

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vanda Maria Pereira Sampaio

Aplicação da Metodologia Semi-quantitativa de Avaliação do Risco Microbiológico para a Reutilização de Água num Campo de Golfe



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vanda Maria Pereira Sampaio

**Aplicação da Metodologia Semi-quantitativa
de Avaliação do Risco Microbiológico para a
Reutilização de Água num Campo de Golfe**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil
Hidráulica e Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação da
**Professora Doutora Maria Manuela Carvalho de Lemos
Lima**
e da
**Professora Doutora Ana Silvia Pereira Santos –
Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

junho de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicado.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositórioUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Antes de mais, gostaria de deixar o meu mais sincero agradecimento a todos aqueles que permitiram que a presente dissertação e o realizar de um sonho fosse possível.

Um profundo agradecimento às minhas orientadoras Professora Doutora Manuela Lima e Professora Doutora Ana Sílvia, por toda a disponibilidade, por todo o cuidado e delicadeza e por todos os conselhos indispensáveis fornecidos durante estes últimos meses. Trago comigo uma enorme gratidão por ter tido vocês no meu caminho.

Aos melhores pais e irmão do mundo por todo o apoio incondicional, por todo o amor e confiança que me transmitem desde sempre. Um obrigado por terem iluminado o meu caminho e não me deixarem descurar dos verdadeiros objetivos. Tenho um enorme orgulho por vos ter comigo e da cumplicidade que existe entre nós, inexplicável. Um enorme obrigado.

Ao Jorge, por ter sido o meu pilar durante estes cinco anos. Sem ti, este caminho não era possível. Foste o grande incentivador para eu nunca baixar os braços perante as dificuldades. Tenho um privilégio enorme por te ter conhecido. És uma força da natureza que eu espero ter presente na minha vida, hoje e sempre. Um profundo obrigado!

Ao Francisco e ao Gustavo por toda a amizade, companheirismo e por todos os momentos que tivemos oportunidade de partilhar. São, sem dúvida, pessoas que quero levar para a minha vida. Um muito obrigado!

À Sandra, por todos os momentos vividos. Fomos a companhia uma da outra ao longo destes cinco anos. Nunca esquecerei o apoio que representaste para mim. Um muito obrigado!

Às minhas primas do coração por todo o apoio incondicional: Maria João e Rute. Vocês são muito especiais para mim.

Ao Tiago, à Joana e à Ana, os meus amigos da minha cidade natal, que sempre estiveram presentes e me apoiaram nesta jornada.... Um sincero obrigado!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A água é um dos recursos mais valiosos do mundo e embora esteja em constante renovação, a água doce é limitada. Torna-se um recurso ameaçado devido às alterações climáticas e à escassez assim originada, aliado ao rápido crescimento populacional e ao seu desperdício que, por vezes, é incontável. Esta situação resulta em graves consequências ambientais, sociais e económicas. Nesse sentido, há a necessidade de encontrar novas fontes alternativas de água. A reutilização de água com origem em águas residuais tratadas enquadra-se neste tipo de solução pois reduz as necessidades de captação e reforça a recuperação de nutrientes.

Nesta dissertação apresenta-se uma revisão bibliográfica da reutilização de água, abordando todos os conceitos teóricos imprescindíveis ao seu estudo, elucida-se à sua importância, e abordam-se as possíveis aplicações para a utilização de água residual tratada, com principal interesse para usos não potáveis.

A problemática da água para reutilização é desenvolvida nesta dissertação, com principal interesse em campos de golfe. Através da exposição dos efeitos positivos e negativos nos âmbitos social, ambiental e económico, associadas à utilização de água residual tratada, é aplicada uma metodologia semi-quantitativa de avaliação do risco microbiológico relativamente à saúde pública, num Campo de Golfe, na cidade de Amarante, Porto-Portugal. Primeiramente, recorreu-se a uma avaliação da área em estudo adotando algumas características genéricas, de modo, a obter a estimativa do risco microbiológico para diferentes recetores e o risco global. O risco global foi de 5,43 e os riscos por recetores variaram entre 3,92 e 6,37; todos classificados como um nível do risco aceitável. Após estes resultados, foram propostas reavaliações, alterando as barreiras e o dano, com o intuito de minimizar o risco global. Dessa forma, conclui-se que o estudo apresenta uma excelente ferramenta técnica de decisão, que permite avaliar vantagens e desvantagens envolvidas às barreiras e risco estimado.

Palavras-Chave: Água para Reutilização, avaliação do risco, campo de golfe, metodologia semi-quantitativa, saúde pública.

ABSTRACT

Water is one of the most valuable resources in the world and although it is constantly renewing, freshwater is limited. It becomes a threatened resource due to climate change and droughts that this causes in the environment, coupled with rapid population growth and its waste that is sometimes uncontrollable. This situation has serious environmental, social and economic consequences. In this sense, there is a need to find new alternatives for water sources. The water reuse with origin in treated wastewater is part of this kind of solution, as it reduces the collection needs and reinforces the recovery of nutrients.

This dissertation presents a bibliographic review of water reuse, addressing all the theoretical concepts essential to its study, elucidating its importance, and addressing the possible applications for the use of treated wastewater, with the main interest for nonpotable uses.

The problem of water reuse is addressed with the main interest in golf courses. Through the exposure of the positive and negative effects in the social, environmental, and economic, associated with the use of treated wastewater, a semi-quantitative methodology of microbiological risk assessment about public health is applied, in a Golf Course, in the city of Amarante, Porto-Portugal. Previously, a first assessment of the study area was used, adopting some generic characteristics, to obtain the microbiological risk for the different receptors and the global risk. The overall risk was 5,43 and the risk per receptor varied between 3,92 and 6,37; all classified as an acceptable level of risk. After these results, revaluations, changing the barriers and the damage, were proposed to minimize these values. Thus, it is concluded that the study presents an excellent technical decision tool, which allows evaluating advantages and disadvantages involved in the barriers and estimated risk.

Keywords: Water Reuse, risk assessment, golf course, semi-quantitative methodology, public health.

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de tabelas	xi
Lista de Abreviaturas/Siglas	xiii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia	3
1.4 Estrutura da dissertação	4
2. Água para reutilização	5
2.1 Importância da reutilização	5
2.2 Tipos e aplicações de ApR	7
2.2.1 Destaque para o Golfe	10
2.3 Potencialidades, benefícios e riscos associados à ApR	12
2.4 Esquemas de tratamento associados à reutilização	15
2.5 Panorama mundial	25
3. Avaliação do risco	32
3.1 Fases da avaliação de um projeto de reutilização	32
3.2 Identificação de perigos	35

3.3	Identificação das vias de exposição	36
3.4	Identificação dos cenários de exposição.....	36
3.5	Determinação do dano.....	37
3.6	Avaliação do risco.....	38
3.7	Revisão de metodologias existentes.....	39
3.7.1	Localização das metodologias de gestão e análise do risco existentes.....	39
3.7.2	Tratamento atual das ETAR	40
3.7.3	Qualidade do efluente tratado	43
3.7.4	Sistema de rega atual.....	47
3.7.5	Apreciação económica relativamente aos tratamentos adicionais propostos	47
3.7.6	Sinalização e medidas de proteção da área envolvente	48
3.8	Vantagens e desvantagens.....	50
4.	Aceitação Social	54
5.	Caso de Estudo: Aplicação da Metodologia Semi-quantitativa do Risco Microbiológico para Utilização de ApR no Campo de Golfe de Amarante	58
5.1	Localização e características gerais da área de estudo.....	58
5.2	Aplicação da MSqRM	60
5.2.1	Aplicação da MSqRM (Identificação do Perigo).....	62
5.2.2	Aplicação da MSqRM (Vulnerabilidade de cada recetor)	63
5.2.3	Aplicação da MSqRM (Dano)	68
5.2.4	Aplicação da MSqRM (Estimativa do Risco)	71
5.2.5	Reavaliações iterativas.....	75
5.2.6	Conclusões das reavaliações do risco	83

6. Conclusão.....	87
6.1 Recomendações	88
Referências Bibliográficas	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção população mundial (USEPA, 2004)	6
Figura 2 - Tipos de tratamento associados ao nível tratamento de ApR (Adaptado de Pettygrove e Asano, 1987; EWA e APESB, 1998)	17
Figura 3 - Processo de lamas (Lima, 2019).....	19
Figura 4 - Classificação dos filtros	23
Figura 5 - Tipos de processos por membranas (Adaptado de Duarte, 2019).....	25
Figura 6 – Desenho esquemático sobre os principais passos envolvidos na avaliação do risco à saúde humana.....	33
Figura 7 – Contexto da Avaliação do risco (APA, 2019).....	34
Figura 8 - Obtenção do valor do risco (APA, 2019).....	39
Figura 9 - Parque Tejo (Guia da Cidade, 2018).	39
Figura 10 – Parque da Paz (Google imagens)	40
Figura 11 - Imagens google earth das áreas em estudo	40
Figura 12 - Processos de tratamento do Parque Tejo e do Parque da Paz (Adaptado de Catarino, 2018; Santos, 2008).	41
Figura 13 - Equipamento UVSONUS (Catarino, 2018).	44
Figura 14 - Esquema de tratamento com a adição do novo equipamento (Catarino, 2018).....	45
Figura 15 – Cenário 1 (Santos, 2008).	45
Figura 16 - Cenário 2 (Santos, 2008).....	46
Figura 17 – Cenário 3 (Santos, 2008).....	46
Figura 18 – Exemplo de simbologia de identificação de rega com restrições de acesso (APA, 2019).	48
Figura 19 - Exemplos de etiquetas (Santos, 2008).....	49
Figura 20 - Acessórios de rega e tampas de caixa de rega com ApR (Santos, 2008).....	50
Figura 21 - Reservatório elevado proposto nas proximidades do Parque da Paz (Santos, 2008).53	
Figura 22 – Exemplo de um programa de participação pública para o planeamento de um sistema de ApR (Adaptado de USEPA, 2004).	56

Figura 23 – Mapa de localização do campo de golfe de Amarante, objeto do presente caso de estudo (Google Maps).....	58
Figura 24 – Desenho esquemático do campo de golfe com destaque para a localização dos 18 buracos e demais espaços do paisagismo (Website oficial do campo de golfe).....	59
Figura 25 – Campo de golfe	60
Figura 26 – Etapas para alcançar o resultado de avaliação do risco e respectivas reavaliações...	62
Figura 27 – Fluxograma com destaque para a identificação do perigo.....	62
Figura 28 – Fluxograma com destaque para obtenção da vulnerabilidade pelos diferentes recetores	63
Figura 29 – Principais intervenientes no campo de golfe.....	64
Figura 30 – Fluxograma com destaque obtenção do dano	68
Figura 31 – Matriz de determinação do dano (APA, 2019).	69
Figura 32 – Matriz de determinação dos danos seguida da priorização (APA, 2019; Rebelo 2018).	70
Figura 33 – Fluxograma com destaque para obtenção do risco para cada recetor	71
Figura 34 – Fluxograma com destaque para a obtenção do risco global	72
Figura 35 – Fluxograma com destaque para as reavaliações iterativas	75
Figura 36 – Barreiras da reavaliação 1.....	76
Figura 37 – Barreiras da reavaliação 2.....	77
Figura 38 – Barreiras da reavaliação 3.....	79
Figura 39 – Barreiras da reavaliação 4.....	80
Figura 40 – Barreiras da reavaliação 5.....	82
Figura 41 – Barreiras da sugestão da reavaliação	85

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características que afetam a qualidade da água para rega de campos de golfe (Adaptado de Pettygrove e Asano, 1987; Pereira, 2009; ERSAR, 2010).....	12
Tabela 2 - Benefícios ambientais, sociais e económicos associados à ApR (Adaptado de Asano, 2015; Catarino, 2018; WHO, 2016; Santos, 2008).....	14
Tabela 3 - Níveis de perigo em função do tipo de tratamento e pelos valores da <i>E.coli</i>	16
Tabela 4 - Microrganismos patogénicos normalmente encontrados nas águas residuais brutas (in ISO 20426:2018).....	35
Tabela 5 - Tipo de barreiras associado ao número de barreiras equivalentes cada uma (in ISO 16075-2:2015, adaptado de OMS E USEPA).	38
Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos das ETAR em estudo (Adaptado de Catarino, 2018; Santos, 2008).....	43
Tabela 7 - Fatores de avaliação para análise das vantagens e desvantagens de cada parque	50
Tabela 8 – Resumo dos fatores que diminuem e aumentam a aceitação pública nos projetos de ApR (Adaptado de Gomes, 2011)	57
Tabela 9 - Níveis de importância (Saaty 1980)	63
Tabela 10 - Tarefas de cada recetor no campo de golfe em estudo	64
Tabela 11 - Identificação das vias de exposição diretas por recetor	65
Tabela 12 - Fatores de importância correlacionados com os cenários de exposição (APA, 2019; Rebelo, 2018).....	65
Tabela 13 - Fatores de importância aplicáveis a cada via de exposição (APA, 2019).	66
Tabela 14 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário de exposição referente aos trabalhadores.....	67
Tabela 15 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário referente aos jogadores.....	67
Tabela 16 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário de exposição referente aos Visitantes – Crianças e adolescentes	67
Tabela 17 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário de exposição referentes aos Visitantes – Adultos	67

Tabela 18 - Cálculo da vulnerabilidade por cada recetor	68
Tabela 19 - Priorização dos danos (APA, 2019).	70
Tabela 20 - Valores do risco classificados em três níveis	72
Tabela 21 – Resultados do risco para cada recetor e global	73
Tabela 22 – Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo	74
Tabela 23 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 1	76
Tabela 24 - Fatores de importância por cada cenário de exposição pelos diferentes recetores, no caso da reavaliação 2	77
Tabela 25 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 2	78
Tabela 26 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 3	79
Tabela 27 - Fator de importância por cada cenário de exposição dos trabalhadores	80
Tabela 28 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 4	81
Tabela 29 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 5	82
Tabela 30 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação mais completa	85

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

AGWR	Australian Guidelines for Water Recycling
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ApR	Água para Reutilização
AQRM	Análise Quantitativa do Risco Microbiológico
CBO₅	Carência Bioquímica de Oxigénio em cinco dias
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ISO	Organização Internacional para a Normalização
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	potencial Hidrogeniónico
PNA	Plano Nacional da Água
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SEC	Secundário
SST	Sólidos Suspensos Totais
ufc	unidades formadoras de colónias
UV	Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

Nos últimos anos tem-se assistido a um aumento da pressão sobre os recursos hídricos a nível mundial, decorrente do aumento populacional e o crescente consumo de água associado, em particular o resultante do abastecimento público, da produção agrícola e pecuária, da produção industrial, do comércio e diversos serviços da utilização recreativa e desportiva, entre outros (APA, 2019). Muitas comunidades em todo o mundo estão a aproximar-se ou já alcançaram os limites de água disponível. A recuperação e reutilização da água tornaram-se necessárias para conservar e aumentar o abastecimento de água disponível (USEPA, 2004).

Várias são as nomenclaturas empregues para descrever as práticas de reutilização de água. Para facilitar a comunicação associada à recuperação e reutilização de água, é importante estabelecer uma ampla compreensão da terminologia usada. Com o objetivo de obter uma maior aceitação pública no que diz respeito à reutilização da água, no estado da Califórnia, por exemplo, substituiu-se o termo de “água reciclada” para “água recuperada” no Código das Águas (Asano, 2015). A água reciclada é definida como o resultado do tratamento de águas residuais, que pode ser reutilizada para diversos fins. A água recuperada dispõe exatamente da mesma definição, mas por motivos de aceitação pública esta passou a ser uma expressão mais apelidada. No Brasil, por exemplo o termo usado é “esgoto” para caracterizar os efluentes provindos do saneamento. Na língua inglesa usa-se o termo “wastewater” que traduzido à letra significa “águas residuais”. Em Portugal, usa-se o termo “águas residuais tratadas”. Todos estes termos causam rejeição pública para a implementação de projetos de reutilização desta água. Ao longo desta dissertação empregar-se-á o termo que a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) evidenciou no seu Guia para a Reutilização de Água para usos não potáveis, denominado de água para reutilização (ApR).

A gestão de água e resíduos, são conceitos que desde há umas décadas começaram a ser utilizadas muito frequentemente. No entanto, desde as primeiras civilizações que estes conceitos eram aplicados, ainda que de uma forma intuitiva e despreocupada. Um exemplo desta gestão é o armazenamento da água da chuva para empregar em períodos

de seca e o aproveitamento do estrume animal para a fertilização dos solos (Angelakis et al., 2018).

A ApR é uma fonte atrativa para rega, nomeadamente, para as necessidades das plantas, contribuindo igualmente para a sua fertilização (Alves, 2008). Dessa forma, em Portugal, dentro dos padrões de rega são assumidos critérios de qualidade para agricultura, jardins públicos ou relvados, campos desportivos e ambientes urbanos, pois para cada tipo de utilização há condições específicas que devem ser garantidas a depender do tipo de rega e cultura (Santos e Vieira, 2020; Alves, 2008). De maneira geral, a ApR pode ser classificada, de acordo com o uso, em potável e não potável. A ApR potável, segundo Angelakis et al. (2018), pode ainda ser classificada como de uso direto ou indireto, sendo que este último se pode designar como planeado ou não planeado (*de facto*). Entre ApR de usos não potáveis, Santos e Vieira (2020) identificam as águas para reutilização em rega (paisagística e agrícola), para aquicultura, para aplicação industrial e a nível urbano. Os usos urbanos não potáveis, tais como proteção contra incêndio; sistemas de arrefecimento ou climatização; descarga de autoclismos; rega zonas relvadas, jardins, parques públicos e campos de golfe; lavagem de veículos; lavagem de ruas e lavagem em máquinas de lavar roupa, apresentam maior simplicidade de manuseamento e gestão, podendo conferir menor risco de contaminação (Santos e Vieira, 2020).

As maiores dificuldades associadas à ApR residem nos seus custos, na aceitação pública e na gestão do risco para garantir a saúde na população (Duong e Saphores, 2015). A saúde pública é garantida se houver um tratamento adequado, no sentido de remover agentes patogénicos e compostos químicos tóxicos. As águas residuais, mesmo tratadas, contêm ainda alguns microrganismos em concentração tanto mais reduzida quando mais elevado for o nível de tratamento. Para contornar esta situação, deve-se optar por limitar a exposição do público às águas residuais, quer por contacto, inalação ou ingestão da água residual. Surge, assim, a abordagem *fit-for-purpose* (adequado para o fim) que aconselha a implementação de projetos de ApR tendo em conta a qualidade da água para o fim pretendido, certificando a proteção da saúde pública e do ambiente, de modo a que se apliquem custos de forma aceitável e coerente (APA, 2019).

A presente dissertação tem como objetivos a análise da recetividade pública no incremento de projetos de ApR, e no desenvolvimento de um instrumento de avaliação e controlo dos riscos associados aos mesmos para rega do Campo de Golfe, na cidade de

Amarante. Pretende-se melhorar o controlo eficiente do processo de tratamento, assim como, a qualidade da água para rega de campos de golfe. Assim, é desenvolvida uma metodologia semi-quantitativa de avaliação do risco microbiológicos, no contexto de saúde pública, aplicando-a no caso de estudo.

1.2 Objetivos

Um primeiro objetivo passa pela elaboração de um documento, onde se pretende o estudo da sustentabilidade da ApR, baseando-se em orientações e legislação portuguesa, sintetizando as informações mais pertinentes para a implementação de sistemas de ApR, a nível mundial e a sua importância. Consideram-se os esquemas de tratamento para a implementação de projetos de ApR e os critérios de qualidade para rega de campos de golfe.

Um segundo objetivo é a análise da receptividade social na implementação de projetos de ApR.

Um terceiro objetivo que consiste na aplicação de uma metodologia semi-quantitativa de avaliação do risco microbiológico para a implementação de sistemas de ApR para rega num campo de golfe. Este desenvolvimento é aliado igualmente à apresentação de sugestões de reavaliações do risco, com o intuito de identificar alternativas para o tomador de decisão.

1.3 Metodologia

A ApR foi estudada de maneira a possibilitar o desenvolvimento de uma metodologia de reutilização, e orientada inicialmente por uma pesquisa bibliográfica sobre o tema com o fim de atualizar o estado do conhecimento. Esta pesquisa foi efetuada com base em artigos científicos, legislação e documentos públicos.

Abordou-se o tema de avaliação do risco, tendo como base todos os conceitos teóricos, passíveis de aplicação no caso de estudo. Estudaram-se duas metodologias semi-quantitativas, com o objetivo de avaliar os seus prós e contras.

Investigou-se o tema de aceitação social, de forma a identificar os motivos pelas quais os projetos de ApR são e não são aceites pelos utilizadores. Abordou-se também o funcionamento de um programa de participação pública.

Desenvolveu-se uma metodologia semi-quantitativa de avaliação do risco relativamente à saúde pública na utilização de ApR tendo como base a sua aplicação num caso de estudo num campo de golfe, situado na cidade de Amarante, Porto-Portugal.

1.4 Estrutura da dissertação

Para além deste capítulo introdutório onde se apresenta o enquadramento do tema, os objetivos e a metodologia, esta dissertação é constituída por mais cinco capítulos.

No capítulo 2 apresenta-se direcionado para a ApR, contribuindo para o estado do conhecimento abordando a importância da reutilização, os tipos de aplicação da ApR direcionando com principal interesse para a rega de campos de golfe. Identificam-se os riscos e os benefícios, no ponto de vista económico, ambiental e social. Depois de um estudo generalizado, apresentam-se ainda os esquemas de tratamento possíveis para aplicação em ApR e o panorama mundial.

No capítulo 3 direciona-se para a avaliação do risco abordando conceitos teóricos para posteriormente serem aplicados no capítulo 5. Apresenta-se também a análise de duas metodologias semi-quantitativas avaliando as vantagens e desvantagens de cada uma.

O capítulo 4 apresenta-se direcionado para a aceitação pública e os motivos pela qual é ainda um entrave para a implementação de projetos de ApR

No capítulo 5 apresenta-se o caso de estudo caracterizando o local e a área a explorar e, também, todos os cálculos e tabelas necessárias para obter resultados relativamente à metodologia semi-quantitativa de avaliação do risco.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões retiradas da presente dissertação, assim como, recomendações para trabalhos futuros.

Por fim, apresentam-se as referências bibliográficas que foram citadas ao longo deste trabalho.

2. ÁGUA PARA REUTILIZAÇÃO

Este capítulo tem como objetivo remeter ao estudo da água para reutilização. Apresenta-se a importância da reutilização (secção 2.1), os tipos e aplicações de ApR (secção 2.2) com principal destaque para a rega de campos de golfe (subsecção 2.2.1). Relativamente às suas vantagens e inconveniências identificam-se as potencialidades, benefícios e os riscos associados à ApR (secção 2.3) e os esquemas de tratamento empregues a esta prática (secção 2.4). Para se obter um testemunho mundial, apresentam-se as práticas de ApR através de um panorama geral (secção 2.5).

2.1 Importância da reutilização

As águas residuais são um componente crítico do ciclo da água e que precisa de ser gerido ao longo de todo o ciclo: desde a sua captação, tratamento, distribuição, utilização, recolha e pós tratamento para a sua reutilização e retorno final para o ambiente (WWAP, 2017).

Historicamente, a gestão dos recursos hídricos tem estado cada vez mais em voga, concentrando-se no abastecimento da água para o homem pelas diferentes atividades (Asano, 2015). Essa gestão geralmente recebe ainda uma insuficiente atenção social e política, em comparação com as adversidades do abastecimento de água, especialmente no contexto da escassez de água. O objetivo do desenvolvimento e da gestão sustentável dos recursos hídricos é recorrer à utilização da água de forma confiável e equitativa para as gerações atuais e futuras, projetando sistemas adaptáveis, otimizando a eficiência do uso de água contribuindo para a preservação e a restauração de ecossistemas naturais. Outrora a gestão dos recursos hídricos era fundamentado na manipulação do ciclo hidrológico natural com o objetivo de equilibrar a disponibilidade da água pertencente a uma região com base nas suas necessidades sociais e económicas (Asano, 2015). Os recursos hídricos de uma região dependem do seu clima e, também, da eventual afluência de água proveniente de bacias hidrográficas que podem ser conjuntas com outros países (ERSAR, 2010).

A disponibilidade dos recursos hídricos em quantidade e qualidade suficientes não é constante ao longo do ano, proveniente das mudanças climáticas. Por outro lado, o

aumento populacional, os desenvolvimentos industriais e agrícolas acarretam desequilíbrios entre disponibilidade e necessidades de água.

A Figura 1 demonstra a rápida taxa de crescimento da população urbana mundial.

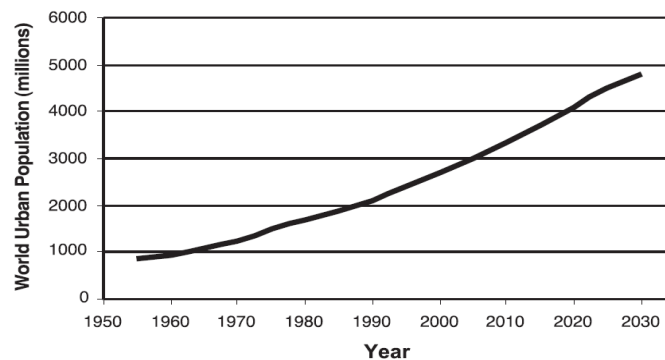


Figura 1 - Projeção população mundial (USEPA, 2004)

Associado ao crescimento populacional e económico, houve um aumento de emissões de gases do efeito de estufa originando o aquecimento global desde meados do século XX (Oliveira, 2019). O ritmo das necessidades de água que são progressivamente maiores, e a sua qualidade cada vez mais rigorosa, em termos de cumprimentos de certos requisitos, sugerem o desenvolvimento de soluções tecnológicas que acompanhem esses fatores (Asano, 2015). Conclui-se que a qualidade e a disponibilidade da água não dependem só da atividade humana, mas também dos impactos meteorológicos.

A reutilização da água é empregue principalmente onde o abastecimento de água disponível já se comprometeu e não é possível corresponder às necessidades crescentes de água numa comunidade em constante crescimento. Além disso, oferece uma alternativa de abastecimento de água que está disponível de forma consistente mesmo durante os anos de seca, para vários usos. À escassez de água, acrescenta-se a degradação dos recursos de água doce resultantes da rejeição inadequada de águas residuais. Por esse motivo, um novo paradigma foi desenvolvido e a gestão dos recursos hídricos está em constante evolução com base nos princípios de sustentabilidade e da ética ambiental (Asano, 2015).

A ApR é vista como uma estratégia para solucionar problemas de carácter ambiental, social e económico, podendo ainda colaborar para a recuperação do estado do ambiente tanto quantitativamente, limitando os volumes de água captados, como qualitativamente, reduzindo as descargas em zonas sensíveis (DRE, 2019). Contrastando com outras fontes de abastecimento de água, como a dessalinização ou a construção de novas barragens, a reutilização de água requer menores custos de investimento e energia.

Contribui ainda para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, possibilita o desenvolvimento de projetos que possam afetar as disponibilidades hídricas, e por fim, reduz os efeitos de escassez e secas (APA, 2019).

