



## Reutilização de águas residuais tratadas

**PAULO JOEL PEREIRA NUNES**

Julho de 2020

# Reutilização de águas residuais tratadas

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Biorrecursos

Autor: Paulo Joel Pereira Nunes

Orientador da SIMDOURO: Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Tavares

Orientador do ISEP: Dr.<sup>a</sup> Manuela Correia

Julho de 2020



## Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Tavares e à Dr.<sup>a</sup> Manuela Correia por me terem orientado e transmitido conhecimentos ao longo do estágio.

Agradeço também a todos os colaboradores da ETAR Gaia Litoral bem como aos da sede do Grupo Águas de Portugal, apesar do pouco tempo que estive com eles sempre me fizeram sentir acolhido.

Um agradecimento especial à minha família por todos os ensinamentos que me passaram durante o meu percurso académico e pelo auxílio permanente durante toda a minha vida, sem eles não teria chegado a onde cheguei hoje.

Por fim um agradecimento à Inês Santos por me ter apoiado durante este longo percurso e ao meu grupo de amigos pelo apoio e amizade nestes últimos anos e pelos momentos passados juntos.



## Sumário

Atualmente, vivemos numa economia maioritariamente linear. No entanto, para que os recursos naturais sejam geridos de uma forma inteligente e sustentável, é necessário passar para uma economia circular, reforçando os fluxos de reutilização, restauração e renovação.

A reutilização de água residual no suporte à economia circular é uma das cinco tendências na indústria da água na próxima década. Nos últimos anos foram surgindo vários planos que incentivam à reutilização de água residual, como por exemplo o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PENSAAR) 2020 e os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Ao longo dos anos, na UE, foram adotados vários requisitos legais e estatutários relativos à gestão da água, cujo objetivo principal é assegurar a inexistência de problemas para o ambiente ou para a saúde humana. Para além disso, promovem a reutilização de água, tendo sido inclusive publicado o Regulamento (UE) 2020/741 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo aos requisitos mínimos para a reutilização de água.

No caso particular de Portugal, foi criada uma estratégia para a reutilização de água residual tratada que passa pela identificação das instalações de tratamento com viabilidade de produção de água para reutilização, a identificação dos potenciais usos e as necessidades de investimento para assegurar os níveis de tratamento em conformidade com as normas de qualidade exigidas, bem como, a definição das medidas necessárias para a promoção e concretização de projetos de reutilização viáveis. A 21 de Agosto 2019 foi publicado o Decreto-Lei n.º 119/2019, que estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. Para assegurar uma promoção correta e segura destes projetos de reutilização e como complemento ao Decreto-Lei n.º 119/2019, a Agência Portuguesa do Ambiente publicou o Guia para Reutilização de Água – Usos não potáveis, essencial de um modelo de gestão e de planeamento do risco, que permite garantir o cumprimento dos objetivos de qualidade aplicáveis à água para reutilização, sem colocar em causa a saúde pública e/ou a proteção dos recursos hídricos.

Este estágio teve como objetivo efetuar uma análise detalhada e objetiva dos requisitos legais e estatutários vigentes, aplicáveis à reutilização de água residual, e estabelecer uma metodologia de avaliação de riscos, necessária à eventual obtenção de licença de produção e utilização de água para reutilização para a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Gaia Litoral.

A proteção da saúde pública e do ambiente são seguramente os pontos fulcrais a considerar em qualquer projeto de reutilização de água residual. A avaliação de riscos efetuada permitiu concluir que, apesar de todas as limitações processuais e a qualidade inferior da ApR produzida, os riscos para a saúde pública e para os recursos hídricos são aceitáveis, isto é, os riscos existem, contudo as medidas de prevenção e minimização encontram-se estabelecidas e são eficazes.

Palavras-Chave: ETAR Gaia Litoral, ApR, Avaliação de Risco,



## Abstract

Currently, the world economy is mainly based on a linear economy. However, for natural resources to be managed in an intelligent and sustainable way, it is necessary to switch to a circular economy, reinforcing the flows of reuse, restoration and renovation.

The reuse of wastewater to support the circular economy is one of the 5 trends in the water industry in the next decade. In recent years, several plans have emerged that encourage the reuse of wastewater, such as the Strategic Plan for Water Supply and Wastewater Sanitation (PENSAAR 2020) and the 17 Sustainable Development Goals. Over the years, in the EU, several legal and statutory requirements have been adopted regarding water management, the main objective of which is to ensure that there are no problems for the environment or for human health.

In addition, they promote the reuse of water, including Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for the reuse of water. In the particular case of Portugal, a strategy was created for the reuse of treated wastewater, which involves identifying treatment facilities with feasibility of producing water for reuse, identifying potential uses and investment needs to ensure treatment levels in accordance with the required quality standards, as well as the definition of the necessary measures for the promotion and implementation of viable reuse projects. On August 21, 2019, Decree-Law No. 119/2019 was published, which establishes the legal regime for the production of water for reuse, obtained from the treatment of wastewater, as well as its use. To ensure a correct and safe promotion of these reuse projects and as a complement to Decree-Law no. 119/2019, the Portuguese Environment Agency published the Guide for the Reuse of Water - Non-drinking uses, essential for a management and risk planning, which ensures compliance with the quality objectives applicable to water for reuse, without jeopardizing public health and / or the protection of water resources.

This internship aimed to carry out a detailed and objective analysis of the legal and statutory requirements in force, applicable to the reuse of wastewater, and to establish a risk assessment methodology for public health and for the protection of water resources, necessary for the eventual obtaining of a permit for the production and use of water for reuse for the Gaia Litoral Waste Water Treatment Plant (WWTP).

The protection of public health and the environment are certainly the key points to consider in any project for the reuse of wastewater. The risk assessment carried out allowed us to conclude that, despite all the procedural limitations and the inferior quality of the produced ApR, the risks to public health and water resources are acceptable, that is, the risks exist, however the preventive and minimization measures are established and effective.

Keywords: Gaia Litoral WWTP, risk assessment, reclaimed water



## Índice

Agradecimentos.....	I
Sumário .....	III
Abstract .....	V
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e objetivos .....	1
1.2 Grupo Águas de Portugal .....	1
1.2.1 História .....	1
1.2.2 Estratégia .....	2
1.3 SIMDOURO.....	2
1.4 Organização da dissertação .....	3
2. Economia circular e Sustentabilidade .....	5
2.1 Importância e Desafios do Setor da Água .....	5
2.2 Transição para a economia circular: Reutilização da Água .....	7
2.3 Objetivos de desenvolvimento sustentável.....	8
2.4 Planos e programas nacionais no Setor da Água.....	9
3. Água residual tratada.....	13
3.1 Legislação.....	13
3.2 Aplicações .....	15
3.3 Contaminantes Principais .....	18
3.3.1 Nutrientes: Nitrogénio e fósforo.....	18
3.3.2 Metais pesados .....	18
3.3.3 Microrganismos patogénicos.....	19
3.3.4 Contaminantes emergentes .....	19
3.4 Barreiras à reutilização de água residual tratada .....	19
3.4.1 Barreiras tecnológicas .....	19
3.4.2 Barreiras Económicas.....	20
3.4.3 Barreiras Sociais.....	20

3.5	Benefícios e Riscos na utilização de água residual tratada .....	21
3.6	Projetos atuais na Reutilização de água .....	22
4.	ETAR Gaia Litoral .....	25
4.1	Processo de tratamento.....	26
4.1.1	Fase Líquida .....	27
4.1.2	Fase Sólida .....	29
4.1.3	Fase Gasosa .....	31
4.2	Desodorização .....	31
5.	Água para reutilização.....	33
5.1	Enquadramento.....	33
5.2	Regime Jurídico.....	33
5.2.1	Tipologia de Águas Residuais .....	34
5.2.2	Sistemas.....	34
5.2.3	Pressupostos .....	35
5.2.4	Novos conceitos .....	36
5.2.5	Produção de ApR na ETAR Gaia Litoral .....	36
5.3	Avaliação de Risco.....	39
5.3.1	Saúde Pública .....	39
5.3.2	Avaliação de risco sobre os recursos hídricos .....	45
6.	Resultados da avaliação de risco .....	53
6.1	Risco para a saúde pública .....	53
6.1.1	Identificação dos Perigos.....	53
6.1.2	Identificação dos recetores .....	53
6.1.3	Vulnerabilidade de cada recetor .....	54
6.1.4	Dano para cada recetor .....	54
6.1.5	Risco para cada recetor.....	54
6.1.6	Risco Global .....	55
6.2	Risco para os Recursos hídricos.....	55

6.2.1	Identificação dos perigos .....	55
6.2.2	Identificação dos recetores .....	55
6.2.3	Vulnerabilidade do recetor .....	56
6.2.4	Vulnerabilidade e dano global .....	56
6.2.5	Riscos Globais .....	56
7.	Conclusão .....	57
	Bibliografia.....	59
	Anexo I.....	66
	Anexo II.....	74
	Anexo III .....	76
	Anexo IV .....	78



## Índice de figuras

Figura 1.1- Logotipo do Grupo Águas de Portugal [(“Estratégia- Grupo Águas de Portugal,” n.d.)].	1
Figura 1.2- Logotipo da SIMDOURO [(“Quem somos- SIMDOURO,” n.d.)].	3
Figura 2.1- Procura de água global por setor até 2040 (United Nations, 2019).	6
Figura 2.2- Stresse Hídrico anual (United Nations, 2019).	7
Figura 2.3- Objetivos de desenvolvimento sustentável [(Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017)].	8
Figura 2.4- Objetivo 6 "água potável e saneamento"[(Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017)].	8
Figura 2.5- Plano de ação [(José Veiga Freitas et al, 2015)].	9
Figura 2.6 - Previsão da percentagem de água reutilizada para 2025 e 2030.	11
Figura 3.1- Cronograma de diretivas, Decretos-Lei e relatórios que estão ligados ao reuso de água (“Water Reuse Europe- Policy and Regulations,” 2019).	15
Figura 3.2- Fluxo de água com as potenciais aplicações da sua reutilização (Voulvoulis, 2018)	16
Figura 3.3- Aplicações para a água residual tratada.	17
Figura 4.1- Mapa da zona de cobertura da ETAR Gaia Litoral [(Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.)].	25
Figura 4.2- Equipamentos da ETAR Gaia Litoral (Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.).	26
Figura 4.3- Fluxograma do Tratamento da ETAR Gaia Litoral. Azul:Fase Líquida, Verde:Fase Sólida, Vermelho:Fase Gasosa.	27
Figura 5.1 - Sistema Centralizado (APA (1), 2019).	37
Figura 5.2- Sistema de reutilização (APA (1), 2019).	37
Figura 5.3- Eventos adversos mais prováveis (APA (1), 2019).	43
Figura 5.5- Vias de exposição para os recursos hídricos.	48



## Índice de Tabelas

Tabela 5.1- Licenças necessárias para o fim pretendido .....	38
Tabela 5.2- Nível de perigo da E. coli e nível de importância .....	40
Tabela 5.3- Fatores de importância aplicáveis a cada via de exposição .....	41
Tabela 5.4- Fator de importância associado a cenários de exposição .....	42
Tabela 5.5- Probabilidade de ocorrência de doença .....	42
Tabela 5.6- Matriz de determinação do fator de importância ponderado.....	42
Tabela 5.7- Tipo de barreiras e correspondência com o número de barreiras equivalentes.....	44
Tabela 5.8- Matriz de determinação do dano após priorização (di) .....	44
Tabela 5.9- Níveis de risco.....	45
Tabela 5.10- Nível de perigo para aplicação de ApR em zonas sensíveis à eutrofização, vulnerabilidade à poluição por nitratos ou massas de água com estado inferior a bom (parâmetros responsáveis N ou P).....	46
Tabela 5.11- Nível de perigo para aplicação da água para reutilização .....	46
Tabela 5.12- Nível de perigo para meios vulneráveis à poluição microbiológica .....	47
Tabela 5.13- Números de cenários de exposição .....	48
Tabela 5.14- Definição de barreiras a aplicar para proteção dos recursos hídricos .....	49
Tabela 5.15- Matriz de avaliação dos riscos para as águas superficiais e subterrâneas .....	49
Tabela 5.16- Vulnerabilidade dos recursos hídricos expressa em importância.....	50
Tabela 5.17- Probabilidade de ocorrência de exposição dos recursos hídrico à contaminação. .	51
Tabela 5.18- Severidade dos danos para os recursos hídricos.....	51
Tabela 5.19- Matriz de determinação do dano (di).....	51
Tabela 5.20- Classificação do risco para os recursos hídricos .....	52
Tabela 6.1- Identificação dos perigos .....	53
Tabela 6.2- Vulnerabilidade para cada recetor.....	54
Tabela 6.3- Dano para cada recetor.....	54
Tabela 6.4- Risco para cada recetor .....	55
Tabela 6.5- Identificação de Perigos .....	55
Tabela 6.6- Vulnerabilidade.....	56
Tabela 6.7- Vulnerabilidade global e dano global .....	56
Tabela 6.8- Riscos Globais.....	56
Tabela I.1 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para os trabalhadores da ETAR no edifício de exploração e respetivos fatores de importância .....	56

Tabela I.2 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para as partes externas edifício de exploração e respetivos fatores de importância.....	56
Tabela I.3 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para os trabalhadores da ETAR na ETAR Gaia Litoral e respetivos fatores de importância..	56
Tabela I.4 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para as partes externas da ETAR na ETAR e respetivos fatores de importância.....	56
Tabela I.5 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para os trabalhadores da ETAR nos jardins e zona envolvente e respetivos fatores de importância.....	70
Tabela I.6 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para as partes externas da ETAR nos jardins e zona envolvente e respetivos fatores de importância.....	71
Tabela I.7 – Barreiras e informação usada para o cálculo do dano para os dois recetores identificados.....	72
Tabela II.1 – Informação usada para o cálculo do dano global nos recursos hídricos.....	73
Tabela III.1 – Normas de qualidade de água para reutilização para rega (Presidência do Conselho de Ministros, 2019).....	75
Tabela III.2 – Normas de qualidade de água para usos urbanos e usos paisagísticos (Presidência do Conselho de Ministros, 2019).....	75
Tabela III.3 – Normas de qualidade de água para reutilização em uso industrial (Presidência do Conselho de Ministros, 2019).....	75
Tabela IV.1 – Local de amostragem, parâmetros a ser monitorizados e periodicidade dos mesmos.....	77

## Índice de Equações

Equação 5.1- Vulnerabilidade de cada recetor .....	43
Equação 5.2 f normalização .....	43
Equação 5.3- Dano .....	45
Equação 5.4- Risco para cada Recetor .....	45
Equação 5.5- Risco global.....	45
Equação 5.6- Vulnerabilidade dos recursos hídricos .....	50
Equação 5.7- Vulnerabilidade global.....	50
Equação 5.8- Dano .....	52
Equação 5.9- Risco para os recursos hídricos .....	52



## Abreviaturas e Siglas

AdP - Águas de Portugal

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

ApR - Água para Reutilização

ARS - Administração Regional de Saúde

CBO<sub>5</sub>- Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de 5 dias

CQNUAC - Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas

CQO- Carência Química de Oxigénio

di - dano parcial

DRAP – Direção Regional de Agricultura e Pescas

EN AAC – Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

fi – Fator de importância

ISO – Organização Internacional de Normalização (*International Standardization Organization*)

LUA – Licenciamento Único Ambiental

ODS- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial de Saúde

P – Perigo

P-3AC- Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas

PEGA – Planos Específicos de Gestão de Águas

PENSAAR - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PGRH – Planos de Gestão de Regiões Hidrográficas

PNA – Plano Nacional da Água

PNUEA – Plano Nacional para o Uso Eficiente de Água

R Global – Risco Global

R recetor – Risco para cada Recetor

R<sub>RH</sub> – Risco para os Recurso Hídricos

SST- Sólidos Suspensos Totais

TUA – Título Único Ambiental

UE – União Europeia

V<sub>G</sub> – Vulnerabilidade Global

V recetor – Vulnerabilidade de cada Recetor

V<sub>RH</sub> – Vulnerabilidade Global para os Recursos Hídricos

## Definições

**Águas residuais domésticas** - Águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e/ou com águas pluviais;

**Águas residuais urbanas** - Águas residuais de serviços e de instalações residenciais, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas;

**Águas residuais industriais** - Águas residuais provenientes de qualquer tipo de atividade que não são suscetíveis de ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais;

**Água remanescente** - Água sobranete proveniente de certos tipos de cultura agrícola, nomeadamente culturas fora de solo e que pode ser utilizada para supressão das necessidades hídricas de outras culturas agrícolas.



# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento e objetivos

Os recursos hídricos necessitam de uma gestão cada vez mais sustentável. O aumento demográfico aliado às alterações climáticas dificultam o acesso à água, quer em quantidade, quer em qualidade. Esta dissertação foi realizada no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Estágio do Mestrado em Biorrecursos do Instituto Superior de Engenharia do Porto e corresponde a um Estágio realizado na Empresa SIMDOURO (Grupo Águas de Portugal), na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Gaia Litoral. Este estágio decorreu de forma presencial entre 10 de fevereiro e 11 de março de 2020. A partir dessa data, devido à situação de Pandemia COVID-19, o trabalho passou a ser realizado à distância.

Esta dissertação tem por tema a Reutilização de águas residuais tratadas, tendo como objetivos analisar a informação disponível sobre este tema e, em particular, fazer uma avaliação de risco associada à reutilização de águas residuais tratadas na ETAR de Gaia Litoral.

## 1.2 Grupo Águas de Portugal

O grupo Águas de Portugal (AdP) (Figura 1.1) desenvolve uma função estruturante no setor do ambiente em Portugal. As suas atividades contribuem para a gestão dos recursos disponíveis no País e para a concretização das políticas governamentais. O Grupo é constituído por um conjunto de empresas, com presença de norte a sul de Portugal, prestando serviços de abastecimento de água e saneamento de águas residuais (“Quem somos- Grupo Águas de Portugal,” n.d.).



Figura 1.1- Logotipo do Grupo Águas de Portugal [(“Estratégia- Grupo Águas de Portugal,” n.d.)].

### 1.2.1 História

A AdP foi criada a 29 de setembro de 1993 enquanto instrumento empresarial do Estado para a gestão dos serviços de abastecimento de água e de saneamento. Através de soluções supramunicipais, que geraram economias de escala e permitiriam uma utilização mais eficiente dos recursos, foi possível prosseguir os objetivos de melhorar a qualidade da água e aproximar os níveis de atendimento das populações aos dos restantes países da Europa comunitária.

Nas últimas duas décadas os investimentos realizados pelo Grupo AdP, aliados à capacidade de planeamento e execução, à experiência na gestão operacional e financeira, ao desenvolvimento de soluções inovadoras e à dedicação dos seus colaboradores, estão à vista nos resultados alcançados, dos quais se destacam:

- 98% da água para abastecimento controlado e de boa qualidade (água segura);
- 95% da população servida por sistemas de abastecimento de água;
- 79% da população servida por sistemas de tratamento de águas residuais;
- 98% das águas balneares costeiras em conformidade;
- 85% das águas balneares interiores em conformidade.

Tencionando garantir a todas as populações a continuidade, universalidade, qualidade e sustentabilidade na prestação destes serviços públicos essenciais, o Grupo prossegue a sua missão percorrendo um caminho em direção a um futuro mais confiante e mais sustentável (“História-Grupo Águas de Portugal,” n.d.).

### **1.2.2 Estratégia**

O Grupo AdP assume o compromisso de associar a gestão do ciclo urbano da água com os desafios do desenvolvimento sustentável, sendo que, este se encontra materializado na sua estratégia de sustentabilidade, em particular, nos princípios e compromissos definidos para o período 2016-2020.

A estratégia de sustentabilidade do Grupo AdP, revista em 2015, integra 6 grandes princípios e 20 compromissos abrangendo temas como a conservação das massas de água e da biodiversidade, a adaptação às alterações climáticas, o desenvolvimento de uma economia local responsável, a valorização da relação com os colaboradores e uma aproximação crescente à comunidade, entre outros.

Na base da estratégia de sustentabilidade do Grupo está o conceito de simbioses, que decorre da relação de estreita interdependência que as atividades desenvolvidas pelas empresas do Grupo mantêm com a qualidade de vida das pessoas e do ambiente, estando a montante e a jusante de todas as restantes atividades económicas (“Estratégia- Grupo Águas de Portugal,” n.d.).

## **1.3 SIMDOURO**

A SIMDOURO (Figura 1.2) é uma sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos, criada pelo Decreto-Lei nº 16/2017, de 1 de fevereiro, responsável pela construção, gestão e concessão do sistema multimunicipal de saneamento do grande Porto, em regime de exclusividade e por um prazo de 50 anos.

O objetivo da empresa é a recolha, tratamento e rejeição final das águas residuais urbanas, provenientes de cerca de 519 mil habitantes equivalentes, abrangendo uma área de 1300 km<sup>2</sup>, correspondendo à totalidade dos Municípios de Arouca, Baião, Castelo de Paiva, Cinfães, Paredes, Vila Nova de Gaia e uma parte do município de Penafiel.

De acordo com o contrato de concessão, a empresa é constituída pelo Grupo Águas de Portugal que detém 58,52% do capital social e pelos Municípios de Arouca, Baião, Castelo de Paiva, Cinfães, Paredes, Vila Nova de Gaia e Penafiel que detêm os restantes 41,48% (“Quem somos- SIMDOURO,” n.d.).



Figura 1.2- Logotipo da SIMDOURO [(“Quem somos- SIMDOURO,” n.d.)].

## 1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em 7 capítulos. No capítulo 1 faz-se o enquadramento do estágio e dos seus objetivos, uma breve apresentação da empresa e descreve-se a organização da dissertação.

O capítulo 2 é dedicado à Economia Circular e à Sustentabilidade, com particular destaque para o setor da água. O capítulo 3 aborda a temática da água residual tratada, em várias vertentes, desde a legislação, contaminantes principais, barreiras à reutilização e projetos em curso, entre outros. No capítulo 4 descreve-se a ETAR de Gaia Litoral e os processos de tratamento de águas residuais existentes.

O capítulo 5 é dedicado à Água para reutilização, onde se apresenta informação sobre o regime jurídico e sobre a avaliação de risco, entre outros. Neste capítulo descreve-se a metodologia proposta pela Agência Portuguesa do Ambiente para a avaliação de risco associada à Reutilização de água para usos não potáveis.

O capítulo 6 apresenta os resultados da avaliação de risco aplicada à reutilização de água residual tratada na ETAR de Gaia Litoral. As conclusões desta dissertação são apresentadas no capítulo 7.



## 2. Economia circular e Sustentabilidade

Atualmente, vivemos numa economia maioritariamente linear, em que um produto no fim de vida é simplesmente descartado. Com o aumento das preocupações ambientais e dado o carácter finito dos recursos naturais, é necessário encontrar uma maneira que seja simultaneamente amiga do ambiente e economicamente sustentável para a reutilização destes produtos. Para que os recursos naturais sejam geridos de uma forma inteligente e sustentável é necessário mudar para uma economia circular. Esta mudança é defendida, em artigos publicados por diversos elementos da comunidade científica, visto que é considerada fundamental para alcançar vários objetivos, entre eles: metas de crescimento verde, de desenvolvimento sustentável e de mitigação de alterações climáticas (Vaz et al., 2017; Zvimba & Musvoto, 2018).

