U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2021/2022

REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL

LUÍS RODRIGUES RIBEIRO DA SILVA

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Adrián Manuel Tavares da Silva
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Orientador Académico: Joaquim Manuel Veloso Poças Martins
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Orientador na Empresa: Luísa Ferreira Couto Lopes
(Técnica Superior na Direção de Exploração da SIMDOURO)

_____

Porto, julho de 2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à SIMDOURO por garantirem as condições, instalações e equipamentos necessários para este trabalho. Aproveito também para agradecer a todas as outras empresas parceiras, como a AST (Soluções e Tratamentos de Ambiente), WeDoTech e a De Nora, por fornecer todos os equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Joaquim Poças Martins e à Engenheira Luísa Lopes, pela orientação, total apoio, disponibilidade e transmissão de conhecimentos, sem a vossa ajuda esta dissertação não seria possível.

A toda a equipa da ETAR de Gaia Litoral, obrigado pela receção, ajuda no trabalho realizado e pelo ambiente de trabalho proporcionado, em especial à Engenheira Ermelinda pela ajuda no trabalho em laboratório.

Ao Francisco e ao Baldini, por tornarem os dias de trabalho na ETAR especiais e sempre mais divertidos do que o expectável, sem eles esta dissertação não seria a mesma.

À Costa, Lopo e Maria Carolina, por serem as melhores amigas e por me acompanharem, ajudarem e melhorarem ao longo destes 5 anos de cursos. Por todas as tardes de estudo, dias a fio a fazer trabalhos à última da hora e por todos os outros momentos fora de aulas e faculdade. Apesar de todas as zangas e birras, sem vocês estes anos de faculdade não teriam sido os mesmos, obrigado! Adoro-vos a todas!

Ao Lucas e Luís Carlos, por serem os meus melhores amigos desde o 7º ano e que me acompanharam e ajudaram, em todos os momentos, no meu crescimento como pessoa.

À Sofia, por me ajudar em tudo o que preciso, por ser a minha força nos momentos difíceis, o meu Google nas horas vagas, a minha inspiração e por todo o amor, carinho e dedicação ao longo destes 4 anos.

Por último, mas não menos importante à minha família, nomeadamente aos meus pais, por todo o acompanhamento dado ao longo do curso e de todo o meu percurso académico, à minha irmã que apesar de longe está sempre presente, ao Hachi, por ser o meu parceiro e, em especial, à minha avó que não teve oportunidade de viver (fisicamente) este momento comigo, mas estará sempre presente no meu pensamento.

RESUMO

Com a ausência de precipitação nos períodos mais quentes e com a distribuição desigual dos recursos de água em Portugal, o abastecimento de água está sob stress, não se esperando melhorias no futuro, como consequência do aumento das alterações climáticas. Assim, é necessário adotar novas medidas que nos façam combater este problema, como a dessalinização, reaproveitamento das águas pluviais ou, até mesmo, a reutilização de águas residuais.

A dessalinização está a tornar-se cada vez mais a solução preferida para combater a escassez de água, no entanto esta solução apenas é plausível de ser aplicada em regiões próximas do litoral do país. Assim, e apesar da seca já se fazer sentir em zonas como o Algarve, esta é mais visível no interior do país, onde a dessalinização não é possível. Por esse motivo, soluções como a reutilização de águas residuais podem emergir como as preferidas para resolver este problema.

Singapura é uma ilha economicamente desenvolvida, altamente urbanizada e com recursos de água doce muito escassos, sendo o caso mais irreverente de sucesso da aplicação desta tecnologia. Assim, o principal objetivo deste trabalho foi replicar o procedimento utilizado em Singapura e estudar a possibilidade de reutilizar o efluente tratado como fonte de água potável, na ETAR de Gaia Litoral, Madalena, Portugal.

Os resultados obtidos da qualidade da água produzida, utilizando processos como ultrafiltração, osmose inversa e desinfeção com ozono, revelam que este efluente cumpre com os requisitos necessários para ser utilizado como água para consumo humano, com exceção de 3 parâmetros que facilmente seriam corrigidos em trabalhos futuros, não representando uma condicionante para as conclusões retiradas.

Quanto aos custos de produção deste efluente estima-se um valor de 0,73 €/m^3, cujo resultado se encontra, ainda, afastado do custo de produção de água de abastecimento tradicional (0,45€/m^3).

Concluindo, o procedimento de reutilização de águas residuais utilizado foi bem-sucedido. No entanto, a nível económico não apresenta, atualmente, custos de produção suficientemente competitivos de modo a ser aplicado no imediato.

Palavras-chave: Águas residuais; Reaproveitamento; Singapura; Osmose inversa.

ABSTRACT

With the lack of precipitation in the hottest periods and the uneven distribution of water resources in Portugal, water supply is under stress and no improvements are expected in the future because of climate change. Thus, it is necessary to adopt new measures to combat this problem, such as desalination, reuse of rainwater, or even the reuse of wastewater.

Water desalination is increasingly becoming the preferred solution to combat water scarcity, however this solution is only plausible to be applied in regions near the coast of the country. Thus, although the drought is already being felt in areas such as the Algarve, it is more visible in the interior of the country, where desalination is not possible. For this reason, solutions such as the reuse of wastewater may emerge as the preferred way to solve this problem.

Singapore is an economically developed island, highly urbanized and with very scarce freshwater resources, being the most irreverent case of success in the application of this technology. Thus, the main objective of this work was to replicate the procedure used in Singapore and study the possibility of reusing the effluent produced as a source of drinking water, in the WWTP of Gaia Litoral, Madalena, Portugal.

The results obtained from the quality of the water produced, using processes such as ultrafiltration, reverse osmosis, and disinfection with ozone, show that this effluent meets the requirements necessary to be used as water for human consumption, except for 3 parameters that could easily be corrected in future work, not representing a conditioning factor for the conclusions drawn.

As for the production costs of this effluent a value of 0.73 €/m^3 is estimated, which result is still far from the production cost of traditional water supply (0.45 €/m^3).

