintes dados aproximados:

- Um campo de golfe de 18 buracos apresenta em média uma área de 46 ha e um consumo médio de $1650 \text{ m}^3/\text{d}$ e por sua vez um campo de golfe de 9 buracos (frequente em campos de golfe urbanos) apresenta metade dos valores apresentados para o campo de golfe de 18 buracos [9] [28].
- Através do consumo médio indicado do campo de golfe de 18 buracos e do caudal máximo diário pretendido, estima-se então que o campo de golfe a construir será de 9 buracos e 23 ha de área.

Quadro 24 - Quantidade de Nutrientes Veiculada aos Solos Através das Águas Residuais.

	Campo golfe 9 buracos	Limite máximo anual recomendado [8]
Azoto (kg/ano/ha)	497,5	500
Fósforo (kg/ano/ha)	82,05	500

O quadro 24 indica a quantidade de macronutrientes a ser veiculada ao campo de golfe, partindo dos resultados médios de azoto e fósforo indicados no quadro 22. O volume de água foi calculado a partir do caudal máximo diário pretendido baseado na sua aplicação anual, sem no entanto ser considerado uma possível variação sazonal do mesmo. Assim é possível estimar uma quantidade máxima aplicada e concluir que em nenhum dos casos ultrapassa o limite máximo anual recomendado.

8 – Avaliação Técnico-económica dos custos adicionais de tratamento complementar

A avaliação técnico-económica é realizada analisando o impacto que o projecto de reutilização de águas residuais para rega terá no funcionamento da ETAR.

Para avaliação técnico-económica é necessário estimar o caudal mínimo garantido pelo potencial utilizador. O caudal máximo garantido é **1000** m³/d e o caudal médio **750** m³/d, estima-se q o caudal mínimo garantido é metade do caudal médio, ou seja **375** m³/d. Adopta-se também o período de 6 meses para o caudal mínimo já que a rega de campos de golfe tem um perfil sazonal.

Não será necessário um investimento na elevação do efluente devido à estação de tratamento possuir já dois grupos elevatórios com uma potência de **15** kW à pressão de **6** bar e com a capacidade de elevar **64** m³/h. O armazenamento do efluente final também poderá ser feito no tanque que actualmente reserva **60** m³ de efluente a reutilizar dentro da ETAR. Relativamente à distribuição sugere-se que a entidade gestora siga a Recomendação do IRAR n.º 02/2007 já aqui apresentada e que indica que caso a entidade gestora assim o entenda outras entidades deverão assegurar as actividades e o investimento para as situações de transporte, entre outras.

8.1 – Quantificação das necessidades de água reutilizada na ETAR

Como a ETAR de Fernão Ferro actualmente já reutiliza a água residual no seu sistema, torna-se necessário quantificar essa água de forma a minimizar o impacto de uma nova fonte de abastecimento para as águas residuais a reutilizar.

Quadro 25 - Caudal de água residual actualmente em reuso.

Aplicação	Caudal necessário (m³/h)
Água Diluição (Espessador Gravítico)	6
Água Diluição (Poliectrolito)	2
Água de lavagem (Centrifugas)	5
Rega de espaços verdes	10
Lavagens diversas	5
Total = 28	

A partir dos caudais máximo e médio garantidos estima-se também que a acrescentar aos **28 m³/h**, indicados no quadro 25 referentes às necessidades no interior da ETAR se somem mais **31,3 m³/h** ou **41,7 m³/h** relativos ao caudal médio e máximo respectivamente, o que perfaz um total de **59,6 m³/h** no caso de caudal médio e **70 m³/h** no caso de caudal máximo.

O grupo electrobomba tem actualmente a capacidade para elevar **64 m³/h**, valor insuficiente para o caso em que seja aplicado o caudal máximo garantido.

Sugere-se então que em épocas de caudal máximo garantido, as lavagens diversas sejam efectuadas com águas da rede de abastecimento pública e se diminua um pouco o caudal disponível para rega.

8.2 – Definição dos Custos Associados ao Investimento Adicional

Como já foi abordado no capítulo 7.5.4, as linhas adicionais de tratamento incluem uma filtração (sugere-se filtração em areia [26]) e um sistema de cloragem que permita obter um teor de cloro residual de 0,5 mg/L no sistema de distribuição. A escolha da cloragem em função dos outros tratamentos disponíveis resulta desta ser 2,7 vezes mais barata que os sistemas de ozonização (mais garantias de tratamento microbiológico e não forma organoclorados) e de o teor médio de matéria orgânica, indicado no capítulo 7.5.1.5, ser relativamente baixo não correndo assim o risco da formação de compostos organoclorados.