A economia circular é considerada pela Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC) como um dos principais temas, uma vez que mais de 50% das emissões de gases com efeito de estufa estão relacionadas com a extração e transformação de matérias-primas. A mudança da economia linear para a circular será difícil, sendo que será necessário um esforço significativo de todas as partes desde o consumidor até aos grandes produtores, mas também dos próprios governantes. Tem havido vários impulsos globais, com iniciativas que promovem a economia circular tais como: o Acordo de Paris pela CQNUAC, os objetivos de Desenvolvimento Sustentável pelas Nações Unidas, “Fechar o ciclo - Plano de ação da União Europeia (UE) para a Economia Circular”, entre outras. Estas iniciativas têm como finalidade, apresentar a economia circular como uma oportunidade e um desafio, para uma sociedade mais inclusiva, sustentável e resiliente (Vaz et al., 2017; Zvimba & Musvoto, 2018).

### 2.1 Importância e Desafios do Setor da Água

A água para além de ser fundamental para a sobrevivência humana, e essencial para o desenvolvimento económico, é muito importante para a sustentabilidade dos ecossistemas. Estes não conseguem sobreviver sem fornecimento de água. No entanto, sempre que o ser humano utiliza os recursos hídricos tende a deixar um impacto no local onde a água é retirada, sendo este um rio, lago ou aquífero subterrâneo (Voulvoulis, 2018).

O enorme crescimento populacional aliado às alterações climáticas, torna cada vez mais difícil o acesso às quantidades necessárias de água e com boa qualidade. Os usos excessivos e descontrolados da mesma têm aumentado consideravelmente. No século 20 a população triplicou, mas o consumo de água aumentou seis vezes mais (Goleman et al., 2019; Guppy et al., 2017).

Está previsto que até 2050, o uso de água aumente 400% na indústria e 130% no uso doméstico (Lisa Guppy et al., 2017). A água utilizada para rega e produção de alimentos é uma das utilizações que mais água doce consome. A agricultura representa cerca de 70% na utilização deste recurso hídrico, podendo mesmo chegar aos 90% em regiões de rápido crescimento económico. A indústria é também uma das grandes utilizadoras de água, estando entre os 10% na Ásia e os 57% na Europa, no total de água consumida (Voulvoulis, 2018). Prevê-se que, nas próximas décadas, a procura global de água nos setores industriais, domésticos e agrícolas terá um aumento entre 20 e 33%. Apesar de haver variações nas projeções, a análise atual sugere que

grande parte desse aumento ocorra nos setores industriais e domésticos, como se pode ver na Figura 2.1. No entanto, a agricultura continuará a ser de longe o setor onde a procura de água é maior (Burek et al., 2016).

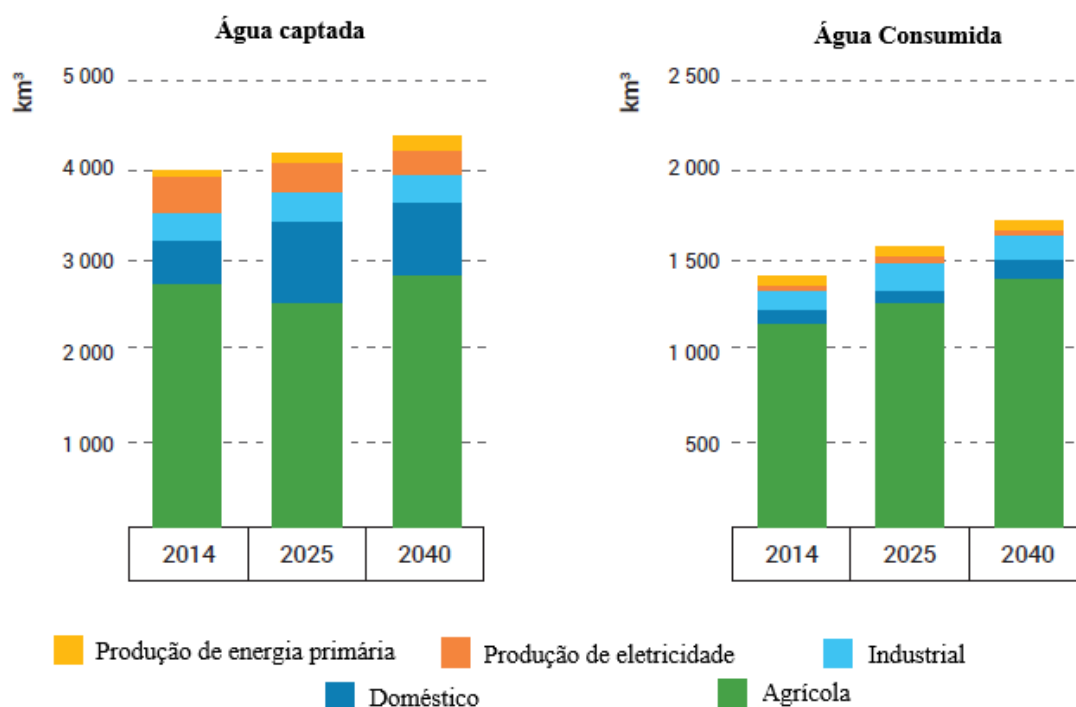


Figura 2.1- Procura de água global por setor até 2040 (United Nations, 2019)

A escassez de água é tanto um problema económico, como ambiental. Este é um sério limitador ao desenvolvimento, e faz crescer a possibilidade de no futuro ocorrerem graves confrontos. As Nações Unidas sugerem que cerca de 300 potenciais conflitos podem ocorrer nos próximos anos, devido à falta de água. As tensões tornam-se mais graves nos países em desenvolvimento, uma vez que a poluição da água ou o seu desperdício são mais acentuados. Há ainda o facto de 261 dos grandes rios no planeta atravessarem territórios de 2 ou mais países, sem que haja acordos que regulem o uso da água. Esta situação aumenta a probabilidade de um confronto futuro, por causa da escassez da mesma (Cirilo, 2015).

A falta de água é particularmente importante em regiões como a do Mediterrâneo, mas também em áreas onde a necessidade desta iguala ou é superior à sua disponibilidade, incluindo assim outras áreas na Europa, América do Norte e Ásia (Figura 2.2). Mais de 2 mil milhões de pessoas vivem em países que passam por um alto stress hídrico. Embora o stress hídrico médio global seja de 11%, existem cerca de 31 países que enfrentam um stress hídrico entre os 25% e os 70% e 22 países que enfrentam um stress hídrico acima dos 70%, vivendo assim perto de uma grave situação de escassez de água. Nos dias de hoje, cerca de 2/3 da população humana do planeta vive em áreas que passam pelo stress hídrico pelo menos 1 mês por ano (United Nations, 2019).

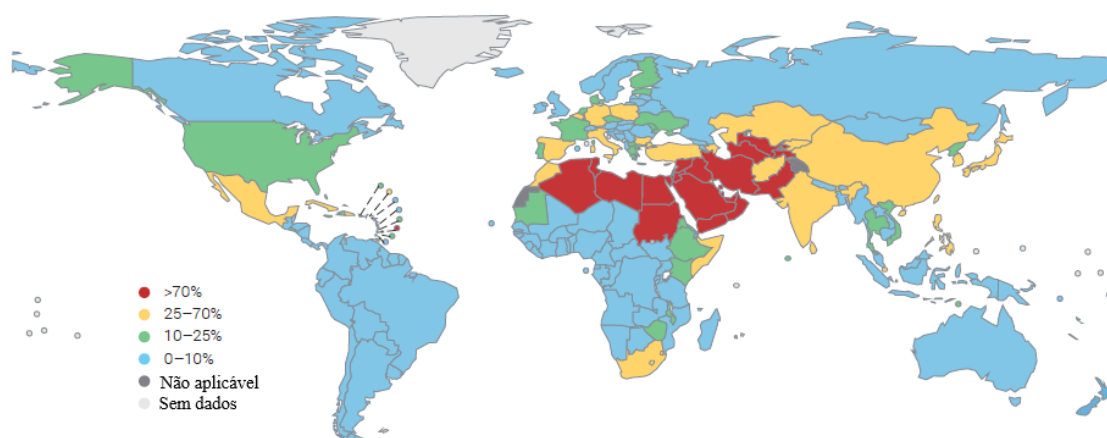


Figura 2.2- Stresse Hídrico anual (United Nations, 2019)

Entretanto o efeito da gestão hídrica varia dramaticamente entre os países e será necessário um grande esforço e recursos, para que a maior parte dos países atinjam o desenvolvimento sustentável. Um estudo publicado em 2016 diz que “quanto mais tempo demorarem os governos a agir, mais difícil será para estes atingirem as metas que lhes são propostas”, ou seja, por cada período sem uma ação para atingir as metas, significa que o esforço necessário para as atingir depois será exponencialmente maior (Guppy et al., 2017).

A proteção da água, ou seja, a gestão da sua utilização é fundamental para a diminuição da pobreza devido ao seu impacto na atividade económica, inclusive na produção e segurança dos alimentos, na indústria, na produção de energia e nos transportes. No entanto, estas atividades normalmente contaminam a água, e cerca de 2 milhões de toneladas de resíduos humanos são libertados todos os dias nos cursos de água. Entre 15 e 18 mil milhões de m<sup>3</sup> de água doce são contaminados, por combustíveis fósseis, todos os anos. O setor da alimentação contribui com cerca de 40 a 54% dos poluentes orgânicos da água. Cerca de 1/3 de todos os rios enfrenta uma grave poluição patogénica, e 1/7 uma grave poluição orgânica (Guppy et al., 2017).

Segundo o Global Risk Report do Fórum Económico Mundial, a escassez de água é um dos principais riscos a nível mundial. Se não houver mudanças no modo como a água é gerida, prevê-se um corte de 40% na distribuição de água mundial até 2030 (Voulvoulis, 2018).

## 2.2 Transição para a economia circular: Reutilização da Água

A economia circular contribuiu para uma nova visão, na maneira de ver as relações entre mercados, clientes e os recursos naturais, promovendo a sustentabilidade. Preconiza-se a utilização de políticas e práticas para uso eficiente dos recursos, permitindo um crescimento económico, enquanto se minimiza a quantidade utilizada de recursos naturais. A transição para a

economia circular irá encorajar ao uso eficiente da água que, em conjunto com incentivos à inovação, deverá permitir à economia lidar com os crescentes desequilíbrios entre a água disponível e a procura da mesma (International Water Association, 2016; Kearney et al., 2014).

A reutilização de água residual no suporte à economia circular é uma das 5 tendências na indústria da água na próxima década. Por exemplo, na descarga de água residual são desperdiçados um elevado número de recursos de valor, tais como, fósforo, nitrogénio, energia e outros nutrientes que podem ser usados numa economia circular de forma a diminuir a pressão sobre os recursos naturais (Wennberg, 2020). Para que tal seja possível, a reutilização da água residual tratada terá de enfrentar inúmeras barreiras que vão desde a perceção do público até aos desafios quanto ao preço, tecnologia, segurança e regulamentação. No entanto, têm surgido algumas estratégias geográficas e setoriais que sustentam a economia circular, e deste modo têm o potencial de derrubar algumas destas barreiras (International Water Association, 2016; Kearney et al., 2014).

## 2.3 Objetivos de desenvolvimento sustentável

Resultando do trabalho conjunto de governos e cidadãos de todo o mundo para criar um novo modelo global para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas foram definidos na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas os 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Figura 2.3) (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017).



Figura 2.3- Objetivos de desenvolvimento sustentável [(Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017)]

A implementação de um projeto de reutilização de água residual tratada dá resposta ao objetivo 6 “garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos” (Figura 2.4) (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017).



Figura 2.4- Objetivo 6 "água potável e saneamento"[(Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017)]

## 2.4 Planos e programas nacionais no Setor da Água

Em 2013, surge uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais, com a formulação de um plano estratégico designado de PENSAAR 2020, que se encontra em vigor desde 2014, dando continuidade às estratégias anteriores. Este plano estabeleceu 5 objetivos estratégicos ou eixos e 19 objetivos operacionais (Figura 2.5) (José Veiga Freitas et al, 2015; Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017):

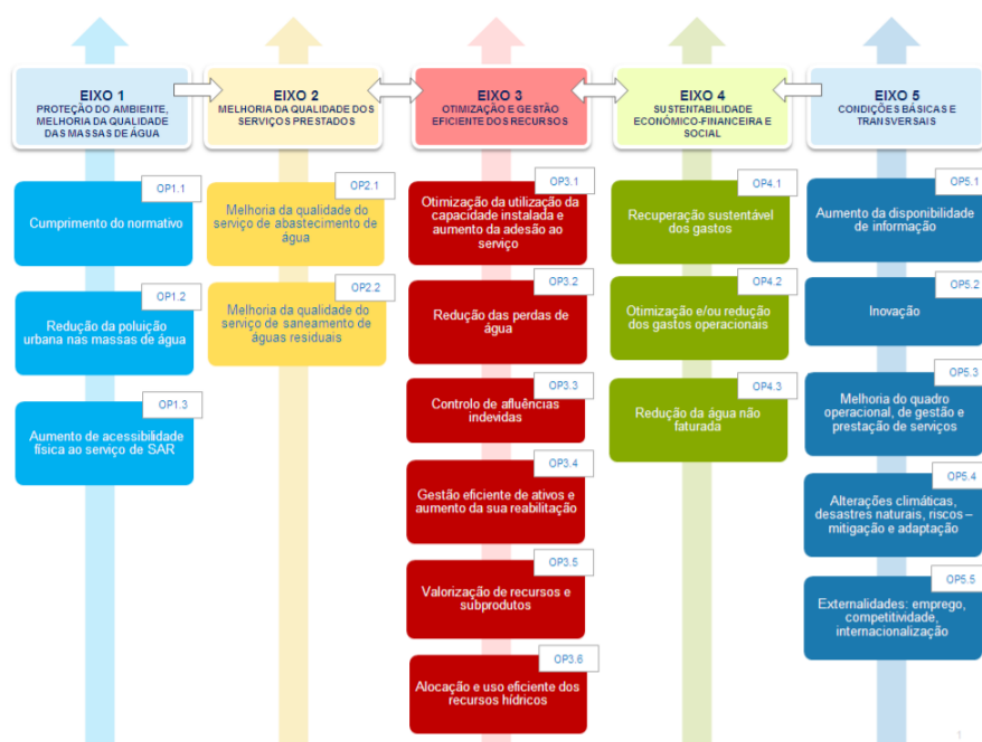


Figura 2.5- Plano de ação [(José Veiga Freitas et al, 2015)].

Com vista à concretização dos objetivos operacionais, foi ainda definido um plano de ação, com um conjunto de 48 medidas suportadas por 135 ações (Freitas et al, 2015).

A reutilização de água residual tratada consta na medida 3.5.1 “Intervenções com vista ao aumento da utilização de água residual tratada, com viabilidade do ponto de vista técnico-económico ambiental”, referenciada no eixo 3, mais concretamente no objetivo operacional 3.5 “Valorização de recursos e subprodutos”. Esta medida é suportada por 3 ações que promovem a referida reutilização (Grupo de Apoio à Gestão “PENSAAR 2020,” 2018):

- 3.5.1.1 - Estudos de viabilidade técnico-económica de reutilização de água (incluindo análise económica dos recursos hídricos e eventuais incentivos de carácter económico) incluindo análise comparativa com outras opções técnicas.

- 3.5.1.2 - Promoção das medidas necessárias de carácter legislativo relacionadas com a reutilização de águas residuais.
- 3.5.1.3 - Intervenções infraestruturais para a reutilização de água para usos compatíveis, envolvendo, sempre que técnica e economicamente viável, outros sectores utilizadores (Grupo de Apoio à Gestão “PENSAAR 2020,” 2018).

O PENSAAR 2020 vem assim definir uma estratégia que reorienta o setor integrando outros programas, designadamente:

- O **Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água 2020 (PNUEA)** que se foca na redução de perdas de água e na otimização do uso da mesma. Sendo este uma ferramenta de gestão imprescindível para a proteção dos recursos hídricos com o objetivo de aumentar a eficiência hídrica até 2020 e 2030.
- O **Plano Nacional da Água (PNA)** é o plano enquadrador das políticas de gestão de recursos hídricos nacionais, dotado de uma visão estratégica de gestão dos recursos hídricos e baseado numa lógica de proteção do recurso e de sustentabilidade do desenvolvimento socioeconómico nacional (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017). Estabelece as grandes opções da política nacional da água, bem como os princípios e regras de orientação a aplicar nos **Planos de Gestão de Regiões Hidrográficas (PGRH)** e nos **Planos Específicos de Gestão de Águas (PEGA)** (Jorge Monteiro, Pinto da Cunha, Raimundo, & Coelho, 2014; Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017).

Deste modo, a gestão da água tem 3 objetivos fundamentais:

- Proteger e requalificar o estado dos ecossistemas aquáticos e ecossistemas terrestres, bem como das zonas húmidas que deles dependem, no que respeita às suas necessidades de água;
- Promover o uso sustentável, equilibrado e equitativo de água de boa qualidade;
- Aumentar a resiliência relativamente aos efeitos das inundações e das secas, bem como de outros fenómenos meteorológicos extremos que se devem às alterações climáticas (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017).

Para haver uma boa gestão da água, e devido à sua transversalidade a todos os sectores de atividade, é necessário uma estruturação e uma articulação coesa com as restantes políticas setoriais. É assim essencial uma articulação do **PENSAAR 2020** com o que é estabelecido no contexto do **PNA**, dos **PGRH** e na “**Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas**” (**EN AAC**) (Jorge Monteiro et al., 2014).

As alterações climáticas são um dos grandes desafios estratégicos mencionados pelo governo português. Foram assim estabelecidos objetivos concretos, de modo a permitir uma melhor adaptação às mesmas, como por exemplo: incentivar a circularidade na economia, promover a bioeconomia circular, garantir um aproveitamento mais eficiente da água, melhorar a gestão do ciclo urbano da água. Neste último, “melhorar a gestão do ciclo urbano da água”, é feita alusão à reutilização de água pelas seguintes ações (Governo Constitucional, 2019):

- Aumentar a resiliência dos sistemas de saneamento de águas residuais, através da eliminação das ligações indevidas, da adaptação da ETAR aos fenómenos climáticos extremos e da reutilização de águas residuais tratadas;
- Executar a Estratégia Nacional para a **Reutilização de Águas Residuais** e elaborar os Planos de Ação para as 50 maiores ETAR urbanas do país até 2020, de modo a que as águas residuais aí tratadas possam depois ser utilizadas para outros fins (por exemplo: rega, abastecimento de bombeiros, lavagem da via pública ou lavagem de carros) de maneira a atingir valores de reutilização de 10% a 20% entre 2025 e 2030 como se pode ver na Figura 2.6 (Governo Constitucional, 2019).



Figura 2.6 - Previsão da percentagem de água reutilizada para 2025 e 2030

A estratégia para a reutilização de água residual tratada passa pela identificação das instalações de tratamento com viabilidade de produção de água para reutilização, a identificação dos potenciais usos e as necessidades de investimento para assegurar os níveis de tratamento em conformidade com as normas de qualidade exigidas, bem como, a definição das medidas necessárias para a promoção e concretização de projetos de reutilização viáveis, permitindo reduzir a necessidade de extração de água dos recursos hídricos (Agência Portuguesa do Ambiente, n.d.).



## 3. Água residual tratada

### 3.1 Legislação

No contexto de adaptação às alterações climáticas, a União Europeia (UE) com o objetivo de diminuir a escassez da água, incentiva a reutilização das águas residuais tratadas. Este objetivo deverá ser posto em prática, de maneira a que seja sustentável tanto a nível ambiental, como a nível económico, garantindo também um alto nível de proteção da saúde pública e do ambiente. Deste modo, é necessário cumprir com os requisitos mínimos para a qualidade da água residual tratada, bem como a sua monitorização. Para além disso, é necessário desenvolver ações de gestão de riscos que garantam condições de igualdade, para os envolvidos na utilização de águas residuais tratadas, diminuindo ou mesmo eliminando possíveis obstáculos à livre circulação de produtos agrícolas, que foram irrigados com água residual tratada, garantindo a saúde pública e proteção ambiental, o que levará ao aumento da confiança nesta prática. Estima-se que o uso de mais de 50% da água residual tratada, disponível nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) da UE, diminuiria mais de 5% o uso de águas subterrâneas e de corpos de água, resultando na redução de mais de 5% do stress hídrico em geral (Baxter et al., 2018).

Ao longo dos anos, na UE, foram adotados vários requisitos legais e estatutários relativos à gestão da água, cujo objetivo é assegurar a inexistência de problemas ambientais ou para a saúde humana. Em Portugal no ano de 1998 foi publicado o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, que estabeleceu as normas, critérios e objetivos de qualidade, com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Este diploma veio revogar o Decreto-Lei n.º 74/90, de 7 de Março.

A Diretiva Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE, de 23 de Outubro) foi publicada no ano 2000, tendo sido estabelecidas regras para impedir a deterioração das massas de água, incluindo também o uso sustentável da água, o que indiretamente apoia a reutilização de águas tratadas (Parlamento Europeu e Conselho, 2000). Esta foi transporta para a Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro e para o Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março. Ao longo dos anos, a Diretiva Quadro da Água sofreu, através de diferentes diretivas e decisões, várias alterações (Decisão 2455/2001/CE; Diretiva 2008/32/CE; Diretiva 2008/105/CE; Diretiva 2009/31/CE; Diretiva 2013/39/UE; Diretiva 2014/101/UE).

Em 2006, e dando resposta a alguns pontos definidos na Diretiva Quadro da Água, foi publicada a diretiva sobre a água subterrânea (Diretiva 2006/118/CE, de 12 de Dezembro), que definiu quais os padrões de qualidade das águas subterrâneas e quais as novas medidas para impedir a entrada de contaminantes nestas mesmas águas (Parlamento Europeu e Conselho, 2006). Esta foi transposta para a ordem jurídica interna no Decreto-Lei n.º 208/2008, alterado pelo Decreto-Lei n.º 34/2016 que transpõe a Diretiva 2014/80/CE, de 20 de junho.

Na Comunicação da Comissão Europeia “Closing the loop – An EU action plan for the circular economy” (COM (2015) 614, de 2 de Dezembro de 2015) foram incluídas várias ações que permitiam promover a reutilização da água, incluindo uma ação que consistia na preparação

de uma proposta legislativa com os requisitos mínimos da água reutilizada para a irrigação e a recarga de aquíferos subterrâneos (Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, 2017; Baxter et al., 2018).