Surge, então, a abordagem *fit-for-purpose* que consiste no desenvolvimento de um projeto de reutilização adequado a cada situação, o qual é estabelecido através de normas e Decretos-Lei associado a especificidades locais do ponto de aplicação das águas e das características ambientais tendo em conta o fim a que se destinam (APA, 2019; ISO, 2020). Para além de garantir a qualidade da água adequado ao seu fim, tem como objetivo uma análise do risco, havendo uma identificação de potenciais perigos, cenários de exposição para a saúde e o ambiente de forma a minimizar o seu risco (APA, 2019).

2.2 Tipos e aplicações de ApR

A especificação das águas residuais urbanas foi estabelecida em diferentes grupos de reutilização, que podem-se dividir em direta ou indireta.

A reutilização potável direta consiste numa atividade que exige uma monitorização e a aplicação de tecnologias apropriadas destinadas para cada finalidade de utilização. Por isso, requer um acompanhamento rigoroso da qualidade da água para eliminar os riscos associados à saúde pública, assim como, atender ao cumprimentos dos seus requisitos (WWAP, 2017).

A reutilização potável indireta consiste na descarga da água numa fase do ciclo hidrológico já usada mais que uma vez, nomeadamente em águas superficiais ou subterrâneas, que vão ser empregues para captação de água bruta ou para produção de água para consumo humano. Oferece, portanto, uma opção viável para aumentar outras fontes de água uma vez que se verifica a autodepuração recuperando as suas características e eliminando os poluentes descartados com o efluente. Este tipo de método é muito aplicado (WWAP, 2017). Porém de maneira não planeada (Angelakis et al., 2018).

Na reutilização não potável utiliza-se uma água que não precisa necessariamente de cumprir padrões elevados de qualidade da água. No entanto os riscos relacionados ao contacto direto da água potável com a não potável são uma preocupação. Impõe um valor monetário elevado devido à construção e manutenção de infraestruturas adequadas para manter a água reutilizada potável separada da não potável (WWAP, 2017).

Neste subcapítulo são detalhados os principais tipos de aplicações de ApR, incluindo:

- Reutilização urbana;
- Reutilização industrial;
- Reutilização agrícola;
- Reutilização ambiental e recreativa;
- Recarga de aquíferos.

Os sistemas de reutilização urbana fornecem água recuperada para vários fins não potáveis, nomeadamente, rega de parques públicos, de campos de golfe, pátios escolares, áreas ajardinadas ao redor de edifícios, instalações públicas, cemitérios, autoestradas (USEPA, 2004). Podem ser empregues utilizações em que não exista a necessidade de qualidade de água elevada. A sua maior restrição é a exposição a aerossóis originadas pela rega, por aspersão, a aceitação e a saúde pública (Catarino, 2018).

Os sistemas de reutilização industrial aumentaram substancialmente desde o início dos anos 90, pelas mesmas razões que a reutilização urbana ganhou popularidade, incluindo escassez de água e o crescimento populacional, principalmente em áreas áridas. Por essa razão, aumentou-se a disponibilidade de água reutilizada às indústrias implementando a chegada às linhas de distribuição (USEPA, 2004). Para atender a essa necessidade de água crescente, aumentou-se a disponibilidade de água recuperada para as indústrias para aquecimento/arrefecimento, na lavagem de equipamentos, de pavimentos ou no combate a incêndios (Gomes, 2011). Na Europa, assim como em outras regiões industrializadas do mundo, a água para usos industriais representa uma alta necessidade de água – mais de 50% do uso total de água e superior a 80% em alguns estados-membros. Portanto, a gestão das necessidades de água das indústrias desempenha um papel muito importante na implementação do uso da água e na sua eficiência (Bixio e Wintgens, 2006). As suas maiores restrições são a eventual exposição ao risco de ligação cruzada com a rede de água potável, a formação de aerossóis e ainda o surgimento de incrustações, corrosões e a produção de biofilmes nas tubagens. Pode-se interligar, também, a aceitação e a saúde pública no que diz respeito aos possíveis salpicos de água na elaboração das atividades de lavagem de equipamentos ou de pavimentos (USEPA, 2004).

Os sistemas de reutilização agrícola destacam considerações específicas para a implementação de um programa de reutilização de água para rega agrícola, nomeadamente:

- Exigências da rega agrícola;
- Qualidade da água recuperada;
- Equipamentos de rega;
- Outras considerações do sistema, no que diz respeito à quantidade de alguns elementos, tais como o azoto, o fósforo e o potássio presentes nessa água não deverem exceder as quantidades que satisfaçam as necessidades agronómicas da cultura em questão (USEPA, 2004).

A água residual tratada poderá ser aplicada na rega agrícola para proporcionar água a viveiros de árvores e plantas, proteção contra geadas, em culturas alimentares, forragens, cereais, fibras e silvicultura. O uso de águas residuais para rega de culturas reduz o uso de fertilizantes químicos e é, portanto, uma forma importante de reciclagem de nutrientes. O objetivo desta prática é minimizar ou prevenir a poluição nos rios e conservar água e os nutrientes para uma agricultura melhorada (Bixio e Wintgens, 2006). As suas maiores restrições são a necessidade da formação de zona tampão, exposições a aerossóis originadas pela rega por aspersão e devido ao facto de haver animais a alimentarem-se de plantas regadas com água reutilizada, o que poderá ter implicações na saúde e a aceitação pública (Catarino, 2018).

Os sistemas de reutilização para uso recreativo e ambiental consistem no uso de ApR em massas de águas naturais ou artificiais com o objetivo da prática de atividades de lazer, nomeadamente pesca e desportos náuticos e, também à preservação/desenvolvimento de habitats. Estes sistemas são aplicados para reforço de áreas húmidas, neve artificial de maneira a não ocorrer a toxicidade da vida aquática (USEPA, 2004). Devido a esse motivo é imprescindível haver um controlo da qualidade da água a utilizar para não colocar a vida aquática em risco por causa do contacto com substâncias tóxicas, e não se desenvolver o fenómeno de eutrofização nos rios e lagos (ERSAR, 2010).

Os sistemas de reutilização para a recarga de aquíferos têm como objetivo:

- Estabelecer barreiras de ocupação de água salgada em aquíferos costeiros;
- Fornecer tratamento adicional para reutilização futura;
- Aumentar a quantidade de água potável ou não potável;

- Fornecer armazenamento de água renovada para posterior recuperação e reutilização;
- Controlar ou impedir o rebaixamento do nível freático.

As suas maiores restrições são a eventualidade da contaminação das águas subterrâneas, em consequência de efeitos toxicológicos devido a compostos orgânicos e o aumento do teor de sólidos dissolvidos totais (SDT).

É neste contexto que se torna essencial a implementação de sistemas de ApR nos mais diversos fins, que dependem das especificidades de cada processo e das respetivas necessidades.

A ApR, numa escala global, é mais aplicado no setor agrícola, que consome cerca de 65% de recursos hídricos utilizados (Asano, 2015). De seguida, e por ordem descendente, surgem a rega paisagística (principalmente a destinada a campos de golfe), a reutilização para usos industriais (sobretudo em reciclagem de água de arrefecimento), a recarga de aquíferos, os usos recreativos e ambientais e, por fim, os usos urbanos (ERSAR, 2010).

2.2.1 Destaque para o Golfe

Independentemente do destino da ApR há três princípios que devem ser cumpridos, segundo ERSAR (2010):

- Cumprir os requisitos de qualidade das águas residuais para aplicar na utilização pretendida;
- Salvaguardar a saúde pública;
- Alcançar a aceitação pública.

Frequentemente 70 a 90% da água aplicada é usada para rega agrícola e paisagística (Pettygrove e Asano, 1987). A rega paisagística representa a rega de espaços verdes, como é o caso da rega dos campos de golfe.

Os riscos para a saúde pública relacionados com a rega paisagística são, segundo ERSAR (2010):

- Ligações cruzadas com a rede de água potável;
- Contacto humano com a água de rega devido a plantas e superfícies molhadas.

A qualidade da ApR a ser empregue para rega depende em grande medida da qualidade do abastecimento da água municipal, da natureza dos resíduos adicionados durante o seu uso e do grau de tratamento que as águas residuais receberam (Pettygrove e Asano, 1987).

Em Portugal, observa-se um grande interesse pela ApR para a rega de campos de golfe pois a indústria do turismo é um dos setores económicos que mais se encontra em desenvolvimento (Pereira, 2009). As profundas mudanças que estão a ocorrer na indústria do turismo despertaram o interesse em expandir atividades recreativas alternativas além da recreação aquática costeira (Mujeriego e Sala, 1991). Por essa razão há a necessidade de aumentar o nível de segurança e o controlo dos processos de tratamento para obter uma qualidade do efluente final (Pereira et al., 2010). Em Portugal, o consumo médio anual de rega em campos de golfe de 18 buracos é de 0,3 hm³, valor este que pode duplicar no mês em que haja mais necessidade de rega (ERSAR, 2010).

O método de rega mais comum em campos de golfe é por aspersão. Por esse motivo, deve-se evitar a colmatção dos aspersores (Pereira, 2009). Os sistemas subterrâneos gota-a-gota estão a tornar-se mais populares nomeadamente para *tees* e *greens* devido à alta eficiência de irrigação e, ao facto de o contacto humano ser muito limitado. Os lagos e lagoas podem ser usados para armazenamento de ApR e integrados no campo de golfe para permitir obstáculos desafiadores aos jogadores (Asano, 2015). Para evitar o crescimento de algas nestes lagos e lagoas é necessário proceder ao tratamento terciário. Um inconveniente deste tratamento é a perda de valor fertilizante do efluente a reutilizar (ERSAR, 2010).

Os tipos de relva presentes nos campos de golfe, na sua maioria, são tolerantes à salinidade até 3 dS/m. Apesar de não ser uma característica controversa, deve ser tida em conta pois a relva dos *tees* e dos *greens*, por serem mais pisadas, está sujeita a um grande movimento. Nesses locais, a preservação da relva pode obrigar à instalação de um sistema de drenagem para a prevenção da salinidade do solo (ERSAR, 2010). Deve-se garantir uma conveniente alimentação hídrica de toda a relva de forma a não degradar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Pereira, 2009).

A ApR utilizada na rega de campos de golfe requer um tratamento terciário para garantir que a água seja segura para a saúde dos golfistas devido à alta concentração de indicadores fecais no seu efluente (ERSAR, 2010).

Na Tabela 1 apresentam-se as características que afetam a qualidade da água para rega de campos de golfe.

Tabela 1 - Características que afetam a qualidade da água para rega de campos de golfe (Adaptado de Pettygrove e Asano, 1987; Pereira, 2009; ERSAR, 2010).

Características	Parâmetros de avaliação	Efeito
Sólidos em suspensão	SST	Concentrações de SST podem levar ao desenvolvimento de depósitos de sólidos, condições anaeróbias, reduzir a permeabilidade do solo e provocar a obstrução dos sistemas de rega.
Salinidade, sais inorgânicos dissolvidos	SDT, condutividade elétrica, elementos específicos (e.g. Na, Ca, Mg, Cl, B)	Salinidade excessiva causa danos à cultura. Na, B, Cl podem ser tóxicos para as plantas. O íon Na^+ pode provocar problemas de permeabilidade do solo.
Matéria orgânica biodegradável	CBO, CQO	A decomposição destes compostos pode levar ao consumo da totalidade do oxigênio dissolvido nas águas e ao desenvolvimento de condições sépticas.
Compostos orgânicos refractários	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados)	Apresentam resistência aos métodos convencionais do tratamento de efluentes. Alguns destes compostos são tóxicos para o ambiente e a sua presença pode limitar a utilização da água para rega.
Nutrientes	Azoto, Fósforo e Potássio	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas e a sua presença geralmente encarece o valor da água para rega. Também podem provocar o crescimento de vida aquática indesejável quando aplicados no solo em grandes quantidades. Quando o azoto é descarregado em grandes quantidades pode provocar a poluição das águas subterrâneas.
Atividade hidrogeniônica	pH	O pH das águas residuais afeta a solubilidade dos metais bem como a alcalinidade dos solos. O intervalo normal de pH das águas residuais municipais é de 6,5-8,5, mas os resíduos industriais podem alterar o pH significativamente.
Metais pesados	Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Ni; Zn	Alguns metais pesados acumulam-se no ambiente e são tóxicos para as plantas e para os animais. Podem limitar a aplicação das águas residuais para rega.
Cloro residual	Cl livre, Cl combinado	Quantidade excessiva de cloro livre pode causar queimaduras nas folhas e danificar culturas sensíveis. Como a maior parte de cloro nas ART está na forma combinada não causa danos às culturas. No entanto, existe alguma preocupação no que diz respeito aos efeitos tóxicos dos organoclorados em relação à contaminação das águas subterrâneas.
Microrganismos patogénicos	Organismos indicadores de contaminação fecal e helmintas	Transmissão de doenças.

Legenda: SST (Sólidos Suspensos Totais); SDT (Sólidos Dissolvidos Totais); Na (Sódio); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio); Cl (Cloro); B (Boro); CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio); CQO (Carência Química de Oxigénio); pH (potencial Hidrogeniônico); Cd (Cádmio); Cr (Crómio); Cu (Cobre); Fe (Ferro); Hg (Mercúrio); Ni (Níquel); Zn (Zinco).

2.3 Potencialidades, benefícios e riscos associados à ApR

A reutilização é uma das opções viáveis para a gestão sustentável das águas residuais. Os benefícios da ApR são inúmeros e incluem a redução da pressão sobre os abastecimentos de água doce, minimizando a descarga de efluentes em águas superficiais ou costeiras. O fornecimento e uso de ApR podem desempenhar um papel importante na melhoria do abastecimento de água para uso urbano em muitas partes do mundo com escassez de água. As características desta água dependem da sua fonte, nível de tratamento e localização geográfica. Podem ser classificados de acordo com o seu aspeto físico, químico

e biológico. O aspeto biológico é importante considerar para assimilar os efeitos para a saúde pública. As características físicas e químicas são cruciais para compreender os efeitos ambientais no uso da água residual tratada. Concluindo, é imprescindível ter em atenção o pH (potencial Hidrogeniónico), SDT, salinidade, taxa de adsorção de sódio e metais pesados (Maheshwari et al., 2016).

Em suma, havendo muitos países a aproximarem-se do limite de abastecimento de água disponíveis, a recuperação e a reutilização da água tornou-se uma opção viável segundo (Asano, 2015), em virtude de:

- Substituir a água residual tratada para aplicações que não requerem abastecimentos de água de alta qualidade;
- Aumentar as fontes de água e fornecer uma fonte alternativa de abastecimento para auxiliar no atendimento do presente e do futuro nas necessidades de água;
- Proteger os ecossistemas aquáticos, diminuindo o desvio da água doce, a quantidade de nutrientes e outros contaminantes tóxicos que se introduzem nos cursos de água;
- Reduzir a necessidade de estruturas de controle de água;
- Cumprir as normas ambientais e regulamentos através de uma melhor gestão do consumo de água e das descargas.

Na Tabela 2 apresenta-se os benefícios associados à reutilização de água.

Tabela 2 - Benefícios ambientais, sociais e económicos associados à ApR (Adaptado de Asano, 2015; Catarino, 2018; WHO, 2016; Santos, 2008).

Benefícios ambientais	• Conservação das fontes de água doce, principalmente em zonas com stress hídrico associado, ou seja, locais onde a procura e a oferta dos recursos hídricos entram em discrepância.
	• Gestão de nutrientes que podem levar à degradação ambiental.
	• Maior proteção dos ambientes aquáticos, pela redução direta das cargas poluentes rejeitadas.
	• A ApR contém nutrientes que levam à diminuição da utilização de fertilizantes artificiais na rega de terras agrícolas conduzindo assim para o crescimento da cultura sem prejudicar o meio ambiente.
Benefícios sociais	• O uso de ApR na rega agrícola é benéfico para a saúde pública, pois obriga a um controlo da qualidade mais rigoroso.
	• Em zonas com quantidades reduzidas de água, a reutilização disponibiliza água em quantidade e qualidade suficiente contribuindo para o desenvolvimento económico local.
Benefícios económicos	• A redução da necessidade de construção de infraestruturas para captação e transporte na utilização de recursos hídricos nos grandes centros urbanos.
	• A opção por ApR reduz custos relacionados com a construção de infraestruturas dispendiosas como é o caso das captações de grande profundidade, dessalinização e construção de barragens.
	• Em função das menores variações quantitativas e qualitativas dos efluentes de uma ETAR é possível reduzir custos associados à adoção da ApR para rega industrial e agrícola e em cenários de escassez.

No caso do risco associado à ApR, ressalta-se a relevância do microbiológico para a saúde humana. Nesse sentido, torna-se imprescindível a necessidade da avaliação desse risco, que permite identificar a sua criticidade para a segurança de um projeto de reutilização de água e auxiliar na procura das soluções mais adequadas (APA, 2019). Portanto, o processo de avaliação do risco precisa, de alguma forma, de os classificar ou quantificar em termos de impacto na saúde (WHO, 2016). Assim, o risco microbiológico pode ser obtido através da equação 1, segundo a APA (2019):

$$\text{Risco microbiológico} = \text{Perigo} * \text{Vulnerabilidade} * \text{Dano} \quad \text{Equação 1}$$

Estes conceitos serão apresentados com detalhe no Capítulo 3 – Avaliação do risco.

Além do risco microbiológico associado à ApR ressaltam-se outros. Em relação ao ambiente os poluentes ainda remanescentes na ApR, tais como, microrganismos patogénicos, nutrientes, sólidos, metais, micropoluentes e outros, podem trazer consequências danosas. Para além disto, destacam-se as dificuldades de aceitação do público, os custos de transporte por camião-cisterna ou adução em função das distâncias

entre produtores e utilizadores da ApR, eventual necessidade de otimização da Estação de tratamento de águas residuais (ETAR) para adequação do efluente à exigência requerida para o uso pretendido. Por fim, há que se ter em conta a necessidade de identificação e separação entre as redes de abastecimento de água para consumo humano e de ApR.

2.4 Esquemas de tratamento associados à reutilização

O tratamento e a reutilização das águas residuais tratadas não são conceitos novos, e o conhecimento sobre estes tópicos evoluiu e avançou ao longo da história humana (Angelakis e Snyder, 2015). A tecnologia necessária para a reutilização está razoavelmente bem estabelecida, mas surpreendentemente muitas áreas do mundo carecem de infraestruturas básicas necessárias para recolher e tratar as águas residuais, o que afeta diretamente a possibilidade de implementação de esquemas de ApR (Rensburg, 2016).

O tratamento avançado desempenha um papel fundamental no tratamento eficaz de águas residuais municipais e industriais para atender aos objetivos de qualidade da água para a sua reutilização e proteger a saúde pública. O tratamento avançado e convencional consiste numa combinação de processos físicos, químicos e biológicos com o objetivo de remover sólidos sedimentáveis, suspensos, dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes e agentes patogénicos de águas residuais. No entanto, as oportunidades para adotar inovações tecnológicas são muito maiores para aplicações de ApR, porque esta água terá um valor económico como alternativa de abastecimento de água (Rensburg, 2016).

A qualidade de ApR a ser empregue para regar depende em grande medida da qualidade do abastecimento de água municipal, da natureza dos resíduos adicionados durante o seu uso e do grau de tratamento que as águas residuais receberam (Pettygrove e Asano, 1987).

Hoje, a ApR é usada para quase todos os fins, incluindo a reutilização potável. Na próxima década, uma série de questões e desafios precisarão de ser resolvidas para otimizar a recuperação e a ApR, que segundo Angelakis et al. (2018), incluem:

- Interligar as instalações do tratamento avançado com as instalações da dessalinização da água do mar;

- Desenvolvimento de técnicas e métodos mais eficazes incorporando a avaliação do risco para qualificar os efeitos da saúde pública e ambiental constituintes das águas residuais;
- Desenvolvimento de regulamentos de recuperação e ApR aplicáveis a situações diferentes que ajudam a promover e a regular a reutilização. Com base em estudos recentes, descobriu-se que os usuários de ApR estão principalmente interessados na qualidade ao invés da origem da água.

O princípio básico da ApR é reduzir a incompatibilidade ineficiente entre os recursos hídricos disponíveis e as finalidades específicas do uso da água. Os termos gerais usados para descrever os diferentes graus de tratamento, em ordem crescente do nível de tratamento são: preliminar, primário, secundário (SEC) e terciário/avançado. Devido a considerações de custo, os tratamentos preliminares, primários e secundários são geralmente considerados requisitos de controle da poluição da água. O tratamento adicional necessário para a ApR é normalmente designada como tratamento terciário ou avançado (Mujeriego e Asano, 1999).

Na Tabela 3 são identificados os níveis de perigo em função do tipo de tratamento e os respectivos valores da *E.coli* (*Escherichia Coli*), segundo a APA (2019), ISO (2020) e Rebelo et al. (2020).

Tabela 3 - Níveis de perigo em função do tipo de tratamento e pelos valores da *E.coli*

Tipo de tratamento	Nível	Presença de <i>E. coli</i> (ucf/100/mL)	Classificação (P)
SEC	V	$\geq 10^4$	9
SEC+desinfecção	IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7
Avançado	III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5
SEC+desinfecção+pós-cloragem	II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3
Avançado+pós-cloragem	I	$\leq 10^1$	1

Para esses respectivos níveis apresentam-se na Figura 2 os tipos de tratamento associados ao tratamento de ApR, com base nos requisitos de qualidades apresentados na Tabela 3.

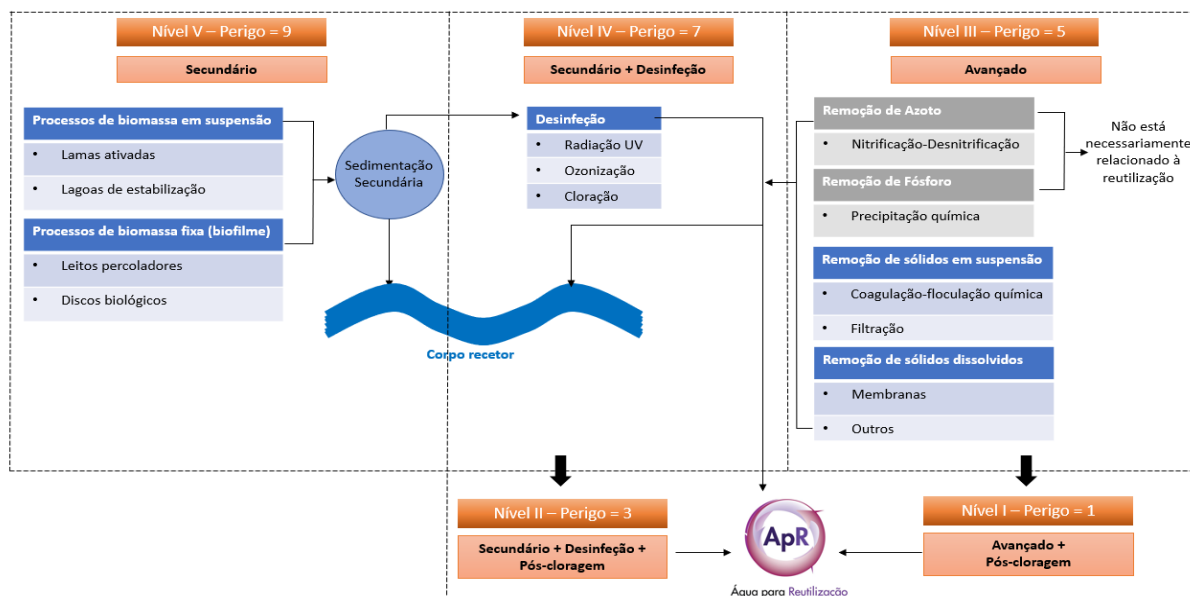


Figura 2 - Tipos de tratamento associados ao nível tratamento de ApR (Adaptado de Pettygrove e Asano, 1987; EWA e APESB, 1998)

A remoção de azoto e fósforo estão em destaque já que não estão necessariamente relacionados com a qualidade da ApR, inclusive em caso de fértil irrigação, o azoto e o fósforo devem permanecer no efluente como insumos para produtividade agrícola.

Os tratamentos preliminares e primários não se incluem na Figura 2 para haver coerência com a tabela dos níveis de perigo. No entanto, e porque são relevantes, para melhor entender o tratamento de águas residuais, abordam-se sucintamente de seguida.

Tratamento preliminar → Inclui as operações de gradagem, desarenamento e desengorduramento. Nesta fase recebem-se sólidos como trapos, ramos de árvores, flutuantes e suspensos, objetos de plástico, metal e outros detritos, areia e gorduras. Estes sólidos podem causar problemas de manutenção ou operacionais nos processos de tratamento. O objetivo desta fase é proteger os processos de tratamento a jusante através da remoção de sólidos de grandes dimensões (Asano, 2015; Pereira, 2009). Este tratamento inicial divide-se em duas fases, segundo EWA e APESB (1998) e Duarte (2019).

- Os sólidos grosseiros são removidos por meios de grades e outros dispositivos levando à separação do material a eliminar;
- Os saibros e as areias são removidos por sedimentação.

Tratamento primário → O principal objetivo desta fase é a remoção de uma parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica das águas residuais. A eficiência da remoção do tratamento primário pode ser fortalecida através de um tratamento de adição de produtos

químicos a montante da sedimentação primária, denominado de coagulação-floculação (Pereira, 2009; Asano, 2015). A sedimentação primária tem como principais objetivos a remoção dos sólidos suspensos do efluente bruto, a matéria orgânica particulada CBO_5 e a produção de um efluente líquido primário adequado para o tratamento biológico (secundário) posterior (EWA e APESB, 1998; Duarte, 2019). Até esta fase, apresenta-se um efluente aceitável para águas recetoras menos sensíveis (EWA e APESB, 1998).

De seguida, apresenta-se a descrição dos processos mais comuns referentes ao nível V – perigo = 9, denominado de tratamento secundário.

Tratamento secundário → O principal objetivo desta fase é a remoção de matéria orgânica biodegradável (em solução ou em suspensão) e sólidos suspensos. Inclui um conjunto de processos de tratamento biológico. Embora os tratamentos preliminares e primários tenham predominantemente mecanismos físicos, a remoção da matéria orgânica na fase secundária é realizada de forma a proporcionar uma metabolização efetiva do substrato orgânico dissolvido ou suspenso na água residual (EWA e APESB, 1998; Pereira, 2009). Até esta fase, apresenta-se um efluente aceitável para águas recetoras comuns (EWA e APESB, 1998).

Uma grande variedade de microrganismos encontra-se no processo: bactérias, protozoários, fungos e outros. A base de todo o processo biológico é o contacto efetivo entre esses organismos e a matéria orgânica contida na água residual, de maneira que possa ser consumido como alimento para os microrganismos. Estes convertem a matéria orgânica em CO_2 , água e matéria celular (crescimento e reprodução dos microrganismos) (EWA e APESB, 1998).