A inclusão do sistema de desinfecção no investimento deve-se a este fazer parte do tratamento complementar necessário à reutilização das águas residuais para rega.

Quadro 26 - Custo total de investimento. [Fonte: SIMARSUL]

Descrição	Preço (€)	Observações
Filtração	15.000	
Desinfecção (UV's)	10.000	
Bombas doseadoras (Hipoclorito)	1.000	1+1 unidades
Reservatório e Cubas de Retenção (Hipoclorito)	3.500	
Circuitos hidráulicos	5.000	
Caudalímetro e Caixa medidor de caudal	4.000	Electromagnético DN 100
Instalações eléctricas	4.500	
Tubagem	5.000	PEAD diam 180, já com soldaduras e 2 juntas de transição
Outros	12.000	
TOTAL	60.000	

Relativamente às amortizações do investimento inicial indicado no quadro 26, o seu total é dividido em dois grandes grupos:

- Equipamento Geral – **55 500 €** de investimento taxado a **12,5%** de acordo com Decreto Regulamentar n.º 2/90, de 12 Janeiro, código fiscal 2295 e que totalizam um valor de **578 €** mês.
- Instalações Eléctricas – **4 500 €** de investimento taxado a **10,0%** de acordo com Decreto Regulamentar n.º 2/90, de 12 Janeiro, código fiscal 2095 e que totaliza um valor de **100 €** mês.

O valor total a amortizar para um período definido de 10 anos é então **678 €** mês.

8.3 – Definição dos Custos de Exploração

Os custos de exploração envolvidos na vertente operacional da ETAR relativamente ao funcionamento complementar associado à implementação do projecto de reutilização das águas residuais para rega são custos fixos e custos variáveis. Na parcela de custos fixos incluem-se os custos relativos ao controlo analítico obrigatório, recursos humanos e a manutenção necessária. Os custos variáveis incluem a energia consumida pelos equipamentos e instalações eléctricas incluídos no investimento e os reagentes necessários.

8.3.1 – Custos de Exploração Fixos

Controlo Analítico

Os parâmetros a analisar deverão estar dentro dos limites legais e deverão ser analisados com a frequência indicada pela legislação, Decreto-lei n.º 236/98 e NP 4434:2005 como documento orientador da frequência de amostragem para reutilização em rega paisagística. O quadro 27 indica todos os parâmetros, quantidade de amostras anuais e o seu custo associado.

Quadro 27 - Custo total do controlo de qualidade. [Fonte: SIMARSUL]

Parâmetros	Custo Unitário (€) [LABQUI]	amostras/ano	Custo Total (€)
SST	3,00	3	9,00
Salinidade	15,00	52	780,00
SAR	30,00	3	90,00
pH	1,50	52	78,00
Nitratos	10,00	3	30,00
Arsénio	12,00	3	36,00
Cádmio	6,00	3	18,00
Chumbo	6,00	3	18,00
Cobre	6,00	3	18,00
Crómio	6,00	3	18,00
Selénio	12,00	3	36,00
Zinco	6,00	3	18,00
Ferro	6,00	3	18,00
Alumínio	6,00	3	18,00
Bário	6,00	3	18,00
Berílio	12,00	3	36,00
Boro	12,00	3	36,00
Cobalto	12,00	3	36,00
Estanho	12,00	3	36,00
Flúor	6,00	3	18,00
Lítio	12,00	3	36,00
Molibdénio	12,00	3	36,00
Vanádio	12,00	3	36,00
Manganês	6,00	3	18,00
Coliformes fecais	15,00	12	180,00
Ovos de parasitas intestinais	35,00	12	420,00
Sulfatos	10,00	3	30,00
Cloretos	8,00	3	24,00
Níquel	6,00	3	18,00
Azoto total	10,00	52	520,00
Azoto amoniacal	10,00	52	520,00
Fósforo total	12,00	52	624,00
Ortofosfatos	6,00	52	312,00
	339,50	TOTAL anual	4.139,00
		TOTAL mensal	344,92

Manutenção

Os custos associados à manutenção anual dos equipamentos compreendem 2,5% do total dos custos de investimento, ou seja **1 500€**/ ano.