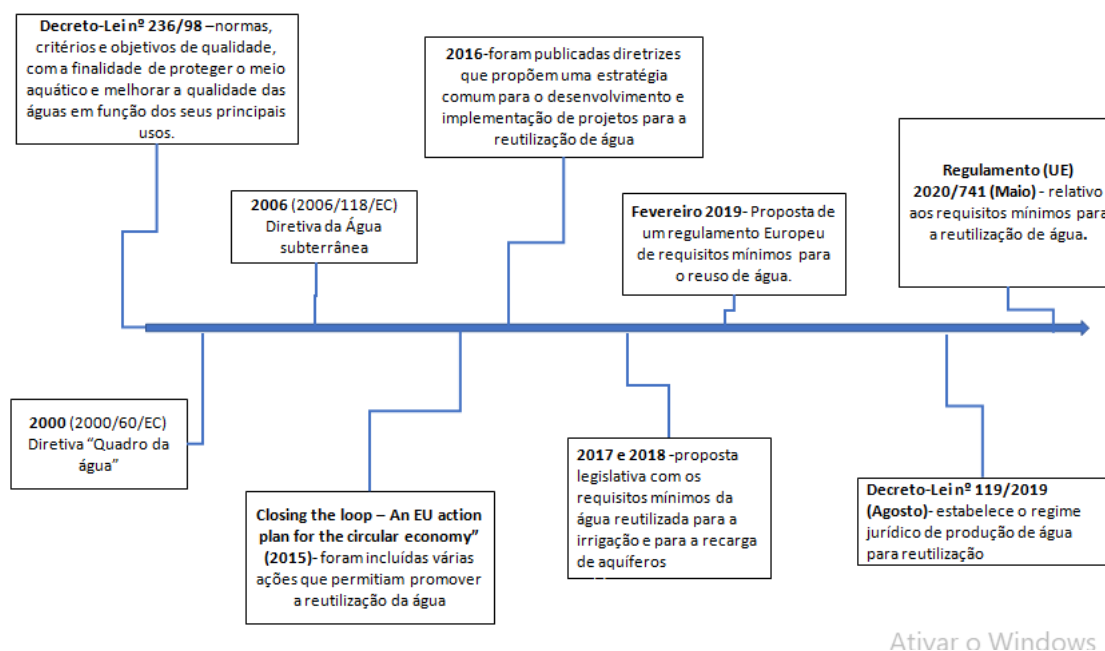
A reutilização de água passou a estar integrada no planeamento e gestão da água no contexto do “Quadro da água” em 2016. Sendo que nesse ano foram publicadas diretrizes que propõem uma estratégia comum para o desenvolvimento e implementação de projetos para a reutilização de água (The European Commission, 2016).

No programa de trabalhos da Comissão Europeia de 2017 e 2018 voltaram a incluir uma proposta legislativa com os requisitos mínimos da água reutilizada para a irrigação e para a recarga de aquíferos subterrâneos, visto que esta faz parte das prioridades políticas definidas pela Comissão para promover uma economia mais circular (Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, 2017; Baxter et al., 2018).

No ano de 2019, mais exatamente no mês de fevereiro, foi proposto pelo Parlamento Europeu uma regulamentação sobre os requisitos mínimos para a reutilização da água (Resolução legislativa do Parlamento Europeu, de 12 de fevereiro de 2019, sobre a proposta de regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água (COM(2018)0337 - C8-0220/2018 – 2018/0169(COD)) (Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, 2017; Parlamento Europeu e conselho, 2018; “Water Reuse Europe- Policy and Regulations,” 2019).

Apoiada pela ação 3.5.1.2 - Promoção das medidas necessárias de caráter legislativo relacionadas com a reutilização de águas residuais, do Eixo 3 - Objetivo Operacional 3.5 - Medida 3.5.1 do PENSAAR 2020, foi publicado a 21 de Agosto de 2019, o Decreto-Lei nº 119/2019 que estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. Para complementar o Decreto-Lei nº 119/2019, em 26 de Agosto de 2019 foi publicada a Portaria nº 266/2019 que aprova a informação e a sinalética a utilizar pelos produtores e utilizadores de água para reutilização. **Na Erro! A origem d a referência não foi encontrada.** estão indicados cronologicamente alguns dos relatórios e diretrizes mais importantes, que estão de alguma maneira ligados à reutilização de água (Ambiente e Transição Energética, 2019; Grupo de Apoio à Gestão “PENSAAR 2020,” 2018; Presidência do Conselho de Ministros, 2019).

Não obstante todos os esforços da Comissão Europeia para regular e promover esta reutilização, só a 25 de maio de 2020 é que finalmente foi publicado o Regulamento (UE) 2020/741 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo aos requisitos mínimos para a reutilização de água. Este Regulamento vem uniformizar os requisitos mínimos e demais obrigações a cumprir pelos Estados-Membros, para as várias aplicações da água para reutilização. O presente regulamento entrou em vigor no passado dia 15 de junho e é aplicável a partir de 26 de junho de 2023.



Ativar o Windows

Figura 3.1- Cronograma de diretivas, Decretos-Lei e relatórios que estão ligados ao reuso de água ("Water Reuse Europe- Policy and Regulations," 2019)

### 3.2 Aplicações

Atualmente já são reutilizadas águas residuais tratadas em alguns países, ainda que num estado muito embrionário. Como se pode ver na Figura 3.2 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, há várias utilizações possíveis para a água residual tratada, tanto para uso potável como uso não potável. Existem vários tipos de águas residuais e teoricamente todos podem ser reutilizados, se forem submetidos a tratamentos de recuperação adequados. Apesar dos níveis de poluição que estas águas residuais possam ter, com a tecnologia existente, é possível remover quase todos os tipos de contaminantes detetáveis nas águas residuais, tornando estas adequadas para os possíveis usos. No entanto, é muito importante a escolha da proveniência da água usada, uma vez que interfere nos tipos de tratamentos (Levy, Fine, & Bar-tal, 2010).

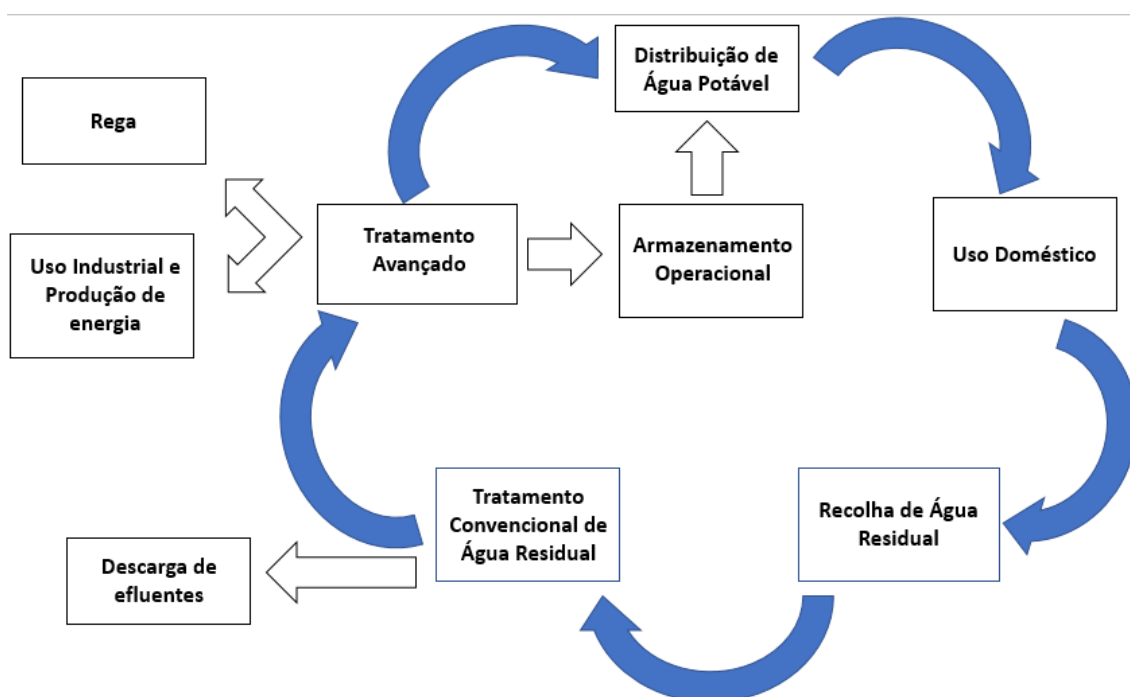


Figura 3.2- Fluxo de água com as potenciais aplicações da sua reutilização (Voulvoulis, 2018)

As águas residuais tratadas para usos não potáveis são de menor qualidade do que as águas tratadas para uso potável. O tipo de tratamento varia consoante a qualidade que se quer atribuir à água, e com a sua aplicação final. As possíveis aplicações para água tratada não potável, são a rega de campos agrícolas, rega paisagística, reutilização industrial, etc., sendo a rega de campos agrícolas uma das maiores aplicações do presente e futuro das águas residuais tratadas, uma vez que a agricultura consome cerca de 70% dos recursos hídricos (Marecos do Monte, Helena; Albuquerque, 2010). As desvantagens do uso de água residual tratada não potável são os custos na construção de tubagens próprias para o seu transporte, os riscos de estas tubagens se cruzarem com outras e as dificuldades operacionais (Spon, 1997).

No caso das águas residuais para uso potável é necessário a remoção de todos os contaminantes, de forma a cumprir os valores paramétricos, uma vez que esta água tem de ser de elevada qualidade. No uso potável direto, a água tratada é enviada por tubos que estão conectados com a rede de abastecimento de água potável. No uso potável indireto, a água potável é utilizada para recarga de aquíferos subterrâneos (Hugo van Gool, 2003; National Research Council, 2012a).

Na Figura 3.3 pode-se ver algumas dessas possíveis aplicações para a água residual tratada.



Figura 3.3- Aplicações para a água residual tratada

### 3.3 Contaminantes Principais

A poluição da água é um desafio global que aumentou tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento, influenciando negativamente o crescimento económico, bem com a saúde de milhões de pessoas. Embora mundialmente se tenha focado mais na escassez de água, facto é, que a má gestão da mesma criou sérios problemas na sua qualidade, agravando assim a crise hídrica (Mateo-Sagasta et al., 2017). As atividades humanas, assim como os processos naturais, podem alterar as características físicas, químicas e biológicas da água, podendo trazer problemas para a saúde humana e dos ecossistemas. Muitos contaminantes quando combinados podem causar impactos piores ou distintos daqueles provocados por um contaminante agindo isoladamente. Em último caso, o aumento contínuo de contaminantes levará a concentrações que excedem a capacidade do ecossistema de suportá-los, gerando alterações dramáticas e não lineares que podem ser impossíveis de reverter (Palaniappan et al., 2013). É considerado então, que a escassez de água não é só a diminuição das quantidades de água, mas também, a deterioração da qualidade da mesma.

#### 3.3.1 Nutrientes: Nitrogénio e fósforo

O nitrogénio e o fósforo são nutrientes muito importantes para os seres vivos, no entanto, em concentrações excessivas poluem os lagos, rios, pântanos, etc. Essa poluição deve-se ao facto de o excesso de nutrientes fazer com que haja um aumento no crescimento de algas. Estas consomem grande parte do oxigénio presente nas águas, fazendo com que os restantes seres que partilham o habitat com as algas acabem por morrer. Pode também haver o crescimento de algas que produzem substâncias tóxicas. Algumas espécies químicas de nitrogénio podem apresentar um risco para a saúde, se não forem removidos durante o tratamento e permanecerem na água potável. Estas são conhecidas por provocarem a meta-hemoglobinemia, principalmente em crianças, resultando da passagem do nitrato a nitrito que posteriormente reage irreversivelmente com a hemoglobina (Akpor & OTohinoyi, 2014; National Research Council, 2012a; Sengupta, Nawaz, & Beaudry, 2015).

#### 3.3.2 Metais pesados

Os metais pesados estão entre os poluentes mais comuns encontrados nas águas residuais. Estes materiais provêm normalmente de resíduos de minas, águas residuais industriais e urbanas, sendo que não são biodegradáveis na natureza. Alguns deles são, em baixas concentrações, essenciais para o meio ambiente e para o metabolismo dos seres vivos, porém outros mesmo em baixas concentrações são extremamente tóxicos. Em geral, quando se apresentam em altas concentrações são prejudiciais para os seres vivos. Exemplos desses metais são o mercúrio, zinco, cobre, ferro, etc. Se as águas residuais não forem bem tratadas e estes metais estiverem presentes em altas concentrações, podem levar a uma maior probabilidade de desenvolvimento de cancro em quem os consumir, mas não só, estes podem também causar doenças crónicas ou mesmo a morte por envenenamento no caso de serem extremamente tóxicos (Akpor & OTohinoyi, 2014; Gautam et al., 2014; National Research Council, 2012b).

### 3.3.3 Microrganismos patogénicos

Existem muitos microrganismos nas águas residuais, mas só alguns deles é que trazem problemas à saúde humana. A maioria dos microrganismos perigosos são provenientes de resíduos fecais de animais e seres humanos. As bactérias, vírus e protozoários são os principais causadores de doenças, sendo que normalmente se devem ao mau tratamento das águas residuais. Os vírus estão entre os mais importantes e mais perigosos poluentes nas águas residuais, uma vez que são os mais resistentes a tratamentos, mais infecciosos, mais difíceis de detetar e requerem menores concentrações para causar infeções. Alguns exemplos desses vírus são o vírus da hepatite A, os adenovírus e os astrovírus, que podem causar doenças tais como meningite, gastroenterite, conjuntivite, entre outras. No caso das bactérias são de realçar a *E. coli* que causa diarreias hemorrágicas, *Salmonella* e *Legionella*. Como exemplo de protozoários mais preocupantes podem ser apontados o *Cryptosporidium*, a *Giardia* e a *Microsporidia* (Akpor & OTOhinoyi, 2014; National Research Council, 2012b, 2012a).

### 3.3.4 Contaminantes emergentes

O termo “contaminante emergente” não se refere necessariamente a uma substância nova, a maior parte das vezes refere-se também a substâncias que só agora se sabe que têm efeitos adversos para o meio ambiente. É importante o estudo dessas substâncias, pois, só a médio ou a longo prazo é que se sente os efeitos por elas provocados, sendo nesse momento tarde de mais para se reverter os estragos já causados. É importante delinear requisitos mínimos para as águas relativamente a essas substâncias e encontrar técnicas avançadas que permitam quantificar e tratar essas mesmas substâncias (Gogoi et al., 2018; Michael-Kordatou et al., 2015).

Atualmente os grupos de contaminantes emergentes mais preocupantes são os compostos farmacêuticos, produtos de cuidados pessoais e compostos desreguladores endócrinos. Os fármacos presentes nas águas residuais vêm de antibióticos, drogas prescritas e não prescritas, hormonas sexuais e esteroides. Estes contaminantes quando presentes no ambiente fazem com que ocorram processos fisiológicos anormais, mas também comprometem a reprodução, aumentam a incidência do cancro, levam ao desenvolvimento de bactérias resistentes a antibióticos e ao potencial aumento da toxicidade de misturas químicas (Gogoi et al., 2018; Michael-Kordatou et al., 2015).

O facto de grande parte da sociedade estar mais consciente em relação à prevenção de doenças transmitidas pela água, trouxe mais atenção sobre quais são os melhores tipos de tratamentos para os diferentes constituintes das águas residuais (Akpor & OTOhinoyi, 2014).

## 3.4 Barreiras à reutilização de água residual tratada

### 3.4.1 Barreiras tecnológicas

Na reutilização direta de água, os dois principais problemas são os organismos patogénicos e os compostos residuais orgânicos, que passam pelo sistema de tratamento de águas

residuais, quer seja do tipo convencional ou avançado, podendo tornar-se num grave problema para a saúde. As maiores preocupações centram-se na presença de poluentes prioritários, compostos desreguladores endócrinos, compostos farmacêuticos ativos ou outros poluentes emergentes que não se encontram regulamentados (Raghav et al., 2013). No caso dos compostos residuais orgânicos presentes na água tratada, estes são na maioria das vezes originados por atividades humanas, mas também podem ser produzidos por microrganismos durante o processo de tratamento das águas residuais ou então através de reações com a matéria orgânica natural já presente na mesma (Jarusutthirak & Amy, 2007).

### **3.4.2 Barreiras Económicas**

Na perspetiva da economia circular, o uso de água residual tratada é uma opção que só traz vantagens para a sociedade, pois permite fechar o ciclo de recursos e prolongar a vida útil dos mesmos, através do uso e reuso dando assim uma alternativa sustentável à extração dos recursos naturais virgens. No entanto, se a extração destes recursos naturais for mais barata, perde-se parte do incentivo de reutilização de água residual tratada.

A água tem normalmente um preço relativamente baixo, no entanto, devido à sua escassez as taxas de captação aumentam. Este aumento reflete-se nas potenciais utilizações por parte dos consumidores, sendo que os custos associados muitas vezes implicam o uso da mesma para um certo propósito específico. As taxas dependem do local onde são captadas as águas, ou seja, variam consoante sejam águas superficiais ou águas subterrâneas. Estas também variam com a estação do ano, uma vez que a maior ou menor disponibilidade da água varia com a estação do ano. O valor das taxas de captação depende das estimativas hidrológicas, projeções de procura, usos alternativos, dos custos de desenvolvimento de fontes de água alternativos, etc. É importante confrontar os responsáveis por essas captações com o custo associado à utilização da água por eles captada, uma vez que a decisão de optar pela reutilização de água pode ser bastante influenciada pelos custos elevados desta captação (Voulvoulis, 2018).

A reutilização de água só faz sentido para uma dada região, se os custos forem aceitáveis quando comparados com outras alternativas de gestão da água, ou com os custos de uma não procura na gestão da mesma. É muito complicado saber quais são os custos de reutilização da água, uma vez que existe uma ampla variedade de tratamentos que conferem diferentes qualidades à mesma. O fim para o qual a água é tratada, é uma variável que entra nas contas, ou seja, há vários fatores cujos custos dependem de a água ser tratada para ser potável ou não potável. Alguns desses fatores são as infraestruturas de tratamento, requisitos do cliente, energia necessária, licenças e custos de financiamento, etc. Existem também os custos associados ao transporte e armazenamento da água residual tratada que, dependendo da localização para onde é transportada, têm diferentes custos (National Research Council, 2012b).

### **3.4.3 Barreiras Sociais**

A sociedade manifesta uma preocupação crescente com o meio ambiente ainda assim, a reutilização de água residual tratada não é aceite por parte da população. Para eliminar este estigma é preciso fazer a população compreender de onde vem a água e todos os compostos que delas são retirados durante as etapas de tratamento, sendo necessário utilizar campanhas de

sensibilização, para que as populações percebam que as fontes alternativas de água não são uma opção, mas sim uma necessidade num futuro próximo (Dolnicar et al., 2011).

Para além do mais, alguns estudos mostram que a principal barreira à reutilização de água normalmente não é a perceção das pessoas, mas sim a perceção das entidades públicas à perceção das pessoas (Hartley, 2006). A perceção pública resume-se ao quanto as pessoas confiam nos governos para garantir a segurança no consumo de água (Jones et al., 2005).

### **3.5 Benefícios e Riscos na utilização de água residual tratada**

A água residual é constantemente produzida e se não for reutilizada, será descartada no ambiente. A sua reutilização traz imensos benefícios como, por exemplo, o aumento da disponibilidade de água, uma vez que certas atividades humanas passam a utilizar a água residual tratada. A água potável passa a ser substituída pela água residual tratada em certas atividades e desse modo passa a ser só para consumo humano direto, sendo reduzida a quantidade de água extraída e de água residual descarregada nas águas superficiais e aquíferos subterrâneos, o que protege os ecossistemas. Diminui-se o consumo de energia quando comparado com a utilização de água de aquíferos subterrâneos e outras fontes. Simultaneamente, há uma melhoria da economia local e o aumento do número de postos de trabalho. Há também um aumento na proteção ambiental através do restauro de rios, pântanos, lagos, etc. (Alcalde Sanza & Gawlik, 2014; Toze, 2006).

Apesar de trazer muitos benefícios, a utilização de água residual tratada também traz muitos riscos, nomeadamente em relação à qualidade da água e à saúde humana. Dependendo do seu uso os riscos variam. No entanto, esses riscos devem-se em grande parte aos contaminantes presentes nas águas residuais. Quando a água residual tratada é utilizada para consumo direto como água potável ou até mesmo para rega agrícola se não tiver a qualidade necessária, os contaminantes nela presentes podem provocar graves problemas à saúde pública. A sua utilização pode também levar a certas atitudes sociais contra a reutilização de águas residuais tratadas e até mesmo contra os alimentos regados com as mesmas, reduzindo o seu valor de mercado.

Apesar de ser na agricultura e na água para consumo humano que se irá fazer notar mais estes riscos, uma vez que há um contacto direto com a população, há ainda outras aplicações em que os mesmos riscos são elevados. São exemplos aplicações de rega paisagística, recarga de aquíferos, correntes, lagos e outros. Nestes casos não será tão notório o possível risco, uma vez que quem irá sentir os possíveis efeitos dos contaminantes são a fauna e flora desses ecossistemas, sendo que o ser humano só mais tarde se aperceberá. Apesar de haver regulamentação para a produção e reutilização de água residual tratada, esta ainda é relativamente recente e obriga a que a entidade produtora e consumidora tenha uma licença. O sucesso da utilização de água residual tratada depende muito da opinião pública, é essencial gerir bem os riscos e informar as pessoas acerca da utilização da água residual tratada. Para além do mais, é necessário uma monitorização constante uma vez que a sociedade está em constante evolução e haverá sempre novos tipos de contaminantes (Alcalde Sanza & Gawlik, 2014; National Research Council, 2012a; Toze, 2006; Voulvoulis, 2018).

### 3.6 Projetos atuais na Reutilização de água

Existem vários projetos de pesquisa e desenvolvimento no mundo, que foram criados com o intuito de poderem ajudar na reutilização de água residual tratada. Exemplo disso é o projeto ECOWAMA, que é composto por uma equipa de 11 parceiros internacionais. Neste projeto foi desenvolvido um modelo de gestão, que permite o tratamento de efluentes, removendo os metais pesados e plásticos presentes, em que os metais removidos são de novo comercializados. Há, também, produção de energia durante o tratamento do efluente. O produto final é água residual tratada com qualidade para ser reutilizada (União Europeia, 2016). Outro projeto é o REWATER, que tem uma abordagem sistemática, inspirada na economia verde, tecnológica e organizacional. Este projeto centra-se na pesquisa e desenvolvimento de tecnologia, que minimize os impactos negativos da reutilização de águas residuais. Desenvolveram ou propuseram melhorias em: processos de tratamento, biossensores para deteção de micropoluentes e dos respetivos metabolitos e/ou produtos de degradação, ferramentas ecotoxicológicas para avaliação e monitorização da água tratada, etc. (Rewater, 2018).