O tratamento biológico divide-se em dois processos: a) Crescimento de biomassa em suspensão; b) Crescimento de biomassa fixa (biofilme)

- a) Nos processos de crescimento de biomassa em suspensão destacam-se os processos de lamas ativadas e de lagoas de estabilização. As primeiras têm como objetivo a redução de CBO_5 (solúvel e coloidal) e azoto orgânico através de um processo de nitrificação-desnitrificação. Tal como se apresenta na Figura 3, o processo de lamas inclui um tanque de arejamento, com o objetivo de fornecer oxigénio para proporcionar um metabolismo aeróbio dos microrganismos, de forma a estes

usarem como fonte de alimento a matéria carbonatada e outros nutrientes presentes nas águas residuais.

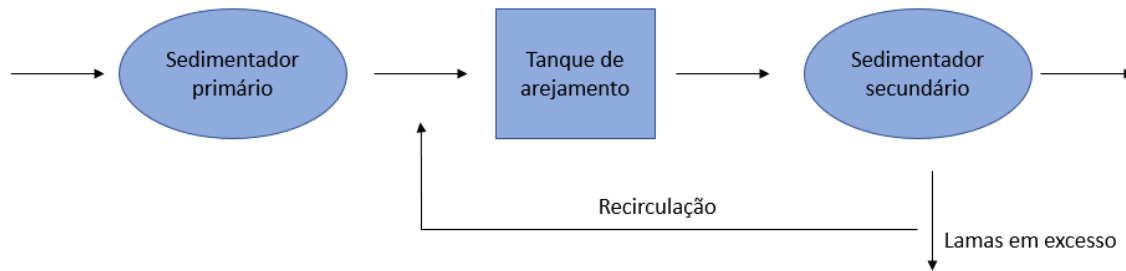


Figura 3 - Processo de lamas (Lima, 2019).

As lamas dividem-se no sedimentador secundário em que uma parte delas são recirculadas para o início do processo e outra parte denominadas por lamas em excesso são retiradas. O motivo pela qual isto acontece é, devido ao sedimentador secundário poder acumular lamas e não ser capaz de as separar apropriadamente. O excesso de lamas representa o crescimento da biomassa que tem de ser removida de modo que essa concentração esteja estável no tanque de arejamento (EWA e APESB, 1998; Lima, 2019).

As lagoas de estabilização são um tratamento secundário totalmente natural realizado em bacias grandes de pouca profundidade (exceto lagoas anaeróbias que podem ser mais profundas). Estas lagoas classificam-se em: 1) lagoas de maturação (aeróbias) → Este processo reduz sólidos, matéria orgânica em solução, microrganismos de origem fecal e amónia. Por radiação UV elimina os microrganismos patogénicos. A sua principal desvantagem é necessitar de grandes áreas para a sua implementação; 2) lagoas facultativas → A estabilização da água considera-se a formação de três zonas distintas, conseguida pela associação de bactérias: aeróbias, anaeróbias e facultativas. É o processo mais adequado à purificação das águas residuais de pequenas cidades em climas quentes. O seu principal objetivo é a remoção de CBO_5 , e o seu problema é o aumento de algas (SST); 3) lagoas anaeróbias → Contribui para a remoção da matéria orgânica por digestão anaeróbia das lamas sedimentadas e a flutuação natural de sólidos flutuantes. A matéria poluente é convertida em metano, CO_2 , ácidos orgânicos e

células de microrganismos. A principal desvantagem é a libertação de odores (EWA e APESB, 1998; Duarte, 2019).

- b) Nos processos de crescimento fixo destacam-se os processos de leitos percoladores e de discos biológicos. Os primeiros são também conhecidos como filtros biológicos, leitos de bactérias ou filtros percoladores. Este processo conduz a água residual ao contacto com o filme de microrganismos que cresce à superfície de pequenas pedras ou material de plástico inseridos no leito de várias profundidades. Estes microrganismos alimentam-se a partir de sólidos presentes na água residual que são adsorvidos ou absorvidos pela camada bacteriana. A comunidade biológica inclui bactérias aeróbias e facultativas, fungos que apresentam baixo pH, algas, protozoários e ainda larvas, caracóis e minhocas. Há a formação de uma película aderente no meio físico dos leitos percoladores por bactérias, que irá engrossar até desprender e dirigir-se para o sedimentador secundário. A recirculação tem por objetivo aumentar o tempo de contacto e permitir diluir a força da água residual afluyente e manter o filme biológico húmido (EWA e APESB, 1998; Duarte, 2019; Lima, 2019).

Discos biológicos (biodiscos) → apresentam discos plásticos de forma cilíndrica com grande diâmetro instalados horizontalmente em tanques e uma cobertura que evita a evolução de algas, salvaguardando os discos da radiação UV (Ultravioleta) e em climas frios impossibilita perdas de calor excessivas. O filme biológico cresce no conjunto dos discos, suportados por um veio, parcialmente imersos na água residual. A rotação do veio vai permitir que a biomassa entre em contacto com a água residual e com o oxigénio do ar, de forma alternada (EWA e APESB, 1998; Lima, 2019).

O principal objetivo da sedimentação secundária é a separação dos sólidos produzidos no reator biológico, tanto no caso das lamas ativadas como nos leitos percoladores. As lamas atingem o fundo do tanque (que pode ter um ligeiro declive se for plano ou apresentar uma forma cónica) lentamente. Assim sendo, esta fase, procede à remoção gravítica dos flocos biológicos produzidos no tratamento biológico e à separação de microrganismos em excesso da água já tratada. Uma parte das lamas é reutilizada, outra é descartada (EWA e APESB, 1998; Duarte, 2019).

De seguida, apresenta-se a descrição de todos os processos referentes ao nível IV – perigo = 7, denominado de tratamento secundário+desinfecção.

A desinfecção na ApR surge como um processo de redução na presença de organismos patogénicos para garantir uma proteção da saúde pública para o tipo específico da ApR (Bixio e Wintgens, 2006). Posteriormente, apresenta-se os tipos de desinfecção possíveis para implementar no presente nível de tratamento:

- Ozonização → Trata-se de um agente oxidante poderoso de compostos não biodegradáveis. A sua principal desvantagem são os elevados custos que limita a sua reutilização com frequência. Processo baseado na adição do ozono (O_3), que é uma molécula instável e de elevada reatividade. Como oxidante é muito potente e apresenta ação viricida (Dias, 2015; Duarte, 2019). A utilização deste método tem o benefício de remoção de cor e a oxidação de compostos persistentes (pesticidas, desreguladores endócrinos, produtos farmacêuticos) o que torna um método adequado para a desinfecção de efluentes da ETAR (Bixio e Wintgens, 2006);
- Radiação UV → Tem como objetivo eliminar ou inativar os microrganismos patogénicos existentes nas águas residuais. Este processo é gerado por lâmpadas de mercúrio que afeta a reprodução dos agentes patogénicos. Geralmente, as lâmpadas servem para ser imersas num canal onde passa o efluente. A dose de UV a empregar é limitada pelo número de lâmpadas a utilizar e pelo tempo de contacto do efluente com elas. É necessário o mecanismo de autolimpeza devido à acumulação de depósitos à superfície das lâmpadas, que vai condicionar a intensidade da radiação. Apesar de não formar compostos organoclorados apresenta um custo de capital elevado. É muito eficiente na remoção dos protozoários *Cryptosporidium* e de *Giardia* (Dias, 2015; EWA e APESB, 1998; Sperling, 2008). O uso do processo de tratamento de radiação UV como desinfetante de ApR encontra inúmeras aplicações, especialmente em pequenas instalações e de média escala, e para aplicações de reutilização de alto contacto. Várias diretrizes recomendam como “a melhor tecnologia disponível, não envolvendo custos excessivos” (Bixio e Wintgens, 2006; EWA e APESB, 1998; Lima, 2019).
- Cloração → Pode ser realizado com dióxido de cloro, cloro gasoso ou soluções de hipoclorito. Sendo que os últimos dois são os mais utilizados por serem agentes oxidantes muito poderosos. Para maiores volumes de caudais é aconselhável a

injeção de cloro gasoso mesmo que isso implique mais operações de segurança. Existe uma preocupação em relação à formação de subprodutos tóxicos para os seres humanos. No entanto, o grande benefício à saúde pública na remoção de agentes patogénicos deve ser levado em consideração (Sperling, 2008 ; (Dias, 2015; EWA e APESB, 1998).

De seguida, apresenta-se a descrição de todos os processos referentes ao nível III – perigo = 5, denominado de tratamento avançado.

Após os processos convencionais de tratamento biológico, o tratamento avançado possibilita a remoção adicional de sólidos dissolvidos, contaminantes suspensos, nutrientes, metais específicos e outros constituintes prejudiciais (Mujeriego e Asano, 1999). Este tipo de tratamento é fundamental se se pretender a remoção do azoto, fósforo e para a remoção adicional de sólidos, compostos orgânicos refratários, metais pesados e microrganismos, onde tal não é possível até esta fase. Consiste num processo onde é fundamental atingir os elevados padrões de qualidade respetivos para a ApR (Pereira, 2009; Asano, 2015).

Remoção de azoto e fósforo

Como já mencionado anteriormente, o azoto e o fósforo são imprescindíveis para a rega agrícola porque são benéficos para a maioria das culturas. No entanto, como muitas das vezes é necessário o armazenamento da ApR pode originar o aparecimento de algas nos reservatórios e condutas (Pereira, 2009). O azoto encontra-se principalmente em forma de amónia e em menores concentrações sob a forma de nitrito e nitrato. A remoção biológica do azoto da água ocorre através do processo de oxidação denominado por nitrificação, que é a conversão da amónia a nitrato e, de seguida, o processo de redução denominado de desnitrificação que é a conversão do nitrato em azoto molecular (gasoso) (Duarte, 2019; EWA e APESB, 1998).

A remoção de fósforo pode ser feita por precipitação química, onde a presença de fósforo é impraticável, e é obtida pela precipitação do fósforo da solução por meio da adição de ferro, sais alumínio ou cálcio (USEPA, 2004). Ocorre pela adição de sais de metal multivalente como o cálcio (Ca^{2+}), alumínio (Al^{3+}), e ferro (Fe^{3+}), facilitando a sua sedimentação. Também existe a possibilidade de remover o fósforo através de processos biológicos, com a introdução de um tanque com duas zonas: a anaeróbia e a aeróbia. No ambiente anaeróbio encontra-se o pré-condicionamento dos organismos acumuladores de

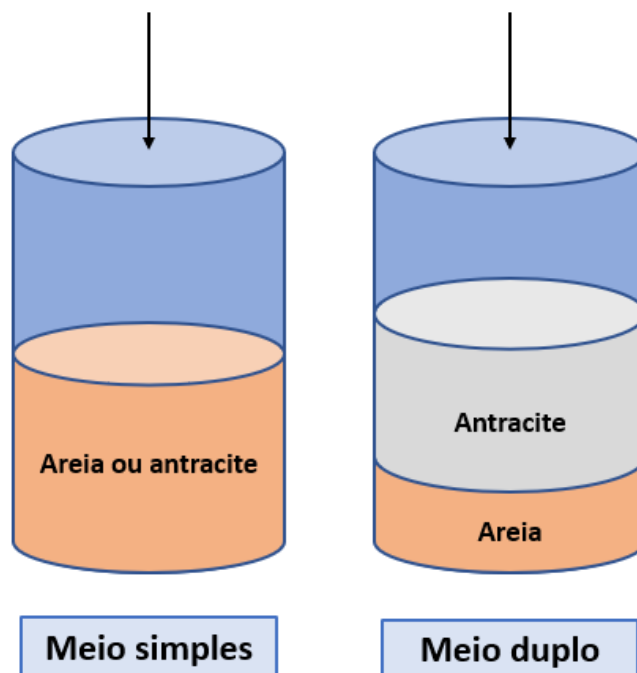
fósforo. No ambiente aeróbio existe a eliminação biológica reforçada de fósforo (Duarte, 2019).

Coagulação-floculação química → Este processo envolve a adição de químicos à água residual. De seguida, numa câmara de mistura lenta designada por floculação promove-se a agregação das partículas de forma a desenvolver a separação sólido/líquido. Os coagulantes químicos inorgânicos são sais metálicos nomeadamente: sulfato de alumínio, cloreto férrico ou sulfato férrico (USEPA, 2004).

Filtração → O principal objetivo é a remoção de partículas sólidas em suspensão fazendo passar o efluente que as contém por um meio poroso. Há três tipos principais de filtros (classificados quanto à velocidade de filtração): filtros lentos, filtros rápidos e filtros de fluxo ascendente (por pressão). Em relação aos meios filtrantes, a filtração pode ser realizada por meio de areia ou antracite ou por meio de antracite sobre areia (Araújo, 2019; Duarte, 2019). Até esta fase obtém-se um efluente aceitável para águas recetoras sensíveis e reutilização na agricultura (EWA e APESB, 1998).

Na Figura 4 representa-se a classificação dos filtros correspondendo cada um ao meio em questão, segundo Duarte (2019).

Figura 4 - Classificação dos filtros



Filtros lentos → O efluente passa no sentido descendente. É aconselhável que as lagoas de estabilização sejam limpas frequentemente por raspagem da camada superficial onde há a acumulação dos sólidos removidos, após fora de serviço e drenado. Há a necessidade de repor alguma quantidade de areia no filtro porque durante as lavagens vai-se perdendo areia. Estes filtros são extremamente eficazes na remoção de cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* (EWA e APESB, 1998).

Filtros rápidos → O efluente também passa no sentido descendente, por gravidade, sujeito a uma altura de água significativa acima da superfície da camada superior. A profundidade da areia é cerca de 1,5m. Para remover os sólidos acumulados à superfície da camada deve-se proceder à sua limpeza através da lavagem em contra corrente com ar que tem que ser realizada pelo menos uma vez por dia (EWA e APESB, 1998).

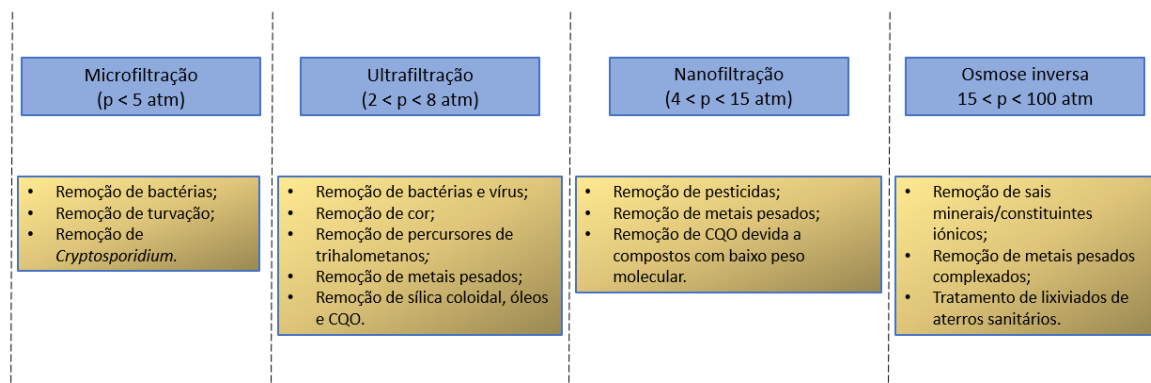
Filtros de fluxo ascendente (por pressão) → O efluente é forçado a atravessar o leito de areia, ocorrendo assim a remoção dos sólidos. Os filtros têm de ser limpos continuamente devido às correntes de ar e jatos de água a grande pressão (EWA e APESB, 1998).

Para a obtenção de um efluente tratado possivelmente eficiente para empregar na reutilização devem-se utilizar as tecnologias avançadas. Nesse sentido, é necessário seguir para uma desinfecção pós-filtração. Segundo Araújo (2019), optando pelo procedimento de desinfecção por radiação UV, é necessário que o efluente esteja bem clarificado, para possibilitar a penetração da radiação na massa líquida. Assim, alcança-se uma desinfecção mais eficaz pois tendo como pré-tratamento a filtração, esta eliminará a turbidez que o efluente apresenta e que impossibilita a eficiência da desinfecção. Após esta fase, apresenta-se um efluente aceitável para águas balneares (se as normas bacteriológicas forem cumpridas por diluição ou eliminação natural) (EWA e APESB, 1998).

Remoção de sólidos dissolvidos

Os processos utilizados que se empregam nesta etapa são os processos por membranas. As membranas funcionam como uma barreira, para que permita a passagem de certos constituintes e outra parte da água seja filtrada pela membrana. Este processo pode incluir várias possibilidades, que vai variando conforme a dimensão dos poros das membranas: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e a osmose inversa, tal como se apresenta na Figura 5.

Figura 5 - Tipos de processos por membranas (Adaptado de Duarte, 2019).



Estes processos são geralmente caros e apenas empregues em situações que assim o justifiquem.

Para garantir os níveis II e I dos tratamentos secundário+pós-cloragem e avançado+pós-cloragem, respetivamente, é necessário proceder a uma pós cloragem. Os compostos de cloro são agentes desinfetantes eficazes e baratos que apresentam bons efeitos bactericidas e viricidas, proibindo o recrescimento devido ao seu efeito residual e são ativos em baixas concentrações (Bixio e Wintgens, 2006). Isto vai permitir reduzir os microrganismos a um nível aceitável e, também reduzir o potencial de recrescimento e recontaminação (APA, 2019).

2.5 Panorama mundial

A necessidade de recursos hídricos alternativos, juntamente com requisitos cada vez mais rigorosos de descarga da qualidade da água, são as forças que justificam para o desenvolvimento de ApR. A tendência crescente é considerar a ApR como um componente essencial da integração de gestão de recursos hídricos e desenvolvimento sustentável, não apenas em áreas secas e com deformidade de água, mas também em regiões com abundância de água. Em áreas com alta precipitação onde o abastecimento de água, pode ser caro devido ao transporte extensivo e/ou bombeamento, a ApR pode tornar-se uma fonte alternativa económica importante para o desenvolvimento de novas fontes de água (USEPA, 2004).

A ApR para rega agrícola é praticada hoje em quase todas as áreas áridas do mundo. Em muitos países estabelece-se um planeamento de recursos hídricos baseado no máximo aproveitamento das águas residuais. Em muitas regiões secas, especialmente em países em

desenvolvimento na Ásia, África e América Latina, o uso não planeado da ApR para rega de plantações, é algo que tem vindo a verificar-se (USEPA, 2004). A recuperação planeada e a ApR para usos não potáveis é uma estratégia que está a ganhar uma maior aceitação e a expandir rapidamente em todo o mundo (Bixio e Wintgens, 2006).

Europa

Embora a Europa seja enriquecedora de recursos hídricos em comparação com outras partes do mundo, nas últimas décadas tem vindo a mudar devido ao aumento do stress hídrico (excessiva captação de água dados os recursos disponíveis) (Duong & Saphores, 2015). Aproximadamente, metade dos países da Europa, representando quase 70% da população, estão a enfrentar problemas de stress hídrico. A distribuição desigual e sazonal das variações dos recursos hídricos tornam as áreas costeiras, ilhas da região sul semiáridas e em áreas altamente urbanizadas particularmente afetadas pelo stress hídrico (Bixio et al., 2006).

Em Itália, por exemplo, como a maioria das regiões mediterrâneas, o sul sofre de escassez de água e de qualidade devido a secas recorrentes. Devido à descarga de águas residuais nos rios ou no mar levou a um impacto ambiental significativo enfrentando problemas de eutrofização. A ApR começa a desempenhar um papel importante na gestão dos recursos hídricos. Atualmente, a ApR é utilizada principalmente para rega agrícola. Contudo, esta prática ainda não é desenvolvida na maioria das regiões italianas devido à legislação rigorosa, não controlando a ApR no sul de Itália (USEPA, 2004). Itália atinge uma estimativa de reutilização de $500 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (European Commission, 2014).

Em França, há uma desigual distribuição de recursos hídricos e aumentando a demanda global de água, consequentemente leva a défices sazonais em algumas partes do país. O setor industrial é o único que tem visto uma diminuição, devido ao aumento de esforços para reutilizar efluentes industriais e implementando tecnologias mais eficientes em termos de tratamento. Os princípios motivadores de ApR em França são: a) compensar as lacunas da água; b) melhorar a saúde pública; c) proteger o meio ambiente; d) eliminar a contaminação em atividades recreativas. Existem numerosos casos de reutilização potável indireta não planeada na França, onde as águas superficiais combinadas com as águas residuais é usado para abastecimento de água potável (USEPA, 2004). França atinge uma estimativa de reutilização de $112 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (European Commission, 2014).

Portugal, é um país que aparentemente apresenta uma abundância de recursos hídricos, visto que mais de 40% da sua origem provém de Espanha devido às bacias hidrográficas dos rios Minho, Douro, Tejo e Guadiana. Por outro lado, a distribuição territorial e temporal condiciona o seu aproveitamento provocando dispêndios em investimentos de infraestruturas hidráulicas que permitam o seu armazenamento, captação e transporte das zonas mais abundantes para outras mais carenciadas. O turismo tem apresentado um desenvolvimento cada vez mais elevado ao longo das últimas três décadas, ou seja, uma grande quantidade de água é despendida pelos usos recreativos (campos de golfe, piscinas, parques aquáticos, neve artificial) e o facto dos locais turísticos se situarem geralmente em zonas costeiras de escassa precipitação e elevada insolação (Alves, 2008; ERSAR, 2010). Segundo os dados do PNA (Plano Nacional da Água), a rega agrícola é o grande domínio na utilização de ApR em Portugal, correspondendo a 87,3% do consumo total. Os motivos pela qual a ApR não é uma prática mais recorrente é devido a existir algum receio e desconhecimento por parte dos promotores de projetos de reutilização e nas autoridades envolvidas no seu licenciamento (ERSAR, 2010). Os sistemas de produção de água para reutilização representam um valor a $8,5 \times 10^6$ m³/ano (cerca de 1,2% do total da ApR (ERSAR, 2010; Santos e Vieira, 2020). Desse volume produzido de ApR, 14% é exportado e 84% é destinada para uso próprio da entidade gestora, que designam as empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água e de saneamento de água residual (Santos e Vieira, 2020; ERSAR, 2020). Portugal atinge uma estimativa de reutilização de 57×10^6 m³/ano (European Commission, 2014).

África

África abarca 15% da população mundial e a lacuna entre a disponibilidade e a demanda de água está a crescer rapidamente, especialmente em cidades onde a população urbana deverá quase quadruplicar em 2037. A disponibilidade de água está a diminuir devido à concorrência de demandas da agricultura, mineração e indústria e deterioração da qualidade da água. Um elevado número de pessoas dependem das águas subterrâneas como a sua fonte alternativa de água, mas a poluição e o excesso de captação ameaçam os recursos hídricos subterrâneos (WWAP, 2017). Em ambientes urbanos, a captação de água residual tende a ser limitada e as ligações das casas às instalações são insuficientes. Como não existe infraestrutura de operação adequada, levando à sua má manutenção e falta de profissionais qualificados, limita severamente a eficácia do processo de tratamento consequentemente uma alta concentração de poluentes encontrados no ambiente. Outro

desafio que dificulta a capacidade dos países africanos para gerenciar as águas residuais, é a capacidade insuficiente para a monitorização eficaz de água residual antes e depois do tratamento devido a não identificar poluentes emergentes (porém não é só nos países africanos que isto acontece) (WWAP, 2017).

Marrocos, por exemplo é um país árido a semiárido, apesar da influência do oceano atlântico que contribui com a precipitação relativamente abundante da área. De 150 bilhões m³ de precipitação anual, apenas 30 bilhões m³ são estimados para serem utilizáveis. A maioria das cidades marroquinas está equipada com redes de água residual que também recolhem efluentes industriais. No entanto, das 60 maiores cidades apenas 7 possuem estações de tratamento. A falta de tratamento de efluentes antes do seu reaproveitamento resultou em impactos adversos à saúde e uma elevada incidência de doenças transmitidas pela água. É essencial uma grande melhoria nos métodos de ApR e na sua qualidade devido à forte migração da população rural para as cidades e a expansão demográfica muito rápida (USEPA, 2004).

Na Síria, a agricultura é um setor económico muito importante empregando 27% da população ativa. Apesar das condições climáticas intensas a rega recebe uma prioridade para impulsionar a sua produção agrícola e, conseqüentemente, garantir um alto nível de segurança alimentar. Devido ao rápido crescimento da população obrigou que a qualidade da água não fosse tão boa (USEPA, 2004).

A Tunísia está a enfrentar problemas de escassez de água associado ao aumento da poluição do ambiente. Para contornar esta situação infraestruturas tais como: barragens, poços e lagos têm vindo a ser construídos. A maioria da população residente nos grandes centros urbanos têm acesso a vários sistemas de saneamento adequados e com instalações de tratamento de ApR (Santos, 2008; USEPA, 2004).

Ásia

Na Ásia, mais precisamente no Japão, devido à densidade do país e dos recursos hídricos limitados, os projetos de recuperação e ApR não são novidades. O Japão começou a implementar experiências com água residual em 1951 para uma fábrica de papel, em Tóquio. Os esforços de reutilização em grande escala, começaram em 1964 para contornar as severas secas que afetaram várias regiões do país. A ApR é predominantemente empregue pelo ambiente, aplicações urbanas e industriais não potáveis. Em Tóquio, o uso

de ApR é obrigatório em todos os novos edifícios de área útil maior que 30 000 m². Os requisitos da qualidade da ApR são diferentes dos EUA pois são mais rigorosos em termos de *E. coli* (Santos, 2008; USEPA, 2004).

A Índia é o segundo país mais populoso do mundo, com uma população atual de mais de 1 bilhão projetada para aumentar para 1,5 bilhão até 2050. Com o esgotamento rápido das reservas de água subterrânea em conjunto com a severa poluição da água, a Índia colocou-se numa posição desafiadora para fornecer quantidades adequadas de água para a população em crescimento. Como resultado do rápido crescimento da população urbana, as infraestruturas são insuficientes para garantir a saúde pública. 15% da população urbana não tem acesso ao saneamento básico (USEPA, 2004).

A China, por exemplo, enfrenta um dos mais importantes problemas do século XXI: escassez e poluição da água. Para atender às necessidades futuras de água é necessário reduzir a sua poluição requerendo a um tratamento mais eficiente empregando soluções e técnicas mais melhoradas. As tecnologias de membranas têm vindo a ser aplicadas em projetos de grande dimensão (WWAP, 2017; Duong e Saphores, 2015).

Como consequente das elevadas secas repetitivas que ocorreram entre 1996 e 2002, o país de Israel voltou-se para a conservação de água de modo a empregar alternativas dos recursos hídricos, nomeadamente, a recuperação da água em grandes cidades para rega de culturas agrícolas (USEPA, 2004). Em Israel, a ApR já representava 40% de toda a água consumida para rega em 2011 (WWAP, 2017). Em vários projetos de ApR, reservatórios são usados para armazenar efluente durante o inverno para consumir no verão. Em 2004, já existiam 200 destes reservatórios em todo o país com uma capacidade total de armazenamento 150 Mm³. Os dois maiores projetos de reutilização são o Dan Region Reclamation Scheme e o Kishon Scheme. O último trata 32 Mm³/ano de água residual da área metropolitana de Haifa usando um sistema convencional de iodo ativado. Após este tratamento, a água é transportada para Yisre`el Valley, que fica a leste de Haifa, onde fica misturada com resíduos locais e águas pluviais e, em seguida, é armazenado num reservatório de 12 Mm³ para poder ser empregue no verão. A Dan Region atende a área metropolitana de Tel Aviv com aproximadamente 1,7 milhão de habitantes. Após as águas residuais sofrerem um tratamento biológico, elas são descarregadas em bacias de recarga de aquíferos. A água recuperada é bombeada e transportada para rega nas áreas de planície costeira de norte e sul (USEPA, 2004).