In conclusion, the wastewater reuse procedure used was successful, however at the economic level it does not present, at the moment, production costs competitive enough to be applied immediately.

Keywords: Wastewater; Reuse; Singapore; Reverse Osmosis.

Índice

Agradecimentos ..... **i**

Resumo ..... **iii**

Abstract ..... **iv**

Índice de Figuras ..... **vii**

Índice de Tabelas ..... **ix**

Glossário ..... **xi**

1 Enquadramento do Projeto **1**

2 Introdução **2**

2.1 As ETAR e o seu crescimento 2

2.2 ETAR de Gaia Litoral 8

2.2.1 Linha Líquida de Tratamento 9

3 Estado da Arte **20**

3.1 Em Portugal 20

3.2 No Mundo 23

4 Material e Métodos **29**

4.1 Contagem de coliformes e E. coli 29

4.2 Determinação da Amónia [NH_4] 30

4.3 Determinação do Azoto Total [N-Total] 31

4.4 Determinação da Carência Bioquímica de Oxigénio [CBO_5] 32

4.5 Determinação do pH 33

4.6 Determinação dos Sólidos Suspensos Voláteis e Totais [SSV e SST] 33

4.7 Determinação do Fósforo Total 34

4.8 Turvação 34

4.9 Ozonização 35

4.10 Unidades de UF e OI 38

5 Resultados e Discussão 41

5.1 Produção de ApR 41

5.2 Produção de Água para Consumo 49

5.3 Custos 55

6 Conclusões 60

7 Limitações e Trabalho Futuro 61

8 Referências 62

Anexos I

Anexo A – Decreto-Lei nº 119/2019 I

Anexo B – Piloto de Ozonização V

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – ILUSTRAÇÃO DA IMPRENSA INGLESA QUE RELACIONA A CÓLERA À ÁGUA CONSUMIDA. 4

FIGURA 2 – TAXA DE MORTALIDADE POR FEBRE TIFOIDE NOS ESTADOS UNIDOS (1900-1960). 6

FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DA ETAR DE GAIA LITORAL. 8

FIGURA 4 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS DURANTE AS DUAS LINHAS DE TRATAMENTO. 9

FIGURA 5 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SEDIPAC 3D. 10

FIGURA 6 – FUNCIONAMENTO DO REATOR BIOLÓGICO E DECANTADOR SECUNDÁRIO. 15

FIGURA 7 – LOCALIZAÇÃO DOS FILTROS DE AREIA. 18

FIGURA 8 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DOS FILTROS FV2B. 18

FIGURA 9 – ESQUEMA DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE APR NA ETAR DE BEJA. 21

FIGURA 10 – ESQUEMA DE TRATAMENTO DE NEWATER. 25

FIGURA 11 – ESQUEMA DE TRATAMENTO UTILIZADO DA ESTAÇÃO DE CHANGI. 25

FIGURA 12 – BALANÇO DA ÁGUA AO LONGO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO. 27

FIGURA 13 – COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS. 27

FIGURA 14 – COMPOSIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA. 27

FIGURA 15 – ESQUEMA REPRESENTATIVA DA METABOLIZAÇÃO DO ONPG E MUG, RESPETIVAMENTE, PELA ENZIMA β-GALACTOSIDADE. 29

FIGURA 16 – CONTAGEM DE COLIFORMES. 30

FIGURA 17 – CONTAGEM DE E. *COLI*. 30

FIGURA 18 – PROCEDIMENTO PARA A GAMA COMPREENDIDA ENTRE 4,0 E 80,0 MG/L DE NH_4-N. 30

FIGURA 19 – PROCEDIMENTO PARA A GAMA COMPREENDIDA ENTRE 0,5 E 15,0 MG/L DE N. 31

FIGURA 20 – PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO FÓSFORO TOTAL. 34

FIGURA 21 – PAINEL DE INSTRUMENTOS. 36

FIGURA 22 – REATOR DE OZONIZAÇÃO. 36

FIGURA 23 – ZONA LATERAL DO OZONIZADOR. 37

FIGURA 24 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO OZONIZADOR. 37

FIGURA 25 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA PRODUÇÃO DE OZONO. 38

FIGURA 26 - UNIDADES DE UF E OI. 40

FIGURA 27 – EFICÁCIA DA DESINFEÇÃO COM OZONO COM DIFERENTES TRH, TOD E EFLUENTES. 42

FIGURA 28 – VALORES OBTIDOS PARA A E. *COLI*, CONSOANTE A TOD E O TRH. 45

FIGURA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, NOS DIFERENTES PONTOS DE AMOSTRAGEM. 46

FIGURA 30 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS BIOLÓGICOS, NOS DIFERENTES PONTOS DE AMOSTRAGEM. 47

FIGURA 31 – CONTRIBUIÇÕES PARA O LCOW DO CENÁRIO BASE. 58

FIGURA 32 – CONTRIBUIÇÕES PARA O LCOW DO CENÁRIO CENTRALIZADO. 58

FIGURA 33 – CONTRIBUIÇÕES PARA O LCOW DO CENÁRIO DESCENTRALIZADO. 59

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DA LUZ UV 6

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DA GRADAGEM 10

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS DO DESARENAMENTO E DESENGORDURAMENTO 11

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DO DECANTADOR LAMELAR 12

TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS LAMELARES 12

TABELA 6 – RENDIMENTOS PREVISTOS PARA O SEDIPAC 3D 12

TABELA 7 – BALANÇO AO SEDIPAC 3D 13

TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS PRIMÁRIAS 13

TABELA 9 – PARÂMETROS QUE CONDICIONARAM O VOLUME MÍNIMO DO TANQUE DE AREJAMENTO 14

TABELA 10 – PRINCIPAIS DIMENSÕES DO TANQUE DE AREJAMENTO 14

TABELA 11 – NECESSIDADES DE OXIGÉNIO AO LONGO DE CADA CÉLULA DO TANQUE DE AREJAMENTO 15

TABELA 12 – CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS BIOLÓGICAS 15

TABELA 13 – DIMENSÕES DO DECANTADOR SECUNDÁRIO 16

TABELA 14 – CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO DECANTADOR SECUNDÁRIO 17