Recursos Humanos

Quadro 28 - Custo Total dos Recursos Humanos. [Fonte: SIMARSUL]

<i>Staff</i>	Custo Total (€/ mês)
Directora de Operação	44,65
Responsáveis de Subsistema	40,26
Operadores	95,36
DAF	23,96
Total = 204,22	

8.3.2 – Custos de Exploração Variáveis

Energia

Usando como referência a capacidade máxima do grupo elevatório **64 m³/h**, calcula-se então primeiro a energia total consumida dos UV's mais bombas do grupo elevatório (0,533 kW + 15 kW) que totaliza **15,53 kW**, obtendo-se assim um consumo específico de **0,24 kWh/m³**, de acordo com a capacidade máxima do grupo elevatório. Assim a um custo unitário energético de **0,09 €/ kWh** obtêm-se um custo associado a cada m³ de água tratada de **0,02 €/m³**.

Reagentes

O reagente utilizado é apenas o hipoclorito a um preço de **150,68 €/t** (fonte:SIMARSUL), como medida de assegurar uma concentração de **0,5 mg/L** nas águas residuais para distribuição até ao ponto de rega. A relação destes dois parâmetros indica um custo de **0,0001 €/m³** de água tratada.

8.4 – Definição do Custo de Oportunidade

Define-se custo de oportunidade ao melhor valor associado a uma alternativa que não foi escolhida. Neste estudo técnico-económico o custo de oportunidade será então a estimativa do que se deixa de ganhar com a reutilização de águas residuais.

Definiu-se a taxa de oportunidade de **4,76%** (fonte:SIMARSUL), o custo de oportunidade será então o valor do investimento realizado taxado e que será de **2 856** €/ano ou **238** €/mês.

8.5– Tarifa Proposta

O cálculo do tarifário proposto segue as indicações dadas através da Recomendação n.º 02/2007 do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (capítulo 6.2.5).

O tarifário terá então a seguinte estrutura:

Definindo:

Parcela Fixa – **PF** – Custo Exploração Fixos, Amortização e Custo de Oportunidade

Parcela Variável – **PV** – Energia e Reagentes

Caudal Mensal Mínimo Garantido – **CMG**

$$\text{Tarifário} = \frac{(\sum PV \times CMG) + \sum PF}{CMG} \quad (\text{VIII})$$

- O resultado desta operação é uma tarifa de **0,3008** €/ m³
- Quando o caudal mensal máximo garantido é aplicado, a tarifa toma o valor de **0,1265** €/ m³

8.6– Ganhos Potenciais do Utilizador

O potencial utilizador das águas residuais tratadas terá de ter ganhos relacionados com o uso destas em detrimento da água potável de abastecimento público. Neste capítulo só serão abordados os potenciais ganhos a nível económico, pois os ganhos relacionados com a fertilização já foram anteriormente abordados. Os quadros 29 e 30 resumem e indicam a poupança que o potencial utilizador poderá beneficiar.

Nota: Os caudais mínimo e máximo garantidos são calculado de acordo com o período de utilização definido e que foi considerado 6 meses.

Quadro 29 - Ganhos potenciais do utilizador referentes a um caudal mínimo anual.

Para Caudal Mínimo	Volume Anual (m ³)	Tarifa (€/m ³) ^{b)}	Total (€)
Água Potável	68 438	2,04 ^{a)}	139 613,52
Águas Residuais Tratadas	68 438	0,3008	20 586,15
Ganhos / Perdas			119 027,37 €

- a) Referentes a “Consumos comerciais/industriais/agrícolas Empresas públicas e associações com fins lucrativos” (fonte:Câmara Municipal do Seixal)
- b) 2º escalão (consumos superiores a 25m³) (fonte:Câmara Municipal do Seixal)

Quadro 30 - Ganhos potenciais do utilizador referentes a um caudal máximo.

Para Caudal Máximo	Volume Anual (m ³)	Tarifa (€/m ³) ^{d)}	Total (€)
Água Potável	182 500	2,04 ^{c)}	372 300
Águas Residuais Tratadas	182 500	0,1265	23 086, 25
Ganhos / Perdas			349 213,75 €

- c) Referentes a “Consumos comerciais/industriais/agrícolas Empresas públicas e associações com fins lucrativos” (fonte:Câmara Municipal do Seixal)
- d) 2º escalão (consumos superiores a 25m³) (fonte:Câmara Municipal do Seixal)