Singapura é uma cidade-estado insular com uma população densa e crescente de quase 4 milhões de pessoas. Embora seja uma ilha que recebe chuvas fortes, tem recursos hídricos limitados devido à sua reduzida área (USEPA, 2004). Implementou-se em 2001 um esquema de ApR com o objetivo de diminuir a sua dependência de água da Malásia (Duong e Saphores, 2015). Desde então, Singapura tem fornecido ApR de alta qualidade chamada de “NEWwater” diretamente para as indústrias, comércio e edifícios de escritórios e para outros usos não potáveis como ar condicionado e refrigeração. A NEWwater é obtida através de águas residuais municipais usando as tecnologias mais avançadas, incluindo osmose inversa e desinfecção UV. O custo de produção da NEWwater é estimado em metade do custo da água do mar dessalinizada (USEPA, 2004). Esta iniciativa teve muito sucesso devido a uma situação de emergência e a campanhas publicitárias nas quais os jornais elogiaram a NEWwater, divulgaram as novas tecnologias de água e destacaram o benefício da redução da dependência da Malásia. Os líderes políticos adotaram uma mensagem consistente para tranquilizar o público e os projetos bem sucedidos de ApR em outros lugares, para além de que foi enfatizado que a ApR é segura e confiável (Duong e Saphores, 2015).

América

Nos EUA a ApR é empregue maioritariamente em áreas mais secas, nomeadamente: Arizona, Califórnia, Colorado e Texas, ou em áreas de cultivo, nomeadamente: Geórgia e Flórida. Apresentando o desafio de secas e as dificuldades em garantir demanda de água, atualmente a Flórida produz mais ApR do que qualquer outro estado. Em 2013, 482 ETAR da Flórida forneceram ApR sendo que para áreas de acesso público 54%, indústria 17%, recarga de aquíferos 14%, agricultura 10% e outros usos 5%. Embora tenha a maior população de qualquer estado dos EUA e foi pioneira no uso de ApR, a Califórnia apresenta-se após a Flórida por volume de ApR. Com base no regulamento California Title 22, com início em 1960, ainda hoje se encontra em vigor, que estabelece parâmetros bastante restritos, considerando a avaliação do risco à saúde pública do risco zero (Santos, 2008; USEPA, 2004).

No Canadá, a ApR é utilizada relativamente em pequena escala com variações regionais que dependem da disponibilidade de abastecimento de água. Embora tenha recursos hídricos abundantes, muitos municípios experimentam regularmente escassez de água (USEPA, 2004).

Na América Latina, poucos projetos de ApR foram implementados. Mais de 500 000 ha de terras agrícolas são regadas por ApR, mas a falta de tratamento eficiente, torna essa prática insegura (USEPA, 2004; Duong e Saphores, 2015).

Austrália

A Austrália foi o primeiro país a ter desenvolvido diretrizes nacionais para a reutilização potável com o lançamento de Phase 2 of the Australian Guidelines for Water Recycling (AGWR) – “Augmentation of Drinking Water Supplies”, em 2008 (Khan e Anderson, 2018).

Na Austrália várias cidades conseguiram implementar práticas de ApR. É um país que apresenta uma legislação, economia e um clima semelhantes aos países das zonas costeiras do sul da Europa (Duong e Saphores, 2015); (USEPA, 2004). Aurora é um novo empreendimento proposto de 650 ha para estar localizado nos subúrbios do norte de Melbourne. Este projeto tem como objetivo o uso de ApR para aplicações não potáveis, de modo que a procura de água para consumo humano diminua em 70%. No sul de Austrália, numa cidade na periferia rural de Adelaide, em Virginia um projeto de ApR foi implementado. Foi construído para transportar 20 000 mega-litros de ApR para o norte de Adelaide. O efluente secundário da estação de tratamento recebe tratamento adicional que melhora a qualidade de *E.coli* com o objetivo de implementar a ApR para rega de culturas hortícolas, incluindo as que podem ser consumidas em cru. Mawson Lakes, será um desenvolvimento urbano inovador no norte de Adelaide, projetado para integrar estratégias evolutivas nos setores económico, social e ambiental. O objetivo principal deste projeto é criar um sistema de ApR que diminua a procura de água para consumo humano em 50%, fornecendo águas pluviais e residuais para uso externo, doméstico e rega municipal (Santos, 2008; USEPA, 2004). Tal como foi apresentado, a Austrália tem uma longa experiência na ApR. Embora a maioria dos estados australianos tenham as suas próprias diretrizes ou regulamentos de ApR, decidiram produzir diretrizes nacionais, com o objetivo de fornecer uma referência confiável que pode ser utilizada para apoiar a reciclagem benéfica e sustentável de água residual e pluvial. O AGWR, internacionalmente, é significativamente avançado e corresponde às recomendações delineadas nas diretrizes da OMS (Organização Mundial da Saúde). Portanto, um grande número de países está a considerar a Austrália a liderar o caminho no desenvolvimento dos regulamentos que incorporam os conceitos de avaliação do risco permitindo a adaptação destes para diferentes situações (European Comission, 2014).

3. AVALIAÇÃO DO RISCO

Este capítulo está principalmente direcionado para os conceitos teóricos de uma avaliação do risco, apresentando as suas fases para um projeto de reutilização e as suas diferentes abordagens. Nos pontos seguintes aprofundam-se os conceitos que são necessários abordar para alcançar o resultado de uma avaliação do risco sendo que: identificação de perigos (secção 3.2), das vias de exposição (secção 3.3), dos cenários de exposição (secção 3.4) e determinação do dano (secção 3.5). Apresenta-se um ponto referente à avaliação do risco e da forma como se calcula (secção 3.6), a revisão de metodologias semi-quantitativas existentes (secção 3.7) e as vantagens e desvantagens de cada uma (secção 3.8).

3.1 Fases da avaliação de um projeto de reutilização

Inicialmente, o passo fundamental é definir o propósito e o âmbito do potencial da ApR (WHO, 2016). Deverá proceder-se a uma análise entre a oferta e a procura, o potencial de produção de ApR e a análise dos seus possíveis usos, respetivamente (APA, 2019).

De seguida, numa segunda fase, é necessário proceder à avaliação do risco. O objetivo da avaliação do risco é identificar e avaliar os riscos para a saúde pública associados à ApR, para determinar se os perigos são facilmente controlados, informando assim a entidade competente para identificar melhorias e atualizações necessárias para uma diminuição do nível do risco (WHO, 2016).

É importante obter definições dos conceitos de perigo, cenário de exposição, dano, vulnerabilidade e risco, previamente:

- Perigo: agente biológico (ou físico, químico, radiológico) que pode causar danos à saúde pública (WHO, 2016);
- Cenário de exposição: cenários considerados mediante o local, tipo de ocupação e organização do espaço em estudo, que introduzem um risco a cada recetor (WHO, 2016);
- Dano: calcula-se a probabilidade de haver um erro na barreira que impede o perigo de acontecer (APA, 2019);

- Vulnerabilidade: cruzamento da via de exposição (direta ou indireta) com a probabilidade de ocorrência dos cenários admitidos (APA, 2019);
- Risco: uma avaliação da probabilidade de ocorrência de um dano e da gravidade ou consequência do perigo (WHO, 2016).

Na Figura 6, observa-se um desenho esquemático referente aos principais passos envolvidos na avaliação do risco à saúde humana, descritos anteriormente, para o uso de ApR especificamente na irrigação.

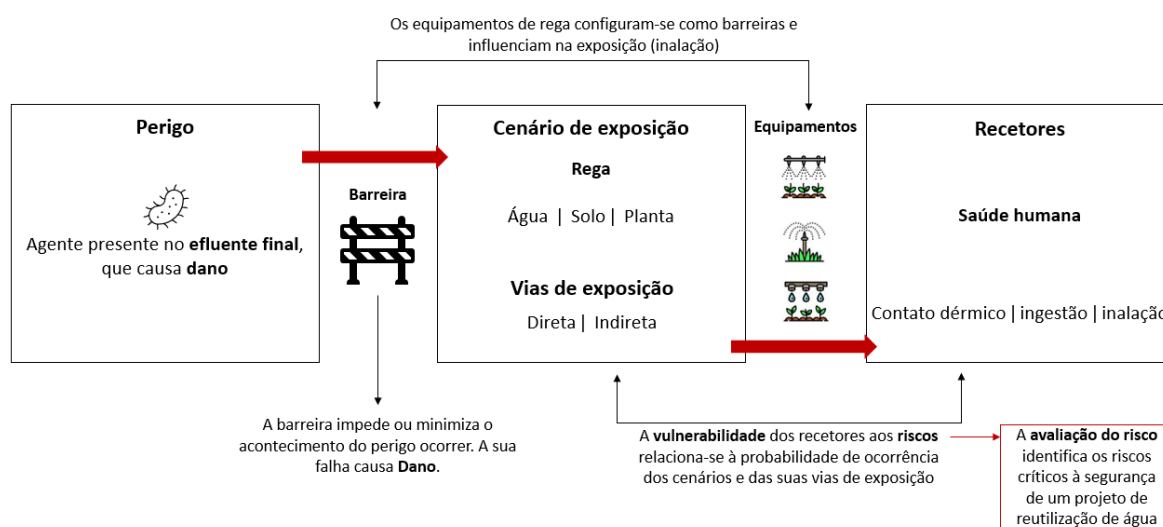


Figura 6 – Desenho esquemático sobre os principais passos envolvidos na avaliação do risco à saúde humana

A terceira fase inclui os resultados da primeira com a segunda fase, que permitirão chegar a uma conclusão sobre a praticabilidade do projeto através de uma análise de custo-benefício. Após a aceitação do projeto de reutilização é imprescindível a obtenção das licenças de produção e utilização segura de ApR, de modo a estabelecer medidas de gestão e de desenvolvimento adequadas a cada caso e aplicáveis a cada elemento (APA, 2019).

Existe uma variedade de abordagens para conseguir uma avaliação do risco que possa responder às necessidades da sua gestão, tais como:

- Inspeção sanitária: são baseadas em formulário/listas de verificação padronizadas para identificar os problemas mais comuns que podem levar à introdução de perigos num sistema. Esta abordagem foi desenvolvida e caracterizada como uma ferramenta simples e eficaz para pequenos fornecimentos de água (WHO, 2016);

- Matriz do risco: concebe uma avaliação qualitativa ou semi-quantitativa da probabilidade de ocorrência de um perigo e da gravidade ou consequência desse perigo resultando, assim, numa classificação do risco. Esta abordagem vai depender da subjetividade dos gestores do risco que pode ser realizada em diferentes níveis de detalhe. Esta matriz é classificada como sendo uma abordagem simples e comum para avaliar diferentes riscos associados à qualidade da água (WHO, 2016);
- Análise quantitativa do risco Microbiológico (AQRM): uma abordagem formal e quantitativa de avaliação do risco que combina o conhecimento científico sobre a presença e natureza dos agentes patogénicos, seu potencial destino e transporte no ciclo da água, os cenários de exposição que dizem respeito aos intervenientes e os seus efeitos à saúde que podem resultar dessa exposição, bem como a efeito de barreiras naturais e equivalentes (WHO, 2016).

Em geral, as avaliações do risco devem ser o mais simples possível de forma a encontrar um equilíbrio certo. Este equilíbrio é aquele considerado adequado para informar sobre as opções de gestão do risco. As avaliações do risco simplificadas são suficientes para auxiliar nas decisões de gestão do risco, não havendo a conveniência na realização de avaliações mais complexas (WHO, 2016). Na Figura 7 encontram-se os âmbitos da avaliação do risco.

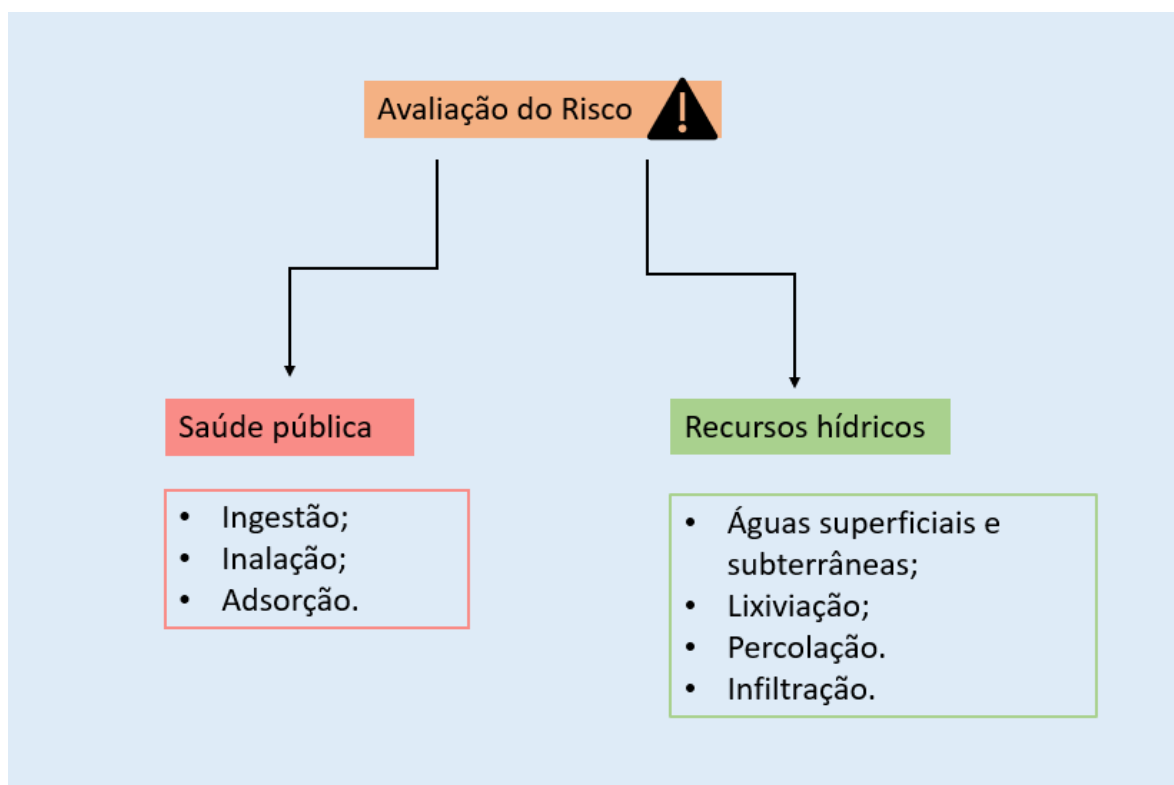


Figura 7 – Contexto da Avaliação do risco (APA, 2019).

3.2 Identificação de perigos

Primeiramente, começa-se por um processo de avaliação do risco de forma a identificar os perigos, ou seja, de forma a reconhecer os agentes que provocam e influenciam um dano à saúde pública.

No caso inerente a um projeto de reutilização de águas residuais tratadas, os perigos estão associados à ApR e ao seu conteúdo microbiológico.

Em termos de conteúdo microbiológico, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Microrganismos patogénicos normalmente encontrados nas águas residuais brutas (in ISO 20426:2018).

Organismos	Microrganismos patogénicos	Doenças provocadas
Bactérias	<i>Campylobacter</i>	Gastroenterite, artrite reativa e síndrome de Guillain-Barré
	<i>Escherichia coli</i> patogénica	Gastroenterite e septicémia, síndrome hemolítico-urémico
	<i>Salmonella</i>	Salmonelose, gastroenterite (diarreia, vômitos, febre), artrite reativa, febre tifoide
	<i>Shigella</i>	Shigelose (disenteria bacilar)
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Vírus	Enterovírus	Gastroenterite, anomalias coronárias, meningite, doenças respiratórias, desordens nervosas, outras
	Adenovírus	Doenças respiratórias, infeções oculares, gastroenterite
	Rotavírus	Gastroenterite
Protozoários	<i>Entamoeba</i>	Amebíase (disenteria amebiana)
	<i>Giardia</i>	Giardíase (gastroenterite)
	<i>Cyptosporidium</i>	Criptosporidíase, diarreia, febre
Helminhas	<i>Ascaris</i>	Ascaridíase (infecção por vermes redondos ou lombrigas)
	<i>Ancylostoma</i>	Ancilostomíase (infecção por ancilóstomos)
	<i>Necator</i>	Necatoríase (infecção por vermes redondos ou lombrigas)
	<i>Trichuris</i>	Tricuríase (infecção por nemátodos)

Os perigos microbiológicos que, normalmente, são considerados no processo de avaliação do risco são os microrganismos de contaminação fecal que causam danos à saúde pública; em geral *Escherichia coli* (*E.coli*). Este é considerado o indicador mais adequado de contaminação fecal, quando comparado com outros como coliformes fecais ou totais, visto

ser incapaz de se multiplicar no ambiente e ser facilmente detetável mesmo em elevada diluição. Por se encontrar em elevado número no trato intestinal, existem valores recomendados em normas legais para a qualidade da água microbiana para o uso de água para vários fins urbanos não potáveis (APA, 2019; Chhipi-Shrestha et al., 2017).

3.3 Identificação das vias de exposição

Na avaliação de exposição é quantificada a magnitude e a frequência da exposição dos microrganismos patogénicos de referência por meio das vias de exposição definidas e cenários propostos (WHO, 2016).

Para o desenvolvimento da avaliação do risco do ponto de vista da saúde pública é importante identificar os recetores que se encontram sujeitos ao risco. É nesta etapa que se cruzam os possíveis recetores com as vias de exposição correspondentes. Os recetores são os agentes que estão mais suscetíveis a ter contacto com a ApR dependendo do tipo adotado, que podem ser divididos em utilizadores, adultos, idosos, crianças, animais, etc.

As vias de exposição podem ser diretas, nos casos em que os recetores estão em contacto direto com a ApR, ou indiretas, nos casos em que os recetores estão em contacto com microrganismos que possam estar presentes na ApR (APA, 2019).

3.4 Identificação dos cenários de exposição

Após a identificação dos recetores e as vias de exposição é imprescindível a avaliação dos possíveis cenários em que as referidas exposições podem ocorrer.

A definição e caracterização dos cenários é uma das fases mais críticas do processo de avaliação do risco, pois é a fase mais trabalhosa. O principal objetivo desta etapa é apresentar com maior detalhe possível, no tempo e no espaço, as potenciais situações de exposição avaliando as suas probabilidades. Quanto mais extenso for este processo, maior será a confiança dos resultados da avaliação do risco (APA, 2019).

A definição e caracterização de cenários é um processo minucioso visto que dependem das características do local, nomeadamente, tipo de ocupação e organização dos espaços, modos de aplicação das ApR, barreiras físicas e artificiais existentes, etc (APA, 2019).

3.5 Determinação do dano

Para cada cenário de exposição devem ser identificados os tipos de barreira. Estas podem ser físicas ou químicas e têm como objetivo reduzir a exposição ao contacto direto com a ApR, assim como, os impactes sobre a saúde. As barreiras podem ser aplicadas a montante do sistema de produção de ApR, sobre o sistema e a jusante do sistema de produção de ApR. Podem ser utilizadas individualmente ou em conjunto, caso em que denominam por multibarreira. A probabilidade de falha de uma barreira é superior à de falha de uma multibarreira (APA, 2019; Rebelo et al., 2020).

Apresentam-se, de seguida, alguns exemplos de barreiras que podem ser utilizadas para minimizar a transmissão de microrganismos patogénicos da água para os recetores (APA, 2019):

- Etapa de tratamento do efluente, de modo a reduzir organismos passíveis de causarem doenças, até atingir um valor apropriado;
- Características gerais de restrição de acesso;
- Separação física entre a água e o recetor;
- Separação física entre a água e o solo;
- Cercas vivas;
- Sistema de rega ao nível do solo ou das raízes;
- Ter o cuidado de o horário das regas ser fora das horas do uso dos espaços.

Também é importante ter conhecimento do conceito de barreira equivalente que surge como uma medida de controlo capaz de originar um resultado semelhante a uma redução microbiológica e, consequentemente eliminar um determinado perigo ou até mesmo reduzi-lo até um nível aceitável. Na Tabela 5 apresenta-se um exemplo do tipo de barreiras acompanhado com a respetiva classificação de barreiras equivalentes.

Tabela 5 - Tipo de barreiras associado ao número de barreiras equivalentes cada uma (in ISO 16075-2:2015, adaptado de OMS E USEPA).

Tipo de barreira	Aplicação	Redução microbiológica (em unidades logarítmicas)	Nº de barreiras equivalentes
Rega gota-a-gota	Culturas de crescimento lento (≥ 25 cm do solo)	2	1
	Culturas de crescimento elevado (≥ 50 cm do solo)	4	2
	Rega subsuperficial, que não permite que a água ascenda à camada superficial do solo por capilaridade	6	3
Rega por aspersão	Rega por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento lento (≥ 25 cm do jato de água)	2	1
	Rega por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento elevado e árvores de fruto (≥ 50 cm do jato de água)	4	2
	Rega por aspersão a distâncias superiores a 70 m de áreas residenciais ou espaços de uso público	1	1
Pós-desinfecção (no local de aplicação da água)	Baixo nível de desinfecção	2	1
	Alto nível de desinfecção	4	2
Coberturas resistentes ao sol	Em sistemas de rega gota-a-gota para separar a rega das culturas agrícolas	2 a 4	2
Decaimento natural de microrganismos	Cessação da rega ou interrupção em período de tempo anterior à colheita	0,5 a 2* por dia	1 a 2*
Secagem ao sol	Culturas secas ao sol antes da colheita (e.g., girassol)	2 a 4	2
Controlo de acesso a áreas regadas	Restrição de acesso de pelo menos 24h após a rega (e.g. acesso de animais a pastagens ou de trabalhadores)	0,5 a 2	1
	Restrição de acesso de pelo menos 5 dias após a rega	2 a 4	2
	Restrição de acesso durante as horas de rega em áreas públicas, de lazer ou desportivas (e.g., rega noturna)	0,5 a 1	1

*Dependendo das culturas e das condições climáticas

3.6 Avaliação do risco

A avaliação do risco permite identificar os riscos que são críticos para a segurança de um projeto de reutilização e ajudar a procurar as melhores soluções para a sua melhoria (APA, 2019). Portanto, para ajudar na sua gestão, a avaliação do risco precisa de alguma forma de classificação ou quantificação dos riscos em termos de impacto na saúde, que vão ser apresentados mais à frente. É, por isso, uma ferramenta de apoio à decisão que fornece ao gestor do risco uma imagem objetiva e racional do que é conhecido sobre o projeto de reutilização em questão. É indiscutível que a avaliação do risco seja quantificada, de modo a que os riscos sejam identificados pela sua importância pelo gestor do risco, com foco nas prioridades destacadas pelo processo de avaliação do risco (WHO, 2016).

O risco pode ser obtido através da multiplicação entre o perigo e a consequência, tal como se apresenta na Figura 8.

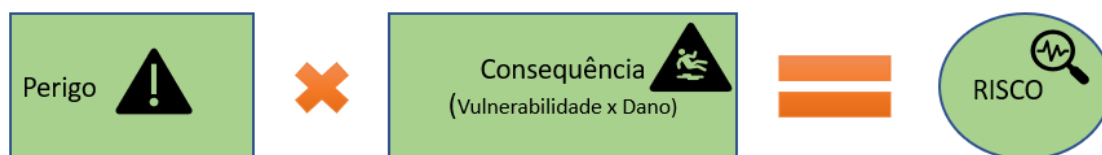


Figura 8 - Obtenção do valor do risco (APA, 2019).

Diante das possibilidades apresentadas de avaliação do risco no item 3.1, o objetivo do presente trabalho é aplicar a metodologia de avaliação semi-quantitativa do risco microbiológico para a implantação de sistemas de ApR para rega num campo de golfe. Apesar de não se tratar de metodologias de risco, serão apresentadas e discutidas duas metodologias que avaliam a viabilidade de sistemas de ApR nos casos de estudo em questão, em território português.

3.7 Revisão de metodologias existentes

3.7.1 Localização das metodologias de gestão e análise do risco existentes

A primeira metodologia apresentada é da autora Ana Rita Fernandes Catarino que aborda a ApR para abastecimento dos jardins do Parque Tejo (Figura 9). Estes jardins são abastecidos pela ETAR de Beirolas que se localiza na zona Norte do Parque das Nações (Lisboa), junto à Ponte Vasco da Gama (Catarino, 2018).



Figura 9 - Parque Tejo (Guia da Cidade, 2018).

A segunda metodologia apresentada é da autora Maria Margarida Cardador dos Santos que aborda a ApR para abastecimento do Parque da Paz (Figura 10). A ETAR que abastece o Parque é a ETAR da Mutela que se localiza em Almada, na freguesia da Cova da Piedade (Santos, 2008).



Figura 10 – Parque da Paz (Google imagens)

Na Figura 11 apresenta-se identificado as ETAR em estudo, assim como as zonas para abastecer e as distâncias em linha reta entre elas.

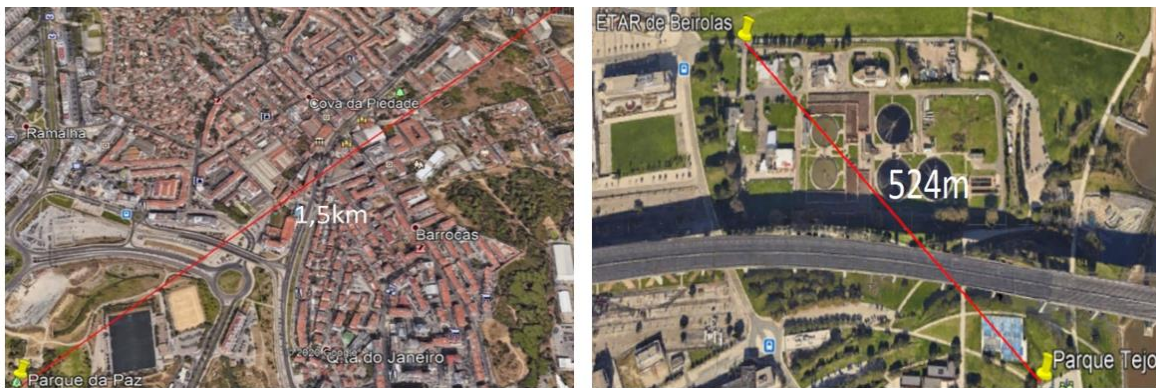


Figura 11 - Imagens google earth das áreas em estudo

3.7.2 Tratamento atual das ETAR

Com base na análise dos artigos anteriormente mencionados, a Figura 12 representa o tratamento das águas residuais nas ETAR em estudo.