TABELA 15 – CAUDAL HORÁRIO A BOMBAR PELOS GRUPOS ELETROBOMBA 17

TABELA 16 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS FILTROS DE AREIA 18

TABELA 17 – CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DE LAVAGEM 19

TABELA 18 – DIMENSÕES DO CANAL DE DESINFEÇÃO UV 19

TABELA 19 – PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO DA UNIDADE DE MICROFILTRAÇÃO 26

TABELA 20 – PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO DA UNIDADE DE OSMOSE INVERSA 26

TABELA 21 – COMPARAÇÃO ENTRE OS PREÇOS DA NEWATER E DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE SINGAPURA 28

TABELA 22 – VOLUME DE AMOSTRA E DE SOLUÇÃO INIBIDORA DE NITRIFICAÇÃO, CONFORME O VALOR DE CBO_5 PREVISTO . 32

TABELA 23 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO OZONO 35

TABELA 24 – CARACTERÍSTICAS DA BOMBA UTILIZADA NO OZONIZADOR 38

TABELA 25 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE DE UF 39

TABELA 26 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES DE OI 39

TABELA 27 - DIMENSÕES DO OZONIZADOR 41

TABELA 28 – CONCENTRAÇÕES DE OZONO SELECIONADAS E RESPETIVAS TOD PARA APR 43

TABELA 29 – RESULTADOS OBTIDOS PARA DIFERENTES TOD DE OZONO E TRH 44

TABELA 30 – RESULTADOS PARA TODOS OS PONTOS DO ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE APR 46

TABELA 31 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS E A LEGISLAÇÃO EM VIGOR 48

TABELA 32 - CONCENTRAÇÕES DE OZONO SELECIONADAS E RESPETIVAS TOD PARA APC 49

TABELA 33 – RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS COM DIFERENTES TOD 49

TABELA 34 – RESULTADOS DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS PARA TODOS OS PONTOS DE FUNCIONAMENTO DE APC 50

TABELA 35 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA TODOS OS PONTOS DE FUNCIONAMENTO DE APC 50

TABELA 36 – PERCENTAGENS DE REMOÇÃO PARA OS EQUIPAMENTOS DE OSMOSE INVERSA E DESINFEÇÃO 52

Tabela 37 – Conformidade dos valores obtidos com a legislação em vigor 53
Tabela 38 – Despesas de capital e operacionais para uma central dessalinizadora 56
Tabela 39 – Comparação entre as diferentes soluções 57

Tabela A 1 – Normas de Qualidade de água para reutilização para rega I
Tabela A 2 – Normas de Qualidade de água para reutilização para rega para proteção das culturas agrícolas, florestais e solos II
Tabela A 3 – Descrição das classes de rega III
Tabela A 4 – Normas de Qualidade de água para usos urbanos e usos paisagísticos IV
Tabela A 5 – Normas de Qualidade de água para reutilização em uso industrial IV

Tabela B 1 – Funcionamento para as condições de operação nº 1 V
Tabela B 2 – Funcionamento para as condições de operação nº 2 VI

GLOSSÁRIO

a.C. – antes de Cristo

ApC – Água para Consumo

ApR – Água para reutilização

AR – Águas Residuais

CAPEX – Custos de Capital

Cba – Concentração em SST no reator biológico

CBO_5 – Carência Bioquímica de Oxigénio

Cr – Concentração em SST das lamas recirculadas

CRF – *Capital Recovery Factor* (Fator de Recuperação de Capital)

Cs – Concentração em SST do efluente tratado

D_{reator} – Diâmetro do ozonizador

E. *coli* – *Escherichia coli*

EC – *Energy Costs* (Custos Energéticos)

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

HCl – Ácido Clorídrico

$H_{líquido}$ – Altura do líquido

H_{reator} – Altura do ozonizador

I – Corrente fornecida

Ib – Índice de lamas

LCOW – *Levelized Cost of Water* (Custo nivelado da água)

MIBEL – Mercado Ibérico de Eletricidade

MUG – *4-methylumbelliferyl-β-D-glucuronide*

NaOH – Hidróxido de Sódio

NMP – Número Mais Provavél

OI – Osmose Inversa

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONPG – *o-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside*

OPEX – Custos Operacionais

PF – Painéis Fotovoltaicos

$p_{gás}$ – Pressão de gás

PMB – azul de fosfomolibdénio

PUB – *Public Utilities Board*

Qe – Caudal a tratar

$Q_{gás}$ – Caudal de gás

$Q_{ozonizador}$ – Caudal de água tratada

Qr – Caudal de recirculação

RES – *Renewable Energy Sources* (Fontes de Energia Renovável)

SST – Sólidos Suspensos Totais

TE – Turbinas Eólicas

TOD – *Transferred Ozone Dose* (Dose de Ozono Transferida)

TRH – Tempo de Retenção Hidraúlica

TSD – Tecnologia de Substrato Definido

TWP - *Total annual desalinated Water Produced* (Produção anual total de água dessalinizada)

UF – Ultrafiltração

USEPA – *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

UV – Ultravioleta

V_{reator} – Volume do ozonizador

1 ENQUADRAMENTO DO PROJETO

A produção e utilização de água residual tratada em grande escala está a dar os primeiros passos em Portugal, fruto da pressão sobre os meios hídricos nacionais por via das necessidades crescentes de água e da grave escassez, sentida em boa parte do território. Os tratamentos dados às águas residuais têm, ao longo dos anos, vindo a evoluir, sendo hoje em dia possível reutilizar essa água para fins como a rega, usos urbanos e paisagísticos, industriais e, até mesmo, para consumo humano, como ocorre em Singapura.

Singapura é uma ilha economicamente desenvolvida e altamente urbanizada, e com recursos de água doce muito escassos e, por esse motivo, o governo de Singapura desenvolveu a "Estratégia das 4 Torneiras Nacionais", que consiste na dessalinização da água do mar, reutilização potável indireta e não potável direta, armazenamento de água da chuva e água importada de outros países.