Atualmente há países/cidades que já têm uma gestão hídrica muito avançada, onde a reutilização de água já é uma solução recorrente. Estes foram obrigados a criar programas de reutilização de águas que pudessem combater a escassez de água. São exemplos desses países/cidades:

- **Israel**, que por se situar numa zona semiárida onde os recursos hídricos são escassos e com o aumento da população viu-se forçado a adotar novas medidas de gestão hídrica. Essas medidas permitiram tornar-se no país que mais água residual tratada utiliza, com cerca de 86% no ano 2015. Por exemplo, Espanha vem em segundo lugar com uma percentagem muito menor, cerca de 17% de água residual reutilizada. Esta diferença, entre Israel e Espanha, prova o quão avançada está a gestão hídrica de Israel (Akpor & OTohinoyi, 2014).
- **Namíbia**, que pelo facto de ser um dos países mais áridos de África viu-se forçada a melhorar a sua gestão da água, como tal, surgiu esta solução. Na cidade de Windhoek, capital da Namíbia, vivem cerca de 250 mil habitantes que estão habituados desde 1968 a que a água residual tratada de alta qualidade seja diretamente misturada com água potável da rede. Esta água residual tratada está dentro dos requisitos da água potável da Namíbia, dos requisitos da Organização Mundial de Saúde e dos requisitos da África do Sul. Durante o processo, a água tem de ser mantida dentro desses requisitos, caso não se consiga manter, a água residual tratada é impedida de entrar na rede de água potável (Gautam et al., 2014).
- **Singapura**, onde foi implementado o programa Newater que conta com 5 centrais de tratamento de água, que fornecem cerca de 40% da procura de água da cidade. Espera-se que até 2060 possa chegar aos 50% a procura de água da mesma. As centrais de tratamento Newater recolhem e tratam toda a água residual de Singapura sendo que, já passaram por mais de 150 mil análises. A água residual tratada resultante é considerada ultra limpa e de alta qualidade, sendo utilizada para refrigeração industrial, edifícios

comerciais e nos tempos de seca é adicionada a reservatórios de água onde serão tratadas novamente e enviadas aos consumidores como água da torneira. A aplicação mais usual é a utilização desta água tratada no ar condicionado de empresas que produzem bolachas, em que normalmente a qualidade da água exigida é mais rigorosa que na água para consumo (Singapore`s National Water Agency, n.d.).







Figura 4.2- Equipamentos da ETAR Gaia Litoral (Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.).

## 4.1 Processo de tratamento

O processo de tratamento baseia-se num sistema de tratamento por lamas ativadas em regime de arejamento convencional. Existem duas fases principais de tratamento:

- Tratamento da fase líquida - trata a água residual até esta ter a qualidade necessária para ser feita a descarga no meio ambiente, de modo a que sejam cumpridos os limites legais em vigor;
- Tratamento da fase sólida - trata os sólidos que são removidos da linha líquida.

Há ainda uma fase gasosa que é composta pelo biogás, e em que o objetivo é a produção de energia (“ETAR Gaia Litoral- SIMDOURO,” n.d.).

Na Figura 4.3 apresenta-se o fluxograma do Tratamento da ETAR Gaia Litoral.

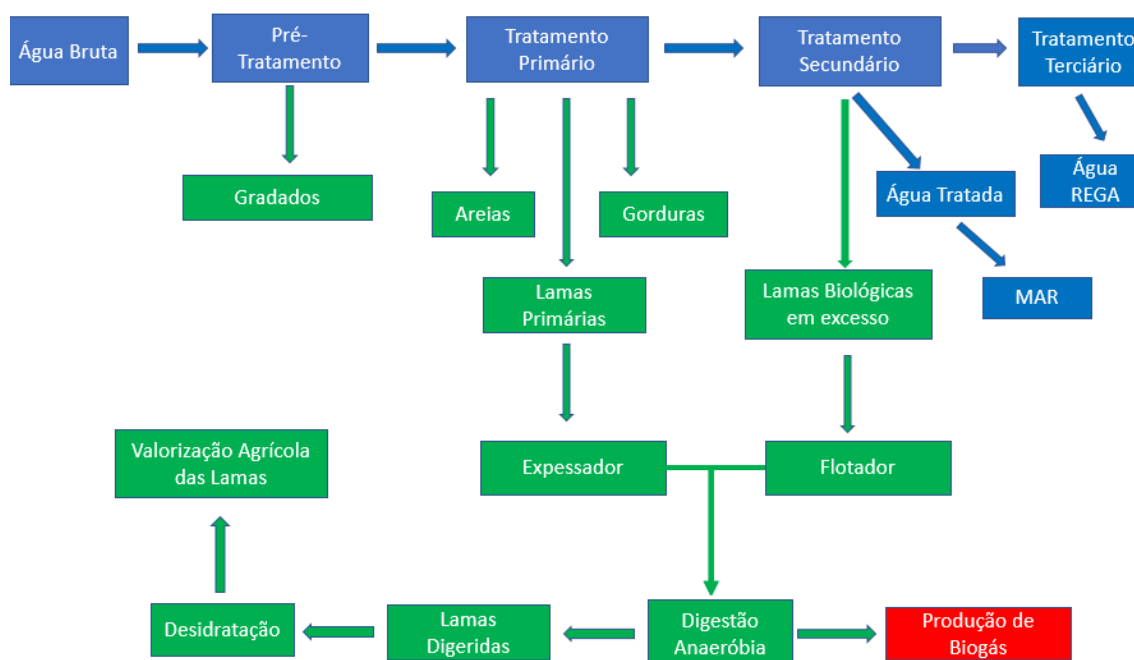


Figura 4.3- Fluxograma do Tratamento da ETAR Gaia Litoral. Azul: Fase Líquida, Verde: Fase Sólida, Vermelho: Fase Gasosa.

## 4.1.1 Fase Líquida

O processo de tratamento de águas residuais pode ser separado em 4 níveis: o pré-tratamento, que é uma etapa de tratamento de natureza física, o tratamento primário que inclui tratamentos físico-químicos, o tratamento secundário que inclui processos biológicos, e o tratamento terciário, ou de afinação, que pode englobar processos físico-químicos ou biológicos e que tem por objetivo a remoção específica de alguns poluentes que não foram satisfatoriamente removidos nos tratamentos primário e secundário (“ETAR Gaia Litoral- SIMDOURO,” n.d.).

### 4.1.1.1 Pré-tratamento

Na ETAR de Gaia Litoral chegam águas residuais de vários pontos do município de Gaia. A obra de entrada é o ponto de início do processo. As águas residuais brutas passam por um sistema de gradagem e tamisagem em que são removidos os detritos maiores e detritos menores, respetivamente. O objetivo é evitar que os detritos causem algum problema nas seguintes fases de tratamento. Estes ficam retidos entre barras ou em telas de malha perfuradas sendo essencial a sua remoção numa frequência adequada para que não haja um impedimento da passagem do líquido (Marecos do Monte et al, 2016).

### 4.1.1.2 Tratamento primário

O objetivo do tratamento primário é a remoção dos sólidos suspensos e a matéria orgânica que se encontram no efluente. Na ETAR de Gaia Litoral este tratamento é feito com um único

equipamento compacto chamado Sedipac 3D. Este consegue realizar 3 etapas, nomeadamente o desengorduramento, desarenamento e decantação primária (Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.; “ETAR Gaia Litoral- SIMDOURO,” n.d.).

O desengorduramento tem como objetivo a remoção de óleos e gorduras que se encontram no efluente através da injeção de ar que leva à acumulação de gordura na superfície. Por fim retira-se as gorduras e encaminham-se para um destino adequado. No desarenamento o objetivo é a remoção de areias uma vez que a presença destas pode trazer desgaste por abrasão em equipamentos a jusante e ao mesmo tempo evitar que estas se depositem nas tubagens do sistema. Por fim dá-se a decantação primária onde se remove as partículas em suspensão, através da sua sedimentação por ação da gravidade de modo a que água residual fique clarificada. A água residual permanece no Sedipac 3D o tempo necessário para que os tratamentos sejam eficientes e de seguida o efluente passa para o tratamento secundário (Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.).

#### **4.1.1.3 Tratamento secundário**

O tratamento secundário exige maior controlo pois depende do desenvolvimento das comunidades microbiológicas para a remoção de matéria orgânica e nutrientes existentes no afluente. Este é direcionado para os reatores biológicos onde se estabelecem condições ideais para que os microrganismos já existentes na água se possam multiplicar de modo a aumentar a eficácia de remoção de matéria orgânica. Nestes reatores ocorre a formação de lamas ativadas com possibilidade de funcionar em regime de baixa carga (arejamento prolongado) e média carga (arejamento convencional), sendo o arejamento assegurado por difusores de fundo (Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.).

O tratamento com lamas ativadas traduz-se na conservação de uma elevada concentração de vários tipos de microrganismos num reator artificialmente arejado. Dependendo da concentração desejada de oxigénio utiliza-se o arejamento da maneira que melhor se adequa para o processo. No entanto, o arejamento tem outro objetivo que é o de agitar o reator para que a biomassa não se deposite. Dentro do reator podemos encontrar água residual, microrganismos (fungos, vírus, bactérias, protozoários, etc.) e material coloidal e suspenso inerte, biodegradável e não biodegradável denominado licor misto. O objetivo é converter a maior parte da matéria orgânica solúvel e coloidal, que permanece após o tratamento primário, em formas inorgânicas estáveis e massa celular, pois estas vão ser metabolizadas por um diverso grupo de microrganismos. Há vários fatores aos quais o processo de lamas ativadas é sensível sendo necessária uma especial atenção. Exemplos de fatores são as condições climáticas (caudais do efluente, comportamento da biomassa), a taxa de fornecimento de nutrientes, o caudal de recirculação, as concentrações de sólidos, entre outros.

A melhoria da eficácia deste tratamento está muito relacionada com o conhecimento da comunidade microbiana dos microrganismos usados no tratamento. Existem dois grupos importantes:

- Decompositores: Bactérias e fungos que têm como fonte de energia direta a matéria orgânica solúvel

- Consumidores: Flagelados heterotróficos, ciliados, rotíferos e pequenos metazoários que têm como alimento bactérias e outros organismos.

A seguir ao tratamento biológico o efluente é enviado para decantadores e dá-se a decantação secundária. O objetivo é através da separação gravítica separar as lamas ativadas e a água residual tratada, clarificando a água. As lamas extraídas do fundo dos decantadores secundários são bombeadas para um poço de lamas, de onde são recirculadas para os reatores biológicos de forma a manter os microrganismos constantes ou removidas, como lamas em excesso. No final da decantação secundária uma parte do efluente segue para um tratamento terciário de modo a que a água possa ser reutilizada para rega dos jardins e lavagem de equipamentos da ETAR Gaia Litoral. O resto do efluente final é descarregado no Oceano Atlântico, a 30 metros de profundidade, através de um emissário submarino em condições ambientalmente adequadas.

#### **4.1.1.4 Tratamento terciário**

O efluente submetido ao tratamento terciário passa através de filtros de areia nos quais ficam retidas as pequenas partículas sólidas que ainda possam existir, e ainda por uma desinfecção utilizando um sistema de UV do tipo aberto, com lâmpadas de arco de mercúrio de baixa pressão de disposição horizontal. O efluente tratado é depois utilizado para rega e lavagens como dito anteriormente (Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.).

### **4.1.2 Fase Sólida**

As lamas recolhidas ao longo do processo são um subproduto do tratamento de água que necessita de ser tratado e valorizado. O tratamento das lamas é constituído por espessamento gravítico das lamas primárias, flotação biológica, digestão anaeróbia e desidratação por centrífuga seguindo para valorização agrícola. Há ainda a produção de biogás durante a fermentação anaeróbia que é utilizado para produção de energia elétrica e térmica (Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia, n.d.; “ETAR Gaia Litoral- SIMDOURO,” n.d.).

#### **4.1.2.1 Espessamento gravítico**

O objetivo do espessamento de lamas é produzir lamas com menor teor de humidade. A água é removida e enviada para o Pré-tratamento na fase líquida, sendo designada de sobrenadante do espessador. A vantagem do espessador é a redução do volume de lamas, aumento da eficácia do sistema e consequentemente a diminuição dos custos de operação devido às lamas estarem altamente concentradas.

#### **4.1.2.2 Flotação biológica**

Na flotação biológica são removidos os sólidos que apresentam menores dimensões. Para a remoção destes é necessário injetar no interior do flotador um fluxo de ar ascendente, de modo a que os sólidos sejam arrastados e acumulados na superfície e de seguida é raspada para o sistema

de canalização onde se mistura com a lama proveniente do espessador. Neste processo também existe um sobrenadante designado por retorno do flotador que vai voltar ao sistema (Marecos do Monte et al, 2016).

#### 4.1.2.3 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia das lamas é um tratamento comum em Estações de Tratamento de Águas Residuais que permite a degradação de matéria orgânica na ausência de oxigénio por ação dos microrganismos presentes nas lamas. Os objetivos desta fase do processo consistem em aumentar o teor de matéria seca da mistura de lamas e em converter a matéria orgânica em biogás, composto maioritariamente por  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$  (ácido sulfídrico), sendo que, depois de sujeito a um tratamento em que se remove o  $\text{H}_2\text{S}$ , este é armazenado e posteriormente utilizado para produção de energia.

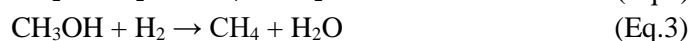
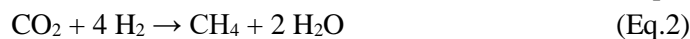
As etapas que compõem o processo da digestão anaeróbia são as seguintes: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese, sendo que cada uma destas reações são efetuadas pelos microrganismos presentes nas lamas (Amorim, 2016; Dioha et al, 2013).

Na primeira fase dá-se a hidrólise onde a matéria orgânica é convertida em moléculas menores pela ação de bactérias hidrolíticas. Estas transformam proteínas em peptídeos e aminoácidos, polissacarídeos em monossacarídeos, gorduras em ácidos gordos, pela ação de enzimas extracelulares, como a protease, a amilase e a lipase (Amorim, 2016; Dioha et al, 2013).

Apesar de o acetato e do hidrogénio que se produz na primeira fase poder ser usado diretamente pelas bactérias metanogénicas, outros compostos tais como os ácidos gordos precisam primeiro de ser catabolizados para compostos que possam ser diretamente consumidos por estas bactérias. Dá-se então uma acidogénese, onde as bactérias fermentativas transformam os produtos da hidrólise em ácidos gordos voláteis, amónia, sulfureto de hidrogénio, etc. Nesta etapa também são formados dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogénio gasoso ( $\text{H}_2$ ) e ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) que serão usados para consumo direto de bactérias metanogénicas (Amorim, 2016; Dioha et al, 2013).

No entanto, é ainda necessário fazer uma acetogénese para que as bactérias acetogénicas transformem os produtos da acidogénese em ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hidrogénio ( $\text{H}_2$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Estas bactérias são facultativas, ou seja, podem atuar tanto em meio aeróbio como anaeróbio. O oxigénio necessário para efetuar essas transformações é retirado dos compostos que constituem o material orgânico (Amorim, 2016; Dioha et al, 2013).

A etapa final na produção do biogás é a formação de metano que chamamos metanogénese. As bactérias metanogénicas, (que formam o metano), transformam o hidrogénio, o dióxido de carbono e o ácido acético em metano ( $\text{CH}_4$ ) e  $\text{CO}_2$ . Estas bactérias são obrigatoriamente anaeróbias e extremamente sensíveis a mudanças no meio, como temperatura e pH. As bactérias envolvidas na formação do biogás atuam de modo simbiótico. As bactérias que produzem ácidos geram os produtos que serão consumidos pelas bactérias metanogénicas. Sem esse consumo, o acumular excessivo de substâncias tóxicas afetaria as bactérias produtoras de ácidos. O processo de formação de metano é assim descrito por intermédio de equações químicas, apresentadas nas equações 1, 2 e 3 (Amorim, 2016; Dioha et al, 2013):



#### 4.1.2.4 Desidratação

Após a redução da matéria orgânica, as lamas são enviadas para as centrífugas. O objetivo da centrifugação é reduzir a quantidade de água presente nas lamas para simplificar o seu transporte. Depois de desidratadas, as lamas armazenadas em contentores na ETAR seguem depois para utilização como fertilizante agrícola passando se necessário, por um tratamento extra por parte da empresa que fica com as mesmas para evitar a contaminação dos solos onde será utilizado o biofertilizante (“ETAR Gaia Litoral- SIMDOURO,” n.d.).

### 4.1.3 Fase Gasosa

A produção de energia na ETAR Gaia Litoral deve-se à fase gasosa, que se inicia na produção de biogás por digestão anaeróbia, até à produção de energia elétrica por um grupo de cogeneradores. Esta energia elétrica não pode ser descarregada diretamente na rede pelo que serve só para consumo interno. O biogás utilizado na produção de energia é uma mistura gasosa composta principalmente por 40 a 70% de metano e 30 a 60% de dióxido de carbono entre pequenas quantidades de outros gases. Quando comparado com o gás natural o biogás tem a vantagem de ser uma fonte de energia renovável, uma vez que é produzido pela degradação de resíduos orgânicos.

Depois da produção de biogás nos digestores, este é armazenado no gasómetro, sendo que antes de poder ser consumido pelos cogeneradores tem de ser purificado. Esta serve para diminuir as concentrações de  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , que têm um efeito corrosivo nas tubagens do grupo de cogeração. Este pode também trabalhar a gás natural caso a produção de biogás seja muito baixa e não possibilite a produção de energia desejada. No entanto, quando a produção de biogás é maior do que o desejado e como a ETAR não tem autorização para injetar energia elétrica na rede, é necessário dar outro fim ao biogás. Este é então queimado na tocha, de forma a não trazer qualquer risco para o ambiente ou para a integridade física da ETAR. Um dos objetivos da ETAR Gaia Litoral é ser autossuficiente energeticamente, com a utilização de biogás para produção de energia já foi possível conseguir que 80-90% da energia consumida na ETAR seja proveniente do biogás.

## 4.2 Desodorização

A localização da ETAR Gaia Litoral obriga a que esta seja fechada de modo a evitar odores, uma vez que na zona envolvente encontram-se um parque de campismo, praias e várias habitações. O ar que circula dentro da estrutura necessita então de ser desodorizado. O método utilizado antigamente era um sistema composto por 3 torres, onde ocorria uma lavagem química do ar. Atualmente, o método utilizado é composto por tecnologia biológica com o nome OBIT, desenvolvida pela Empresa WeDoTech. O tratamento do ar é feito por culturas microbianas

imobilizadas num meio de suporte específico, o ar contaminado circula em coluna e em contracorrente, que garantem um processo de tratamento com desempenho elevado (Obit, n.d.).

A ausência de consumo de químicos e a possibilidade de co-tratamento de vários poluentes numa só torre com elevada eficiência, são os principais atributos que fazem esta tecnologia mais sustentável e competitiva quando comparada com os lavadores químicos (Obit, n.d.).

## 5. Água para reutilização

### 5.1 Enquadramento

O aumento crescente da utilização de água leva à procura de alternativas como a reutilização, de forma a proteger os recursos hídricos através do uso sustentável dos mesmos. Desta forma é possível salvaguardar a utilização atual sem pôr em risco a utilização futura, enquadrando-se nos princípios da economia circular. Esta reutilização de água é um exemplo, como já foi referido anteriormente, do que pode constituir uma medida de adaptação às alterações climáticas prevista no Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC). É também uma excelente prática de gestão da água, que permitirá aumentar a resiliência dos sistemas quando sobrecarregados pelo aumento da intensidade e frequência dos períodos de seca e de escassez de água (APA (4), n.d.).

A nível internacional têm sido criadas estratégias com vista à promoção da reutilização de água. A Organização Mundial de Saúde (OMS) tem desenvolvido normas para a proteção da saúde pública, em particular quando estejam em causa usos potáveis, que requeiram água com uma qualidade compatível com o consumo humano. A Organização Internacional de Normalização (ISO) tem vindo a desenvolver normas que visam a utilização de águas residuais tratadas para rega, usos urbanos, usos industriais e a avaliação do risco para a saúde. No âmbito da Estratégia Comum para a implementação da Diretiva-Quadro da Água, foi adotado um guia para a promoção da reutilização de água, como medida para alcançar e manter o bom estado das massas de água, para a utilização na rega agrícola de águas residuais de origem urbana (abrangidas pela Diretiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1991, transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, na sua redação atual) (APA (4), n.d.).

### 5.2 Regime Jurídico

O regime jurídico vigente para produção e utilização de água para reutilização, doravante designada de ApR, estabeleceu:

- Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de Agosto, que estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização (Presidência do Conselho de Ministros, 2019);
- Portaria n.º 266/2019, de 23 de Agosto, que aprova a informação e a sinalética a utilizar pelos produtores e utilizadores de ApR (APA (2), n.d.).

Nestes é estabelecido o regime de produção de ApR, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como, da sua utilização para usos não potáveis, de forma a evitar efeitos nocivos para o Homem, para a água, para os solos, para a vegetação e para os animais, promovendo a sua correta utilização (APA (2), n.d.).

No seguimento do art.º 29.º ponto 3 do Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de Agosto, competiu à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) disponibilizar, no prazo máximo de 60 dias

após a data da entrada em vigor do presente Decreto-Lei, o guia para apoio à avaliação do risco prevista no n.º 3 do artigo 6.º do referido diploma. Este Guia inclui as linhas de orientação para o desenvolvimento do processo de avaliação do risco, bem como orientações para a seleção das medidas de gestão do risco a adotar decorrentes da utilização e da produção. Todas estas indicações serão fundamentais para a instrução de pedido de licença para produção, utilização, venda e aplicação de ApR (Presidência do Conselho de Ministros, 2019).

### 5.2.1 Tipologia de Águas Residuais

As águas residuais têm designações diferentes de acordo com a sua origem:

- Urbanas
- Domésticas
- Industriais
- Outras (águas remanescentes)

### 5.2.2 Sistemas

Existem vários sistemas de tratamento de águas residuais tratadas que estão aptos a produzir água compatível com o uso final pretendido, e que incluem a infraestrutura de drenagem até ao ponto de aplicação/ entrega. Esses sistemas são:

- **Sistemas Descentralizados** – são geridos por um particular ou por uma entidade coletiva e é composto por um sistema de produção de água com um nível de qualidade adequado à sua aplicação final. As águas que são produzidas neste sistema são para uso exclusivo do próprio gestor do sistema de produção de ApR, não podendo ser cedidas a terceiros (APA (1), 2019);
- **Sistemas Descentralizados em Simbiose** – Estes são um caso particular dos sistemas descentralizados onde é utilizada a água remanescente de culturas fora de solo. As características desta água permitem que possa ser utilizada na rega de outras culturas agrícolas. Poderá haver a possibilidade de ser necessário instalar um sistema de tratamento complementar ou de afinação para que a água possa satisfazer os requisitos de qualidade à aplicação pretendida (APA (1), 2019);
- **Sistemas Centralizados** – São sistemas de tratamento de águas residuais urbanas, abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, na sua redação atual, geridos por uma única entidade gestora, que podem produzir ApR para uso próprio, bem como para cedência a terceiros. Os sistemas centralizados podem ainda adotar diversos tipos de esquemas de operação, sendo eles (APA (1), 2019):
  - **Sistema único** - produção de água com um determinado nível de qualidade,
  - **Sistema paralelo** - sistema de produção que possui duas ou mais linhas de tratamento de água com distintos níveis de qualidade adequados a diferentes usos;
  - **Sistema em série** – apenas uma linha de tratamento para produção de água com um determinado nível de qualidade e a partir dessa existe outra

linha de tratamento subsequente para produção de água com outro nível de qualidade.