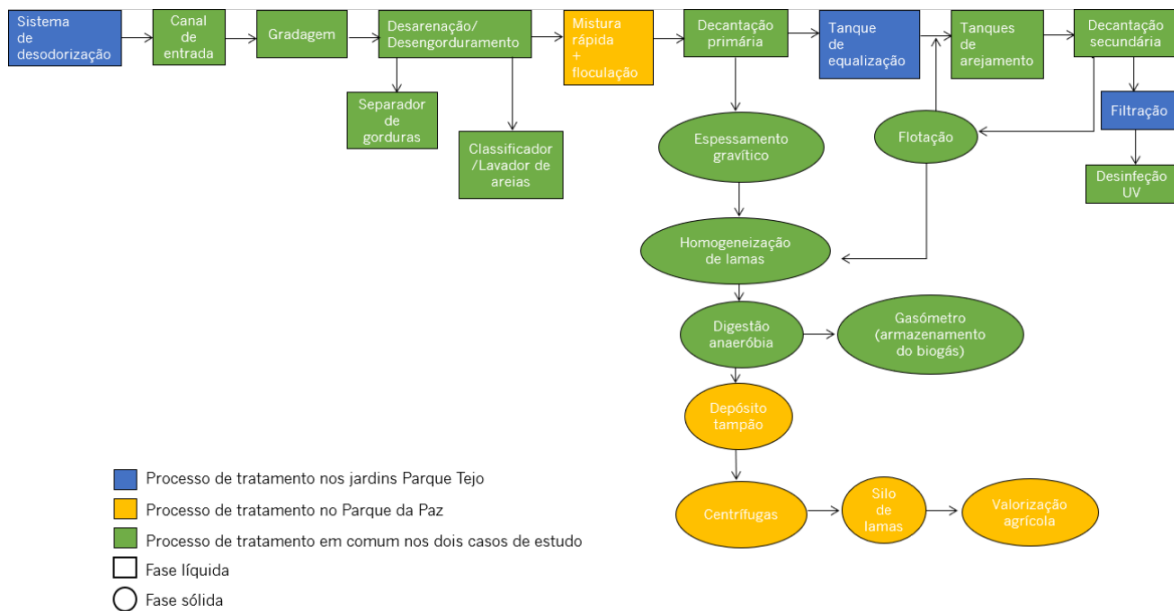


Figura 12 - Processos de tratamento do Parque Tejo e do Parque da Paz (Adaptado de Catarino, 2018; Santos, 2008).

Segundo Catarino (2018), a ETAR de Beirolas apresenta um sistema de desodorização para evitar o surgimento de compostos voláteis de forte odor. Ao longo de todo o processo de tratamento na ETAR, toda a obra de entrada e pré-tratamento é coberta e o ar extraído é tratado neste sistema de desodorização.

Ambas as ETAR que abastecem os Parques iniciam o seu tratamento pela gradagem através da remoção de sólidos grosseiros. De seguida, as areias retiradas seguem para o lavador de areias e as gorduras seguem para o concentrador de gorduras (Catarino, 2018; Santos, 2008).

Segundo Santos (2008), o concentrador de gorduras tem como objetivo armazenar a gordura em bidões, que depois irão ser despejadas pelo limpa-fossas, num leito de plantas macrófitas. Ao contrário da ETAR de Beirolas, a ETAR da Mutela encaminha a água para as câmaras de mistura rápida e floculação depois da desarenação e desengorduramento, onde são adicionados reagentes (cal apagada, cloreto férrico e polielectrólito).

As ETAR em estudo encaminham a água para o sedimentador primário onde as lamas extraídas são bombeadas para o espessador gravítico, sendo posteriormente encaminhadas para o tanque de homogeneização (Catarino, 2018; Santos, 2008)

Segundo Santos (2008), as águas residuais provenientes da sedimentação primária seguem para o tanque de arejamento. Este tanque é arejado com difusores de microbolha, com o objetivo das bactérias que careçam de oxigénio para sobreviver se multipliquem e se alimentem de matéria orgânica presente na água residual.

Segundo Catarino (2018), os efluentes primários são transferidos graviticamente para o tanque de equalização. A sua agitação tem como principal objetivo evitar a deposição de sólidos e a criação de condições anaeróbias, no fundo do tanque. De seguida, o efluente é encaminhado para os tanques de arejamento. Os tanques de arejamento estão definidos em 3 estágios de modo a fazer toda a remoção da matéria carbonácea e azotada. Na fase anaeróbia surge a remoção da grande parte da matéria orgânica. Esta zona é constituída por duas células anaeróbias em série, passando as lamas biológicas recirculadas para a primeira célula. A zona anóxica também é constituída por duas células em série onde ocorre a remoção de nitratos. A zona aeróbia é constituída por 4 células em série ocorrendo a oxidação da matéria orgânica restante e também da amónia. Depois da saída dos efluentes a água dirige-se para os decantadores secundários, de forma a garantir uma boa remoção de sólidos e espumas no efluente final.

Nas ETAR em estudo as lamas resultantes da decantação secundária vão para o flotador, onde se concentram à superfície, sendo posteriormente encaminhadas para o tanque de homogeneização. O tanque de homogeneização possibilita a junção das lamas resultantes da decantação primária e secundária. Depois desta mistura, a lama final é encaminhada para o digestor anaeróbio. A digestão anaeróbia tem como objetivo mineralizar a matéria orgânica para produção de biogás, a uma temperatura elevada. O biogás produzido é armazenado no gasómetro (Catarino, 2018; Santos, 2008). Antes de ser armazenado, passa através de um filtro de brita com o objetivo de eliminar as impurezas mais grosseiras arrastadas pelo biogás. Este é reconhecido na produção de energia térmica e elétrica pela entrada na instalação de cogeração de energia (Catarino, 2018; Santos, 2008). Resultando biogás em excesso é necessário queimá-lo na tocha (Santos, 2008).

Depois da digestão anaeróbia, as lamas são encaminhadas para um depósito tampão para posteriormente serem desidratadas. Na desidratação é adicionado às lamas um reagente (polielectrólito) para formação de flocos que são desidratados em centrífugas. O líquido final é recirculado para o canal de entrada e estas lamas são conservadas no silo de lamas para depois serem reutilizadas como fertilizante (Santos, 2008).

Segundo Catarino (2018), os efluentes provindos dos decantadores secundários são conduzidos graviticamente para a filtração.

Segundo Santos (2008), na ETAR da Mutela não há tratamento de filtração. A água é encaminhada do decantador secundário para o canal de desinfecção UV.

Como o efluente na ETAR de Beirolas se encontra em conformidade no final da filtração, o efluente é descarregado no rio Tejo. Para a sua reutilização o efluente passa pela desinfecção UV (Catarino, 2018).

3.7.3 Qualidade do efluente tratado

De modo a garantir a eficiência do funcionamento dos processos de tratamento, é necessário analisar os parâmetros químicos e microbiológicos.

Segundo Catarino (2018), como o rio Tejo não se engloba numa zona sensível sujeita a eutrofização não há limite de descarga para o fósforo na ETAR. Apresenta realmente um valor superior ao recomendado, mas considerou-se aceitável para o caso em estudo porque este parâmetro não se aplica na legislação numa zona normal. Na Tabela 6 apresenta-se um resumo dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos efluentes tratados das ETAR em estudo.

Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos das ETAR em estudo (Adaptado de Catarino, 2018; Santos, 2008).

	pH	CB05 (mgO ₂ /L)	CB05 (mgO ₂ /L)	CQO (mgO ₂ /L)	CQO (mgO ₂ /L)	SST (mg/L)	SST (mg/L)	Fósforo (mgP/L)	Fósforo (mgP/L)	Nitratos (mgN/L)	Nitratos (mgN/L)	Óleos e gorduras (mg/L)	Coliformes fecais (NMP/100mL)	Coliformes fecais (NMP/100mL)	Salinidade (ds/m a 25°C)
Nº máximo	7,87	13	246	62	584	10	278	6,7	8,8	5,4	110	10,2	8,66*10 ⁴	1,8*10 ⁶	1,3*10 ⁵
Nº mínimo	6,07	6	4	27,08	8	3,9	3	1,9	1,2	1,8	0	2	5,91*10 ³	3,2*10 ⁴	1,24*10 ⁵
Média	7,26	6,75	35	37	88	6,2	41	3,45	3	2,9	65	6,1	3,57*10 ⁴	5,5*10 ⁵	1,19*10 ⁵
Valores limite	6,5-8,4	25	25	125	125	60	60						200	200	1
Parque Tejo															
Parque da Paz															

Da tabela acima apresentada, pode-se concluir que todos os parâmetros se encontram dentro dos limites recomendados impostos pela legislação. O Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com o objetivo de proteger o meio aquático, de forma a melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. O Decreto-Lei 119/2019 de 21 de agosto aplica-se à ApR, obtida a partir

do tratamento de águas residuais, através da sua utilização, com o objetivo de viabilizar a sua correta utilização, de forma a preservar os efeitos nocivos para a saúde pública e ambiente e define as normas de qualidade de água para reutilização para rega. Segundo Catarino (2018), os valores apresentados no quadro para as bactérias coliformes fecais são do efluente pós filtração. A ETAR de Beirolas reutiliza um pequeno caudal de 600 m³/dia para lavagem de equipamentos, arruamentos internos e rega de espaços verdes no recinto das instalações. Este pequeno caudal é submetido a um processo de desinfecção UV, verificando-se assim os parâmetros das bactérias de coliformes fecais em conformidade, ou seja, de 200 UFC/100mL (Catarino, 2018). O processo de desinfecção já instalado assegura a qualidade mínima exigida. O equipamento da radiação UV já instalado é um *Torjan* tubular de escoamento em canal fechado. Catarino (2018), propõe um equipamento de maior capacidade (Figura 13), totalmente automático, com limpeza química e mecânica automática e de fácil manutenção

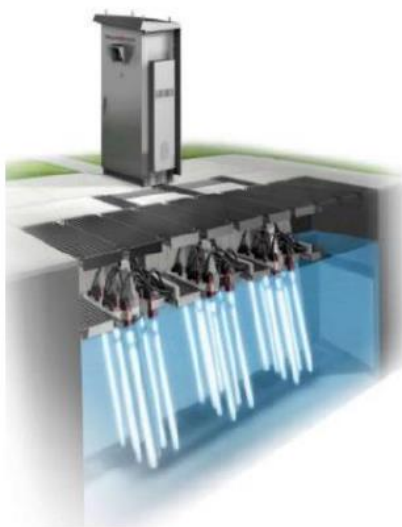


Figura 13 - Equipamento UVSONUS (Catarino, 2018).

A jusante do processo de desinfecção UV é necessário proceder a uma cloragem com adição de hipoclorito de sódio, de forma a não promover eventuais recontaminações microbiológicas, garantido o cloro residual no efluente (Catarino, 2018). Na Figura 14

apresenta-se um esquema simplificado com a introdução do novo equipamento de desinfecção por radiação UV proposto por Catarino (2018).

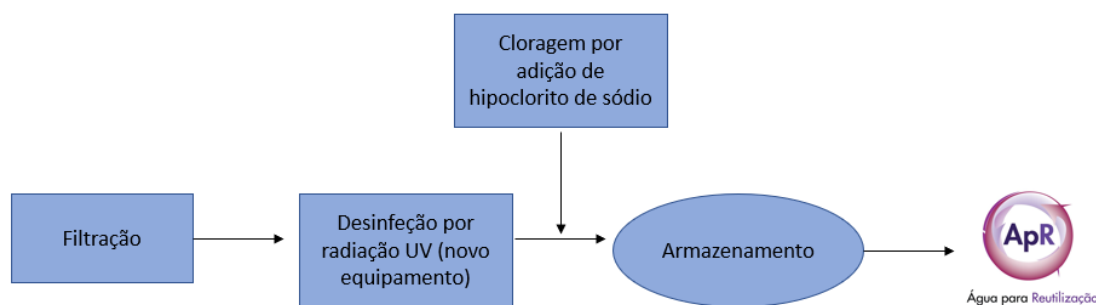


Figura 14 - Esquema de tratamento com a adição do novo equipamento (Catarino, 2018).

Segundo Santos (2008), os valores dos parâmetros das bactérias coliformes fecais, não se encontram em conformidade mesmo após o efluente ser submetido a uma desinfecção por radiação UV, para a utilização de rega em espaços verdes. Portanto Santos (2008), para contornar esta situação propõe três cenários para o tratamento complementar da ApR na ETAR, tais como:

1. A montante do reservatório da ETAR, permaneça uma filtração rápida, de maneira que os sólidos suspensos que estejam no efluente sejam retidos. De seguida, este efluente é armazenado num reservatório aberto. Segue-se com a desinfecção UV, acontecendo à saída da ETAR uma picagem de hipoclorito encaminhando a ApR para o Parque da Paz (Santos, 2008). Na Figura 15 apresenta-se o esquema de tratamento proposto.

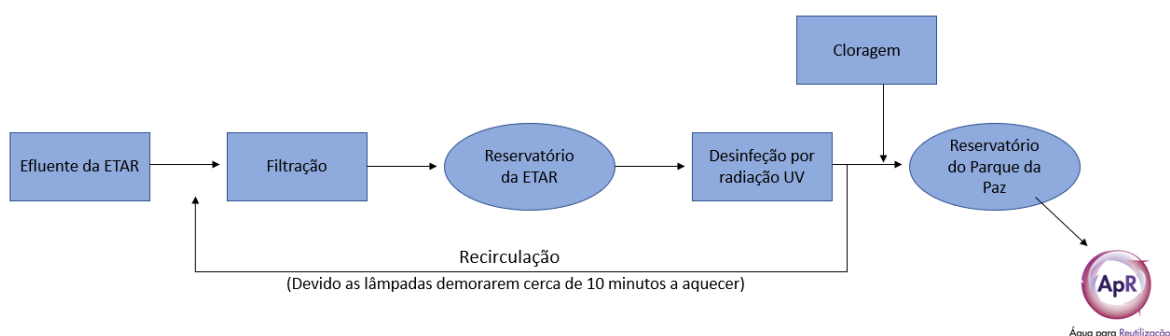


Figura 15 – Cenário 1 (Santos, 2008).

2. Semelhante ao anterior, alterando apenas o método de desinfecção que será a ozonização, de forma a remover os organismos patogênicos apresenta-se a Figura 16 (Santos, 2008).

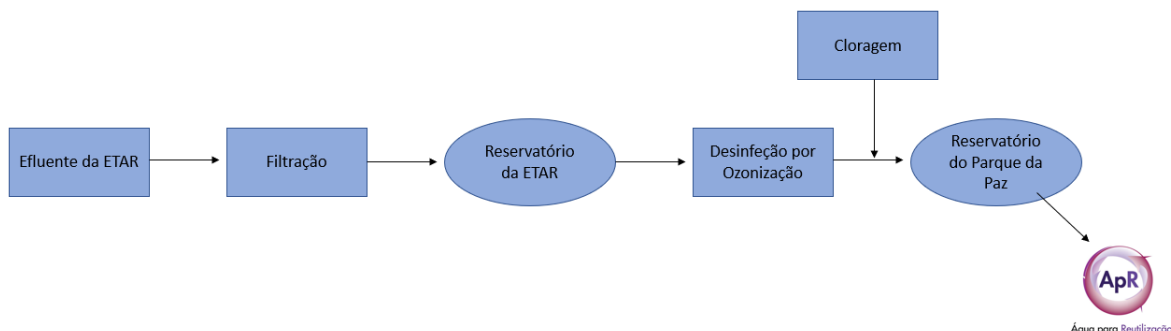


Figura 16 - Cenário 2 (Santos, 2008).

3. Propõe-se o incremento de um bio-reator de membrana a jusante do armazenamento de efluente da ETAR que se apresenta na Figura 17. Este bio-reator funciona como um sistema de lamas ativadas e, em simultâneo como filtração. À saída da ETAR é proposta uma cloragem (Santos, 2008).

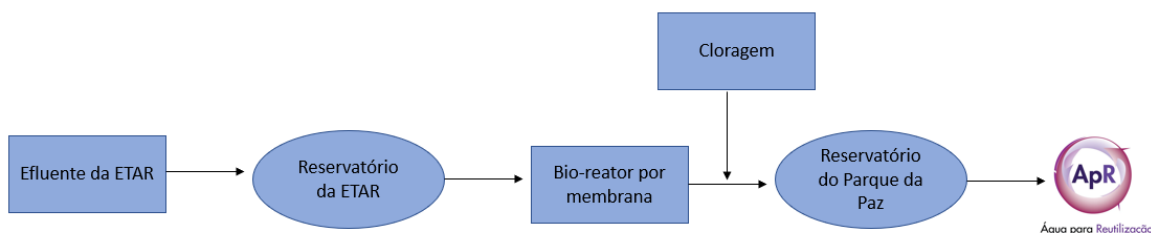


Figura 17 – Cenário 3 (Santos, 2008).

Em ambos os casos de estudo, a jusante do processo de desinfecção é feita uma cloragem com adição de hipoclorito de sódio à água tratada, garantindo a permanência de cloro residual na água e impedir eventuais contaminações microbiológicas (Catarino, 2018; Santos, 2008).

Santos (2008), calculou a quantidade de nutrientes apresentada pela ApR e concluiu que a quantidade de azoto e fósforo estão abaixo dos valores recomendados para fertilização dos jardins. Com isto, não há risco de aplicar um excesso de nutrientes nos relvados, no que diz respeito à utilização de estrume de cavalo mas em pouca quantidade (Santos, 2008).

3.7.4 Sistema de rega atual

O Parque Tejo compreende uma área de, aproximadamente, 23,28 ha, contendo infraestruturas de atividades lúdicas e desportivas. Na área circundante existem 3 furos de captação de água, perante a gestão da Câmara Municipal de Lisboa. Para a rega dos jardins Parque Tejo, é empregue um sistema de rega automático com recurso aos métodos de rega por aspersão e rega gota-a-gota (Catarino, 2018).

O Parque da Paz compreende uma área de, aproximadamente, 60 ha e é provido por 3 linhas de escorrência oriundas das áreas circundantes, e por uma linha de água natural do qual todas elas desaguam no lago do Parque da Paz. Um grande obstáculo na utilização da água do Lago, para a finalidade de rega do Parque, é a grande concentração de sólidos existentes durante todo o ano, oriundas das escorrências. Estes sólidos entopem os filtros que protegem os aspersores. Por esse motivo, alterou-se a origem da água para rega para a água da rede de abastecimento público. A rega é feita por aspersão (Santos, 2008).

3.7.5 Apreciação económica relativamente aos tratamentos adicionais propostos

Segundo Catarino (2018), a apreciação económica na implementação de um novo equipamento de radiação UV, concluindo e juntamente com os benefícios ambientais, a ETAR diminui o valor da taxa de recursos hídricos a pagar devido à diminuição da quantidade de descarga no corpo recetor, consequentemente, ocorreria uma diminuição dos gastos energéticos devido às bombas de captação de águas subterrâneas dos furos.

Segundo Santos (2008), nos custos de investimento, o cenário 2, que representa a desinfecção por ozonização, são superiores em 16% ao cenário 1, da desinfecção por radiação UV. O mesmo acontece nos custos de exploração com uma diferença de 29%. O tratamento através do bio-reator por membrana, não é competitivo para a finalidade em estudo, visto que, a qualidade que se pretende obter não tem de ser de qualidade elevada. Todos os custos são significativamente superiores aos custos dos outros cenários. Este projeto, segundo Santos (2008), é viável pois o Parque da Paz pouparia cerca de 100 000€ em despesas associadas à ApR.

3.7.6 Sinalização e medidas de proteção da área envolvente

Os parques devem ser adequadamente sinalizados de modo a identificar que a rega é efetuada com água residual tratada. As zonas de rega devem estar sinalizadas entre si com tabuletas distanciadas de 100 metros. As regas devem continuar a ser efetuadas no período noturno, fora do horário de maior utilização do pessoal (Catarino, 2018; Santos, 2008). A portaria 266/2019 determina que nos locais de produção e utilização de ApR deve ser colocada informação e sinalética, nos termos definidos pelo membro do Governo responsável pela área do ambiente. Na Figura 18 apresenta-se um exemplo de simbologia de identificação de rega com restrições de acesso.

Para conservar a água natural é usada In order to conserve water	 Água para Reutilização Water reuse
Grau de qualidade Level of Water quality	** - Médio (Medium)
Barreiras Barriers	(descrição)
Aplicação Use to	Rega com restrição de acesso ⁽¹⁾ Irrigation without access restriction
Precauções Pay attention	 Água imprópria para consumo Do not Drink  Proibido o acesso entre as 00:00 e as 6:00 Access prohibited between 00:00 and 06:00 AM ⁽²⁾
Cuidados Precautions	Lave as mãos após entrar em contacto Wash hands after contacting

Figura 18 – Exemplo de simbologia de identificação de rega com restrições de acesso (APA, 2019).

É necessário ter em atenção a velocidade do vento, de forma a esta ser inferior ao valor máximo recomendado para não se arrastar as gotículas para zonas envolventes não necessitadas de rega (Catarino, 2018; Santos, 2008). Se por outro lado já se tiver iniciado, deverá ser suspensa imediatamente (Santos, 2008).

Segundo Santos (2008), o Parque da Paz deveria possuir um anemómetro amovível de forma a medir a velocidade junto aos aspersores.

Na presença de trabalhadores no local da hora da rega, estes deverão usar proteção individual de modo a evitar o contacto com as águas residuais e a inalação de aerossóis (Santos, 2008).

Como existem zonas habitacionais nas áreas envolventes perto dos casos em estudo, a área regada deve ser isolada com sebes ou cortinas de material adequado. Se se optar por sebes, estas devem ter altura e constituição (tipo e densidade de ramagem e folhagem) adequadas à função pretendida, de modo a criar um obstáculo para evitar o transporte das gotículas pelo vento (Catarino, 2018; Santos, 2008).

A zona regada deve possuir um sistema de drenagem superficial e subsuperficial que garanta a drenagem da água de rega em excesso. Este sistema deve abranger uma vala de cintura para não acontecer escoamentos para o exterior da zona regada (Catarino, 2018; Santos, 2008).

É extremamente importante ter em conta a sinalização de todo o sistema de rega de ApR de cor roxa. As ligações rápidas deverão ser assinaladas com etiquetas roxas, de borracha ou vinil. As etiquetas devem ser à prova de água (Catarino, 2018; Santos, 2008). Na Figura 19 apresenta-se exemplos de etiquetas.



Figura 19 - Exemplos de etiquetas (Santos, 2008).

Na Figura 20 apresenta-se os acessórios de rega e tampas de caixa de rega com ApR.



Figura 20 - Acessórios de rega e tampas de caixa de rega com ApR (Santos, 2008).

No entanto, em Portugal, e de acordo com a norma NP 186, de 1966, que a cor roxa não foi designada para as tubagens de ApR mas para o transporte de produtos químicos.

3.8 Vantagens e desvantagens

No presente subcapítulo, serão abordadas as vantagens e desvantagens de cada uma das metodologias estudadas, conforme perceção das autoras. Ressalta-se que nem todos os fatores abordados aqui estão descritos nos itens anteriores. Na Tabela 7 apresenta-se um resumo dos fatores que possibilitam a comparação entre as metodologias.

Tabela 7 - Fatores de avaliação para análise das vantagens e desvantagens de cada parque

Fatores	Parque Tejo	Parque da Paz
• Qualidade do efluente	Pior qualidade	Melhor qualidade
• Caudal (m ³ /dia)	1972,6	13 267
• Cenários	1	3
• Tecnologias de tratamento	Sim	Sim
• Fertilização	Não	Sim
• Armazenamento	Sim	Sim
• Custos totais	132.521€	Cenário 1 960.120€
		Cenário 2 1.206.344€
		Cenário 3 4.424.642€
• Sinalização	Sim	Não
• Inquéritos	Não	Sim

- Do ponto de vista da qualidade do efluente tratado, no geral, o Parque da Paz apresenta uma melhor qualidade. Nem sempre o de melhor qualidade é o mais acertado. O ideal é alcançar a qualidade desejada para o fim proposto e, uma vez que, a aplicação destas águas é a sua reutilização em rega de jardins é crucial controlar e monitorizar os parâmetros microbiológicos. Os valores do efluente pós-desinfecção das bactérias coliformes fecais no Parque da Paz não se apresentam em conformidade. Pelo contrário, no Parque Tejo, após submeter o efluente a desinfecção por radiação UV, os valores de coliformes fecais já se encontram em conformidade para o fim a que se destina: a ApR.
- Apesar do caudal do Parque da Paz ser muito superior ao do Parque Tejo, não invalida que o caudal menor já tenha alcançado o objetivo. Algo que foi verificado no fator anterior (qualidade do efluente) tendo em conta o fim a que se destina.
- Tendo em conta ao número de cenários propostos para tratamento adicional, o Parque da Paz apresenta uma boa vantagem devido ao facto de oferecer mais do que uma possibilidade aos tomadores de decisão.

- O Parque da Paz apresenta três tipos de diferentes tecnologias, o que constitui uma vantagem relativamente ao Parque Tejo. Estas opções de tratamento são cruciais para alcançar a qualidade do efluente tendo em conta do fim a que se destina. Isto é contrário ao que acontece na metodologia do Parque Tejo, que apenas recomenda um equipamento de desinfecção UV e uma cloragem com adição de hipoclorito de sódio.
- No que diz respeito à fertilização, a autora da metodologia do Parque da Paz elaborou uma síntese de toda a caracterização da flora e da sua fertilização o que indica uma grande vantagem ao contrário da metodologia do Parque Tejo que apenas recomendou a sua realização. Na metodologia do Parque da Paz conclui-se que é aplicado anualmente estrume de cavalo e que a relva cortada mensalmente permanece no local sobre o relvado. Este tipo de informação é relevante para o tratamento do efluente visto que, sabendo as necessidades das áreas verdes, pode-se proceder de maneira a não remover certos nutrientes que poderão vir a ser necessários para a fertilização do jardim.
- Armazenar a ApR é extremamente importante e, neste fator, ambas as metodologias o propuseram. A quantidade e a qualidade ao longo do ano não é sempre a mesma e por se tratar de uma necessidade sazonal, há a necessidade de impor o seu armazenamento. No Parque Tejo, após a cloragem o efluente é armazenado para evitar recontaminações. No Parque da Paz, apesar de o armazenamento ser uma prática recorrente, mas devido à presença de patos, gansos e outros seres vivos que habitam no lago, ao descarregar o efluente tratado, este seria novamente contaminado. Nesse sentido, foi sugerido por Santos, (2008), o armazenamento num reservatório elevado, nas proximidades do Parque da Paz, que se encontra desativado como mostra a Figura 21.



Figura 21 - Reservatório elevado proposto nas proximidades do Parque da Paz (Santos, 2008).