Uma das 4 principais fontes de água, a NEWater é cada vez mais uma importante fonte de água doce para Singapura, satisfazendo 40% da procura de água do país. Esta tecnologia converte os efluentes secundários das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) em "água nova" através de processos de Ultrafiltração (UF), Osmose Inversa (OI) e Desinfeção Ultravioleta (UV).

Em função do aumento e intensidade dos períodos de seca vividos não só em Portugal, mas também em todo o Mundo, esta dissertação teve como principal objetivo replicar o procedimento utilizado em Singapura, para levar a água residual ao nível de potabilidade.

Para isso, a tecnologia necessária foi implementada a uma escala piloto na ETAR de Gaia Litoral e foram, ao longo de vários dias, retiradas e avaliadas amostras com base nos parâmetros de água para consumo humano. Adicionalmente, foi realizada uma análise para a reutilização desta água residual para fins de rega, recorrendo para isso à desinfeção com ozono.

2 INTRODUÇÃO

2.1 As ETAR e o seu crescimento

A relação próxima entre água segura e saúde e bem-estar das comunidades humanas é determinante para o desenvolvimento social e económico da sociedade [1].

A primeira epidemia registada data do ano 3180 antes de Cristo (a.C.), no Egipto. No entanto, durante vários anos estas não foram associadas, direta ou indiretamente, à água [1]. Os grandes desenvolvimentos científicos sucedidos nos séculos XIX e XX, devem-se ao crescimento do conhecimento, obtido empírica ou cientificamente, da relação entre a água infetada com contaminação fecal e a propagação de doenças [1].

Para compreender a gestão de Águas Residuais (AR) nos dias de hoje é importante compreender o seu desenvolvimento ao longo da história [2]. Durante quase toda a história da Humanidade, a eliminação das AR foi feita através de deposição a seco, nas ruas dos centros urbanos ou nos pátios domésticos [3]. Apenas no século XX entraram em funcionamento as primeiras ETAR [3]. No entanto, existiram durante estes anos algumas exceções à regra, que representam exemplos notáveis para a sua época [3].

Uma ETAR constituiu uma infraestrutura que trata as AR, reduzindo a sua carga poluente, descarregando o efluente tratado no meio recetor [3]. Estas podem ser domésticas, industriais ou pluviais, dependendo da sua origem [3].

O primeiro local conhecido onde as águas residuais receberam atenção técnica remonta à Idade do Bronze (3200 – 1100 a.C.), em Creta, Ilhas do Egeu [4]. A civilização de Minoica utilizava condutas em terracota para levar a água a palácios, cidades e vilas e foram, provavelmente, os primeiros a implementar um tanque de sedimentação e filtros de areia [5].

A cidade de Mohenj-Daro, Paquistão (1500 a.C), apresentava canais que conduziam as águas residuais (dos edifícios públicos e privados) e pluviais até ao rio Indo, assim como em Roma, onde é exemplo a Cloaca Maxima, um canal que conduzia os resíduos até ao rio Tibre [3].

Os mosteiros da Ordem de Cister e outras ordens (Idade Média), possuíam sistemas tanto de distribuição como de drenagem de AR, que as guiavam até a uma linha de água próxima [3].

Contudo, no período da "idade das trevas" a gestão das águas residuais praticamente desapareceu no oeste da Europa [2]. As ruas das principais cidades europeias recebiam de forma indiscriminada dejetos humanos e de animais, despejados das casas, criando condições extramente insalubres [1].

Dadas estas condições surgiram algumas epidemias como a peste bubónica ou a febre tifoide [2]. De salientar que, enquanto isto acontecia na Europa Ocidental, ao mesmo tempo as culturas islâmicas disponham de sistemas de abastecimento de água e saneamento de elevada qualidade [1].

A peste bubónica foi responsável pela morte de cerca de um terço da população europeia durante o século XIV, tendo sido considerada uma das piores pandemias da humanidade [6]. Chegou em outubro de 1347 a Messina, Sicília, Itália, provavelmente através de navios genoveses que transportavam ratos carregados de pulgas, que consequentemente iniciou uma onde de infeções de peste que rapidamente se espalhou pela maior parte da Europa [7] [8].

Com o Renascimento (séculos XV – XVII) deram-se importantes avanços na ciência, em ramos como a Física, Medicina, Engenharia, Matemática e Astronomia. Um desses avanços sucedeu em 1590, quando Zacharias Jansen criou um microscópio rudimentar que anos mais tarde foi refinado por Antonie van Leeuwenhoek, também conhecido como o "pai da Microbiologia", que observou pela primeira vez seres microscópicos (1676). Esta descoberta só viria a ser entendida 200 anos mais tarde [1].

Com o advento da Revolução Industrial (1760-1840) e, consequentemente, o crescimento das cidades urbanizadas, tornou-se impensável continuar a recorrer à deposição dos excretas da população nos pátios e ruas das cidades [3]. Surgiram então as primeiras soluções, semelhantes às já utilizadas há 2000 anos atrás (Cloaca Maxima), que consistiram na construção de canais para encaminhar as AR para os rios mais próximos [3].

Como consequência desta solução, a Europa foi alvo de grandes surtos de epidemias no século XIX, devido à poluição dos cursos de água, que dizimaram milhares

de pessoas, sendo de salientar a cólera como a principal responsável por estas mortes [1] [3].

A Cólera foi a primeira pandemia à escala mundial, tendo origem no subcontinente indiano, e espalhando-se por todo o globo, graças à banalização dos transportes terrestres e marítimos [1]. A imprensa inglesa ilustrava as consequências da cólera e a sua próxima relação com a água consumida, como se verifica na Figura 1 [1].



Figura 1 – Ilustração da imprensa inglesa que relaciona a cólera à água consumida.

Foi então que o desenvolvimento realizado na Microbiologia, há aproximadamente 200 anos, veio comprovar a presença de microrganismos na água consumida pela população, como demonstrou o médico inglês John Snow, em 1854 [9].

Jonh constatou que uma população do centro de Londres, que se abastecia de um poço situado em Broad Street, estava a sofrer um forte surto de cólera [9]. Apercebendo-se disto desligou a bomba de água de abastecimento e concluiu que os

casos de cólera daquela população diminuíram, em poucas dias, na respetiva área de influência [3].