### 5.2.3 Pressupostos

A reutilização de ApR centra-se em 3 pressupostos:

- **Usos não potáveis**

Os usos não potáveis são todas as aplicações de ApR exceto aquelas que envolvem usos que requeiram uma qualidade compatível com a água para consumo humano. Algumas dessas aplicações são a rega paisagística, recarga de aquíferos, uso industrial, etc. Fica definido que o uso de ApR só é permitido para usos não potáveis (APA (1), 2019; APA (2), n.d.).

- ***Fit-for-Purpose***

A abordagem *Fit-for-Purpose* consiste no desenvolvimento de um projeto de reutilização adequado a cada situação, no qual é definido um normativo de qualidade específico, tendo em conta o destino final da ApR e as necessidades de proteção da saúde pública e do ambiente. Neste tipo de abordagem os recursos são direcionados para onde são mesmo necessários adequando os custos associados de uma forma racional (APA (1), 2019).

- **Licenças de produção e utilização autónomas**

As águas residuais tratadas devem ser reutilizadas, sempre que possível ou adequado. Por outro lado, as vias de eliminação das águas residuais devem minimizar os efeitos nocivos sobre o ambiente e esta deve ser sujeita a regulamentação e/ou autorizações específicas prévias. Assim, as licenças de produção e de utilização representam o instrumento que permite a gestão da reutilização em função das especificidades das águas residuais tratadas, dos recetores e dos usos previstos. Deste modo, as referidas licenças têm de contemplar todas as obrigações referentes à produção e à utilização, nomeadamente as normas de qualidade aplicáveis e o respetivo programa de autocontrolo, bem como as regras de verificação do respetivo cumprimento. Sempre que o produtor e utilizador de ApR são distintos, o produtor pode adquirir uma licença de produção que inclui utilização e o utilizador adquire só a licença de utilização (APA (1), 2019; APA (2), n.d.).

## 5.2.4 Novos conceitos

- **Recirculação/Reciclagem**

Utilização de água em circuito fechado dentro de um ou mais processos desde que não constitua uma utilização indireta de ApR não está sujeita à obtenção de licença (D.L. n.º 119/2019). Por exemplo, a utilização de água residual tratada numa ETAR como água de processo ou para lavagem de equipamentos (APA (3), n.d.).

- **Reutilização**

Utilização de águas residuais tratadas ou de águas de drenagem de sistemas de rega para o benefício de indivíduos particulares ou da comunidade em geral sendo sujeitos à obtenção de licença (D.L. n.º 119/2019). Por exemplo, a rega de espaços verdes com água residual tratada dentro do recinto da ETAR (APA (3), n.d.).

- **Produção de ApR**

Utilização de águas residuais tratadas que são sujeitas a um tratamento necessário para produzir uma água com determinada qualidade, para benefício de particulares ou da sociedade em geral (APA (3), n.d.).

- **Utilização de ApR**

Tem diversas aplicações desde a rega (agrícola, espaços verdes, floresta), usos urbanos (suporte de ecossistemas, lavagem de ruas, enchimento de autoclismos, lavagem de equipamentos de recolha de resíduos sólidos urbanos, lavagem de veículos, usos recreativos de enquadramento paisagístico, combate a incêndios, águas de arrefecimento), usos industriais, etc. (APA (3), n.d.).

## 5.2.5 Produção de ApR na ETAR Gaia Litoral

Uma vez que o objeto deste trabalho se centra na produção de ApR na ETAR de Gaia-Litoral, sendo esta instalação abrangida pelo Decreto-Lei n.º 152/97, à luz do Decreto-lei n.º 119/2019 trata-se de um sistema centralizado representado na Figura 5.1, e que engloba a produção (Sistema de produção), a distribuição (Sistema de distribuição) e a aplicação final de ApR (Ponto de aplicação) como se pode ver na Figura 5.2. Estes sistemas podem produzir ApR para um único uso ou para distintos usos com diferentes requisitos qualitativos.



Figura 5.1 - Sistema Centralizado (APA (1), 2019).

A produção e utilização de ApR, por sistemas centralizados, conforme referido anteriormente estão sujeitas à obtenção prévia de licença, nos termos do art.º 7, do Decreto-Lei n.º 119/2019, do Regime do Licenciamento Único Ambiental (LUA) no art.º 2, do Decreto-Lei n.º 75/2015 e por fim na obtenção do Título Único Ambiental (TUA). A licença é emitida pela APA, carecendo de parecer prévio favorável e vinculativo da Administração Regional de Saúde (ARS) e da Direção Regional de Agricultura e Pescas (DRAP). Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** podemos ver, para os sistemas centralizados, os diferentes tipos de licença para cada fim pretendido (APA (1), 2019).

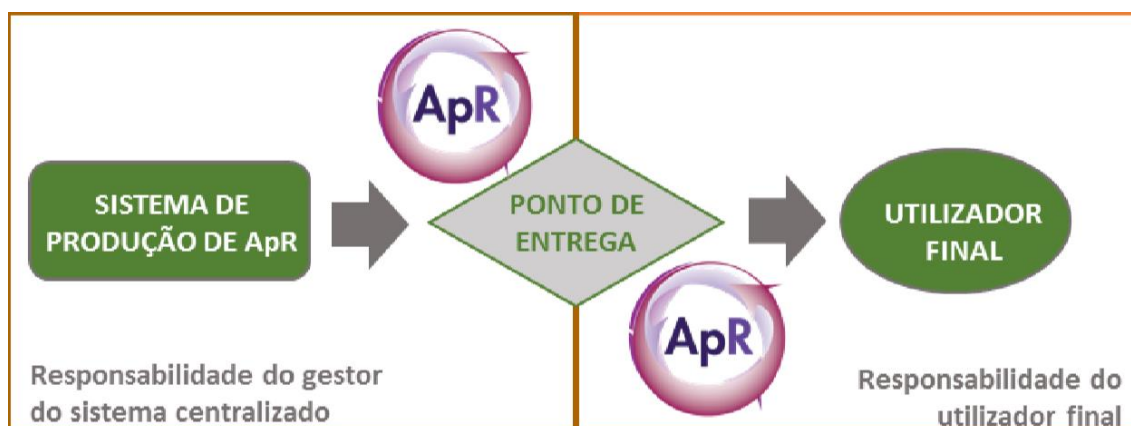


Figura 5.2- Sistema de reutilização (APA (1), 2019).

Tabela 5.1- Licenças necessárias para o fim pretendido

Sistemas	Tipo	Fim pretendido	Tipo de licença	Titular
Centralizados	Produção	Produção de ApR a partir de água residual própria	Licença para produção	Entidade gestora do sistema centralizado
	Uso próprios	Utilização da ApR produzida em usos próprios	Integrada na licença para produção	
	Cedência a terceiros	Cedência de ApR produzida a terceiros	Integrada na licença para produção	
	Utilização por terceiros	Utilização de ApR produzida num sistema centralizado	Licença para utilização	Utilizadores finais de ApR (entidades coletivas ou particulares)

A obtenção de licença para produção e utilização de ApR referida anteriormente, e conforme referenciado nos termos do art.º 5.º do Decreto-Lei n.º 119/2019, carece de uma prévia avaliação de risco. Esta avaliação de risco para a saúde e para o ambiente, deverá conter (APA (1), 2019):

- Identificação dos perigos físicos, químicos e biológicos para os diversos recetores em presença, designadamente pessoas, recursos hídricos, solo, vegetação ou animais;
- Identificação das vias, diretas e indiretas, de exposição entre os perigos e os respetivos recetores e a caracterização dos possíveis cenários de exposição dos recetores;
- Caracterização do risco através de métodos quantitativos, qualitativos ou semi-quantitativos, com a avaliação do resultado da multiplicação entre a probabilidade de ocorrência dos diferentes cenários de exposição pela severidade dos possíveis danos;
- Gestão do risco, com identificação de medidas de minimização ou de eliminação, através da aplicação de barreiras físicas, químicas, biológicas ou de outras medidas de prevenção;
- Proposta de normas de qualidade da ApR a aplicar a cada reutilização, no ponto de entrega e no ponto de aplicação.

## 5.3 Avaliação de Risco

Este procedimento tem como objetivo definir a metodologia de avaliação de riscos necessária à obtenção de licença de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como, da sua utilização para usos não potáveis, de forma a evitar efeitos nocivos para o homem, para a água, para os solos, para a vegetação e para os animais, promovendo a sua correta utilização.

A ApR é passível de conter perigos que podem afetar de forma adversa a saúde pública e/ou o ambiente. O art.º 7 do Decreto-Lei n.º 119/2019 determina que a produção e a utilização de ApR estão sujeitas a uma prévia avaliação do risco. O objetivo da avaliação do risco é estimar e reduzir o risco de possíveis eventos adversos até um nível considerado como aceitável para a sociedade em geral, para a comunidade local onde se irá efetuar a reutilização de água e para o ambiente, em particular os recursos hídricos. Uma vez caracterizado o risco, devem ser tomadas medidas de gestão, de modo a alcançar o mais reduzido valor do risco possível, dentro de um nível considerado como aceitável.

Assim, a metodologia abaixo descrita compreende dois âmbitos:

- O risco sobre a saúde, decorrente da ingestão, inalação ou absorção dérmica de ApR;
- O risco ambiental resultante da aplicação de ApR e eventual escorrência, infiltração, percolação ou lixiviação para os recursos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Esta avaliação de riscos pode ser realizada de forma conjunta, entre produtor e utilizador (a mesma avaliação é válida para os dois pedidos de licença), considerando os riscos para a saúde e recursos hídricos.

É importante salientar que se uma nova utilização surgir após a entrada em funcionamento do sistema de produção de ApR, o utilizador terá de realizar uma nova avaliação e risco, podendo usar dados das avaliações do risco prévias.

### 5.3.1 Saúde Pública

A avaliação do risco sobre a saúde pública desenvolve-se ao longo de um modelo semi-quantitativo. Este modelo baseia-se na aplicação de matrizes de probabilidade de ocorrência *versus* severidade dos danos. A integração matricial ou mesmo a aplicação de escalas de fatores de importância resultam numa melhoria da abordagem (Rebello et al , 2014).

#### 5.3.1.1 Identificação dos Perigos

É necessário a identificação de quais os agentes que podem provocar dano na saúde pública. No caso da reutilização de água os perigos estão associados essencialmente ao conteúdo microbiológico das águas residuais tratadas.

Para o processo de avaliação de risco devem ser utilizados como padrões de perigo os microrganismos tipicamente usados como indicadores de contaminação microbiológica. Neste caso será utilizado como padrão de perigo a *E. coli* vulgarmente utilizada como indicador de contaminação microbiológica, ao qual corresponde em função do tipo de tratamento instalado, e conforme a Tabela 5.2, um nível de perigo e de importância (P).

Tabela 5.2- Nível de perigo da *E. coli* e nível de importância

Tipo de tratamento	Nível	Presença de <i>E. coli</i>	Classificação P
Secundário	V	$\geq 10^4$	9
Secundário + desinfecção	IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7
Avançado	III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5
Secundário + desinfecção + pós-cloragem	II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3
Avançado + pós-cloragem	I	$E. coli \leq 10^1$	1

### 5.3.1.2 Identificação dos recetores

É muito importante a identificação de todos os possíveis recetores, sendo que, para além dos seres humanos, poderão ser identificados outros recetores (animais, vegetação, solos...) passíveis de constituírem um vetor para os mesmos. Para efeitos de cenarização consideram-se como recetores:

- Crianças;
- Adolescentes;
- Adultos;
- Idosos;
- Trabalhadores – produção;
- Trabalhadores – utilização;
- Consumidores;
- Envolvência (vizinhos);
- Animais domésticos;
- Visitantes;
- Prestadores de Serviços;
- Entidades Externas;
- Vegetação/raízes/solos.

### 5.3.1.3 Identificação das vias de exposição

De seguida são identificadas as possíveis vias de exposição que serão relacionadas com os recetores na avaliação de risco. As vias de exposição clássicas são a ingestão, a inalação ou a

absorção, sendo que estas podem ocorrer de forma direta ou indiretamente para o homem. A cada via de exposição é atribuído, conforme a Tabela 5.3, o respetivo fator de importância (fi).

Tabela 5.3- Fatores de importância aplicáveis a cada via de exposição

Via de Exposição	Tipo de exposição	Fator de importância (fi)	Justificação
Ingestão	Direta	9	Deve ser sempre considerada como via de importância absoluta
	Indireta	9	
Inalação	Direta	9	Deve ser sempre considerada como via de importância absoluta em sistemas de rega por aspersão
	Indireta	5	Pode ser considerada via de importância essencial ou forte em outros sistemas de rega
Adsorção (contacto dérmico)	Direta	3	Pode ser considerada como via de fraca importância devido à ausência de dados de doença ou infeção através desta via
	Indireta	3	
	Indireta (via animais domésticos)	3	
	Indireta (via solo)	3	
	Indireta (via vegetação)	3	

### 5.3.1.4 Cenários de Exposição e Eventos Adversos

Depois de serem identificados os recetores e as vias de exposição, devem ser avaliados os possíveis cenários de exposição que podem ocorrer. A definição e caracterização de cenários é uma etapa crucial do processo de avaliação de risco. Quanto mais extenso for este processo, maior será a incorporação das incertezas associadas, aumentando a confiança dos resultados do processo de avaliação do risco. Devem ser tidos em conta todos os possíveis cenários, independentemente da sua probabilidade de ocorrência. Poderão ser descartados cenários de exposição considerados como absurdos, desde que esta exclusão seja devidamente justificada no processo de avaliação do risco. São exemplos de cenários clássicos de exposição para rega de espaço verde urbano:

- Ingestão inadvertida durante a rega (via direta);
- Ingestão intencional a partir do sistema de rega (via direta);
- Ingestão a partir do contacto com animais de companhia (via indireta);
- Inalação de microgotículas durante a rega (via direta);
- Inalação de microgotículas a partir de animais de companhia (via indireta);
- Absorção por contacto com vegetação (via direta);
- Absorção por contacto com mobiliário urbano (via direta);
- Absorção por contacto com sistema de rega (via direta);
- Absorção por contacto com outras superfícies (via direta);
- Absorção por contacto com animais de companhia (via indireta);
- Absorção pelo contacto da vegetação com pessoas (via indireta).

O objetivo é retratar com o maior detalhe possível, as potenciais situações de exposição dos recetores às ApR, a relação entre dose de agente contaminante (Tabela 5.4) e as respetivas probabilidades de ocorrência de doença (Tabela 5.5).

Tabela 5.4- Fator de importância associado a cenários de exposição

Observações	Fator de importância (fi)
Via de infeção demonstrada	9
Via de infeção possível	7
Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5
Ausência de dados sobre a via de infeção	3
Ausência de via de infeção demonstrada	1

Tabela 5.5-Probabilidade de ocorrência de doença

Classificação	Probabilidade de ocorrência
1	<b>Rara</b> - Não aconteceu no passado e é muito improvável que aconteça nos próximos 12 meses (ou noutro período de tempo razoável*).
2	<b>Pouco provável</b> - Não aconteceu no passado, mas pode ocorrer em condições excecionais nos próximos 12 meses (ou noutro período de tempo razoável).
3	<b>Possível</b> - Pode ter acontecido no passado ou pode ocorrer em condições normais nos próximos 12 meses (ou noutro período de tempo razoável).
4	<b>Provável</b> - Tem sido observado no passado e é provável que ocorra nos próximos 12 meses (ou noutro período de tempo razoável).
5	<b>Quase certo</b> - Tem sido frequentemente observado no passado e é quase certo que ocorra na maioria das situações nos próximos 12 meses (ou noutro período de tempo razoável).

Na Tabela 5.6 temos a relação obtida entre a Tabela 5.4 e a Tabela 5.5.

Tabela 5.6- Matriz de determinação do fator de importância ponderado

			Probabilidade				
			Raro	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certo
			1	2	3	4	5
Cenário de exposição	Via de infeção demonstrada	9	5	6	7	8	9
	Via de infeção possível	7	4	5	6	7	8
	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	3	4	5	6	7
	Ausência de dados sobre a via de infeção	3	2	3	4	5	6
	Ausência de via de infeção demonstrada	1	1	2	3	4	5

Há ainda a identificação dos eventos adversos possíveis que poderão provocar uma rutura ou falha nas barreiras e ou potenciar determinados cenários de exposição. À medida que o projeto

vai sendo melhorado de acordo com as medidas de prevenção que vão sendo adotadas como barreiras, a identificação dos possíveis eventos adversos também tem de ser ajustada. De acordo com a literatura, os eventos adversos mais prováveis encontram-se descritos na Figura 5.3.

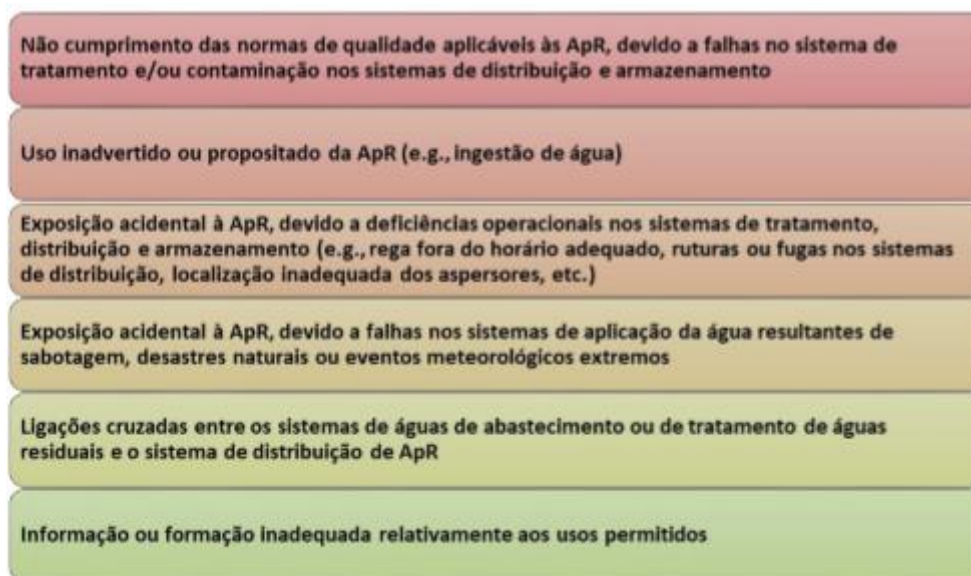


Figura 5.3- Eventos adversos mais prováveis (APA (1), 2019) .

### 5.3.1.5 Vulnerabilidade de cada recetor

Finda esta identificação e caracterização inicial, é necessário determinar a vulnerabilidade de cada recetor ( $V_{recetor}$ ), a partir da seguinte expressão, normalizada à situação mais crítica:

Equação 5.1- Vulnerabilidade de cada recetor

$$V_{recetor} = \frac{\Sigma (f_{imp. via exposição} \times f_{imp. cenário exposição ponderado})}{f_{normalização}}$$

e

Equação 5.2  $f_{normalização}$

$$f_{normalização} = f_{imp. máxima} \times \Sigma (f_{imp. via exposição} \times n.º cenários exposição)$$

$f_{imp. via exposição}$  – Fator de importância de cada via de exposição considerada

$f_{imp. cenário exposição ponderado}$  – Fator de importância ponderado de cada cenário de exposição considerado

$f_{normalização}$  – Fator de normalização

$f_{imp. máxima}$  – Valor máximo da escala de fatores de importância (9)

### 5.3.1.6 Dano para cada recetor e Barreiras

Uma vez determinada a vulnerabilidade torna-se necessário definir o dano, o qual é determinado com base na probabilidade de falha das barreiras de segurança implantadas *versus* a severidade do próprio dano.

Para o efeito, são identificadas para cada recetor passível de ser afetado pelo contacto com a ApR, as barreiras implementadas e respetivo número de barreiras equivalentes (Tabela 5.7).

Tabela 5.7- Tipo de barreiras e correspondência com o número de barreiras equivalentes

Tipo de Barreira	Aplicação	n.º de barreiras equivalentes
Rega gota-a-gota	Cultura de crescimento lento ( $\geq 25$ cm do solo)	1
	Cultura de crescimento elevado ( $\geq 50$ cm do solo)	2
	Rega sub-superficial, que não permite que a água ascenda à camada superficial do solo por capilaridade	3
Rega por aspersão	Rega por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento lento ( $\geq 25$ cm do jato de água)	1
	Rega por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento elevado e árvores de fruto ( $\geq 50$ cm do jato de água)	2
	Rega por aspersão a distâncias superiores a 70 m de áreas residenciais ou espaços de uso público	1
Pós-desinfecção (no local de aplicação de água)	Baixo nível de desinfecção	1
	Alto nível de desinfecção	2
Coberturas resistentes ao sol	Em sistemas de rega gota-a-gota para separar a rega das culturas agrícolas	1
Decaimento natural de microrganismos	Cessação da rega ou interrupção em período de tempo anterior à colheita	1 a 2 (depende das condições climáticas)
Secagem ao sol	Culturas secas ao sol antes da colheita	2
Controlo de acesso a áreas regadas	Restrição de acesso de pelo menos 24 h após a rega	1
	Restrição de acesso de pelo menos 5 dias após a rega	2
	Restrição de acesso durante as horas de rega em áreas públicas, de lazer ou desportivas	1
Outras	Interrupção da produção de ApR	1
	Interrupção da entrega de ApR	1
	Interrupção da aplicação de ApR	1
	Utilização de Equipamentos de Proteção Individual (luvas, máscaras, fato de proteção química e/ou microbiológica, botas)	1
	Sinalização de água não potável	1
	Sinalização de ApR	
	Formação dos Trabalhadores	1

O valor do dano para cada barreira identificada (dano parcial - di) é obtido a partir da matriz priorizada (Tabela 5.8):

Tabela 5.8-Matriz de determinação do dano após priorização (di)

			Probabilidade de falha na barreira					
			Raro	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certo	
Severidade dos danos	Insignificante	1	1	1	2	3	4	5
	Fraco	2	1	2	2	4	4	5
	Moderado	3	2	4	4	6	6	7
	Forte	4	2	4	6	8	8	9
	Severo	5	3	5	7	9	9	9

Sendo que, o dano associado à totalidade das barreiras implantadas, para cada recetor, é determinado pela aplicação da seguinte equação:

*Equação 5.3- Dano*

$$Dano = \frac{\Sigma (d_i \times n)}{(f_{imp. \text{ máxima}} \times n)}$$

$d_i$  – dano parcial

$f_{imp. \text{ máxima}}$  – Valor máximo da escala de fatores de importância (9)

$n$  – representa o n.º de barreiras equivalentes

### 5.3.1.7 Risco

O valor do risco para cada recetor identificado, é determinado pelo produto entre o perigo, a vulnerabilidade do recetor e os danos associados, conforme a fórmula:

*Equação 5.4- Risco para cada Recetor*

$$R_{recetor} = P \times V_{recetor} \times D$$

$P$  – Perigo associado à *E.coli* em função do nível de tratamento existente

$V_{recetor}$  – Vulnerabilidade de cada recetor

$D$  – Dano associado à totalidade das barreiras implantadas

O Risco Global associado ao projeto de reutilização é dado por:

*Equação 5.5- Risco global*

$$R_{Global} = \frac{\Sigma R_{recetor}}{N_{recetor}}$$

$N_{recetores}$  – representa o n.º total de recetores considerados no exercício de avaliação do risco

Os resultados podem ser expressos em níveis de risco (Tabela 5.9):

*Tabela 5.9- Níveis de risco*

Classificação	Nível de risco
$R_{Global} < 3$	Desprezável
$3 \leq R_{Global} < 7$	Aceitável
$R_{Global} \geq 7$	Inaceitável

Sempre que o risco global seja inaceitável, o processo deverá ser repetido com novas conjugações de barreiras, de modo a obter-se um nível de risco o mais baixo possível.