- Ambas as metodologias calcularam os custos dos cenários que propuseram para facilitar a tomada de decisão. Aparentemente, um custo mais baixo é mais atraente e, por vezes, tendo em conta o fim a que se destina a ApR é fundamental escolher a tecnologia mais apropriada. Mais importante que os valores dos custos, é o estudo da viabilidade económica e avaliar os prós e contras de cada tecnologia. Esse estudo, irá permitir ao tomador de decisão avaliar o que realmente compensa tendo em conta as condições que apresenta.
- A sinalização é abordada por ambas as metodologias, o que demonstra uma grande vantagem pois os utilizadores devem ter o conhecimento que os parques estão a ser regados por ApR e assim, incutir à sua aceitação sem haver qualquer tipo de ocultação. A autora do Parque da Paz propôs um anemómetro amovível para medir a velocidade do vento junto a qualquer aspersor.
- No que diz respeito à realização de inquéritos, a metodologia do Parque da Paz possui uma grande vantagem ao contrário do Parque Tejo. Como já mencionado, a aceitação pública é um fator limitante na implementação de projetos de ApR e a autora da metodologia do Parque da Paz determinou a adesão do público na utilização de águas residuais tratadas para rega do parque. Conclui-se que a opinião dos utilizadores foi bastante positiva. Para além disto, é proposto um esclarecimento adicional com a utilização de folhetos informativos e sessões de esclarecimento.

4. ACEITAÇÃO SOCIAL

Este capítulo 4 está inteiramente direcionado para a aceitação social. Elucida-se a importância da receptividade pública nos projetos de ApR, abordam-se os motivos pela qual estes projetos são aceites e rejeitados, e as estratégias que poderão ser empregues para aumentar essa receptividade.

Garantir o abastecimento de água suficiente para a população é um desafio contínuo em muitas partes do mundo. Existem ameaças de alto nível à segurança da água para quase 80% da população mundial, alterações climáticas, crescimento populacional e uma crescente urbanização que se intensificarão como problemas de segurança da água no futuro. Para contornar a escassez de água atual e futura é importante aumentar o abastecimento com fontes de água não convencionais. Portanto, a água residual tratada é vista como uma alternativa sustentável e viável (Fielding et al., 2019).

Os avanços tecnológicos dos tratamentos de água permitem a produção de ApR com alta qualidade que atendem a padrões de forma confiável. No entanto, se o processo de tratamento for inadequado, a água pode representar um risco para a saúde humana. Essas percepções interagem com as preocupações sobre a confiabilidade de informações de qualidade da água fornecidas e falta de confiança no governo e na ciência, no geral da população (Mukherjee e Jensen, 2020).

A importância da atitude pública na implementação de ApR já é reconhecida há algum tempo. Nos últimos 30 anos várias pesquisas foram conduzidas para avaliar a aceitação do público em relação ao uso da água reutilizada (Asano, 2015).

A aceitação do público ainda é uma barreira crítica para a introdução de esquemas de água residual tratada. Portanto, a aceitação pública tornou-se uma consideração importante para as entidades competentes de introduzir esquemas de água de ART, especialmente, aqueles para uso potável. De facto, a aceitação social é essencial para iniciar, implementar e manter um programa de reutilização a longo prazo (Fielding et al., 2019).

O público consiste em muitos subconjuntos da sociedade com diferentes motivações, valores e abordagens que frequentemente foram identificadas como partes interessadas. A comunidade em geral inclui, entre outros, grupos étnicos locais, grupos

políticos, sociais e económicos, defensores da justiça ambiental e ambientalistas. Para fins de planeamento, o público deve ser dividido em duas categorias: participantes diretos (por exemplo, usuários de ApR) e o público mais amplo que sofrerá impactos indiretos. As estratégias de participação pública devem ser adaptados aos interesses e necessidades de cada categoria (Asano, 2015).

O público preocupa-se com o abastecimento de água seguro e proteção adequada. Assim, é importante criar consciência de como a ApR pode criar uma contribuição positiva para todas essas questões e preocupações que possam surgir. O envolvimento público no planeamento do projeto de ApR pode ter benefícios substanciais em termos de satisfação, necessidades de água ganhando apoio público, desenvolvendo um amplo mercado para a ApR e melhoria da implementação do projeto (Asano, 2015).

Os cidadãos que podem vir a estar interessados conseguem fornecer antecipadamente indicações sobre qual o programa de reutilização que será mais aceite a nível comunitário. Além disso, informando os cidadãos, consegue-se ajudar a antecipar e resolver potenciais problemas e desenvolver alternativas que podem funcionar de forma mais eficaz para a comunidade (USEPA, 2004).

Concluindo, é importante elucidar os cidadãos, nomeadamente:

- Consciencialização sobre os problemas locais de abastecimento de água e percepção da ApR como uma reserva de abastecimento de água;
- Entendimento sobre a qualidade da ApR e como essa seria empregue;
- Confiança na gestão local dos serviços públicos e na aplicação da tecnologia moderna;
- Garantia de que a aplicação de reutilização envolve um risco mínimo de exposição (USEPA, 2004).

Para avaliar a aceitação do público sobre os projetos de reutilização é empregue um método que cada vez mais é determinante para a percepção global do sucesso do projeto, a realização de inquéritos.

Segundo inquéritos realizados nos EUA referentes à ApR na rega de parques urbanos, cerca de 4% das respostas realizadas pelo público remetem opiniões negativas sendo que as razões são devido à falta de confiança na entidade que explora o projeto de reutilização, a segurança e os custos associados (USEPA, 2004).

Para se conseguir obter uma abordagem clara e esclarecedora para com os cidadãos é importante seguir os respetivos pontos, segundo (USEPA, 2004):

- a) Determinar as metas de reutilização da comunidade e as opções e/ou alternativas associadas para ser considerado mais adiante;
- b) Explicar onde as pessoas interessadas podem obter informações ou relatórios sobre o estado do meio ambiente e outras declarações que sejam importantes;
- c) Criar uma lista de pessoas interessadas incluindo agências, departamentos, funcionários, clientes e outros que se achar necessário. Identificar o nível de interesse pelos diferentes grupos;
- d) Divulgação pública para os públicos-alvo específicos em forma de reuniões informais. É importante limitar o número de pessoas para que a discussão individual seja mais facilmente realizada;
- e) Planear um cronograma e data prevista para se obter um consenso sobre alternativas de reutilização.

Na Figura 22 apresenta-se um fluxograma de um programa de participação pública para o planeamento de um sistema de ApR

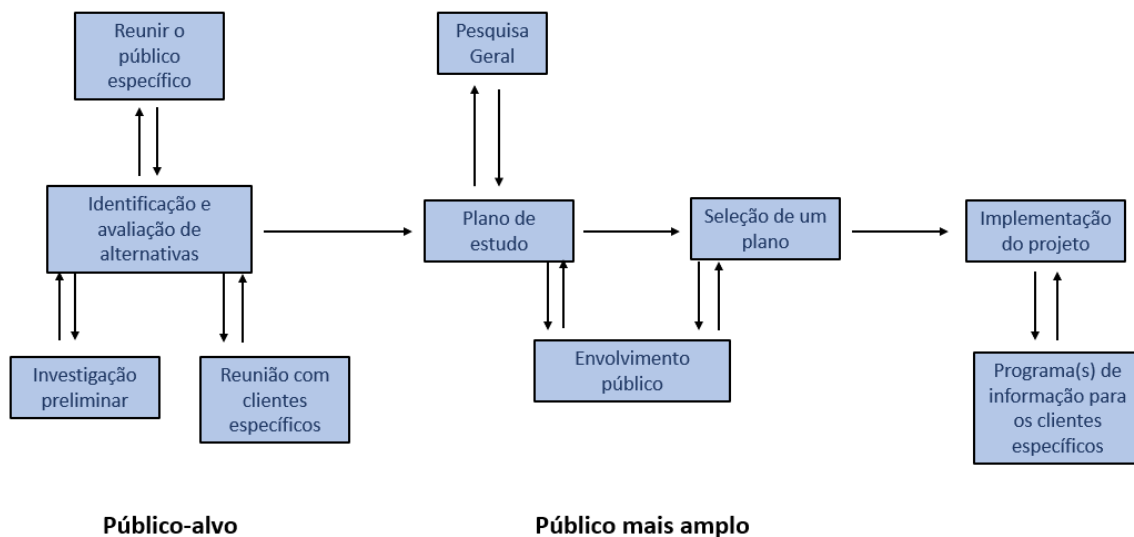


Figura 22 – Exemplo de um programa de participação pública para o planeamento de um sistema de ApR (Adaptado de USEPA, 2004).

Na Tabela 8 apresenta-se uma tabela resumo dos fatores que diminuem e aumentam o apoio público na implementação de projetos de ApR.

Tabela 8 – Resumo dos fatores que diminuem e aumentam a aceitação pública nos projetos de ApR (Adaptado de Gomes, 2011)

Aceitação pública	
Fatores que diminuem o apoio à ApR	Fatores que aumentam o apoio à ApR
Falta de confiança nas instituições públicas	Consciencialização para a utilização de ApR
Dúvida que a água residual não seja devidamente tratada	Introdução da população nas decisões dos projetos de ApR
Receio no contacto possível com a ApR	Confiança na proteção da saúde e ambiente
Dúvida na segurança e independência dos modos de distribuição de água para a comunidade	Confiança na gestão local dos equipamentos e tecnologias é alto
Desconfiança na comunidade científica e médica	Provar a qualidade da ApR em projetos já implementados

5. CASO DE ESTUDO: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEMI-QUANTITATIVA DO RISCO MICROBIOLÓGICO PARA UTILIZAÇÃO DE APR NO CAMPO DE GOLFE DE AMARANTE

Este capítulo tem como objetivo apresentar um caso de estudo da aplicação da metodologia semi-quantitativa do risco microbiológico (MSqRM) para a utilização da ApR para rega de um Campo de Golfe localizado em Amarante, no distrito do Porto, Portugal. Será então apresentada a área de estudo e suas características (secção 5.1), os resultados da aplicação da metodologia propriamente dita (secção 5.2) e os resultados do processo iterativo de reavaliação a partir de alterações nos cenários e nas barreiras propostas (secção 5.3).

5.1 Localização e características gerais da área de estudo

➤ Localização

O Campo de Golfe de Amarante localiza-se na cidade de Amarante, pertencente ao distrito do Porto e na proximidade ainda do distrito de Braga e concelho de Guimarães, conforme pode ser observado no mapa da Figura 23.

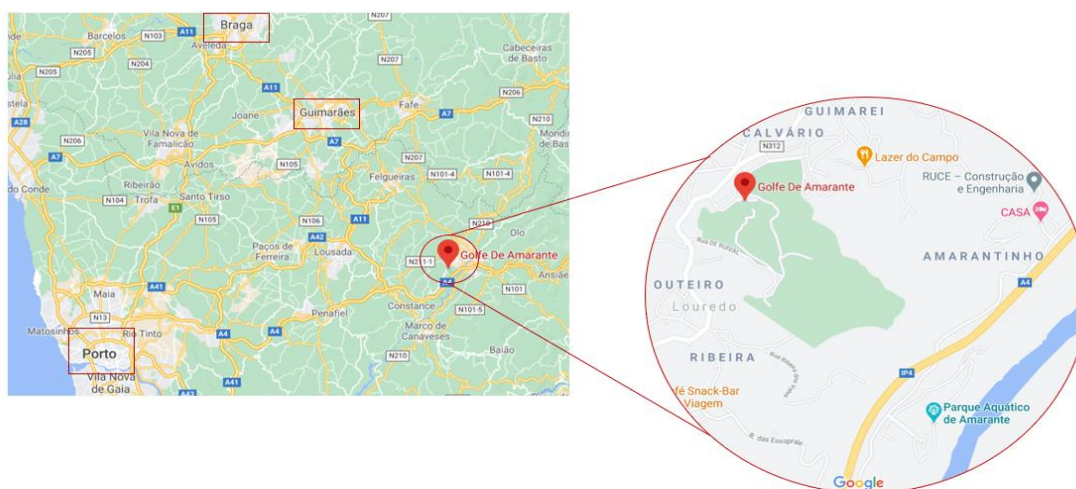


Figura 23 – Mapa de localização do campo de golfe de Amarante, objeto do presente caso de estudo (Google Maps)

Encontra-se localizado a 30 minutos do Porto, Braga e Guimarães e a 35 minutos do Douro. No sentido Porto-Amarante e seguindo pela A4, o acesso ao campo de golfe é ao Km

57 saída nº 15, optando pela direção Amarante Oeste/Celorico de Basto. Por outro lado, vindo de Vila Real o caminho é realizado pela IP4 sentido Vila Real-Porto e, de seguida, tomando a saída nº15 da A4 na direção Amarante Oeste/Celorico de Basto.

➤ Características gerais

O Campo de Golfe foi inaugurado em 1997, encontra-se a 600 m acima do nível do mar, apresenta uma área total de aproximadamente 40 hectares e oferece 18 buracos, envolvido com espaços relvados extensos e vegetação arbórea, 4 lagos e quedas de água (dados obtidos pelo website oficial do campo de golfe recorrendo a chamada telefónica para sua confirmação). Na Figura 24 apresenta-se um desenho esquemático do campo de golfe.



Figura 24 – Desenho esquemático do campo de golfe com destaque para a localização dos 18 buracos e demais espaços do paisagismo (Website oficial do campo de golfe).

A área (Figura 25), que abriga aulas, competições e torneios, ainda possui um restaurante, bar, esplanada, balneários, loja de golfe e oficina de reparação de equipamentos. O Campo destaca-se como uma escola de golfe que permite fornecer aprendizagens para crianças e adolescentes, perfazendo o perfil de juniores e adultos.



Figura 25 – Campo de golfe

5.2 Aplicação da MSqRM

O modelo AQRM baseia-se na aplicação de modelos de dose-resposta. Os dados de entrada abrangem a frequência e duração da aplicação da ApR e dose de ingestão, inalação ou contacto com a pele por cenários de exposição. Trata-se de um processo complexo visto que estes dados de entrada devem estar contidos num banco de dados confiável (APA, 2019). Em função da falta de disponibilidade do banco de dados confiáveis para a aplicação da AQRM e ainda devido ao facto de essa ser indicada principalmente para água de abastecimento ou reutilização potável, adotou-se no presente estudo, a aplicação da MSqRM.

A partir deste ponto, aplicou-se uma metodologia sugerida pela ISO e adaptada pela APA. Na aplicação do método semi-quantitativo, os dados de entrada vão ser as normas a aplicar a cada cenário de exposição quando há a ausência de barreiras. Neste método a severidade dos danos é definida de forma empírica (de insignificante a severo). Apresenta-se um maior nível de contaminação quando a severidade dos danos é pior. Estes modelos são os mais adequados para uso não potável (APA, 2019).

Nesta proposta metodológica considerou-se a avaliação e gestão do risco com o objetivo de identificar possíveis problemas que podem ocorrer ao nível da saúde pública permitindo, assim, a sua prevenção, mitigação do risco e a minimização dos seus impactos.

A saúde pública requer uma adequada proteção devido à elevada probabilidade da exposição humana com os relvados e o facto de ocorrer contacto com plantas e superfícies molhadas pelo sistema de rega (ERSAR, 2010).

Antes de prosseguir ao aprofundamento deste projeto de reutilização, avaliando os seus riscos referentes à saúde pública, é necessário ter-se em observação as perguntas que devem ser respondidas, nomeadamente:

- Identificação de perigos – Quais agentes podem provocar efeitos nos recetores em análise?
- Identificação das vias de exposição e recetores – Quais os recetores que poderão a ser afetados pelas vias de exposição: ingestão, inalação e adsorção térmica?
- Dose VS exposição/cenários de exposição – Quais os tipos de exposição e a relação entre a dose e a incidência da doença?
- Caracterização do risco – Qual a estimativa do incidente sobre os recetores sujeitos ao risco?

Para responder às perguntas apresentadas, o método adota-se as seguintes equações 2 e 3:

$$R_R = P \times V_R \times D \quad \text{Equação 2}$$

$$R_G = \frac{\sum R_R}{N_R} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

R_R : Risco relacionado a cada recetor;

R_G : Risco relacionado a cada recetor;

V_R : Vulnerabilidade de cada recetor;

N_R : Número de recetores;

P : Perigo;

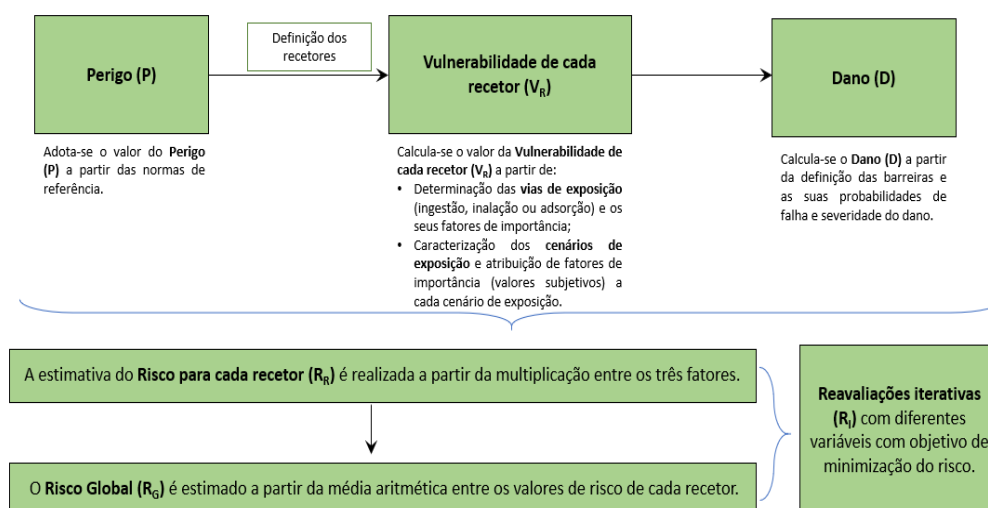
D : Dano.

Aspetos a considerar ao longo deste projeto:

- Um Campo de Golfe com restrições de acesso a animais de companhia;
- Aberto ao público das 9h-19h.

Nos próximos itens, cada etapa apresentada no fluxograma da Figura 26 será discutida mediante resultados alcançados no presente caso de estudo. Para facilitar o entendimento, ao início de cada etapa, o mesmo fluxograma será novamente apresentado, com destaque para a etapa em execução (figuras 27, 28, 30, 33, 34 e 35).

Figura 26 – Etapas para alcançar o resultado de avaliação do risco e respectivas reavaliações



5.2.1 Aplicação da MSqRM (Identificação do Perigo)

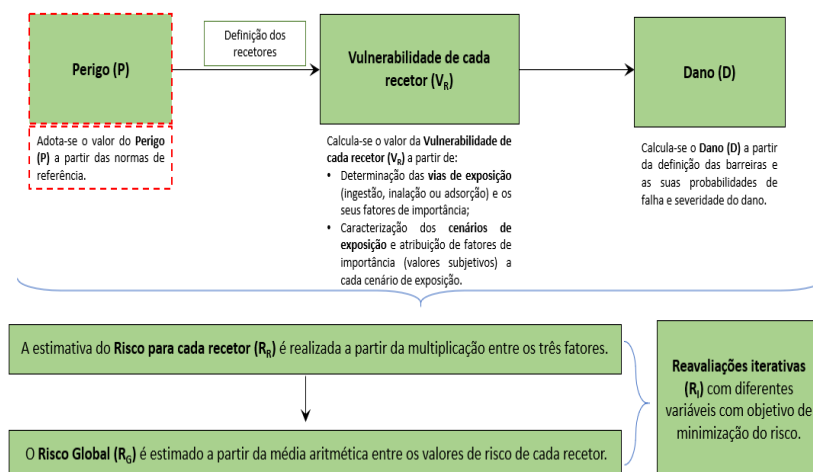


Figura 27 – Fluxograma com destaque para a identificação do perigo

A proposta para o projeto de reutilização no que diz respeito ao teor de *E. coli* foi considerado valores entre 10^3 a 10^4 ufc/100mL. Associado a esse intervalo de valores a ApR é gerada, através de uma desinfecção a um nível secundário.

A metodologia semi-quantitativa empregue é suportada pela proposta de Saaty (1980) que se divide por níveis de importância pelo respetivo fator de importância (fi), encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Níveis de importância (Saaty 1980)

Nível de importância	Fator de importância (fi)
Importância baixa	1
Importância fraca	3
Importância essencial ou forte	5
Importância demonstrada	7
Importância absoluta	9
Importância entre dois níveis de decisão	2,4,6 ou 8

Como o perigo se considera a presença do microrganismo de contaminação fecal referente ao teor de *E. coli* presente na ApR, a cada tipo de tratamento são atribuídos cinco níveis de perigo, tal como se apresentou no Capítulo 2, secção 2.4, tabela 3.

Para o caso prático em curso, e como o tipo de tratamento é a desinfecção num nível secundário, o perigo corresponde a um valor igual a 7 identificado por importância demonstrada.

5.2.2 Aplicação da MSqRM (Vulnerabilidade de cada recetor)

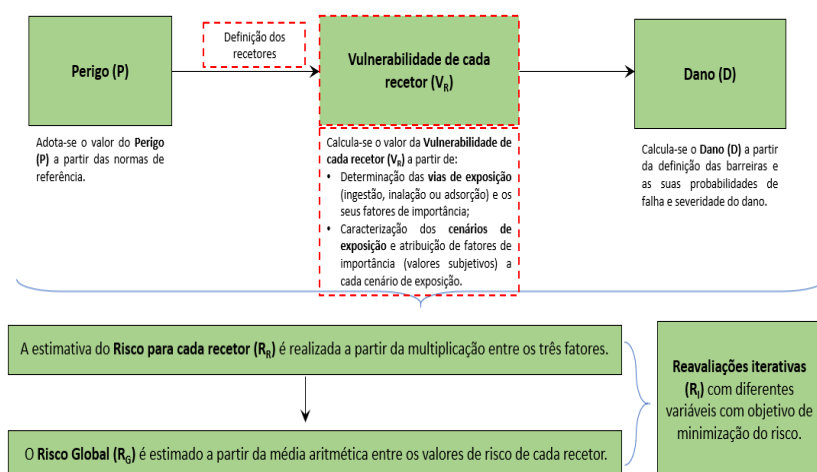


Figura 28 – Fluxograma com destaque para obtenção da vulnerabilidade pelos diferentes recetores

➤ Definição dos recetores

Os recetores que foram considerados para a análise do risco do campo de golfe estão divididos entre trabalhadores, jogadores e visitantes. Os visitantes estão subdivididos entre crianças e adolescentes, e adultos.

Para uma melhor compreensão encontra-se na Figura 29 um esquema com os principais intervenientes.

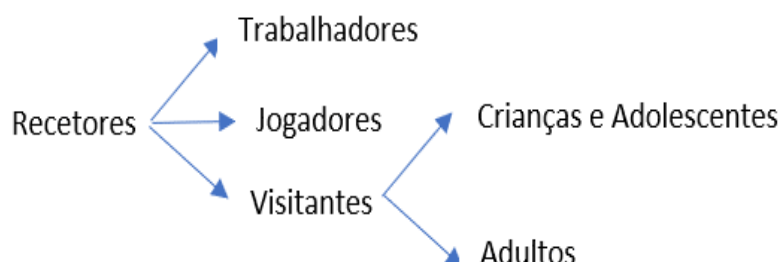


Figura 29 – Principais intervenientes no campo de golfe

Na Tabela 10 encontra-se uma descrição das tarefas realizadas por cada interveniente no campo de golfe em estudo.

Tabela 10 - Tarefas de cada recetor no campo de golfe em estudo

Trabalhadores	• Jardineiros	Manutenção do jardim procedendo ao seu corte, arranjo, podas, limpeza dos relvados e ancinhar bunkers. Ter em consideração todas as áreas relacionadas ao campo de golfe.
	• Assistente de programação e manutenção de sistemas de rega	Realizar a programação dos vários sistemas de rega, a sua respetiva manutenção e reparação.
	• Instrutores ou professores de golfe	Ensinar e transmitir conhecimentos aos seus aprendizados de qualquer idade.
	• Gestor de equipamentos	Entrega de equipamentos aos jogadores e posteriormente a sua recolha no campo de golfe se necessário.
	Apenas são aplicados em caso de competições ou campeonatos de golfe:	
	• <i>Caddie</i>	Carregador da bolsa com os tacos do golfista e mediante as suas competências mais avançadas pode servir para indicar a posição das bolas durante o jogo.
	• <i>Referee</i> ou juiz árbitro	Acompanha os jogadores e decide qual a regra a aplicar em caso de transgressão.
Jogadores	Em contacto permanente com o campo.	
Visitantes	Em contacto com o campo em horas permitidas para o efeito (lazer, visitas de estudo, etc.).	

➤ Identificação das vias de exposição

É importante salientar as vias de exposição a considerar: ingestão, inalação ou adsorção, e cuja aplicação aos diferentes intervenientes se identifica na Tabela 11.

As vias de exposição no ponto de vista da proteção dos riscos para a saúde pública, considerou-se:

- Ingestão, inalação e adsorção diretas;
- Ingestão, inalação e adsorção indiretas, por exemplo por via de contacto dos equipamentos de golfe com o solo;
- Adsorção indireta, por exemplo por via de contacto com a vegetação do jardim.

Tabela 11 - Identificação das vias de exposição diretas por recetor

Vias de exposição	Trabalhadores	Jogadores	Visitantes - Crianças e adolescentes	Visitantes - Adultos	Vegetação Paisagística
Ingestão	X	X	X	X	
Inalação	X	X	X	X	
Adsorção	X	X	X	X	X

A cada cenário de exposição é possível atribuir uma dada importância como mostra a tabela 12.

Tabela 12 - Fatores de importância correlacionados com os cenários de exposição (APA, 2019; Rebelo, 2018).

Fator de importância	Observações
9	Via de infeção demonstrada
7	Via de infeção possível
5	Eventual via de infeção
3	Ausência de dados sobre a via de infeção
1	Ausência de via de infeção demonstrada

A cada via de exposição é atribuído o respetivo fator de importância como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Fatores de importância aplicáveis a cada via de exposição (APA, 2019).

Via de exposição	Homem	Justificação
Ingestão direta	9	como via de importância absoluta
Ingestão indireta (via animais domésticos)	9	
Inalação direta	9	como via de importância absoluta em sistema de rega por aspersão
Inalação indireta (via animais domésticos)	9	
Adsorção direta	3	como via de fraca importância devido à ausência de dados de doença ou infeção através desta via
Adsorção indireta (via animais domésticos)	3	
Adsorção indireta (via vegetação)	3	

➤ Identificação dos cenários de exposição

Na aplicação do método semi-quantitativo, os dados de entrada vão ser as normas a aplicar a cada cenário de exposição quando há a ausência de barreiras.

Para a aplicação da metodologia semi-quantitativa considerou-se alguns cenários mais clássicos:

- a) Ingestão da água durante a rega (via direta);
- b) Ingestão do solo com o contacto com o equipamento de golfe (via indireta);
- c) Inalação de aerossóis durante a rega (via direta);
- d) Adsorção por contacto direto com a ApR (via direta);
- e) Adsorção por contacto com sistema de rega (via direta);
- f) Adsorção por contacto com vegetação (via direta);
- g) Adsorção por contacto com o equipamento de golfe com o solo (via indireta).

Na prática, optou-se pela realização de tabelas, distribuídas por cada recetor envolvido com os diferentes cenários de exposição considerados, em função do seu fator de importância atribuído tal como se apresentam nas tabelas 14, 15, 16 e 17.