De seguida, o médico inglês procedeu ainda a uma investigação porta a porta, onde tentou relacionar os casos de cólera com a fonte de abastecimento de água, realizando assim um dos primeiros estudos epidemiológicos nesta área [10].

Contudo, continuava-se a acreditar na capacidade de autodepuração e de "despoluir" dos rios e outros dos cursos de água [3]. Apenas nos finais do século XIX foram realizados estudos, por diversos investigadores como os alemães A. Müller e J. König, o britânico Frankland e outros, para compreender o mecanismo de autodepuração [3].

A construção de filtros de areia, em 1888, terá sido a primeira aplicação prática dos estudos realizados. Esta solução combinava processos físicos (filtração) com processos biológicos (depuração biológica), a partir do biofilme desenvolvido na parte superficial dos filtros [3].

Posteriormente, dada a existência de surtos de febre tifoide, foram realizados ensaios de desinfeção de água para consumo com hipoclorito de sódio tanto na base naval de Pola, Áustria-Hungria e em Maidstone, Inglaterra, em 1896 e 1897, respetivamente [11]. Esta técnica passou a ser utilizada de maneira sistemática a partir de 1902 na Europa (Bélgica) e de 1908 nos Estados Unidos (Jersey) [11]. A desinfeção (cloração, neste caso) da água generalizou-se, passando a ser um método mundialmente aceite, permanecendo até aos dias de hoje como uma das principais técnicas de proteção da propagação de doenças transmitidas por via hídrica [11].

Mais tarde, foram estudadas outras técnicas de desinfeção, como a desinfeção por radiação UV. A luz UV é uma forma de radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre os 10 e os 400 nm, dividindo-se em 3 grandes grupos, como se encontra apresentado na Tabela 1. De salientar que a desinfeção ocorre, na maioria dos casos, na gama de UV-C [12].

A primeira vez que se utilizou esta técnica para realizar a desinfeção de uma água residual foi em 1910, em Marselha, França [13]. Desde aí a desinfeção por UV é utilizada como tratamento terciário no tratamento de águas residuais, principalmente na Europa [12].

Tabela 1 – Classificação da luz UV

Tipo	Comprimento de onda [nm]
UV-A	315 – 400
UV-B	280 – 315
UV-C	200 – 280

Já a desinfeção por ozono surgiu uns anos antes, mais precisamente em 1906 em Nice, França [14]. Contudo, e apesar de ambas as tecnologias terem surgido praticamente ao mesmo tempo, a desinfeção por cloro dominou durante muitas décadas [15]. Foi apenas na década de 70, que a desinfeção com ozono e UV ganhou alguma importância, quando as deficiências por desinfeção por cloro tornaram-se aparentes, tal como os subprodutos deste método [15].

A Figura 2 ilustra a taxa de mortalidade por febre tifoide nos Estados Unidos, entre 1900 e 1960 e a influência da generalização da desinfeção da água com cloro [11].



Figura 2 – Taxa de mortalidade por febre tifoide nos Estados Unidos (1900-1960).

Por fim, em 1914, os britânicos Edward e William T. Lockett, realizaram o primeiro estudo do processo de lamas ativadas. Já em 1920, foi construída a primeira ETAR onde este processo foi integrado, em Shefield (UK), tendo-se tornado o tratamento de referência mundial a partir de 1930 [2] [3].

Atualmente, a COVID-19 provocada pelo novo coronavírus SARS-CoV-2 causou uma pandemia mundial com impactos nos aspetos da vida humana, sendo responsável, até abril de 2022, por 484 milhões de infeções e 6 milhões de mortes, em todo o mundo, aproximadamente [16] [17].

A presença deste vírus nos seres humanos inclui a sua presença em fluidos como a urina e fezes que, através destas excreções, chegam às águas residuais [18] [19]. Comprovou-se ainda que a presença de SARS-CoV-2 nas fezes é mais comum do que na urina, sendo este o principal responsável pela presença do vírus nas águas residuais [20]. Assim, a deteção de SARS-CoV-2 na rede de águas residuais é essencial na fase inicial da propagação comunitária, podendo ser utilizado como sistema de alerta para a possível propagação.

Assim, foram recolhidas amostras maioritariamente de água afluente a ETAR, mas também de pontos de amostragem na rede de águas residuais, bueiros, efluentes hospitalares, entre outros [16]. Para amostras recolhidas nos municípios de Múrcia, Lorca, Cieza e Totana, Espanha, foi detetado SARS-CoV-2 nas águas residuais 12 a 16 dias antes de surgir o primeiro caso, o que revela, mais uma vez a importância da monitorização deste tipo de águas como sistema de controlo [16] [21].

No entanto, apesar de ter sido detetado em águas residuais não tratadas, este vírus só foi encontrado em 2 de 18 amostras recolhidas após o tratamento secundário de lamas ativadas [21]. Para além disso, após o tratamento terciário (como por exemplo, desinfeção UV ou ozonização) todas as amostras recolhidas encontravam-se na ausência de SARS-CoV-2 [21] [22].

Em suma, com as mudanças de paradigma na gestão da água, tendo em conta as novas políticas de economia circular, a água residual tem vindo a ser, gradualmente, incluída como uma fonte de água potável de modo a ser possível responder à procura das comunidades atuais [2]. A hipótese de reutilização de águas residuais para a produção de água potável será testada na ETAR de Gaia Litoral.

2.2 ETAR de Gaia Litoral

A ETAR de Gaia Litoral (Figura 3), Madalena, Portugal, foi projetada para uma população de 300 mil habitantes-equivalentes e encontra-se em funcionamento desde maio de 2003 [23]. Esta pertence à Empresa SIMDOURO, uma sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos, serve cerca de 519 mil habitantes-equivalentes e é responsável pela recolha, tratamento e rejeição final das suas águas residuais urbanas [24].

Apresenta um caudal médio e de ponta de 66 700 e 101 693 m^3/d, respetivamente, e conta com um sistema de tratamento por lamas ativadas em regime de arejamento convencional [23].