### 5.3.2 Avaliação de risco sobre os recursos hídricos

A avaliação do risco sobre os recursos hídricos desenvolve-se ao longo de um modelo semi-quantitativo. Este modelo baseia-se na aplicação de matrizes de probabilidade de ocorrência *versus* severidade dos danos. A integração matricial ou mesmo a aplicação de escalas de fatores de importância resultam numa melhoria da abordagem (Rebelo et al , 2014).

### 5.3.2.1 Identificação dos perigos

Os potenciais perigos para os recursos hídricos são os perigos químicos, nomeadamente todas as substâncias e compostos químicos passíveis de provocarem danos nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Devem também ser considerados os perigos microbiológicos como fator passível de causar dano aos usos da massa de água em presença.

Numa análise do risco, dever-se-ão considerar como principais perigos os nutrientes (azoto e fósforo) em zonas classificadas como sensíveis ou em zonas de vulnerabilidade hidrogeológica.

Os níveis de perigo (*P*) devem variar em função dos dados de monitorização dos meios recetores potencialmente afetados e em função da classificação dos meios recetores (zonas sensíveis ou vulneráveis à poluição por nitratos e do estado das massas de água). Os níveis de perigo a considerar são os definidos na Tabela 5.10 e Tabela 5.11.

Tabela 5.10- Nível de perigo para aplicação de ApR em zonas sensíveis à eutrofização, vulnerabilidade à poluição por nitratos ou massas de água com estado inferior a bom (parâmetros responsáveis N ou P)

Tipo de tratamento	Nível	Presença de <i>E. coli</i>	Classificação P
Sem remoção de nutrientes	V	$N > 15$ e $P > 3$	<b>9</b>
Com remoção parcial de N ou P <sup>1</sup>	IV	$N \leq 15$ ou $P \leq 3$	<b>7</b>
Com remoção parcial de N ou P <sup>1</sup>	III	$N \leq 15$ ou $P \leq 3$	<b>5</b>
Com remoção parcial de N e P	II	$N \leq 10$ e $P \leq 3$	<b>3</b>
Com remoção avançada de N e P	I	$N \leq 5$ e $P \leq 0,5$	<b>1</b>

<sup>1</sup> Em zonas vulneráveis à poluição por nitratos ou estado da massa de água inferior a Bom devido a parâmetro N, considerar N no nível IV e P no nível III. Em zonas sensíveis à eutrofização ou estado da massa de água inferior a Bom devido a parâmetro P, considerar P no nível IV e N no nível III

Tabela 5.11- Nível de perigo para aplicação da água para reutilização

Tipo de tratamento	Nível	Classificação P
$> NQA$ ou $> 30LQ^{1,2}$	V	<b>9</b>
$> 10LQ$	IV	<b>7</b>
$> LQ$	III	<b>5</b>
$> LD^3$	II	<b>3</b>
$< LD$	I	<b>1</b>

<sup>1</sup> NQA – Norma de qualidade ambiental, LQ – Limite de quantificação

<sup>2</sup> Dever-se-á usar 30LQ para os parâmetros que não tenham NQA definida

<sup>3</sup> LD – Limite de deteção

Para os poluentes específicos, substâncias prioritárias, substâncias perigosas prioritárias ou poluentes da lista de vigilância só haverá necessidade de definição de norma de qualidade nas situações em que o nível do risco se mantenha elevado ou muito elevado, mesmo após a aplicação de barreiras ou medidas de minimização.

Para os meios recetores vulneráveis à poluição microbiológica, os níveis de perigo são os identificados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12- Nível de perigo para meios vulneráveis à poluição microbiológica

Tipo de tratamento	Nível	Presença de <i>E. coli</i>	Classificação P
Secundário	V	$\geq 10^4$	9
Secundário + desinfecção	IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7
Avançado	III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5
Secundário + desinfecção + pós-cloragem	II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3
Avançado + pós-cloragem	I	$E. coli \leq 10^1$	1

### 5.3.2.2 Identificação dos recetores

Na avaliação de risco sobre os recursos hídricos os principais recetores são:

- Águas superficiais
- Águas subterrâneas

### 5.3.2.3 Identificação das vias de exposição

Na Figura 5.4 temos as diferentes vias de exposição dos recursos hídricos sendo que a rejeição, deposição e infiltração são vias diretas de exposição e a ressuspensão, lixiviação e percolação vias indiretas de exposição.

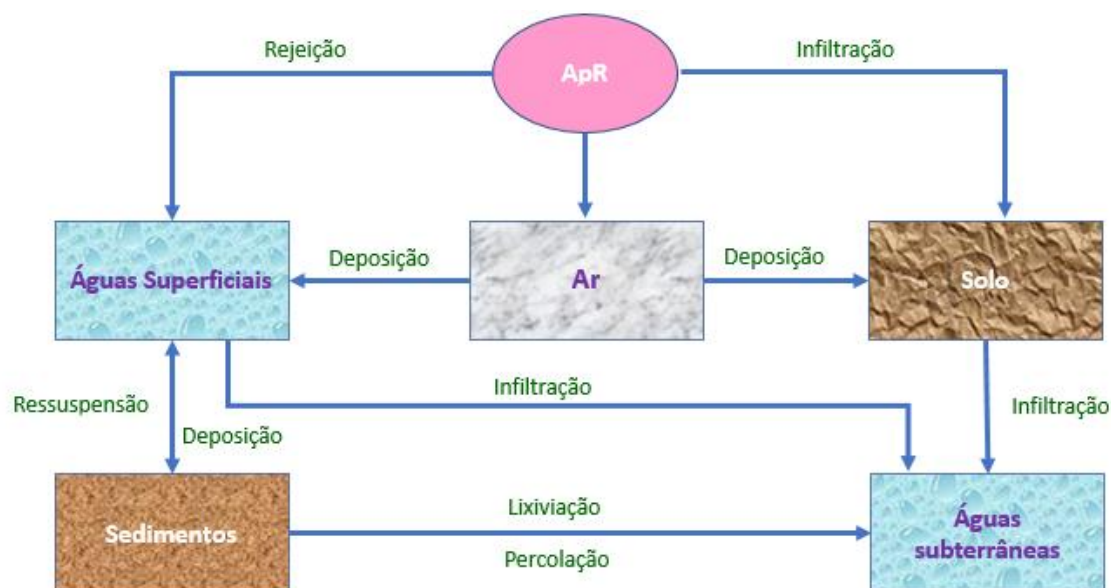


Figura 5.4- Vias de exposição para os recursos hídricos

### 5.3.2.4 Cenários de Exposição, Barreiras e Eventos adversos

Na avaliação de risco, para os recursos hídricos, não se aplica o conceito de barreira equivalente, pelo que cada barreira é sempre considerada como apenas uma medida de prevenção singular. A cada via de exposição podem ser aplicadas uma ou duas barreiras que se traduzem no número total de cenários passíveis de estarem presentes, conforme exposto na Tabela 5.13.

Tabela 5.13-Números de cenários de exposição

	Barreiras	Número de cenários de exposição ( $n_{cen}$ )
Vias de exposição	Ausência de barreiras	1
	Sistema de deteção de fugas	1
	Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	1
	Capacidade de retenção total	1
	Sistema de deteção de fugas Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	2
	Sistema de deteção de fugas Capacidade de retenção total	2

As barreiras ou medidas de minimização a considerar e os respetivos fatores de importância são os definidos na Tabela 5.14.

Tabela 5.14-Definição de barreiras a aplicar para proteção dos recursos hídricos

Observações	Fator de importância (fi)
Ausência de barreiras	9
Sistema de deteção de fugas	7
Capacidade de retenção parcial/sistema de rega adequado às necessidades hídricas	5
Capacidade de retenção total	3

Os eventos adversos na avaliação do risco para os recursos hídricos consistem na identificação dos eventos adversos possíveis que poderão provocar uma rutura ou falha nos sistemas de tratamento de águas residuais, de produção, de distribuição, armazenamento e aplicação de ApR e/ou potenciar determinado cenário de exposição. Estes eventos dependem sempre das características dos locais e do projeto a ser implementado. De acordo com a literatura, os eventos adversos mais prováveis são similares aos descritos no subcapítulo 5.3.1.5. Nesta etapa poderão ser elaboradas árvores de falhas que permitam identificar todos os cenários possíveis, quer em caso de situação normal, quer em situação de avaria ou acidente.

### 5.3.2.5 Vulnerabilidade

Para se obter a vulnerabilidade é necessário conjugar a vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos com os cenários de exposição e o número de barreiras consideradas. A vulnerabilidade dos recursos hídricos obtém-se a partir da matriz da Tabela 5.15 consoante as características hidrogeológicas. A partir desta matriz obtém-se uma vulnerabilidade parcial para as águas superficiais e subterrâneas ( $V_{pag\ sup}$ ,  $V_{pag\ sub}$ , respetivamente) através da leitura direta da mesma:

Tabela 5.15- Matriz de avaliação dos riscos para as águas superficiais e subterrâneas

Infiltração de águas subterrâneas			Ausência de infiltração	Baixa infiltração	Média infiltração	Elevada infiltração
			I	II	III	IV
Risco para águas subterrâneas	Aquífero superficial com ausência de camada protetora de argila	I	2	4	6	6
	Aquífero profundo com camada protetora de argila	II	2	4	4	6
	Aquífero profundo com camada protetora de argila significativa	III	2	2	4	4
	Ausência de Aquífero com continuidade hidrológica na área	IV	2	2	4	4
Risco de águas superficiais			6	6	4	2
			IV	III	II	I

	Elevada escorrência superficial	Média escorrência superficial	Baixa escorrência superficial	Ausência escorrência superficial
	<b>Escorrência superficial</b>			

A vulnerabilidade global para os recursos hídricos ( $V_{RH}$ ) poderá ser obtida através da seguinte expressão:

*Equação 5.6- Vulnerabilidade dos recursos hídricos*

$$V_{RH} = Vp_{ag\ sub} \times fp_{ag\ sub} + Vp_{ag\ sup} \times fp_{ag\ sup}$$

Onde,

$Vp_{ag\ sub}$ - Vulnerabilidade parcial das águas subterrâneas

$Vp_{ag\ sup}$ - Vulnerabilidade parcial das águas superficiais

$fp_{ag\ sub}$ - Fator de ponderação para as águas subterrâneas  $fp_{ag\ sub} = \frac{Vp_{ag\ sub}}{(Vp_{ag\ sup} + Vp_{ag\ sub})}$

$fp_{ag\ sup}$ - Fator de ponderação para as águas superficiais  $fp_{ag\ sup} = \frac{Vp_{ag\ sup}}{(Vp_{ag\ sup} + Vp_{ag\ sub})}$

A partir da equação acima pode obter-se quatro valores de vulnerabilidade dos recursos hídricos que têm a importância estabelecida na Tabela 5.16.

*Tabela 5.16- Vulnerabilidade dos recursos hídricos expressa em importância*

$V_{RH}$	$V_{RH\ i}$
5,2	9
5,0	7
4,0	5
3,3	3

A vulnerabilidade global ( $V_G$ ) é obtida a partir da expressão:

*Equação 5.7- Vulnerabilidade global*

$$V_G = V_{RH\ i} \times \frac{\sum f_i\ barreira}{f_{max} \times n_{cen}}$$

$V_{RH\ i}$  – Vulnerabilidade dos recursos hídricos expressa em importância

$f_i\ barreira$  – Fator de importância associado a cada barreira implantada

$f_{max}$  – Fator de importância máximo (9)

$n_{cen}$  – Número de cenários de exposição

### 5.3.2.6 Dano

Para se obter o dano associado às vias e cenários de exposição considerados (*di*) precisamos de saber a probabilidade de ocorrência de exposição que está referida na Tabela 5.17.

Tabela 5.17- Probabilidade de ocorrência de exposição dos recursos hídrico à contaminação.

Probabilidade de ocorrência de exposição	Valor	observações
Quase certa	5	Via de contaminação demonstrada
Provável	4	Via de contaminação possível
Possível	3	Eventual via de contaminação
Pouco provável	2	Ausência de dados sobre a via de contaminação

De seguida dá-se um valor à severidade dos danos que depende da classificação do meio recetor, usos e estado da massa de água, conforme se pode ver na Tabela 5.18.

Tabela 5.18- Severidade dos danos para os recursos hídricos

Severidade dos danos	Valor	Observações
Severo	5	Massa de água com estado inferior a bom
Forte	4	Massa de água em bom estado, com uso definido e com classificação (vulnerável à poluição por nitratos ou zona sensível)
Moderado	3	Massa de água em bom estado, com uso definido e com classificação (vulnerável à poluição por nitratos ou zona sensível)
Fraco	2	Massa de água em bom estado, sem uso definido ou classificação

Por fim conjuga-se os valores obtidos na Tabela 5.17 com os da Tabela 5.18 e lê-se o dano associado às vias e cenários de exposição considerados (*di*) como se pode ver na Tabela 5.19.

Tabela 5.19- Matriz de determinação do dano (*di*)

		Probabilidade de Ocorrência de Exposição			
		Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
		2	3	4	5
Severidade dos Danos	Fraco	2	4	4	5
	Moderado	3	4	6	7
	Forte	4	4	8	9
	Severo	5	7	9	9

Através da equação abaixo é possível determinar o dano associado à totalidade de barreiras implantadas.

*Equação 5.8- Dano*

$$Dano = \frac{\Sigma (di \times n_{cen})}{(f \text{ imp. máxima} \times n_{cen})}$$

$di$  – dano parcial

$f \text{ imp. máxima}$  – Valor máximo da escala de fatores de importância (9)

$n_{cen}$  – representa o n.º de cenários de exposição

### 5.3.2.7 Risco

Por fim, o risco para os recursos hídricos ( $R_{RH}$ ) é dado pela expressão:

*Equação 5.9- Risco para os recursos hídricos*

$$R_{RH} = \frac{P \times V_G \times D}{9}$$

$P$  – Perigo (nível de perigo)

$V_G$  – Vulnerabilidade global

$D$  – Valor do dano normalizado

Na Tabela 5.20 está presente o intervalo de valores que é possível obter para o risco dos recursos hídricos. Este é sempre superior a zero porque há sempre um risco mínimo associado. Quando este risco é inaceitável deve-se voltar a repetir a avaliação de risco, se isso não for possível, o projeto não apresentará viabilidade devido à elevada vulnerabilidade das massas de água.

*Tabela 5.20- Classificação do risco para os recursos hídricos*

Classificação	Nível de risco
$R_{RH} < 3$	Desprezável
$3 \leq R_{RH} < 7$	Aceitável
$R_{RH} \geq 7$	Inaceitável

## 6. Resultados da avaliação de risco

Na ETAR Gaia Litoral, à data da execução do presente estágio, a ApR produzida é utilizada exclusivamente para rega de espaços verdes, lavagem de equipamentos e de órgãos de tratamento, sendo que a percentagem de reutilização se situa perto de 1% (0,9%).

Para cumprir com o estabelecido legalmente, é necessário proceder a uma avaliação de riscos, de forma a assegurar que os trabalhadores da ETAR, os possíveis visitantes, os prestadores de serviços ou os colaboradores de entidades externas estão sujeitos ao menor risco possível, sem esquecer claro da importância de minimizar o risco da utilização de ApR no meio ambiente.

Tendo sempre presente que uma avaliação de riscos é um processo subjetivo e que depende do avaliador e da sua perceção em relação aos fatores que constituem o risco, a avaliação aqui efetuada teve como pressupostos a análise detalhada das tarefas e rotinas na ETAR Gaia Litoral, a eventual exposição dos trabalhadores e demais partes interessadas relevantes à ApR, bem como todos os putativos cenários de exposição, mesmo que inusitados.

### 6.1 Risco para a saúde pública

A avaliação de riscos sobre a saúde, decorrente da ingestão, inalação ou absorção dérmica de ApR encontra-se discriminada nas tabelas apresentadas no Anexo I. De seguida, descrevem-se os resultados obtidos.

#### 6.1.1 Identificação dos Perigos

A Tabela 6.1 mostra os perigos identificados, neste caso, o perigo associado à *E. coli*, indicador de contaminação microbiológica, com classificação (P) e fator de importância 9.

Tabela 6.1- Identificação dos perigos

Identificação dos Perigos	
Perigo	<i>E. coli</i>
Nível	v
Classificação (P)	9
Fator de Importância	9

#### 6.1.2 Identificação dos recetores

Determinaram-se 2 grupos de recetores vulneráveis – grupo dos trabalhadores e grupo das partes externas (visitantes, prestadores de serviços e colaboradores de entidades externas).

### 6.1.3 Vulnerabilidade de cada recetor

Os resultados obtidos para a vulnerabilidade de cada recetor são apresentados na Tabela 6.2. Foram considerados 8 cenários de exposição, conduzindo a resultados muito semelhantes, nomeadamente, 1,82 e 1,81, respetivamente, para os trabalhadores da ETAR e visitantes/prestadores de serviços/entidades externas.

Tabela 6.2- Vulnerabilidade para cada recetor

Vulnerabilidade (V) para cada recetor			
Recetores	Nº de cenários de Exposição	f normalização	V recetor
Trabalhadores da ETAR	8	864,00	1,82
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	8	864,00	1,81

### 6.1.4 Dano para cada recetor

O dano para cada recetor é apresentado na Tabela 6.3. Tal como descrito no ponto 5.3.1.6, o dano é determinado com base na probabilidade de falha das barreiras de segurança implantadas *versus* a severidade do próprio dano, tendo sido obtidos valores muito semelhantes nos dois recetores considerados.

Tabela 6.3- Dano para cada recetor

Dano para cada recetor	
Recetores	Dano
Trabalhadores da ETAR	0,33
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	0,36

### 6.1.5 Risco para cada recetor

A Tabela 6.4 apresenta o valor do risco para cada recetor identificado, determinado pelo produto entre o perigo, a vulnerabilidade do recetor e os danos associados.

Tabela 6.4- Risco para cada recetor

Risco para cada recetor	
Recetores	Risco
Trabalhadores da ETAR	5,47
visita/ prestador de serviços	5,79

### 6.1.6 Risco Global

Por fim, foi determinado o Risco Global através da equação 5.5. Este corresponde à média aritmética dos riscos calculados para os recetores identificados e apresenta um valor de 5,63.

O valor de Risco para a saúde pública, e de acordo com a Tabela 5.9, é considerado **Risco aceitável**.

## 6.2 Risco para os Recursos hídricos

A avaliação de riscos ambientais, resultante da aplicação de ApR e eventual escorrência, infiltração, percolação ou lixiviação para os recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, encontra-se discriminada no Anexo II. De seguida, descrevem-se os resultados obtidos.

### 6.2.1 Identificação dos perigos

Os perigos identificados para os recursos hídricos (Tabela 6.5) foram a *E. coli*, indicador de contaminação microbiológica, e os nutrientes, azoto e fósforo. O fator de importância é máximo no caso da *E. coli* e do azoto, tendo um valor de 7 no caso do fósforo.

Tabela 6.5- Identificação de Perigos

Identificação dos Perigos			
Perigo	<i>E. coli</i>	Azoto	Fósforo
Nível	V	V	IV
Classificação (P)	9	9	7
Fator de Importância	9	9	7

### 6.2.2 Identificação dos recetores

Foi apenas identificado um recetor – águas subterrâneas (aquífero superficial com ausência de camada protetora de argila e com elevada infiltração).

### 6.2.3 Vulnerabilidade do recetor

Tal como referido anteriormente, a vulnerabilidade dos recursos hídricos (Tabela 6.6) obtém-se a partir da matriz da Figura 5.6 de acordo com as características hidrogeológicas. A partir desta matriz obtém-se uma vulnerabilidade parcial para as águas superficiais e subterrâneas (VPag sup, VPag sub, respetivamente) por leitura direta da mesma. A vulnerabilidade global para os recursos hídricos (VRH) foi obtida através da Equação 5.6, a que corresponde uma importância VRHi de 9 (Tabela 5.15).

Tabela 6.6- Vulnerabilidade

Vulnerabilidade					
VPag sub	VPag sup	fPag sub	fPag sup	VRH	VRHi
6	0	1	0	6	9

### 6.2.4 Vulnerabilidade e dano global

A Tabela 6.7 mostra os resultados obtidos para a vulnerabilidade global (Equação 5.7) e o dano global (Equação 5.8).

Tabela 6.7- Vulnerabilidade global e dano global

Vulnerabilidade Global	Dano Global
9	0,44

### 6.2.5 Riscos Globais

Com base nestes valores, e utilizando a fórmula anteriormente descrita (Equação 5.4), foram obtidos os valores de risco para os recursos hídricos para cada um dos perigos identificados (Tabela 6.8). Atendendo a que estes valores se encontram entre 3 e 7 (Tabela 5.9), são considerados aceitáveis.

Tabela 6.8- Riscos Globais

Risco <i>E.coli</i>	Risco Azoto	Risco Fósforo
4,00	4,00	3,11
Aceitável	Aceitável	Aceitável

## 7. Conclusão

O enorme crescimento populacional aliado às alterações climáticas torna cada vez mais difícil o acesso, em quantidade e qualidade, à água. A reutilização de águas residuais é assim uma solução para este problema, no entanto a viabilidade de um projeto de reutilização de águas residuais depende de inúmeros fatores, onde se destacam os fatores ambientais, económico-financeiros e socioculturais. Contudo, os benefícios que advêm desta reutilização são em muito superiores às barreiras, nomeadamente contribuindo para o uso sustentável dos recursos hídricos, na medida em que permite a manutenção de água no ambiente e a respetiva preservação para usos futuros.