A coluna referente à via de exposição são valores tabelados tal como apresentados anteriormente. De seguida, fez-se o produto entre o fator de importância e a via de exposição resultado da coluna Fator*Via. Após a soma das colunas mais à direita é a altura para o cálculo da vulnerabilidade de cada recetor. A existência de determinada via de exposição com a probabilidade de acontecimento de um determinado cenário obtém-se a vulnerabilidade. Um recetor será mais vulnerável na presença de vias de exposição diretas e cenários devidamente validados. A Equação 4 representa a expressão de cálculo utilizada para o resultado do valor da vulnerabilidade de cada recetor.

$$V_{recetor} = \frac{\sum(f_{i_{via exp}} * f_{i_{cen exp}})}{f_{normalização}} \quad \text{Equação 4}$$

Tabela 14 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário de exposição referente aos trabalhadores

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{i_{cen exp}}$)	Justificação	Via de Exposição ($f_{i_{via exp}}$)	$f_{i_{cen exp}} * f_{i_{via exp}}$
a)	9	Absoluta. Sempre elevada para todos os trabalhadores.	9	81
b)	9	Absoluta. Sempre elevada porque está em contacto direto com o equipamento esteja ele perdido no campo ou não.	9	81
c)	9	Absoluta. Rega por aspersão.	9	81
d)	9	Absoluta. Sempre elevada para todos os trabalhadores.	3	27
e)	5	Essencial ou forte. Pode ocorrer caso haja algum problema nos aspersores.	3	15
f)	7	Demonstrada. É sempre provável o trabalhador estar em contacto com folhas e raízes molhadas.	3	21
g)	5	Essencial ou forte. Arrumo de equipamento perdido no campo que esteja molhado.	3	15
			39	321

Tabela 15 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário referente aos jogadores

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{i_{cen exp}}$)	Justificação	Via de Exposição ($f_{i_{via exp}}$)	$f_{i_{cen exp}} * f_{i_{via exp}}$
a)	-	Não aplicável	-	-
b)	9	Absoluta. Em constante contacto direto com o equipamento de golfe.	9	81
c)	-	Não aplicável	-	-
d)	-	Não aplicável	-	-
e)	5	Essencial ou forte. Apesar da rega ser efetuada durante o fecho pode ocorrer devido ao aspersor ainda estar molhado.	3	15
f)	7	Demonstrada. Pode ocorrer devido às folhas e raízes se encontrarem molhadas.	3	21
g)	7	Demonstrada. Pode ocorrer devido ao solo se encontrar molhado e o equipamento estar em contacto com o mesmo.	3	21
			18	138

Tabela 16 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário de exposição referente aos Visitantes – Crianças e adolescentes

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{i_{cen exp}}$)	Justificação	Via de Exposição ($f_{i_{via exp}}$)	$f_{i_{cen exp}} * f_{i_{via exp}}$
a)	-	Não aplicável	-	-
b)	7	Demonstrada. Provável acontecer em caso de equipamento perdido no campo.	9	63
c)	-	Não aplicável	-	-
d)	-	Não aplicável	-	-
e)	7	Demonstrada. Apesar da rega ser em horários de não utilização do campo, pode acontecer.	3	21
f)	9	Absoluta. Muito provável acontecer devido a brincadeiras na relva.	3	27
g)	5	Essencial ou forte. Pode acontecer em caso de equipamento perdido no campo molhado.	3	15
			18	126

Tabela 17 - Fatores de importância atribuídos a cada cenário de exposição referentes aos Visitantes – Adultos

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{i_{cen exp}}$)	Justificação	Via de Exposição ($f_{i_{via exp}}$)	$f_{i_{cen exp}} * f_{i_{via exp}}$
a)	-	Não aplicável	-	-
b)	5	Essencial ou forte. Pode ocorrer em caso de equipamento perdido no campo.	9	45
c)	-	Não aplicável	-	-
d)	-	Não aplicável	-	-
e)	5	Essencial ou forte. Apesar da rega ser em horários de não utilização do campo, pode acontecer.	3	15
f)	7	Demonstrada. Pode ocorrer em caso das folhas e raízes se encontrarem molhadas.	3	21
g)	3	Fraca. Não estão em contacto direto com o equipamento. Ocorre caso se encontre perdido no campo.	3	9
			18	90

Na Tabela 18 apresenta-se um quadro resumo do cálculo da vulnerabilidade por cada recetor.

Tabela 18 - Cálculo da vulnerabilidade por cada recetor

Recetores		Vulnerabilidade
Trabalhadores		0,91
Jogadores		0,85
Visitantes	Crianças e adolescentes	0,78
	Adultos	0,56

Importa mencionar que mesmo considerando a subjetividade do fator de importância não altera substancialmente o número da vulnerabilidade.

Fazendo uma análise crítica aos resultados do cálculo da vulnerabilidade de cada um dos recetores, podemos concluir que apresentam valores lógicos. Os trabalhadores são os recetores que estão mais sujeitos aos riscos e apresentam um valor de vulnerabilidade superior ao dos restantes, de 0,91. De seguida, os jogadores são os mais afetados apresentando um valor de 0,85. Os visitantes são os recetores que menos estão expostos ao perigo. Como os visitantes estão divididos entre dois grupos (crianças e adolescentes, adultos) e visto que os primeiros são a classe mais vulnerável e inconsciente apresentam um valor superior ao dos adultos, 0,78 e 0,56 respetivamente. Ainda assim, apresentam um valor inferior ao dos jogadores em virtude de se tratar de visitantes, não estando expostos permanentemente ao perigo.

5.2.3 Aplicação da MSqRM (Dano)

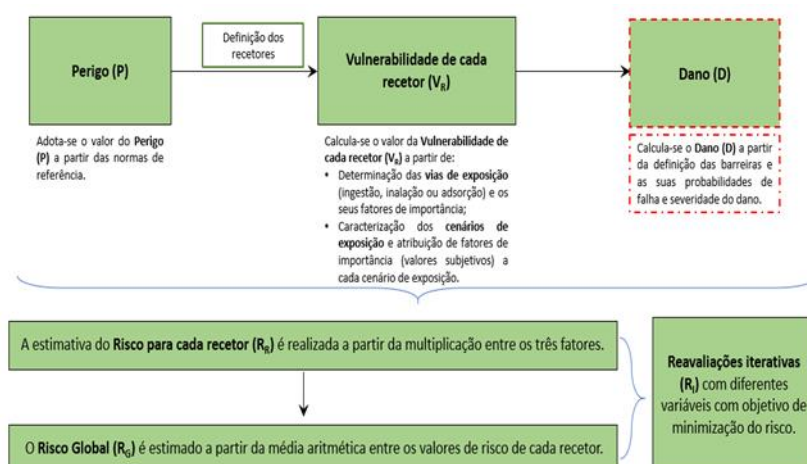


Figura 30 – Fluxograma com destaque obtenção do dano

No que diz respeito ao caso de estudo do campo de golfe as barreiras que foram levadas em consideração foi:

- a) Rega por aspersão;
- b) Pós-cloragem (refere-se à cloração no reservatório antes da aplicação).
- c) Restrição de acesso durante as horas de rega no campo de golfe (sem horário específico).

Os danos parciais (d_i) podem ser obtidos a partir da Norma ISO (Organização Internacional para a Normalização) 16075-2:2015 (Figura 31) e determinado com base na probabilidade de falha na barreira em função da severidade dos danos, através da Equação 5.

			Probabilidade de falha na barreira				
			Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
			1	2	3	4	5
Severidade dos danos	Insignificante	1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	Fraco	2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
	Moderado	3	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0
	Forte	4	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
	Severo	5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0

Figura 31 – Matriz de determinação do dano (APA, 2019).

$$d_i = \frac{\text{Severidade dos danos} * \text{probabilidade de falha}}{5} \quad \text{Equação 5}$$

A matriz da Figura 31 pode sofrer um melhoramento através da sua priorização com base numa escala de importância como se apresenta na Tabela 19, resultando na Figura 32.

Tabela 19 - Priorização dos danos (APA, 2019).

$Dano(d_i)$	<i>Fator de importância</i> (f_i)	Nível de importância
$d_i \leq 0,5$	1	Pouca importância
$0,5 < d_i < 1$	2	Entre pouca importância e fraca importância
$1 \leq d_i < 1,2$	3	Fraca importância
$1,2 \leq d_i < 2$	4	Entre fraca importância e essencialmente importante
$2 \leq d_i < 2,4$	5	Essencialmente importante
$2,4 \leq d_i < 3$	6	Entre essencialmente importante e importância demonstrada
$3 \leq d_i < 3,2$	7	Importância demonstrada
$3,2 \leq d_i < 4$	8	Entre importância demonstrada e importância absoluta
$d_i \geq 4$	9	Importância absoluta

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

Figura 32 – Matriz de determinação dos danos seguida da priorização (APA, 2019; Rebelo 2018).

O valor do dano relativo à totalidade das barreiras adotadas é conforme a Equação 6:

$$Dano = \frac{\sum(d_i * n)}{f_{normalização}} \quad \text{Equação 6}$$

n – Representa o número de barreiras equivalentes conforme retratado na Norma ISO 16075 – 2:2015

$f_{normalização}$ - Fator de normalização dado pela Equação 7:

$$f_{normalização} = f_{i_{max}} * n \quad \text{Equação 7}$$

Para todas as barreiras apresentadas considera-se uma probabilidade de falha na barreira “quase certa” e uma severidade de danos de nível “severo”, traduzindo num dano parcial de importância absoluta de valor igual a 9, conforme a matriz de determinação do dano (Figura 31). Dessa forma, de acordo com a Equação 6, o dano apresentou valor igual a 1.

5.2.4 Aplicação da MSqRM (Estimativa do Risco)

Finalmente, as informações de exposição e efeitos na saúde são combinadas calculando o risco para as condições e cenários definidos durante a caracterização do risco. O resultado desta etapa deve alimentar diretamente as questões de gestão do risco definidas durante a formulação do problema. A análise de incerteza e/ou análise de sensibilidade pode ser extremamente valiosa para testar a robustez dos cálculos do risco para apoiar a decisão de gerenciamento do risco. Assim, foram estimados o risco para cada recetor (Equação 8), resultados apresentados na Tabela 21 e o risco global (Equação 9).

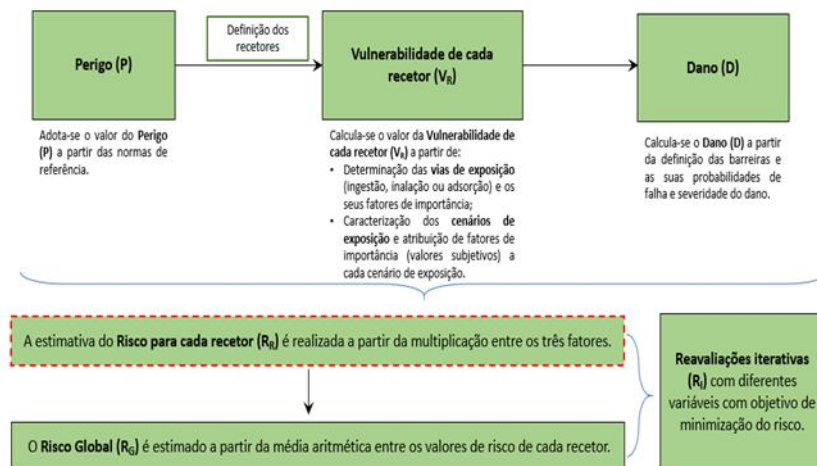


Figura 33 – Fluxograma com destaque para obtenção do risco para cada recetor

A Equação 8 permite obter o valor do risco por cada recetor:

$$R_{recetor} = Perigo * V_{recetor} * Dano \quad \text{Equação 8}$$

Por outro lado, a Equação 9 permite calcular o risco global:

$$R_{Global} = \frac{\sum R_{Recetor}}{N_{Recetores}}$$

Equação 9

Onde:

$N_{recetores}$ que retrata o número total de recetores.

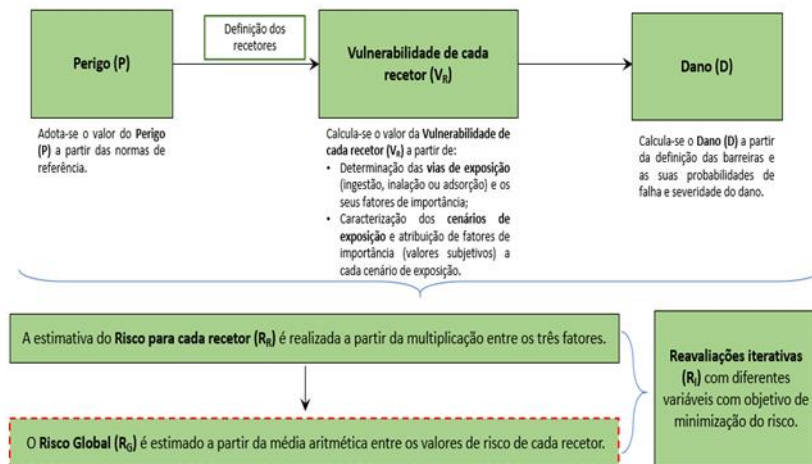


Figura 34 – Fluxograma com destaque para a obtenção do risco global

Para uma melhor percepção dos valores do risco global, os respetivos resultados podem ser expressos em 3 níveis do risco tal como mostra a Tabela 20.

Tabela 20 - Valores do risco classificados em três níveis

Níveis do risco	
$0 < R_{global} < 3$	Risco global desprezável
$3 \leq R_{global} < 7$	Risco global aceitável
$7 \leq R_{global} < 9$	Risco global inaceitável

O facto de o risco global apresentar um risco de valor superior a zero corresponde à existência de um risco mínimo, porque na realidade não há risco zero. Quando o risco apresenta um valor que seja considerado inaceitável é necessário proceder à reavaliação de todo o processo, ajustando as barreiras de modo a obter-se níveis do risco desprezável ou aceitável. Se por algum motivo não for possível essa modificação, o projeto não se tornará viável.

Os resultados do risco para cada recetor e global, encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21 – Resultados do risco para cada recetor e global

Recetores		Risco	Nível do risco
Trabalhadores		6,37	Aceitável
Jogadores		5,95	Aceitável
Visitantes	Crianças e adolescentes	5,46	Aceitável
	Adultos	3,92	Aceitável
Risco Global		5,43	Aceitável

Entretanto, conforme apresentado na Tabela 21, mesmo o maior risco (6,37 para trabalhadores) estando próximo do valor limite (7) para a categoria inaceitável, todos os valores se apresentaram na faixa do aceitável.

De seguida, apresenta-se a Tabela 22 que funciona como um quadro resumo da caracterização do risco para diferentes níveis de tratamento, ou seja, valores de *E. coli* variáveis e correspondentes classificações de perigo. Importa referir que, apesar de se ter adotado um valor de perigo igual a 7 numa primeira avaliação, apresentam-se os resultados para os restantes perigos para criar termos de comparação entre todos e, de forma a verificar o que os faz variar. Por estas razões, também se torna uma solução viável para os tomadores de decisão, de modo a verificarem os prós e contras de cada norma de qualidade. Para além disto, este tipo de análise procura ainda contribuir para a maior aceitação social da ApR. De facto, a análise e quantificação detalhada, do risco microbiológico, apesar de resultar de uma metodologia simplificada como é a MSqRM, permite desenvolver informação concreta e dirigida ao público-alvo, que poderia de outra forma tender a rejeitar a utilização de espaços de lazer e prática desportiva com recurso a ApR.

Tabela 22 – Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Trabalhadores	0,91	1,00	6,37	Aceitável
		Jogadores	0,85		5,95	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		5,46	Aceitável
		Adultos	0,56		3,92	Aceitável
		Risco Global				5,43
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Trabalhadores	0,91	1,00	4,55	Aceitável
		Jogadores	0,85		4,25	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		3,90	Aceitável
		Adultos	0,56		2,80	Desprezável
		Risco Global				3,88
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Trabalhadores	0,91	1,00	2,73	Desprezável
		Jogadores	0,85		2,55	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		2,34	Desprezável
		Adultos	0,56		1,68	Desprezável
		Risco Global				2,33
$E.coli \leq 10^1$	1	Trabalhadores	0,91	1,00	0,91	Desprezável
		Jogadores	0,85		0,85	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		0,78	Desprezável
		Adultos	0,56		0,56	Desprezável
		Risco Global				0,78

Com base na tabela apresentada, pode-se concluir que o risco só se altera para desprezável a partir do nível de perigo 3, apesar de no nível de perigo 5, no recetor adultos, se apresentar um nível igualmente desprezável. Portanto, o objetivo passa por pretender alcançar níveis de perigo 3 ou 1, preferencialmente. O motivo é precisamente pelo facto de evitar que o tomador de decisão despenda um valor monetário superior. Isto porque a classificação de perigo ser cada vez menor, corresponde a um nível de tratamento mais avançado e exigente, o que corresponde a uma maior complexidade operacional aliada a um custo elevado. Dessa forma, deverão ser aplicadas alternativas para minimizar este risco.

5.2.5 Reavaliações iterativas

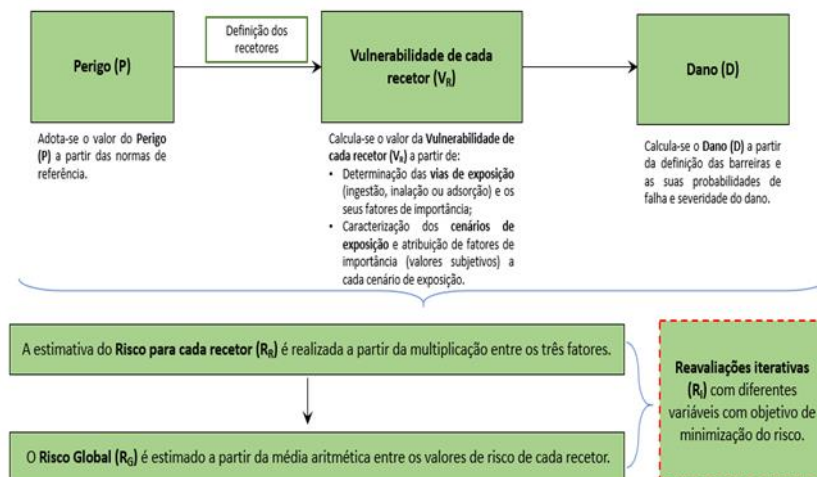


Figura 35 – Fluxograma com destaque para as reavaliações iterativas

Para se obter valores de níveis do risco inferiores aos apresentados anteriormente, e preferenciando alcançar um nível desprezável, é imprescindível implementar alguns ajustes na sua avaliação. Optou-se pelo mesmo procedimento anterior, em que se inclui a análise para níveis de perigo inferiores ao nível 7. Isto permite aferir a sensibilidade dos resultados e fornecer a análise técnica que possibilita aos tomadores de decisão avaliar a relevância de promover um nível de tratamento superior ou mais avançado.

➤ Reavaliação 1

Na reavaliação 1 consideraram-se as seguintes barreiras:

- Rega por aspersão;
- Pós-cloragem;
- Restrição de acesso durante as horas de rega fora do horário de utilização.

Esta reavaliação difere da primeira abordagem unicamente no facto da barreira equivalente – Restrição de acesso durante as horas de rega – se realizar fora do horário de utilização. Assim sendo, as barreiras acima mencionadas, pode-se concluir que apenas se alterou a terceira barreira. Para as duas primeiras barreiras mantém-se a probabilidade de falha na barreira “quase certa” e uma severidade de danos de nível “severo”, traduzindo num dano parcial de importância absoluta de valor igual a 9. A terceira barreira apresenta uma probabilidade de falha “quase certa” e uma severidade de danos de nível “moderado”. Consequentemente o valor do dano irá sofrer uma alteração de 1 para 0,93, tal como se

apresenta na Tabela 23. Na Figura 36 apresenta-se a reavaliação 1 em ícones para facilitar o entendimento de todas as barreiras.

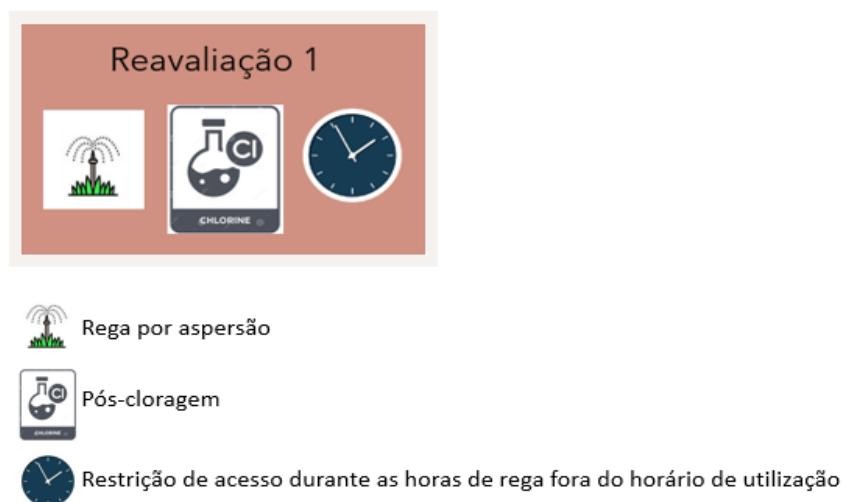


Figura 36 – Barreiras da reavaliação 1

Tabela 23 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 1

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Trabalhadores	0,91	0,93	5,92	Aceitável
		Jogadores	0,85		5,53	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		5,08	Aceitável
		Adultos	0,56		3,65	Aceitável
		Risco Global				5,05
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Trabalhadores	0,91	0,93	4,23	Aceitável
		Jogadores	0,85		3,95	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		3,63	Aceitável
		Adultos	0,56		2,60	Desprezável
		Risco Global				3,60
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Trabalhadores	0,91	0,93	2,54	Desprezável
		Jogadores	0,85		2,37	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		2,18	Desprezável
		Adultos	0,56		1,56	Desprezável
		Risco Global				2,16
$E.coli \leq 10^1$	1	Trabalhadores	0,91	0,93	0,85	Desprezável
		Jogadores	0,85		0,79	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		0,73	Desprezável
		Adultos	0,56		0,52	Desprezável
		Risco Global				0,72

➤ Reavaliação 2

Na reavaliação 2 optou-se pela utilização de um encamisamento dos aspersores após a finalização do sistema de rega com as três barreiras inicialmente consideradas, ou seja, dando um valor do dano igual a 1. Na Figura 37 apresenta-se a reavaliação 2 em ícones para facilitar o entendimento de todas as barreiras.

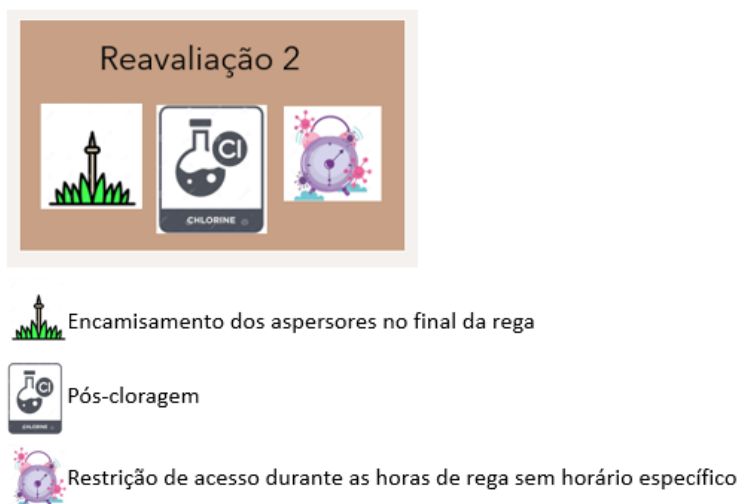


Figura 37 – Barreiras da reavaliação 2

Com o incremento da primeira barreira, alterou-se o fator de importância do respetivo cenário (cenário e) Adsorção por contacto com sistema de rega), que se altera mediante a utilização do encamisamento pelos diferentes recetores, Tabela 24. Consequentemente, com a alteração do fator de importância haverá um ajuste no cálculo da vulnerabilidade e dos riscos associados a cada recetor, assim como, o risco final, apresentando-se na Tabela 25.

Tabela 24 - Fatores de importância por cada cenário de exposição pelos diferentes recetores, no caso da reavaliação 2

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{cen exp}$)	Via de Exposição ($f_{via exp}$)	$f_{cen exp} * f_{via exp}$
a)	9	9	81
b)	9	9	81
c)	9	9	81
d)	9	3	27
e)	3	3	9
f)	7	3	21
g)	5	3	15
Vulnerabilidade	39		315
			0,90

Trabalhadores

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{cen exp}$)	Via de Exposição ($f_{via exp}$)	$f_{cen exp} * f_{via exp}$
a)	-	-	-
b)	9	9	81
c)	-	-	-
d)	-	-	-
e)	3	3	9
f)	7	3	21
g)	7	3	21
Vulnerabilidade		18	132
			0,81

Jogadores

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{cen exp}$)	Via de Exposição ($f_{via exp}$)	$f_{cen exp} * f_{via exp}$
a)	-	-	-
b)	7	9	63
c)	-	-	-
d)	-	-	-
e)	5	3	15
f)	9	3	27
g)	5	3	15
Vulnerabilidade		18	120
			0,74

Visitantes – Crianças e adolescentes

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{cen exp}$)	Via de Exposição ($f_{via exp}$)	$f_{cen exp} * f_{via exp}$
a)	-	-	-
b)	5	9	45
c)	-	-	-
d)	-	-	-
e)	3	3	9
f)	7	3	21
g)	3	3	9
Vulnerabilidade		18	84
			0,52

Visitantes - Adultos

Tabela 25 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 2

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Trabalhadores	0,90	1,00	6,30	Aceitável
		Jogadores	0,81		5,67	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,74		5,18	Aceitável
		Adultos	0,52		3,64	Aceitável
		Risco Global				5,20
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Trabalhadores	0,90	1,00	4,50	Aceitável
		Jogadores	0,81		4,05	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,74		3,70	Aceitável
		Adultos	0,52		2,60	Desprezável
		Risco Global				3,71
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Trabalhadores	0,90	1,00	2,70	Desprezável
		Jogadores	0,81		2,43	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,74		2,22	Desprezável
		Adultos	0,52		1,56	Desprezável
		Risco Global				2,23
$E.coli \leq 10^1$	1	Trabalhadores	0,90	1,00	0,90	Desprezável
		Jogadores	0,81		0,81	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,74		0,74	Desprezável
		Adultos	0,52		0,52	Desprezável
		Risco Global				0.74

➤ Reavaliação 3

Esta reavaliação resulta da combinação das reavaliações 1 e 2, ou seja, as barreiras adotadas são:

- Rega por aspersão implementando um encamisamento dos mesmos no final da rega (como esta prática leva à diminuição do fator de importância referente ao cenário e) a Tabela 24 reflete essa mudança que é igual à reavaliação 2);
- Pós-cloragem;
- Restrição de acesso durante as horas de rega fora do horário de utilização.

Na Figura 38 apresenta-se a reavaliação 3 em ícones para facilitar o entendimento de todas as barreiras.