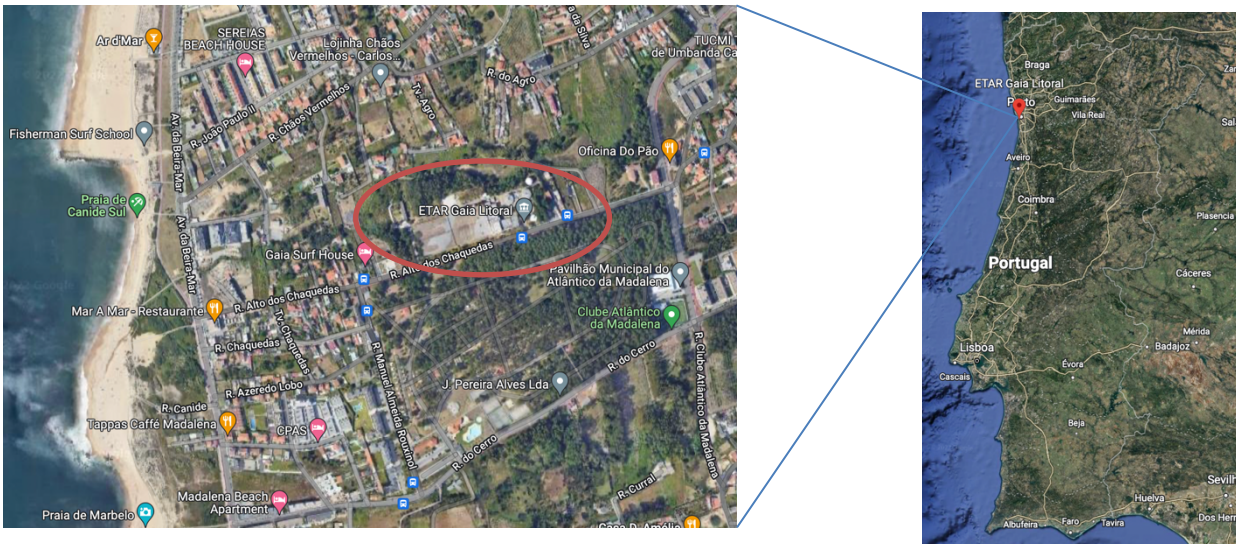


Figura 3 – Localização da ETAR de Gaia Litoral.

A ETAR de Gaia Litoral conta com duas linhas de tratamento, uma linha líquida e uma linha de lamas. A linha líquida divide-se em: Obra de entrada e Gradagem, Desarenamento/Desengorduramento e Decantação Primária, Tratamento Biológico Secundário, Filtração do Efluente Tratado e Desinfeção por UV. Já a linha de lamas conta com o Espessamento de Lamas, Digestão Anaeróbia das lamas, Linha de Gás e Cogeração, Desidratação das Lamas e Estabilização Química de Emergência [25].

Será dado ênfase apenas à linha líquida do tratamento, visto que é nesta fase que o tema desta dissertação terá mais impacte direto.

2.2.1 Linha Líquida de Tratamento

A Figura 4 representa um esquema dos equipamentos utilizados ao longo das duas linhas de tratamento. A azul encontram-se representados os equipamentos que correspondem à linha de água e a laranja os equipamentos utilizados na linha de lamas.



1 – Obra de Entrada
2 – Desarenamento, Desengorduramento e Decantação Primária
3 – Reator Biológico
4 – Decantação Secundária
5 – Espessador de Lamas
6 – Flotador
7 – Digestores
8 – Reservatório biogás
9 – Edifício de Desodorização
10 – Edifício de Exploração

Figura 4 – Equipamentos utilizados durante as duas linhas de tratamento.

Ao longo da linha líquida é utilizado um escoamento gravítico, visto que o efluente de entrada da ETAR apresenta um nível de 31,69 m e o de saída de 25,35 m [25].

O efluente sofre uma gradagem com o objetivo de remover os detritos mais grosseiros que podem causar perturbações no funcionamento da instalação. Neste caso em específico funciona em 3 canais em paralelo, um deles em reserva. As características deste equipamento encontram-se na Tabela 2 [25]. Os resíduos provenientes da gradagem são descarregados, compactados, desidratados e enviados para um contentor.

Tabela 2 – Características da Gradagem

Parâmetro		Valor
Número de canais contruídos		3
Número de canais equipados com grades mecânicas		2
Número de canais em serviço		2
Largura de cada canal [mm]		1 200
Espaçamento entre barras [mm]		10
Altura líquida nos canais [m]	Caudal médio	0,71
	Caudal de ponta	0,95
Velocidade nos canais [m/s]	Caudal médio	0,47
	Caudal de ponta	0,53
Velocidade de atravessamento das grelhas médias [m/s]	Caudal médio	0,96
	Caudal de ponta	1,07

Devido às contingências a nível de espaço, foi necessário implementar soluções mais compactas sem prejudicar a qualidade do efluente final. Por esse motivo, juntou-se o pré-tratamento e a decantação primária num único órgão, de conceção e patente Degrémont: o Sedipac 3D, que permite a realização de 3 operações: desarenamento, desengorduramento e decantação primária [25]. A Figura 5 representa um esquema do equipamento Sedipac 3D [26].