Em termos Governamentais e Políticas, foram dados passos significativos para implementar uma estratégia para a reutilização de água residual. Exemplos disso são os regimes jurídicos recentemente publicados, que regulam a produção e utilização de ApR, bem como os inúmeros planos e programas aprovados pelas mais variadas entidades e autoridades (PENSAAR 2020, P-3AC, ODS, etc.), com ações, objetivos e metas muito concretas.

A reutilização de águas residuais acarreta oportunidades, mas também dúvidas e incertezas. Destaque para o facto de a tarifa não se encontrar regulada, a qual deverá incluir a diferenciação de serviços (tarifário do saneamento e tarifário para a reutilização e que não onere a atividade de saneamento, demonstrado através de um apuramento separado de resultados), os custos de investimento, de exploração e a remuneração do capital empregue, e no caso de haver mais do que um utilizador, uma repartição dos custos. Outros fatores que poderão condicionar os projetos de reutilização são a limitação química, isto é, admissão de certo tipo de efluentes industriais às redes urbanas, as condicionantes geográficas (topografia entre o ponto de produção e o(s) ponto(s) de aplicação), as condições temporais, nomeadamente as variações diárias ou sazonais na produção de ApR, e sem esquecer claro o estigma e o medo associado à utilização de ApR. É importante que seja regulada a tarifa e que as entidades gestoras e governamentais estabeleçam programas de educação para a comunidade/ações de sensibilização, que promovam a reutilização de água residual tratada e que incentivem para a aceitação pública desta nova prática.

Portugal reutiliza apenas 1,1% de água residual, sendo a água residual tratada essencialmente aplicada em rega e lavagens, e em particular nas regiões mais a sul do país, onde se verificam com maior frequência períodos de seca. Em 2019, a Secretaria de Estado do Ambiente promoveu contactos junto das entidades gestoras das 50 maiores ETAR nacionais para a elaboração de estudos que permitam dotar as suas instalações de um Plano de Ação para a Reutilização, conducentes à obtenção de níveis de reutilização coerentes com as metas definidas (para o ano de 2025 percentagem de reutilização de 10% e para o ano de 2030 percentagem de reutilização de 20%) e para as quais os investimentos necessários poderão vir a ser enquadrados no próximo quadro de financiamento europeu. A ETAR Gaia Litoral enquadra-se na lista destas 50 maiores ETAR a nível nacional, e apesar de atualmente produzir ApR apenas para consumo interno, tem potencial para reutilização, e perspetiva-se para futuro a produção de ApR para venda a terceiros, isto porque já foram identificados possíveis utilizadores.

A ETAR Gaia Litoral, no estrito cumprimento do Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de maio e do Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, possui uma Licença de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais emitida pela APA. Esta licença impõe condições e normas de rejeição do efluente final, nomeadamente o controlo dos valores limite de emissão dos parâmetros CBO<sub>5</sub>, CQO e SST, bem como a implementação de um programa de autocontrolo em que constam, entre outros, os parâmetros azoto total e fósforo total (lista não exaustiva). Paralelamente, existe um plano de controlo operacional, que permite controlar o processo de tratamento. Quando analisados os resultados desta monitorização, quer para efeitos de cumprimento da licença de descarga, quer para controlo de processo, constatamos que o efluente final tem apenas qualidade exigida para uma classe de rega E. Com vista à melhoria do processo de produção de ApR e pensando na abordagem *fit-for-purpose*, assegurando os níveis de tratamento em conformidade com as normas de qualidade exigidas para determinado uso (Tabelas do Anexo III), perspectiva-se a remodelação da etapa terciária. A entidade gestora encontra-se a avaliar a inclusão de uma etapa de coagulação a montante dos filtros de areia, para aumentar a eficácia da remoção dos SST, e de microtamisação a montante da desinfecção por UV, para melhorar o processo de desinfecção e diminuir a carga microbiana.

A proteção da saúde pública e do ambiente são seguramente os pontos fulcrais a considerar em qualquer projeto de reutilização de água residual. A avaliação de riscos efetuada permitiu concluir que, apesar de todas as limitações processuais e a qualidade inferior da ApR produzida, os riscos para a saúde pública e para os recursos hídricos são aceitáveis, isto é, os riscos existem, contudo as medidas de prevenção e minimização encontram-se estabelecidas e são eficazes. Não obstante, é essencial que neste projeto de reutilização seja implementado um programa de monitorização e controlo analítico (Tabela do Anexo IV), que comprove que a ApR cumpre efetivamente com as normas de qualidade exigidas e que não afeta a saúde pública e o ambiente.

Os resultados obtidos vão permitir dar um passo significativo no projeto de reutilização de água residual da ETAR Gaia Litoral.

## Bibliografia

- Agência Portuguesa do Ambiente. (n.d.). APA- Agência Portuguesa do Ambiente- Água para Reutilização (ApR). Acedido a 22 de Fevereiro de 2020, no site:  
<https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=11&sub3ref=1584>
- Águas de Gaia & Câmara Municipal de Gaia. (n.d.). *ETAR Gaia Litoral uma das maiores e mais sofisticadas da Europa*. Acedido a 27 de Fevereiro de 2020, no site:  
[http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR\\_Gaia\\_Litoral\\_brochura.pdf](http://www.cienciaviva.pt/veraocv/2009/downloads/ETAR_Gaia_Litoral_brochura.pdf)
- Akpor, O. B., & OTohinoyi, D. A. (2014). Pollutants in Wastewater Effluents: Impacts and Remediation Processes. *International Journal of Environmental Research and Earth Science*, 27(44), 249–253. <https://doi.org/10.1007/s10162-014-0441-4>
- Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, B. M. (2017). *Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge*. <https://doi.org/10.2760/887727>
- Alcalde Sanza, L., & Gawlik, B. M. (2014). Water Reuse in Europe: Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. In *JRC Science and Policy Reports*. <https://doi.org/10.2788/29234>
- Ambiente e Transição Energética. (2019). Portaria n.º 266/2019 - Aprova a informação e a sinalética a utilizar pelos produtores e utilizadores de água para reutilização (ApR). *Diário Da República*, 35–41.
- Amorim, N. (2016). *Comparação da Modelação da Digestão Anaeróbia da ETAR do Choupal através de Redes Neurais Artificiais e ADM1*. Escola Superior Agrária de Coimbra.
- APA (1). (2019). *Guia para a Inovação*. 116. <https://doi.org/10.1007/s12250-012-3258-5>
- APA (2). (n.d.). Água para Reutilização- Regime jurídico. Acedido a 21 de Maio de 2020, no site:  
<http://apambiente.pt/?ref=16&subref=7&sub2ref=11&sub3ref=1584#Guia>
- APA (3). (n.d.). Água para Reutilização - Novos Conceitos. Acedido a 10 de Maio de 2020, no site:  
<http://apambiente.pt/?ref=16&subref=7&sub2ref=11&sub3ref=1584#Guia>
- APA (4). (n.d.). Água para Reutilização - Enquadramento. Acedido a 17 de Maio de 2020, no site:  
<http://apambiente.pt/?ref=16&subref=7&sub2ref=11&sub3ref=1584#Guia>
- Baxter, R., Hastings, N., Law, A., & Glass, E. J. . (2018). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse. *Com(2018) 337, 337 final*.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., ... Wiberg, D. (2016). Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Final Report). *IIASA Working Paper*, (May), 11.
- Cirilo, J. A. (2015). Crise hídrica: desafios e superação. *Revista USP*, (106), 45. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p45-58>
- Dioha, I. J., Ikeme, C., Nafi, T., Soba, N. I., & Mbs, Y. (2013). Effect of Carbon To Nitrogen Ratio on Biogas Production. *International Research Journal of Natural Sciences*, 1(3), 1–10.

- Dolnicar, S., Hurlimann, A., & Grün, B. (2011). What affects public acceptance of recycled and desalinated water? *Water Research*, 45(2), 933–943. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.030>
- Estratégia- Grupo Águas de Portugal. (n.d.). Acedido a 27 de Fevereiro de 2020, no site:  
<https://www.adp.pt/pt/sustentabilidade/estrategia/?id=34>
- ETAR Gaia Litoral- SIMDOURO. (n.d.). Acedido a 2 de Março de 2020, no site:  
<https://www.simdouro.pt/dados.php?ref=etargaalit>
- Gautam, R. K., Sharma, S. K., Mahiya, S., & Chattopadhyaya, M. C. (2014). CHAPTER 1. Contamination of Heavy Metals in Aquatic Media: Transport, Toxicity and Technologies for Remediation. *Heavy Metals In Water*, (August), 1–24. <https://doi.org/10.1039/9781782620174-00001>
- Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V. K., Tushara Chaminda, G. G., An, A. K., & Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundwater for Sustainable Development*, 6(December 2017), 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>
- Goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A. (2019). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Governo Constitucional. (2019). *Programa do XXII Governo Constitucional 2019-2023*. 196. Acedido a 20 de Maio de 2020, no site:  
<https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=54f1146c-05ee-4f3a-be5c-b10f524d8cec>
- Grupo de Apoio à Gestão “PENSAAR 2020.” (2018). *Relatório #3 PENSAAR 2020 Uma Estratégia ao Serviço da População: Serviços de Qualidade a um Preço Sustentável*.
- Hartley, T. W. (2006). Public perception and participation in water reuse. *Desalination*, 187(1–3), 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.072>
- História- Grupo Águas de Portugal. (n.d.). Acedido a 24 de Fevereiro de 2020, no site:  
<https://www.adp.pt/pt/grupo-adp/historia/?id=7>
- Hugo van Gool. (2003). *Wastewater Reuse Water Resources and Environment Technical Note F . 3*.
- International Water Association. (2016). *Water utility pathways in a circular economy*. 20.
- Jarusutthirak, C., & Amy, G. (2007). Understanding soluble microbial products (SMP) as a component of effluent organic matter (EfOM). *Water Research*, 41(12), 2787–2793. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.005>
- Jones, A. Q., Dewey, C. E., Doré, K., Majowicz, S. E., McEwen, S. A., Waltner-Toews, D., ... Mathews, E. (2005). Public perception of drinking water from private water supplies: Focus group analyses. *BMC Public Health*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-5-129>
- Jorge Monteiro, A., Pinto da Cunha, C., Raimundo, E., & Coelho, R. (2014). *Pensaar 2020- Uma Estratégia ao Serviço da População: Serviços de Qualidade a um Preço Sustentável*. 3.
- José Veiga Freitas et al. (2015). Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais - Vol I. *Pensaar 2020*, 1, 1–101. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Kearney, M. S., Harris, B. H., Hershbein, B., Jácome, E., & Nantz, G. (2014). In Times of Drought : Nine Economic Facts about Water in the United States. *The Hamilton Project*, (October). Acedido a 1 de Dezembro de 2019, no site:  
<https://www.brookings.edu/research/in-times-of-drought-nine-economic-facts-about-water-in-the-united-states/>
- Levy, G. J., Fine, P., & Bar-tal, A. (2010). Treated Wastewater in Agriculture. In *Treated Wastewater in Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/9781444328561>
- Lisa Guppy; kelsey Anderson; Mehta; P.; Nagabhatla; N. and, & M., Q. (2017). *Global Water Crisis : the Facts*. 1–3. Acedido a 8 de Dezembro de 2019, no site:  
<http://inweh.unu.edu>
- Marecos do Monte, Helena; Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de Águas Residuais*. Acedido a 12 de Dezembro de 2019, no site:  
<http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?SubFolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CMenuPrincipal%5CDocumentacao%5CPublicacoesexternas&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CMenuPrincipal%5CDocumentacao&GenericContentId=0&BookID>
- Marecos do Monte, H., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Tratamento de Águas Residuais - Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico*. Acedido a 14 de Março de 2020, no site:  
[www.ersar.pt](http://www.ersar.pt)
- Mateo-Sagasta, J., Marjani, S., Turrall, H., & Burke, J. (2017). Water pollution from agriculture: a global review. *FAO y IWMI*, 35. <https://doi.org/http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf>
- Michael-Kordatou, I., Michael, C., Duan, X., He, X., Dionysiou, D. D., Mills, M. A., & Fatta-Kassinos, D. (2015). Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications. *Water Research*, 77, 213–248. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.011>
- Ministério dos Negócios Estrangeiros. (2017). *Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 86–88. Acedido a 13 de Abril de 2020, no site: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15766Portugal2017\\_EN\\_REV\\_FINAL\\_29\\_06\\_2017.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15766Portugal2017_EN_REV_FINAL_29_06_2017.pdf)
- National Research Council. (2012a). Understanding water reuse: Potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater. *Understanding Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*, 1–14. <https://doi.org/10.17226/13514>
- National Research Council. (2012b). Water reuse: Potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater. In *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*. <https://doi.org/10.17226/13303>
- Obit. (n.d.). WEDOTECH. Acedido a 10 de Março de 2020, no site:  
<http://www.wedotech.pt/obit/>
- Palaniappan, M., Gleick, P. H., Allen, L., Cohen, M. J., Christian-Smith, J., Smith, C. (2013). *Cuidando das Águas: soluções para melhorar a qualidade* (2ª edição).

- Parlamento Europeu e conselho. (2018). Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água. *Jornal Oficial Da União Europeia.*, (337), 39–44. Acedido a 15 de Março de 2020, no site:  
<https://ci.nii.ac.jp/naid/110004000229/>
- Parlamento Europeu e Conselho. (2000). Diretiva N.º 2000/60/CE. *Jornal Oficial Das Comunidades Europeias*, (7), 1–72.
- Parlamento Europeu e Conselho. (2006). Directiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de Dezembro de 2006, relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração. *Jornal Oficial Da União Europeia*, (372), 19–31.
- Presidência do Conselho de Ministros. (2019). Decreto-Lei n.º 119/2019 - Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. *Diário Da República*.
- Quem somos- Grupo Águas de Portugal. (n.d.). Acedido a 24 de Fevereiro de 2020, no site:  
<https://www.adp.pt/pt/grupo-adp/quem-somos/?id=5>
- Quem somos- SIMDOURO. (n.d.). Acedido a 2 de Março de 2020, no site:  
<https://www.simdouro.pt/dados.php?ref=quem-somos>
- Raghav, Madhumitha; Eden, Susanna; Mitchell, Katharine; Witte, B. (2013). Contaminants of Emerging Concern in Water and Wastewater. *Contaminants of Emerging Concern in Water and Wastewater*.  
<https://doi.org/10.1016/c2016-0-05074-x>
- Rebello, A., Ferra, I., Gonçalves, I., & Marques, A. M. (2014). A Risk Assessment Model for Water Resources: releases of dangerous and hazardous substances. *Journal of Environmental Management*, 140, 51—59. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.025>
- Rewater. (2018). REWATER sustainable and safe water management in agricultur: increasing the efficiency of water reuse for crop growth while protecting ecosystems, services and citizens' welfare. *Newsletter No 3, 2018*.
- Sengupta, S., Nawaz, T., & Beaudry, J. (2015). Nitrogen and Phosphorus Recovery from Wastewater. *Current Pollution Reports*, 1(3), 155–166. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0013-1>
- Singapore`s National Water Agency. (n.d.). NEWater. Acedido a 2 de Janeiro de 2020, no site:  
<https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>
- Spon, E. & F. (1997). Chapter 4\* - Wastewater as a Resource \*. In *Water Resources*.
- The European Commission. (2016). *Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD*. (June), 1–95. Acedido a 23 de Abril de 2020, no site:  
[http://ec.europa.eu/environment/water/pdf/Guidelines\\_on\\_water\\_reuse.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/pdf/Guidelines_on_water_reuse.pdf)
- Toze, S. (2006). Reuse of effluent water - benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 80(5), 147–159.
- União Europeia. (2016). *ECOWAMA FINAL PUBLISHABLE SUMMARY REPORT NOVEMBER 2016*.
- United Nations. (2019). *WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO) 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO.

- Vaz, A. S., Costa, I., Pinheiro, L., Pinto, C., Lobo, H., Vilar, F., & Carvalho, A. (2017). Liderar a transição - Plano de ação para a economia circular. O Desafio dos Recursos Hídricos. *Revista Recursos Hídricos*, 38(2), 29–35. <https://doi.org/10.5894/rh38n2-d4>
- Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2(April), 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>
- Water Reuse Europe- Policy and Regulations. (2019). Acedido a 20 de Dezembro de 2019, no site:  
Policy and Regulations website: <https://www.water-reuse-europe.org/about-water-reuse/policy-and-regulations/#page-content>
- Wennberg, C. (2020). International Water Association- 5 major trends impacting the Water industry in the next decade. Acedido a 13 de Maio de 2020, no site:  
<https://iwa-network.org/five-major-challenges-and-emerging-trends-impacting-the-water-industry-in-the-next-decade/>
- Zvimba, J. N., & Musvoto, E. (2018). Transitioning to a circular economy - The role of innovation. *Water Wheel*, 17(5), 32–33.





## **Anexo I**

Tabela I.1 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para os trabalhadores da ETAR no edifício de exploração e respetivos fatores de importância.

Recetores	Vias de Exposição			Cenários de Exposição						
	Identificação das Vias de Exposição	Tipos de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Identificação de Cenários de Exposição	Localização de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Probabilidade	Justificação	fi ponderado	
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida durante a lavagem de equipamentos	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	2	Pouco provável que aconteça uma vez que a lavagem de equipamento não acontece dentro do edifício principal. No entanto pode ocorrer na zona exterior ao edifício o que pode fazer com que através das janelas ou portas possa contaminar o interior.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada num ponto de acesso a Apr	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	É muito pouco provável que um Trabalhador da ETAR ingira propositadamente água residual tratada devido ao conhecimento dos riscos associados a esta sendo que no edifício principal não há acesso à Apr. Existem na ETAR pontos de acesso à água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a Apr também é muito improvável.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão devido a contacto com objetos/superfícies molhadas com Apr	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	2	Apesar da existência de EPIs e os trabalhadores conhecerem os riscos associados às águas residuais, é uma situação que pode ocorrer. Por exemplo: Transporte de algum equipamento .	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido a contacto com vegetação molhada com Apr	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	É uma situação com pouca possibilidade de ocorrer uma vez que o trabalhador não se encontra numa zona de jardim.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada de solo, vegetação e raízes molhadas com Apr	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	Difícilmente esta situação ocorrerá, sendo a probabilidade de ingestão de solo, vegetação/raízes muito baixa principalmente numa ETAR sendo mais improvável quando se fala de um trabalhador que está no edifício principal não estando diretamente em contacto com vegetação.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	2	Os trabalhadores da ETAR conhecem o sistema, têm formação sobre os riscos associados a uma água residual tratada e na ETAR existem pontos de acesso à água potável identificados, pelo que se considera muito improvável que ocorra ingestão direta de Apr. Os trabalhadores da ETAR têm igualmente acesso a outros reservatórios de água residual (bruta e de água de serviço) e nunca ocorreu a ingestão propositada ou inadvertida da mesma.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de Apr (fugas, transbordos...)	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	A configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. Para além de que o edifício principal não tem acesso a Apr	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à Apr	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	4	Apesar de todos os trabalhadores utilizarem EPIs e conhecerem os riscos associados às águas residuais há sempre a possibilidade de entrarem em contacto uns com os outros sem terem efetuado a limpeza das partes que estiveram em contacto com Apr. Principalmente no edifício principal onde tem muitas zonas de café , máquinas de venda zonas para impressão e de uso comum partilhadas por todos os trabalhadores da Empresa.	8
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de Apr	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. Por outro lado, a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. Para além de que o edifício principal não tem acesso a Apr.	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção por contacto com objetos/superfícies molhadas por Apr	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Configuração do sistema e a manutenção dos equipamentos e acessórios associados ao sistema de produção reduzem a ocorrência desta situação/cenário. Para além de que o edifício principal não tem acesso a Apr.	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida por contacto com solo, vegetação e raízes	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não vegetação dentro dos edifício principal .	3
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado com solo, vegetação e raízes	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não vegetação dentro dos edifício principal	3
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Esta situação será difícil de ocorrer pois o edifício principal tem vários acessos à água potável e nenhum a Apr. Sendo que os trabalhadores têm formações à cerca dos riscos da Apr	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à Apr	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Apesar de todos os trabalhadores utilizarem EPIs e conhecerem os riscos associados às águas residuais há sempre a possibilidade de entrarem em contacto uns com os outros sem terem efetuado a limpeza das partes que estiveram em contacto com Apr. Principalmente no edifício principal onde tem muitas zonas de café , máquinas de venda zonas para impressão e de uso comum partilhadas por todos os trabalhadores da Empresa.	6
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida durante a lavagem de equipamentos com Apr	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Pouco provável que aconteça uma vez que a lavagem de equipamento não acontece dentro do edifício principal. No entanto pode ocorrer na zona exterior ao edifício o que pode fazer com que através das janelas ou portas possa contaminar o interior.	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado num ponto de acesso a Apr	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Pouco provável uma vez que no edifício principal não há a existência de uma torneira que permite o fácil acesso à Apr (e.g. lavagem de mãos ou ferramentas)	3

Tabela I.2 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para as partes externas edifício de exploração e respetivos fatores de importância.