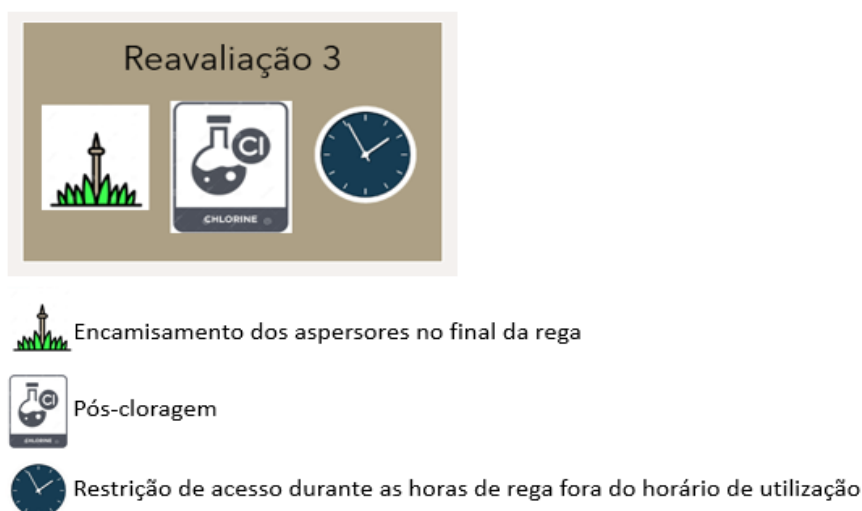


Figura 38 – Barreiras da reavaliação 3

Assim, apresenta-se na Tabela 26 a caracterização do risco mediante estas condições.

Tabela 26 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 3

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Trabalhadores	0,90	0,93	5,86	Aceitável
		Jogadores	0,81		5,27	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,74		4,82	Aceitável
		Adultos	0,52		3,39	Aceitável
		Risco Global				4,83
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Trabalhadores	0,90	0,93	4,19	Aceitável
		Jogadores	0,81		3,77	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,74		3,44	Aceitável
		Adultos	0,52		2,42	Desprezável
		Risco Global				3,45
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Trabalhadores	0,90	0,93	2,51	Desprezável
		Jogadores	0,81		2,26	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,74		2,06	Desprezável
		Adultos	0,52		1,45	Desprezável
		Risco Global				2,07
$E.coli \leq 10^1$	1	Trabalhadores	0,90	0,93	0,84	Desprezável
		Jogadores	0,81		0,75	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,74		0,69	Desprezável
		Adultos	0,52		0,48	Desprezável
		Risco Global				0,69

➤ Reavaliação 4

Na reavaliação 4 optou-se por sugerir um acréscimo da capacitação e utilização dos Equipamentos de proteção individual (EPI's) (utilização de um fato impermeável, luvas e

máscara) na classe de recetores dos trabalhadores. Na Figura 39 apresenta-se a reavaliação 4 em ícones para facilitar o entendimento de todas as barreiras.

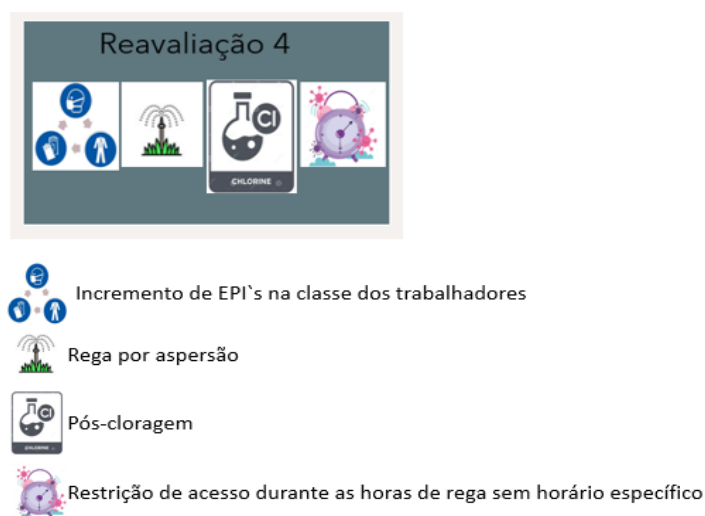


Figura 39 – Barreiras da reavaliação 4

Nesta fase, alteraram-se os fatores de importância dos cenários de exposição apenas e só dos trabalhadores, Tabela 27. Consequente, haverá um ajuste no valor da vulnerabilidade e no cálculo do risco. No que diz respeito ao dano, consideraram-se as três barreiras inicialmente consideradas, apresentando um valor do dano igual a 1, Tabela 28.

Tabela 27 - Fator de importância por cada cenário de exposição dos trabalhadores

Cenário de exposição	Fator de importância ($f_{i_{cen\ exp}}$)	Via de Exposição ($f_{i_{via\ exp}}$)	$f_{i_{cen\ exp}} * f_{i_{via\ exp}}$
a)	7	9	63
b)	7	9	63
c)	7	9	63
d)	7	3	21
e)	3	3	9
f)	5	3	15
g)	3	3	9
		39	243
Vulnerabilidade		0,69	

Tabela 28 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 4

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Trabalhadores	0,69	1,00	4,83	Aceitável
		Jogadores	0,85		5,95	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		5,46	Aceitável
		Adultos	0,56		3,92	Aceitável
		Risco Global				5,04
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Trabalhadores	0,69	1,00	3,45	Aceitável
		Jogadores	0,85		4,25	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		3,90	Aceitável
		Adultos	0,56		2,80	Desprezável
		Risco Global				3,60
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Trabalhadores	0,69	1,00	2,07	Desprezável
		Jogadores	0,85		2,55	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		2,34	Desprezável
		Adultos	0,56		1,68	Desprezável
		Risco Global				2,16
$E.coli \leq 10^1$	1	Trabalhadores	0,69	1,00	0,69	Desprezável
		Jogadores	0,85		0,85	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		0,78	Desprezável
		Adultos	0,56		0,56	Desprezável
		Risco Global				0,72

➤ Reavaliação 5

A reavaliação 5 é semelhante à anterior, mas com o valor do dano que se obteve na reavaliação 1, ou seja, de 0,93. Portanto considerou-se as seguintes barreiras:

- Rega por aspersão;
- Pós-cloragem;
- Restrição de acesso durante as horas de rega fora do horário de utilização.

Na Figura 40 apresenta-se a reavaliação 5 em ícones para facilitar o entendimento de todas as barreiras.

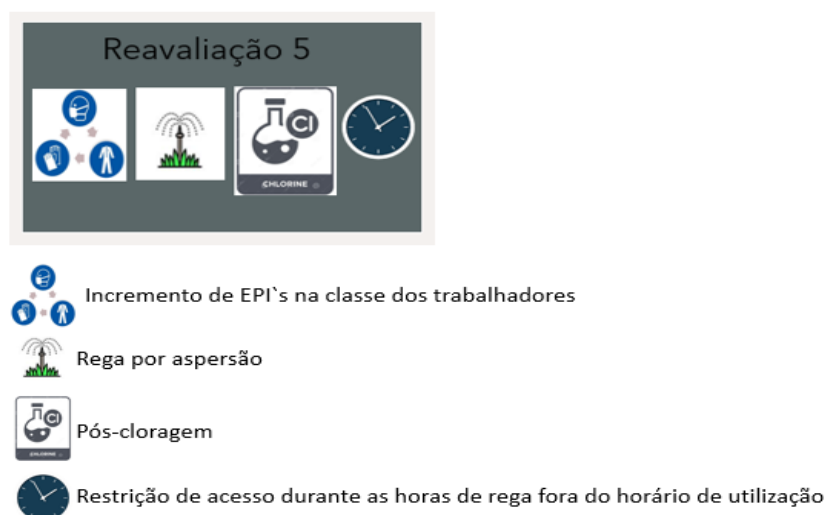


Figura 40 – Barreiras da reavaliação 5

Implementando uma capacitação e utilização de EPI's na classe dos trabalhadores, há uma alteração dos fatores de importância, tal como se apresenta na Tabela 27, equivalente ao que acontece na reavaliação 4. Assim, na Tabela 29, apresenta-se a caracterização do risco mediante estas condições impostas.

Tabela 29 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação 5

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Trabalhadores	0,69	0,93	4,49	Aceitável
		Jogadores	0,85		5,53	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		5,08	Aceitável
		Adultos	0,56		3,65	Aceitável
		Risco Global			4,69	Aceitável
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Trabalhadores	0,69	0,93	3,21	Aceitável
		Jogadores	0,85		3,95	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,78		3,63	Aceitável
		Adultos	0,56		2,60	Desprezável
		Risco Global			3,35	Aceitável
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Trabalhadores	0,69	0,93	1,93	Desprezável
		Jogadores	0,85		2,37	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		2,18	Desprezável
		Adultos	0,56		1,56	Desprezável
		Risco Global			2,01	Desprezável
$E.coli \leq 10^1$	1	Trabalhadores	0,69	0,93	0,64	Desprezável
		Jogadores	0,85		0,79	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,78		0,73	Desprezável
		Adultos	0,56		0,52	Desprezável
		Risco Global			0,67	Desprezável

5.2.6 Conclusões das reavaliações do risco

A alteração realizada na reavaliação 1 é um ajuste que se consegue perfeitamente realizar porque das maiores vantagens que tem é o facto de não haver um custo associado a isso e de não ser necessário alterar o nível de tratamento para diminuir o nível do risco. Esta reavaliação comparando com a primeira avaliação, resulta na redução do risco global de 5,43 para 5,05, no caso de um nível de perigo 7.

Na reavaliação 2 com a utilização de um encamisamento dos aspersores após o sistema de rega, os valores da vulnerabilidade dos recetores diminuem ligeiramente. No entanto, o valor do risco (5,20) aumenta consideravelmente quando comparando com a reavaliação 1 (5,05), porque o dano interfere mais nos cálculos. Importa sublinhar que apenas houve alteração do fator de importância apenas num único cenário de exposição. A esse fator de importância corresponde o valor 3 na via de exposição, ou seja, por ser um valor tão inferior não há mudanças significativas comparativamente à avaliação realizada inicialmente. Com isto, pode-se concluir que com o dano de valor igual a 1 aliado ao encamisamento dos aspersores, talvez não compense a adoção desta barreira, já que acarreta mais custos e resulta em valores praticamente análogos e insatisfatórios.

Na reavaliação 3 com a utilização dos encamisamento dos aspersores com o valor do dano 0,93, ou seja, corresponde à utilização das condições das reavaliações 1 e 2 simultaneamente, já se observa uma alteração substancial dos valores do risco. Assim, o risco global situa-se em 4,83, inferior aos valores de 5,20 e 5,05 das reavaliações 2 e 1 respetivamente, no caso de nível de perigo 7. Portanto, em termos compensatórios, este ajuste seria mais vantajoso que a reavaliação 2. Fundamentalmente, a reavaliação 3 avalia as principais vantagens das reavaliações anteriores em conjunto, o que se evidencia como muito viável.

Na reavaliação 4 em que se optou pela implementação de EPI's e pelo acréscimo da capacitação dos trabalhadores, conclui-se que o valor do risco dos trabalhadores diminui consideravelmente para 4,83 (no caso de nível de perigo 7), apesar de apresentar o dano de valor igual a 1.

Se o tomador de decisão optar pela implementação de EPI's e um acréscimo da capacitação dos trabalhadores, então é aconselhável optar pela reavaliação 5 em vez da anterior. A reavaliação 5 corresponde à utilização das condições das reavaliações 1 e 4,

simultaneamente. Isto permite para além da alteração dos valores do risco dos trabalhadores, modificar igualmente os valores dos restantes recetores, ou seja, consegue abranger todas as classes expostas ao perigo. Como resultado, o risco global apresenta um valor de 4,69, ou seja, o menor dos observados no caso de nível de perigo 7.

Globalmente, os resultados das tabelas 23, 25, 26, 28 e 29 permitem aos tomadores de decisão aferir a variação do risco global em função das diferentes características das cinco reavaliações, ponderando igualmente a influência de um nível de tratamento superior. Assim, observa-se que adotando um nível de tratamento que conduz a um perigo menor ou igual a 3, ou seja, Secundário + desinfecção + pós-cloragem ou Avançado + pós-cloragem (apresentado no item 2.4, Tabela 3 e Figura 2), o risco para todos os recetores e o risco global pode ser sempre classificado como desprezáveis. No entanto, a redução do perigo resulta da adoção de um nível de tratamento superior e consequentemente mais dispendioso. Caso o tomador de decisão entenda que é adequado que o risco global se situe na gama de aceitável, correspondente a níveis de perigo superiores ou iguais a 5, os resultados das reavaliações permitem ajudar à tomada de decisão ponderados os custos inerentes às características de cada reavaliação. O campo de golfe pode selecionar a opção que mais se adequa, desde que a qualidade seja no mínimo classe B (perigo 3) ou classe C conjugada com uma barreira equivalente (perigo 5), tal como o disposto no Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto. Para além destas opções, o campo também pode optar por um tratamento complementar de classe D para obtenção de classe C, ou seja, uma pós-cloragem usada como barreira e diminui o dano ou como tratamento e diminui o perigo.

Como sugestão apresenta-se uma reavaliação mais completa que as restantes, ou seja, contemplando todas as vantagens de todas as reavaliações apresentadas anteriormente. Avaliou-se igualmente os níveis do risco (Tabela 30) para comparar esses valores com os já obtidos anteriormente. Ou seja, é uma avaliação que inclui:

- O valor do dano de 0,93, ou seja, apresenta 3 barreiras: rega por aspersão; pós-cloragem e restrição de acesso durante as horas de rega fora do horário de utilização;
- A utilização de encamisamentos em todos os aspersores após o fim do sistema de rega;
- A implementação de EPI's e um acréscimo da capacitação dos trabalhadores.

Na Figura 41 apresenta-se a sugestão de reavaliação em ícones para facilitar o entendimento de todas as barreiras.

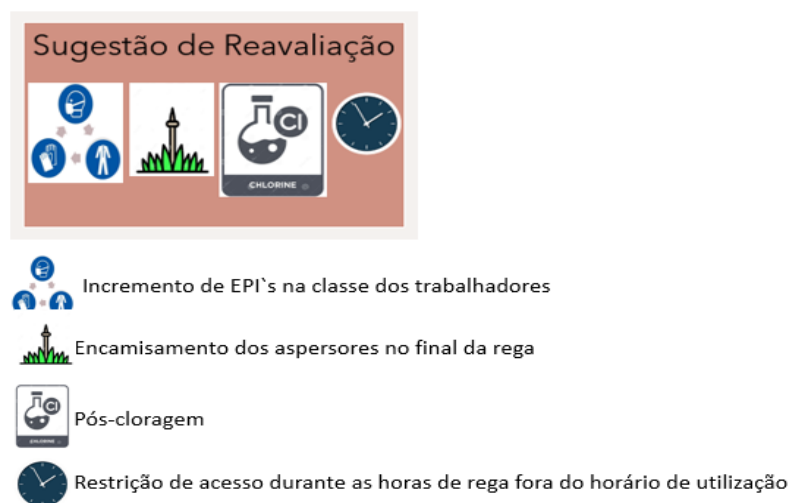


Figura 41 – Barreiras da sugestão da reavaliação

Tabela 30 - Resultados do risco para cada recetor e global para diferentes classificações de perigo para a reavaliação mais completa

Norma de qualidade/ ufc/100mL	Perigo	Recetor	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
$10^3 < E.coli \leq 10^4$	7	Trabalhadores	0,69	0,93	4,49	Aceitável
		Jogadores	0,81		5,27	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,74		4,82	Aceitável
		Adultos	0,52		3,39	Aceitável
		Risco Global				4,49
$10^2 < E.coli \leq 10^3$	5	Trabalhadores	0,69	0,93	3,21	Aceitável
		Jogadores	0,81		3,77	Aceitável
		Crianças e adolescentes	0,74		3,44	Aceitável
		Adultos	0,52		2,42	Desprezável
		Risco Global				3,21
$10^1 < E.coli \leq 10^2$	3	Trabalhadores	0,69	0,93	1,93	Desprezável
		Jogadores	0,81		2,26	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,74		2,06	Desprezável
		Adultos	0,52		1,45	Desprezável
		Risco Global				1,93
$E.coli \leq 10^1$	1	Trabalhadores	0,69	0,93	0,64	Desprezável
		Jogadores	0,81		0,75	Desprezável
		Crianças e adolescentes	0,74		0,69	Desprezável
		Adultos	0,52		0,48	Desprezável
		Risco Global				0,64

Como se esperava, é a reavaliação que apresenta níveis do risco mais baixos. No valor de perigo 7, apresenta um risco global de 4,49 o que se torna muito satisfatório. Cabe

ao tomador de decisão determinar a continuação do nível de tratamento IV ou optar por tratamentos mais avançados e assim obter níveis do risco desprezáveis.

6. CONCLUSÃO

A presente dissertação dispôs como objetivo principal aplicar uma metodologia semi-quantitativa do risco microbiológico para implementar ApR no campo de golfe, na cidade de Amarante. Inicialmente, apresentou-se uma intensiva revisão bibliográfica sobre os aspectos gerais relacionados à ApR e a sua recetividade social.

Em relação aos aspectos gerais relacionados à ApR conclui-se que é uma prática estabelecida em alguns lugares do mundo. Com a crescente escassez de água, as águas residuais tratadas são cada vez mais atraentes para atender à demanda de água e, assim, contribuir para o desenvolvimento da utilização de fontes de água alternativas.

Em relação à recetividade social, este fator é ainda uma barreira crítica para a implementação de projetos de ApR. Para avaliar a aceitação dos utilizadores, realizam-se inquéritos de forma a determinar a percepção global do sucesso do projeto de ApR. Para contornar os resultados dos inquéritos que nem sempre são satisfatórios, é implementado um programa de participação pública de modo a esclarecer os cidadãos de forma clara, consciencializando-os na utilização da prática de ApR, promovendo auditorias para esclarecimento de potenciais dúvidas e quebrar algum preconceito. A sinalização é também muito importante estar presente nos espaços onde a rega é realizada por água residual tratada. Verifica-se assim, uma maior confiança do público, transmitindo segurança e conhecimento.

Conclui-se ainda que o risco microbiológico é intrínseco à ApR a partir de águas residuais. Para minimizar esse impacto, a gestão do risco que passa por uma primeira etapa de análise e uma segunda etapa de gestão do risco é essencial. Entretanto a AQRM é complexa e requer dados que muitas vezes a gestão não dispõe. Dessa forma, conclui-se que a metodologia semi-quantitativa do risco microbiológico para os diferentes tipos de reutilização, exceto reutilização potável, é plenamente aplicável e satisfatória. A sua aplicação permite a realização de diferentes cenários que levam em consideração alta subjetividade, embora forneça valores do risco credíveis e comparáveis aos graus (desprezável, aceitável e inaceitável).

Na presente dissertação calculou-se o risco microbiológico na implementação de ApR na rega do campo de golfe na cidade de Amarante, envolvendo os cenários de exposição associados a essa prática, 4 recetores (trabalhadores, jogadores e visitantes dividindo-se

em crianças e adolescentes, e adultos) e 3 barreiras. Numa primeira abordagem, os valores do risco por recetores variaram entre 6,37 e 3,92. Apresentando como risco global um valor de 5,43 classificando-se como um nível aceitável. De seguida, apresentaram-se cinco reavaliações dos valores do risco dos diferentes recetores e global, correspondentes a diferentes combinações de alteração de barreiras, do encamisamento do sistema de rega e do acréscimo da capacitação dos trabalhadores e utilização de EPI's. Por fim, sugeriu-se a utilização simultânea dessas três características, resultando numa reavaliação que conduziu a menores valores do risco aferidos. Os resultados das várias alternativas apresentadas permitirão aos tomadores de decisão avaliar os prós e contras de cada uma e, optar por aquela que corresponde à melhor solução na implementação de ApR num campo de golfe. Assim, conclui-se que o presente estudo apresenta uma excelente ferramenta técnica de decisão que permite avaliar vantagens e desvantagens envolvidas às barreiras e risco estimado.

6.1 Recomendações

Relativamente a esta dissertação referente ao caso de estudo, é possível apresentar algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Incluir a avaliação do risco microbiológico no âmbito dos recursos hídricos;
- Propor um plano de gestão que deve conter todos os aspetos referentes à qualidade da água (recomendar uma solução caso seja alterada), ao controlo quantitativo que afeta a produção de ApR de modo a supervisionar os sistemas de produção, distribuição, armazenamento e aplicação da ApR;
- Elaborar e aplicar de inquéritos aos utilizadores, de modo a avaliar a sua recetividade no incremento de ApR na rega do campo de golfe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, N. J. D. (2008). Implementação de sistema de reutilização de águas residuais urbanas para rega de zonas verdes com elevado contacto humano. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B. E. e Tchobanoglous, G. (2018). Water reuse: From ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science*, v. 6. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>
- Angelakis, A. N., Snyder, S. A. (2015). Wastewater treatment and reuse: Past, present and future. *Journal Water*, v. 7, p. 4887-4895. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w7094887>.
- APA. (2019). Guia para a Reutilização de Água - Usos não potáveis. Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Agua/Licenciamento/ApR/APA_Guia_Reutilizacao_v1.pdf.
- Araújo, B. (2019). Avaliação da aplicabilidade da filtração terciária para condicionamento de efluente secundário a desinfecção por radiação Ultravioleta. Dissertação de Mestrado, Universidade Do Estado Do Rio de Janeiro.
- Asano, T. (2015). Water Reuse Issues, Technologies, and Applications. In Metcalf & Eddy (Vol. 7).
- Bixio, D., Thoeve, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., e Melin, T. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, v. 187, p. 89–101. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.070>.
- Bixio, D., & Wintgens, T. (2006). Water reuse system management manual - Publications Office of the EU. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b1912e31-3945-45a9-a01e-b29bfd058949/language-en/format-PDF/source-106982637>.
- Catarino, A. R. F. (2018). Reutilização de águas residuais tratadas para rega paisagística. O caso de estudo do Parque Tejo. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Chhipi-Shrestha, G., Hewage, K. e Sadiq, R. (2017). Microbial quality of reclaimed water for urban reuses: Probabilistic risk-bases investigation and recommendation. *Science of the Total Environment*, v. 576, p. 738-751. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.105>.
- Dias, C. (2015). O Custo dos Sistemas Duais de Abastecimento de Água. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- DRE. (2019). Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto de 2019. Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização.
- DRE (1998). Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto de 1998. Estabelece 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.

- Duarte, António (2019). Apontamentos de Processos em Hidráulica Ambiental, Universidade do Minho - Guimarães.
- Duong, K. e Saphores, J-D. M. (2015). Obstacles to wastewater reuse: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 2, p. 199–214. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wat2.1074>.
- ERSAR. (2010). Guia Técnico 14 - Reutilização de águas residuais. In Série GUIAS TÉCNICOS (Vol. 14). Disponível em: http://www.ersar.pt/_layouts/mpp/file-download.aspx?fileId=659599.
- ERSAR (2020). Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP) - Vol. 1: Caracterização do Setor de Águas e Resíduos.
- European Commission (2014). Water Reuse in Europe. Relevant guidelines, need for and barriers information. JRC Science and Policy Reports.
- Fielding, K. S., Dolnicar, S., e Schultz, T. (2019). Public acceptance of recycled water. *International Journal of Water Resources Development*, v. 35, p. 551–586. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1419125>.
- Gomes, S. F. R. (2011). Análise da viabilidade económica da reutilização de águas residuais tratadas: o caso da ETAR do Ave. Dissertação de Mestrado Em Engenharia Urbana. Escola de Engenharia - Universidade do Minho.
- International Organization for Standardization (2015). ISO 16075-2:2015 - Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 2: Development of the project, International Organization for Standardization, Geneva.
- International Organization for Standardization (2018). ISO 20426:2018 - Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse, International Organization for Standardization, Geneva.
- International Organization for Standardization (2020). Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation, International Organization for Standardization, Geneva.
- Khan, S. J. e Anderson, R. (2018). Potable reuse: Experiences in Australia. *Environmental Science Health*, v. 2, p. 55-60. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.02.002>
- Lima, Maria M. C. de L. (2019). Apontamentos de Conceção e Exploração de Estações de tratamento, Universidade do Minho - Guimarães.
- Maheshwari, B., Singh, V., e Thoradeniya, B. (2016). Balance Urban Development: Options and Strategies for Liveable Cities. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-28112-4_10.
- Mujeriego e Asano. (1999). The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse. *Water Science and Technology*, 40. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00479-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00479-5).
- Mujeriego e Sala. (1991). Golf course irrigation with reclaimed wastewater. *Water*

- Science and Technology, v. 24, p. 161–171. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.1991.0246>.
- Mukherjee e Jensen. (2020). Making water reuse safe: A comparative analysis of the development of regulation and technology uptake in the US and Australia. *Safety Science*, v. 121, p. 5–14. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.039>.
 - Oliveira, T. dos S. R. de. (2019). Estudo sobre a Prática do Reúso de Águas Residuais Urbanas Tratadas e Proposta Metodológica de Avaliação do Risco Aplicada na Irrigação. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
 - Parque Tejo. [Fotografia]. Guia da Cidade. <https://www.guiadacidade.pt/pt/poi-parque-tejo-15338>.
 - Pereira, A. C. D. (2009). Avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de águas residuais como instrumento associado à reutilização da água na rega de campos de Golfe. Dissertação de Mestrado, Universidade Do Algarve.
 - Pereira, A., Rosa, M. J. e Quadros, S. (2010). Proposta de uma Abordagem para Avaliação e Controlo dos Riscos Associados ao Tratamento de Águas Residuais Urbanas para Utilização na Rega de Campos de Golfe. ENaSB\SILUBESA.
 - Pettygrove, G. S., e Asano, T. (1987). Irrigation with reclaimed municipal wastewater. *GeoJournal*, p. 273–282. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq1986.00472425001500030024x>.
 - Rebelo, A. (2018). Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água. In Atas do 14º Congresso da água, Évora.
 - Rebelo, A., Quadrado, M., Franco, A., Lacasta, N. e Machado, P. (2020). Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*, p. 41-53. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.006>.
 - Rensburg, P. (2016). Overcoming global water reuse barriers: The Windhoek experience. *International Journal of Water Resources Development*, 32, 622–636. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1129319>.
 - Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: Planning priority setting, resource allocation, McGraw-Hill, New York, NY.
 - Santos, A., Vieira, J. (2020). Reúso de Água para o Desenvolvimento Sustentável: Aspectos de Regulamentação no Brasil e em Portugal. *Revista eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v8i1.36462>.
 - Santos, M. M. C. (2008). Reutilização de águas residuais urbanas tratadas. Dissertação de Mestrado Em Engenharia Do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
 - Sperling, M. (2008). Wastewater characteristics, treatment and disposal. In *Biological Wastewater Treatment Series (Vol. 45)*. Disponível em: <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402086.pdf>.
 - The European Water Association (EWA) & Associação Portuguesa para Estudos de

Saneamento Básico (APESB). (1998). Sistemas de Águas Residuais Urbanas - Um Guia para não Especialistas. Stephen D. Myers.

- USEPA. (2004). Guidelines for Water Reuse. Development, v. 26, p. 252.
- WHO. (2016). Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management. WHO Press, 187.
- WWAP. (2017). Wastewater the Untapped Resource. In Journal of Chemical Information and Modeling.