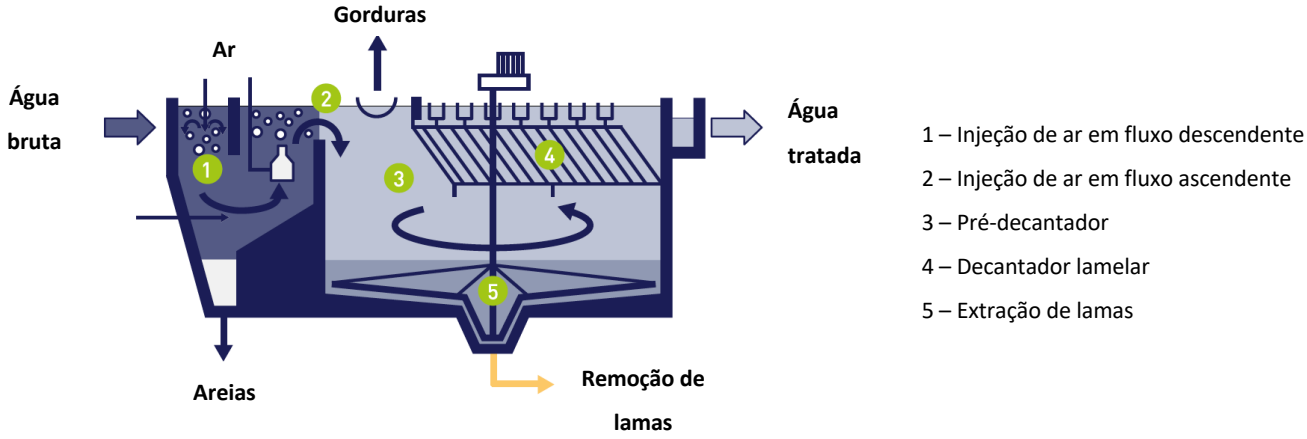


Figura 5 – Esquema de funcionamento do Sedipac 3D.

Na 1ª secção, é injetado ar comprimido, em fluxo descendente, através de difusores de bolha média tipo Vibrair (patente Degrémont), assegurando a separação das areias da matéria orgânica que as envolve. Já na 2ª secção inverte-se o sentido de injeção do ar comprimido, passando a ter-se um fluxo ascendente, permitindo a separação das gorduras por flotação, que posteriormente são recolhidas por uma caleira de superfície. Nesta operação utiliza-se uma bolha fina [25].

Segue-se um pré-decantador eficiente, onde a maior parte da matéria orgânica é decantada e uma zona de decantação lamelar na qual as últimas matérias em suspensão são retiradas do efluente líquido [25].

De salientar que foram projetados dois Sedipac 3D, a funcionar em paralelo.

As características unitárias do desarenamento (secção 1) e desengorduramento (secção 2) encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do desarenamento e desengorduramento

Parâmetro		Valor
Área unitária [m^2]		53
Velocidades ascensionais [$m^3/(m^2 \cdot h)$]	Caudal médio c/ infiltração	27
	Caudal de ponta c/infiltração	40

Cada órgão está equipado com 4 fossas de extração de areias, sendo esta efetuada através de bombagem (uma bomba por cada duas fossas). De seguida, as areias são encaminhadas para um classificador de areias e posteriormente para um contentor [25]. Devido à forte agitação criada, assegurada pelos difusores de bolha média, parte da camada de matéria orgânica que envolve os grãos de areia é removida, obtendo-se assim areias praticamente isentas de matéria orgânica [25].

Já no desengorduramento (secção 2), a operação desenrola-se em duas cubas (por órgão), sendo que cada uma está equipada com dois arejadores mecânicos submersíveis. Tal como a corrente de ar, a corrente de líquido também é ascendente pelo que facilita o aprisionamento das gorduras pelas bolhas de ar, favorecendo a flotação [25].

Por último, segue-se o decantador lamelar (secção 3 e 4) que, do ponto de vista processual e de dimensionamento, é a função principal do Sedipac 3D. Nas Tabelas 4 e 5 encontram-se as características de dimensionamento desta secção do equipamento e dos módulos lamelares, respetivamente. A água clarificada é posteriormente recolhida em caleiras metálicas posicionadas perpendicularmente ao canal de saída [25].

Tabela 4 – Características do decantador lamelar

Parâmetro		Valor
Área lamelar unitária [m^2]		109
Velocidade ascensional [$m^3/(m^2 \cdot h)$]	Caudal médio c/ infiltração	13,0
	Caudal de ponta c/ infiltração	19,7

Tabela 5 – Características dos módulos lamelares

Parâmetro	Valor
Geometria/Forma	Hexagonal
Diâmetro hidráulico [mm]	80
Ângulo de inclinação [°]	60
Comprimento [mm]	1 500
Superfície projetada [m^2 módulo/m^2 decantador]	10,8

A eficiência desta etapa depende fortemente da presença ou ausência de infiltração, o que faz variar o caudal afluente. Nas Tabelas 6 e 7 encontram-se os rendimentos previstos para esta etapa e os fluxos de entrada e saída do Sedipac 3D [25].

Tabela 6 – Rendimentos previstos para o Sedipac 3D

Rendimento decantação primária		
CBO_5	s/infiltração	30%
	c/infiltração	27%
SST	s/infiltração	60%
	c/infiltração	55%

Tabela 7 – Balanço ao Sedipac 3D

Caudais e fluxos poluentes		Entrada	Saída
Caudal médio [m^3/h]	s/infiltração	2 366,3	2 323
	c/infiltração	2 826,7	2 787
CBO_5 [kg/d]	s/infiltração	17 120,5	11 984
	c/infiltração	17 086,1	12 473
SST [kg/d]	s/infiltração	25 828,2	10 331
	c/infiltração	25 749,1	11 587

Assim, as lamas primárias extraídas têm as características apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Características das lamas primárias

Parâmetro		Valor
SST	s/infiltração [kg/d]	15 497
	c/infiltração [kg/d]	14 162
	concentração [kg/m^3]	15
Caudal	s/infiltração [m^3/d]	1 033
	c/infiltração [m^3/d]	944

O efluente é, posteriormente, enviado para o tratamento biológico que foi projetado para dois cenários de funcionamento diferentes: com e sem *by-pass* ao tratamento primário [25].

O reator biológico foi dividido em 4 reatores idênticos, a funcionar em paralelo. Esta solução confere flexibilidade à instalação, evita a nitrificação dos efluentes e otimiza os consumos energéticos, quer pela não ocorrência de nitrificação (processo que consome uma grande quantidade de oxigénio), quer pela baixa carga afluente nos primeiros anos de funcionamento da instalação (podendo ser tratados em reatores mais pequenos) [25]. A alimentação aos tanques é feita por intermédio de caleiras individuais.