Recetores	Vias de Exposição			Cenários de Exposição						
	Identificação das Vias de Exposição	Tipos de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Identificação de Cenários de Exposição	Localização de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Probabilidade	Justificação	fi ponderado	
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida durante a lavagem de equipamentos	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	É pouco provável que aconteça pois no interior do edifício principal não há lavagem de equipamento com ApR. Na zona exterior pode haver lavagem de equipamento e que poderá trazer alguns riscos caso uma janela ou porta esteja aberta.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada num ponto de acesso a ApR	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	Existe na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. Ainda para mais num edifício principal onde são muito mais vigiados e não há pontos de acesso a ApR no interior.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão devido a contacto com objetos/superfícies molhadas com ApR	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	2	Apesar de serem informados que devem sempre lavar as mãos ou outra parte do corpo que entre em contacto com alguma coisa na ETAR nem sempre as visitas/prestadores se servem seguem as normas. Sendo relativamente fácil serem contaminados com ApR.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido a contacto com vegetação molhada com ApR	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	É uma situação com pouca possibilidade de ocorrer uma vez que não se encontram numa zona de jardim.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada de solo, vegetação e raízes molhadas com ApR	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	Difficilmente esta situação ocorrerá, sendo a probabilidade de ingestão de solo, vegetação/raízes muito baixa principalmente numa ETAR sendo mais improvável quando se passa no edifício principal não estando diretamente em contacto com vegetação.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	3	Apesar das visitas/prestadores de serviços serem informados sobre os possíveis riscos de uma ETAR há uma boa probabilidade de não sabermos muito sobre ApR.	7
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR (fugas, transbordo...)	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	1	É pouco provável que haja uma falha durante o dia da visita prestador de serviço vão à ETAR. Por outro lado a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. Sendo que no edifício principal não se encontra um ponto de acesso a ApR.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	Edifício de Exploração	Via de infeção demonstrada	9	2	É pouco provável que uma visita ou prestador de serviço entre em contacto com os trabalhadores Principalmente no edifício principal onde tem muitas zonas de café, máquinas de venda zonas para impressão e de uso comum partilhadas por todos os trabalhadores da Empresa há uma possibilidade.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	É pouco provável que haja uma falha durante o dia da visita prestador de serviço vão à ETAR. Por outro lado a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. Sendo que no edifício principal não se encontra um ponto de acesso a ApR.	3
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção por contacto com objetos/superfícies molhadas por ApR	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	3	Apesar de serem informados que devem sempre lavar as mãos ou outra parte do corpo que entre em contacto com alguma coisa na ETAR nem sempre as visitas/prestadores se servem seguem as normas. Sendo relativamente fácil serem contaminados com ApR. Essa chance diminui no edifício principal.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida por contacto com solo, vegetação e raízes	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não há vegetação dentro do edifício principal, apenas no exterior.	3
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado com solo, vegetação e raízes	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não há vegetação dentro do edifício principal, apenas no exterior.	3
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Apesar das visitas/prestadores de serviços serem informados sobre os possíveis riscos de uma ETAR há uma boa chance de não sabermos muito sobre ApR. No entanto o contacto com ApR dentro do edifício principal é quase impossível.	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	3	É pouco provável que uma visita ou prestador de serviço entre em contacto com os trabalhadores no entanto numa zona como o edifício principal onde há muitas zonas de café, máquinas de venda zonas para impressão e de uso comum partilhadas por todos os trabalhadores da Empresa, há uma certa probabilidade de ocorrer.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida durante a lavagem de equipamentos com ApR	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Pouco provável que aconteça uma vez que a lavagem de equipamento não acontece dentro do edifício principal. No entanto pode ocorrer na zona exterior ao edifício o que pode fazer com que através das janelas ou portas possa contaminar o interior.	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado num ponto de acesso a ApR	Edifício de Exploração	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Existe na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. Ainda para mais num edifício principal onde são muito mais vigiados e não há pontos de acesso a ApR no interior.	3

Tabela I.3 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para os trabalhadores da ETAR na ETAR e respetivos fatores de importância.

Recetores	Vias de Exposição			Cenários de Exposição					fi ponderado	
	Identificação das Vias de Exposição	Tipos de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Identificação de Cenários de Exposição	Localização de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Probabilidade	Justificação		
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida durante a lavagem de equipamentos	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	2	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. Por outro lado, a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada num ponto de acesso a ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	1	É muito pouco provável que um Trabalhador da ETAR ingira propositadamente água residual tratada devido ao conhecimento dos riscos associados a esta. Existem na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. Os trabalhadores da ETAR têm igualmente acesso a outros reservatórios de água residual (bruta e de água de serviço) e nunca ocorreu a ingestão propositada ou inadvertida da mesma.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão devido a contacto com objetos/superfícies molhadas com ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	2	Apesar da existência de EPIs e os trabalhadores conhecerem os riscos associados às águas residuais, é uma situação que pode ocorrer. Exemplo: Os trabalhadores podem não se ter apercebido que tiveram em contacto com ApR e não efetuar a lavagem das mãos regularmente.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido a contacto com vegetação molhada com ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	1	É uma situação com pouca possibilidade de ocorrer uma vez que o trabalhador não se encontra numa zona de jardim.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada de solo, vegetação e raízes molhadas com ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	1	Difícilmente esta situação ocorrerá, sendo a probabilidade de ingestão de solo, vegetação/raízes muito baixa principalmente numa ETAR sendo mais improvável quando se fala de um trabalhador que está no edifício de tratamento não estando diretamente em contacto com vegetação.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	2	Os trabalhadores da ETAR conhecem o sistema, têm formação sobre os riscos associados a uma água residual tratada e na ETAR existem pontos de acesso a água potável identificados, pelo que se considera muito improvável que ocorra ingestão direta de ApR. Os trabalhadores da ETAR têm igualmente acesso a outros reservatórios de água residual (bruta e de água de serviço) e nunca ocorreu a ingestão propositada ou inadvertida da mesma.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR (fugas, transbordos...)	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	2	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. Por outro lado, a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a possibilidade de ocorrência deste cenário.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	2	Apesar de todos os trabalhadores utilizarem EPIs e conhecerem os riscos associados às águas residuais há sempre a possibilidade de entrarem em contacto uns com os outros sem terem efetuado a limpeza das partes que estiverem em contacto com ApR.	6
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. Por outro lado, a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a possibilidade de ocorrência deste cenário.	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção por contacto com objetos/superfícies molhadas por ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Configuração do sistema e a manutenção dos equipamentos e acessórios associados ao sistema de produção reduzem a ocorrência desta situação/cenário. Por outro lado, os trabalhadores conhecem os riscos associados às águas residuais, existindo fardamento e calçado do trabalho e banheiros com duche e separação das zonas sujas das zonas limpas com cacifos diferenciados para a roupa.	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida por contacto com solo, vegetação e raízes	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não vegetação dentro dos edifícios de tratamento.	3
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado com solo, vegetação e raízes	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não vegetação dentro dos edifícios de tratamento.	3
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Esta situação poderá ocorrer, caso por exemplo não haja pontos de acesso a água potável.	6
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	3	Apesar de todos os trabalhadores utilizarem EPIs e conhecerem os riscos associados às águas residuais há sempre a possibilidade de entrarem em contacto uns com os outros sem terem efetuado a limpeza das partes que estiverem em contacto com ApR.	5
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida durante a lavagem de equipamentos com ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. No entanto na lavagem de equipamento há muita facilidade de a ApR entrar em contacto com alguma parte do corpo do trabalhador.	6
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado num ponto de acesso a ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Existência de uma torneira que permite o fácil acesso à ApR (e.g. lavagem de mãos ou ferramentas)	6

Tabela I.4 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para as partes externas da ETAR na ETAR e respetivos fatores de importância.

Receptores	Vias de Exposição			Cenários de Exposição						
	Identificação das Vias de Exposição	Tipos de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Identificação de Cenários de Exposição	Localização de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Probabilidade	Justificação	fi ponderado	
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida durante a lavagem de equipamentos	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	2	É pouco provável que aconteça pois esta ação é levada com cuidado pelos trabalhadores da ETAR. No entanto há sempre possibilidade de ocorrer	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada num ponto de acesso a ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	1	Existe na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. Ainda para mais num edifício de tratamento onde são muito mais vigiados e há regras mais restritas	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão devido a contacto com objetos/superfícies molhadas com ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	3	Apesar de serem informados que devem sempre lavar as mãos ou outra parte do corpo que entre em contacto com alguma coisa na ETAR nem sempre as visitas/prestadores se servem de serviço seguem as normas. Sendo relativamente fácil serem contaminados com ApR.	7
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido a contacto com vegetação molhada com ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	1	É uma situação com pouca possibilidade de ocorrer uma vez que não se encontram numa zona de jardim.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada de solo, vegetação e raízes molhadas com ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	1	Difícilmente esta situação ocorrerá, sendo a probabilidade de ingestão de solo, vegetação/raízes muito baixa principalmente numa ETAR sendo mais improvável quando se passa num edifício de tratamento não estando diretamente em contacto com vegetação.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	3	Apesar das visitas/ prestadores de serviços serem informados sobre os possíveis riscos de uma ETAR há uma boa probabilidade de não saberem muito sobre ApR.	7
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido a deficiências operacionais nos sistemas de armazenamento de ApR (fugas, transbordos...)	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	2	É pouco provável que haja uma falha durante o dia da visita prestador de serviço vão à ETAR. Por outro lado a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. No entanto há sempre uma probabilidade de ocorrer.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	ETAR Gaia Litoral	Via de infeção demonstrada	9	1	É pouco provável que uma visita ou prestador de serviço entre em contacto com os trabalhadores numa zona de serviço como o edifício de tratamento.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	É pouco provável que haja uma falha durante o dia da visita prestador de serviço vão à ETAR. Por outro lado a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. No entanto há sempre uma probabilidade de ocorrer.	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção por contacto com objetos/superfícies molhadas por ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Apesar de serem informados que devem sempre lavar as mãos ou outra parte do corpo que entre em contacto com alguma coisa na ETAR nem sempre as visitas/prestadores se servem de serviço seguem as normas. Sendo relativamente fácil serem contaminados com ApR.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida por contacto com solo, vegetação e raízes	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não há vegetação dentro dos edifícios de tratamento, apenas no exterior.	3
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado com solo, vegetação e raízes	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	Muito pouco provável de ocorrer sendo que não há vegetação dentro dos edifícios de tratamento, apenas no exterior.	3
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Apesar das visitas/ prestadores de serviços serem informados sobre os possíveis riscos de uma ETAR há uma boa probabilidade de não saberem muito sobre ApR.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	É pouco provável que uma visita ou prestador de serviço entre em contacto com os trabalhadores numa zona de serviço como o edifício de tratamento.	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida durante a lavagem de equipamentos com ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	É pouco provável que aconteça pois esta ação é levada com cuidado pelos trabalhadores da ETAR. No entanto há sempre possibilidade de ocorrer	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado num ponto de acesso a ApR	ETAR Gaia Litoral	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Existe na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. Ainda para mais num edifício de tratamento onde são muito mais vigiados e há regras mais restritas	4

Tabela I.5 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para os trabalhadores da ETAR nos jardins e zona envolvente e respetivos fatores de importância.

Recetores	Vias de Exposição			Cenários de Exposição						
	Identificação das Vias de Exposição	Tipos de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Identificação de Cenários de Exposição	Localização de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Probabilidade	Justificação	fi ponderado	
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida durante a lavagem de equipamentos	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. Por outro lado, a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada num ponto de acesso a ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	1	É muito pouco provável que um Trabalhador da ETAR ingira propositadamente água residual tratada devido ao conhecimento dos riscos associados a esta. Existem na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. Os trabalhadores da ETAR têm igualmente acesso a outros reservatórios de água residual (bruta e de água de serviço) e nunca ocorreu a ingestão propositada ou inadvertida da mesma.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão devido a contacto com objetos/superfícies molhadas com ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	Apesar da existência de EPIs e os trabalhadores conhecerem os riscos associados às águas residuais, é uma situação que pode ocorrer. Exemplo: Os trabalhadores podem não se ter apercebido que tiveram em contacto com ApR e não efetuar a lavagem das mãos regularmente	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido a contacto com vegetação molhada com ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	3	É uma situação com uma boa chance de ocorrer, apesar da existência de EPIs e os trabalhadores conhecerem os riscos associados às águas residuais.	7
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada de solo, vegetação e raízes molhadas com ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	1	Difícilmente esta situação ocorrerá, sendo a probabilidade de ingestão de solo, vegetação/raízes muito baixa principalmente numa ETAR onde os trabalhadores estão cientes dos associados.	5
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	Os trabalhadores da ETAR conhecem o sistema, têm formação sobre os riscos associados a uma água residual tratada e na ETAR existem pontos de acesso a água potável identificados, pelo que se considera muito improvável que ocorra ingestão direta de ApR. Os trabalhadores da ETAR têm igualmente acesso a outros reservatórios de água residual (bruta e de água de serviço) e nunca ocorreu a ingestão propositada ou inadvertida da mesma.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR (fugas, transbordos...)	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. Por outro lado, a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário.	6
Trabalhadores da ETAR	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	3	Apesar de todos os trabalhadores utilizarem EPIs e conhecerem os riscos associados às águas residuais há sempre a possibilidade de entrarem em contacto uns com os outros sem terem efetuado a limpeza das partes que estiveram em contacto com ApR	7
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. Por outro lado, a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário.	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção por contacto com objetos/superfícies molhadas por ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Configuração do sistema e a manutenção dos equipamentos e acessórios associados ao sistema de produção reduzem a ocorrência desta situação/cenário. Por outro lado, os trabalhadores conhecem os riscos associados às águas residuais, existindo fardamento e calçado do trabalho e balneários com duche e separação das zonas sujas das zonas limpas com cacifos diferenciados para a roupa.	4
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida por contacto com solo, vegetação e raízes	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Apesar da existência de EPIs, é uma situação que pode ocorrer. Por exemplo numa fuga sem que o trabalhador dê conta de que o jardim foi molhado com ApR	6
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado com solo, vegetação e raízes	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	É muito pouco provável que um Trabalhador da ETAR entre em contacto propositadamente com vegetação regada com ApR devido ao conhecimento dos riscos associados a esta.	3
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Esta situação poderá ocorrer, caso por exemplo não haja pontos de acesso a água potável	6
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	3	Apesar de todos os trabalhadores utilizarem EPIs e conhecerem os riscos associados às águas residuais há sempre a possibilidade de entrarem em contacto uns com os outros sem terem efetuado a limpeza das partes que estiveram em contacto com ApR	5
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida durante a lavagem de equipamentos com ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Os Trabalhadores da ETAR utilizam EPIs e conhecem também os riscos associados às águas residuais. No entanto na lavagem de equipamento há muita facilidade de a ApR entrar em contacto com alguma parte do corpo do trabalhador	6
Trabalhadores da ETAR	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado num ponto de acesso a ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Existência de uma torneira que permite o fácil acesso à ApR (e.g. lavagem de mãos ou ferramentas)	6

Tabela I.6 – Vias de exposição e cenários de exposição identificados para as partes externas da ETAR nos jardins e zona envolvente e respetivos fatores de importância.

Recetores	Vias de Exposição			Cenários de Exposição						fi ponderado
	Identificação das Vias de Exposição	Tipos de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Identificação de Cenários de Exposição	Localização de Exposição	Fatores de Importância (fi)	Probabilidade	Justificação		
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida durante a lavagem de equipamentos	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	É pouco provável que aconteça pois esta ação é levada com cuidado pelos trabalhadores da ETAR. No entanto há sempre possibilidade de ocorrer.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada num ponto de acesso a ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	Existe na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. No entanto a ETAR tem vários pontos exteriores de acesso a ApR o que aumenta o risco.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão devido a contacto com objetos/superfícies molhadas com ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	3	Apesar de serem informados que devem sempre lavar as mãos ou outra parte do corpo que entre em contacto com alguma coisa na ETAR nem sempre as visitas/prestadores de serviço seguem as normas. Sendo relativamente fácil serem contaminados com ApR.	7
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido a contacto com vegetação molhada com ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	3	É uma situação com alta possibilidade de ocorrer uma vez que os jardins não têm barreiras que não permitam as visitas/prestadores de serviços aceder a estes.	7
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão propositada de solo, vegetação e raízes molhadas com ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	Difícilmente esta situação ocorrerá, sendo a probabilidade de ingestão de solo, vegetação/raízes muito baixa principalmente numa ETAR, no entanto nem sempre sabemos como pessoas de fora reagem às situações.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	3	Apesar das visitas/prestadores de serviços serem informados sobre os possíveis riscos de uma ETAR há uma boa probabilidade de não saberem muito sobre ApR.	7
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão direta	9	Ingestão inadvertida devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR (fugas, transbordo...)	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	2	É pouco provável que haja uma falha durante o dia da visita prestador de serviço vão à ETAR. Por outro lado a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. No entanto há sempre uma probabilidade de ocorrer.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Ingestão	Ingestão indireta	9	Ingestão inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	Jardins e zona envolvente	Via de infeção demonstrada	9	1	É pouco provável que uma visita ou prestador de serviço entre em contacto com os trabalhadores principalmente em áreas de trabalho.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido a deficiências operacionais nos sistemas de transporte e armazenamento de ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	É pouco provável que haja uma falha durante o dia da visita prestador de serviço vão à ETAR. Por outro lado a configuração do sistema de produção e a realização de manutenção dos equipamentos e acessórios reduz a ocorrência deste cenário. No entanto há sempre uma probabilidade de ocorrer.	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção por contacto com objetos/superfícies molhadas por ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Apesar de serem informados que devem sempre lavar as mãos ou outra parte do corpo que entre em contacto com alguma coisa na ETAR nem sempre as visitas/prestadores de serviço seguem as normas. Sendo relativamente fácil serem contaminados com ApR.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida por contacto com solo, vegetação e raízes	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	3	É uma situação com alta possibilidade de ocorrer uma vez que os jardins não têm barreiras que não permitam as visitas/prestadores de serviços aceder a estes.	5
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado com solo, vegetação e raízes	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	Difícilmente esta situação ocorrerá, sendo a probabilidade de contacto com solo, vegetação/raízes sabendo que foi regado com ApR muito baixa principalmente numa ETAR, no entanto nem sempre sabemos como pessoas de fora reagem às situações.	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto inadvertido devido à informação inadequada relativamente aos usos permitidos	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	4	Apesar das visitas/prestadores de serviços serem informados sobre os possíveis riscos de uma ETAR há uma boa probabilidade de não saberem muito sobre ApR.	6
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção indireta	3	Adsorção inadvertida devido ao contacto com outros trabalhadores expostos à ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	1	É pouco provável que uma visita ou prestador de serviço entre em contacto com os trabalhadores numa zona de trabalho.	3
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção inadvertida durante a lavagem de equipamentos com ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	2	É pouco provável que aconteça pois esta ação é levada com cuidado pelos trabalhadores da ETAR. No entanto há sempre possibilidade de ocorrer	4
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Adsorção	Adsorção direta	3	Adsorção por contacto propositado num ponto de acesso a ApR	Jardins e zona envolvente	Eventual via de infeção (possíveis casos de contaminação)	5	3	Existe na ETAR pontos de acesso a água potável devidamente identificados, pelo que o recurso a ApR também é muito improvável. No entanto também existem muitos pontos de acesso a ApR pelo exterior da ETAR.	5

Tabela I.7 – Barreiras e informação usada para o cálculo do dano para os dois recetores identificados.

Barreiras				Dano		
Recetores	Barreiras Implantadas	Aplicação	Nº de barreiras equivalentes	Probabilidade de falha na barreira	Severidade do dano	Dano parcial (di)
Trabalhadores da ETAR	Sinalização de ApR	Ao longo de todo o esquema de reutilização	1	1	5	3
	Formação sobre agentes biológicos	Produção e aplicação de ApR	1	1	5	3
	Utilização de EPIs (luvas proteção, máscaras de proteção, fardamento, botas de protecção)	Durante a produção e aplicação	1	1	5	3
	Interrupção da produção de ApR	Cessação de rega	1	1	5	3
	Interrupção da entrega de ApR	Cessação de rega	1	1	5	3
	Interrupção da aplicação de ApR	Cessação de rega	1	1	5	3
	Sinalização de água imprópria para consumo	Ao longo de todo o esquema de reutilização	1	1	5	3
Visitantes / prestador de serviços / entidades externas	Sinalização de ApR	Ao longo de todo o esquema de reutilização	1	1	5	3
	Sinalização de água imprópria para consumo	Ao longo de todo o esquema de reutilização	1	1	5	3
	Formações sobre a ETAR	Durante a presença na ETAR	1	1	5	3
	Interrupção da aplicação de ApR	Cessação de rega	1	1	5	3
	Controlo de acesso à área regada	Rega noturna	1	2	3	4

## Anexo II

Tabela II.1 – Informação usada para o cálculo do dano global nos recursos hídricos.

Recetores	Vias de Exposição	Barreiras Instaladas	nº de cenários de exposição	Factor de importância (fi)	Dano					
					Probabilidade		Severidade		di	Dano
Água subterrânea	Lixiviação para os lençóis freáticos	Ausência de barreiras	1	9	Eventual via de contaminação	3	Massa de água com estado inferior a bom	3	4	0,44
Água subterrânea	Infiltração para os lençóis freáticos	Ausência de barreiras	1	9	Eventual via de contaminação	3	Massa de água com estado inferior a bom	3	4	



## Anexo III

Tabela III.1 – Normas de qualidade de água para reutilização para rega (Presidência do Conselho de Ministros, 2019).

Classe de qualidade (*)	CBO <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Ovos de parasitas intestinais (Nº/L) (†)	Azoto amoniacal (‡) (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	Azoto total (‡) (mg N/L)	Fósforo total (‡) (mg P/L)
A . . . . .	≤10	≤10	≤5	≤10		10	15	5
B . . . . .	≤25	≤35		≤100				
C . . . . .	≤25	≤35		≤1000	≤1			
D . . . . .	≤25	≤35		≤10000	≤1			
E (‡) . . . . .	≤40	≤60		≤10000				

(\*) Descrição no Quadro 2.

(†) Aplicável na rega de culturas agrícolas destinadas ao consumo animal.

(‡) Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega.

(§) Só aplicável a sistemas descentralizados ou descentralizados em simbiose.

Tabela III.2 – Normas de qualidade de água para usos urbanos e usos paisagísticos (Presidência do Conselho de Ministros, 2019).

Parâmetro	Suporte de ecossistemas	Usos recreativos, de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas (†)	Água de combate a incêndios (†)	Águas de arrefecimento	Autoclismos (†)	Lavagem de veículos (†)(‡)
pH . . . . .	Adeterminar caso-a-caso em função do estado ecológico e respetivos parâmetros de suporte.	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,5 a 8,5 (‡)	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
CBO <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> ) . . . . .		≤25	≤25	≤25	≤25	≤25	
Turvação (NTU) . . . . .		≤5		≤5		≤5	≤5
Azoto amoniacal (mgNH <sub>4</sub> /L).		≤5			≤5 ≤1 (na presença de cobre)	≤10	
P <sub>total</sub> (mg/L) . . . . .		≤2 (‡)					
E. coli (ufc/100 mL) . . . . .		≤10		≤10	≤200	≤10	≤10

(†) As vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega.

(‡) Pode ocorrer crescimento microbiano a valores superiores ou inferiores a esta gama de pH.

(§) Quando utilizado em locais sujeitos à ocorrência de eutrofização (e.g., lagos urbanos, fontes).

(¶) Em função das especificidades de aplicação das ApR poderão ser controlados alguns metais e compostos iónicos, tais como ferro, manganês, cloretos, sulfatos, alcalinidade e sílica, para minimização da ocorrência de calcificação ou corrosão dos sistemas de armazenagem e distribuição de água.

(\*) Em sistemas de lavagem manual a alta pressão, as vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega.

Tabela III.3 – Normas de qualidade de água para reutilização em uso industrial (Presidência do Conselho de Ministros, 2019).

Classe de qualidade	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)
Em circuitos com risco direto de ingestão (incluindo ingestão acidental, e.g., gotículas) e contacto dérmico . . . . .	≤5	≤10
Em circuitos com risco direto de contacto dérmico . . . . .		≤1000



## Anexo IV

Tabela IV.4 – Local de amostragem, parâmetros a ser monitorizados e periodicidade dos mesmos.

Parâmetros	Ponto de amostragem		
	Entrada da etapa terciária	Saída das lâmpadas de UV	Saída do reservatório de ApR
CBO <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	Semanal	-	Semanal
SST (mg/L)	Semanal	Semanal	Semanal
<i>E. coli</i> (ufc/100 mL)	-	Semanal	Semanal
Turvação	-	Em contínuo	Em contínuo
CQO	Semanal	-	-