8.7– Considerações Finais

- A escolha do investimento num sistema de filtração, foi baseada no pressuposto de baixar consideravelmente o teor de SST aumentando assim o rendimento da desinfecção UV a jusante.
- Em períodos onde o potencial utilizador necessite do caudal máximo contratualmente garantido, será necessário reajustar o consumo de água reutilizada no interior da ETAR, de forma ao grupo elevatório ter a capacidade para bombear a água para o local de rega e para reutilização interna.
- Os 10 000 € associados ao investimento no sistema de desinfecção compreendem 33% do seu investimento total e são incluídos no estudo técnico-económico devido ao equipamento fazer parte do tratamento complementar necessário para reutilização das águas residuais em rega.
- Optou-se pelo sistema de cloragem em função da ozonização devido a este ultimo ser cerca de 2,7 vezes mais caro [9].
- As tarifas propostas baseiam-se na Recomendação n.º 02/2007 do IRAR e revelam-se bem mais económicas que as actualmente praticadas pelos Serviços de Abastecimento de Águas do Seixal.
- Para efeitos de caudal mínimo anual, baseados em 6 meses de utilização, há uma poupança de aproximadamente 85% em relação ao total gasto com água da rede publica de abastecimento.
- Para efeitos de caudal máximo anual, baseados também em 6 meses de utilização, há uma poupança de aproximadamente 94% também em relação ao total gasto com água da rede publica de abastecimento.

9 – Conclusões

O desenvolvimento da dissertação decorreu no sentido de abordar a problemática da escassez de água a uma escala mundial. A água torna-se assim um recurso extremamente valioso para todos os países do mundo. A reutilização de águas residuais surge assim como uma boa opção para combater este problema emergente do novo século, mesmo em países desenvolvidos. Para que projectos de reutilização de águas residuais possam ser desenvolvidos e aplicados é necessário primeiro um conhecimento exacto das características que envolvem as águas residuais a reutilizar. É neste aspecto que se torna importante a implementação de medidas de carácter legal que possam fiscalizar e controlar as diversas aplicações da reutilização de águas residuais.

Nesta dissertação abordou-se sobretudo a aplicação das águas residuais tratadas para rega paisagística, verificando-se que deverá haver um controlo muito grande sobre aspectos como a salinidade, metais pesados, nutrientes e microrganismos de forma a minimizar os riscos a eles associados. De forma a aumentar o rendimento e a evitar riscos envolvendo as técnicas de rega, torna-se necessário implementar um plano de gestão de rega das culturas a regar e que aborde temáticas como o melhor método de rega a aplicar para cada caso, a quantidade de nutrientes necessária às culturas e o sistema de armazenamento e distribuição da água para rega.

A reutilização de águas residuais é uma tecnologia já bastante implementada um pouco por todo o mundo. Os Estados Unidos da América são um dos países do mundo onde esta tecnologia está mais avançada, devido não só às suas necessidades óbvias, como também às boas políticas ambientais fruto das preocupações sérias do país. Mas não é só no continente americano que esta prática está avançada, no Médio Oriente, Israel assume-se como um país muito dependente em termos hídricos desta tecnologia, esperando-se em 2010 que atinja 20% da quantidade total de água consumida no país.

Em Portugal e por ser um país onde ocorrem diversas desigualdades geográficas e sócio económicas, esta tecnologia ainda não assume um papel importante. As duas regiões de Portugal onde a reutilização de águas residuais poderia ter um papel fundamental são o centro e o sul do país, não só pelos escassos recursos hídricos associados à baixa e

desequilibrada precipitação como também à potencialidade que diversos projectos na área desportiva, ambiental e turística apresentam nestas regiões.

A regulamentação em Portugal sofreu um avanço muito grande nas últimas décadas, quando foi implementado o Decreto-Lei nº. 236/98, de 1 de Agosto, que estabelece os parâmetros mínimos para a reutilização de águas residuais na rega. Também aqui a norma portuguesa NP 4434:2005 criada pela Comissão Técnica de Normalização em Saneamento Básico / Subcomissão “Reutilização de Águas Residuais” do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, tem um papel muito importante já que indica as linhas orientadoras desta prática.

A avaliação da possibilidade da reutilização de águas residuais tratadas na ETAR de Fernão Ferro permite concluir que a reutilização de águas residuais é um projecto interessante de implementar, devido não só à proximidade do potencial utilizador com a estação de tratamento, evitando custos avultados na distribuição e armazenamento, como também à quantidade de água residual que assim não seria descarregada no Rio Judeu, o que seria extremamente interessante sob o ponto de vista ambiental.

Conclui-se que do ponto de vista financeiro um projecto desta natureza seria altamente benéfico para o potencial utilizador já que utilizaria tarifas muito interessantes e evitaria o uso de fertilizantes sobre os solos, poupando os potenciais utilizadores entre 85 a 94% dos custos associados ao consumo de água e em função da água da rede pública.

A reutilização de águas residuais deverá ser uma temática a abordar pelos responsáveis políticos de forma uma melhor gestão dos recursos hídricos do país catalizando assim o uso de água potável para outras necessidades que passam directamente pelo seu consumo.

10 – Referências Bibliográficas

- [1] Mendes, B., Santos Oliveira, J.F., *Qualidade da água para consumo humano*, LIDEL. 2004
- [2] Santos, F.D., Forbes, K., Moita, R., *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts, and Adaptation Measures – SIAM Project*, Gradiva. 2002
- [3] Isaacson, M., Sayed, A. R., *Human consumption of reclaimed water – the Namibian experience*, Implementing Water Reuse, Proceedings of the Water Reuse Symposium IV, Denver, CO, USA, AWWA Research Foundation. 1987
- [4] Metcalf&Eddy, Inc, *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal, Reuse*, 3rd Ed, McGraw-Hill. 1991
- [5] Marecos do Monte, M. H. F., *Contributo para a utilização de águas residuais tratadas para irrigação em Portugal*, Teses e programas de investigação LNEC. 1996
- [6] Oster, J.B., Rhoades, J.D., *Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater – A guidance manual*, Lewis Publishers. 1985
- [7] Instituto Português da Qualidade, *Norma Portuguesa sobre reutilização de águas residuais urbanas para rega*, NP 4434, Caparica. 2005
- [8] Cardador dos Santos, M.M., *Reutilização de águas residuais urbanas tratadas*, Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa. 2008
- [9] Martins, A., Freire, J., Sousa, J., Ribeiro, A., *Potencialidades de reutilização de águas residuais para rega de campos de golfe na região do Algarve*, Águas do Algarve, S.A. 2007
- [10] Raposo, J. R., *A rega por aspersão*, 1ª Ed., Clássica Editora. 1980
- [11] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Irrigaçã](http://pt.wikipedia.org/wiki/Irriga%C3%A7%C3%A3o)o - acedido pela ultima vez a 02/12/2008
- [12] Takashi, A., *Wastewater Reclamation and Reuse*, Volume 10, CRC PRESS. 1998
- [13] Takashi, A. *Water from (waste)water – The Dependable Water Resource*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, USA. 2001
- [14] *Water Reuse in Texas*, Vol. XI, No 2 – A quarterly publication of the Texas water developement Board. Spring 2001
- [15] Sanchez, N. Duron, *Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation*, M. B. Pescod & A. Arar. 1988
- [16] Alvarez-Romero, R. *Case Study VII – The Mezquital Valley, México*. 2002
- [17] *La Farfana (Santiago, Chile) Wastewater Treatment Plant*, Degremont Suez. 2007
- [18] Hespanhol, I., *Wastewater as a resource for beneficial uses in Brazil*, Conferencia de Chefes de Estados da América do Sul e Países Áreabes. 2004
- [19] International Water Management Institute, *Helping the world adapt to water scarcity*, Annual Report. 2007-2008

- [20] Bahri, A. *Water Reuse in Tunisia Stakes and Prospects*, National Research Institute for Agricultural Engineering, Water, and Forestry. 2006
- [21] Friends of Environmental and Water (FEW), *Costs and benefits of wastewater treatment and reuse for irrigation in Wadi Al-Nar/Kidron Area*, House of Water and Environmental. 2006
- [22] Carvalho, R., Machado, S., *Contribuição para o Conhecimento de Regiões Climáticas de Portugal Continental*, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. 1976
- [23] Marecos do Monte, M., H., F., *Reutilização de águas residuais na rega – A implementação da NP 4434:2005*, Debate sobre Perspectivas para o reaproveitamento de águas residuais e pluviais, Câmara Municipal de Loures. 2007
- [24] DHVFBO, *Ampliação e Beneficiação da ETAR de Fernão Ferro*, Projecto de Execução, Memória Descritiva e Justificativa do Processo de Tratamento e Equipamento, SIMARSUL – ETAR de Fernão Ferro. 2008
- [25] Lightfoot, N.F., Maier, E. A., *Análise Microbiológica de Alimentos e Água*, Institut Pasteur de Lille. 2003
- [26] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Guidelines for water reuse*, EPA/625/R-04/108. 2004
- [27] Carmo, F. A., *Reutilização dos efluentes de ETAR para rega: Estudo de Tarificação*, LNEC. 1994
- [28] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Golf Course Adjustment Factors for Modifying Estimated Drinking Water Concentrations and Estimated Environmental Concentrations Generated by Tier I and Tier II Models*.