Nas Tabelas 9 e 10 encontram-se os parâmetros que condicionam o dimensionamento do tanque de arejamento e as suas principais dimensões, respetivamente.

Tabela 9 – Parâmetros que condicionaram o volume mínimo do tanque de arejamento

Parâmetro	Valor
Temperatura [°C]	16
Concentração de lamas [kg/m^3]	2,5
Tempo de retenção mínimo [h]	10
Idade das lamas [d]	6,07

Tabela 10 – Principais dimensões do tanque de arejamento

Parâmetro	Valor
Número de linhas de tratamento	4
Volume por linha de tratamento [m^3]	7 500
Volume total [m^3]	30 000
Dimensões de cada linha (c x l) [m]	70,0 x 15,8
Altura de água [m]	6,8

A insuflação de ar é garantida por meio de discos de membranas em elastómero (tipo Flexazur 180), sendo uma opção bastante fiável. Tal deve-se aos seguintes fatores: as membranas serem incolmatáveis, a necessidade de segurança permanente com uma quantidade mínima de ar não ser imperativa, as necessidades de filtração de ar serem bastante reduzidas e as lavagens ácidas de regeneração serem suprimidas [25].

No entanto, a injeção de ar não é suficiente, sendo necessário utilizar, complementarmente, 2 agitadores submersíveis por tanque (isto é, 8 no total), situados na segunda metade do tanque, evitando assim a deposição de matérias em suspensão nos tanques [25].

Cada tanque de arejamento encontra-se dividido em 4 zonas (células) distintas de arejamento com diferentes necessidades de oxigénio. Na primeira zona, onde existe uma maior quantidade de biomassa a degradar, é necessário mais oxigénio. Ou seja, à medida que se avança no tanque, melhor vai sendo a qualidade do efluente e, consequentemente, menor será a necessidade de oxigénio.

As necessidades de oxigénio em cada zona do tanque de arejamento encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Necessidades de oxigénio ao longo de cada célula do tanque de arejamento

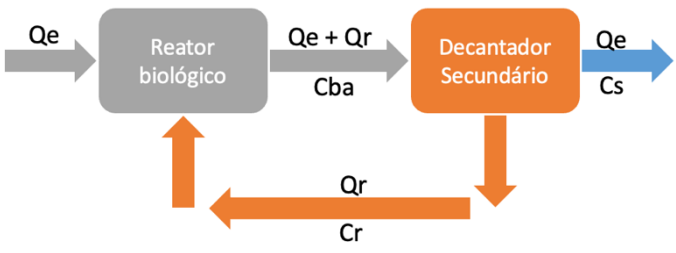
Célula	Necessidade de oxigénio [kg/h]
1	55,52
2	36,46
3	24,38
4	18,96

Já as características das lamas biológicas produzidas (considerando a existência de caudal de infiltração), estão presentes na Tabela 12.

Tabela 12 – Características das lamas biológicas

Lamas biológicas	Valor
Lamas devidas à remoção de CBO_5 [kg/d]	5 423,6
Fração mineral dos SST [kg/d]	4 193,6
Fração não degradável dos SSV [kg/d]	2 732,8
Total [kg/d]	12 350,0

A recirculação das lamas para os reatores biológicos é garantida através de 2 bombas (mais 1 de reserva), com um caudal de 2 120 m^3/h. A taxa de recirculação oscila entre 75 e 150% do caudal médio considerando infiltração. A recirculação é efetuada para a zona inicial dos tanques de arejamento. A Figura 6 esquematiza a ligação entre os tanques de arejamento e os decantadores secundários [25].



Qe – Caudal a tratar
Qr – Caudal de recirculação
Cba – Concentração em SST no reator biológico
Cr – Concentração em SST das lamas recirculadas
Cs – Concentração em SST do efluente tratado

Figura 6 – Funcionamento do reator biológico e decantador secundário.

Assim, o equilíbrio dos fluxos mássicos é dado por:

$$(Qe + Qr)\ Cba = Qr\ Cr + Qe\ Cs$$

Assumindo um normal funcionamento, pode-se desprezar a concentração em SST do efluente tratado (Cs = 0):

$$(Qe + Qr)\ Cba = Qr\ Cr$$

Ou seja, o fluxo de matéria que entra no decantador deve ser sempre inferior ou igual ao fluxo de recirculação. Caso isto não se verifique, o excedente Qe Cs será rejeitado no meio recetor.

Os decantadores secundários são do tipo retangular, sem inclinação longitudinal no fundo, havendo um total de 4 decantadores. Estes foram dimensionados para um Índice de lamas (Ib) de 150 mL/g, o que resulta numa velocidade ascensional de 1,2 $m^3/(m^2 \cdot h)$. Este índice representa o volume ocupado por 1 g de lama após 30 min de decantação numa proveta [25].

Nas Tabelas 13 e 14 encontram-se as dimensões deste equipamento e as respetivas caraterísticas de funcionamento, respetivamente.

Tabela 13 – Dimensões do decantador secundário

Parâmetro	Valor
Número	4
Comprimento [m]	64
Largura [m]	8
Superfície unitária [m^2]	1 024
Profundidade líquida na periferia [m]	3,65

Quanto à recirculação, tal como já foi visto anteriormente, esta é efetuada por duas bombas (mais 1 de reserva), com um caudal unitário de 2 120 m^3/h e uma altura manométrica de 6,5 m.c.a. Assim, os grupos eletrobomba de recirculação devem bombar o caudal horário apresentado na Tabela 15 [25].

Por último, foram instalados raspadores de superfície com o objetivo de remover os flotantes e espumas acumuladas à superfície dos decantadores, que posteriormente são encaminhados para o tanque de mistura de lamas [25].

Para além da linha de tratamento dita normal, a ETAR de Gaia Litoral apresenta uma linha de aproveitamento de águas residuais (Q = 200 m^3/h) para determinados usos como, por exemplo, a lavagem de pavimentos, contentores, viaturas e a rega dos espaços verdes [25].

Tabela 14 – Características de funcionamento do decantador secundário

Parâmetro		Valor
Concentração de lamas [kg/m^3]	s/infiltração	2,5
	c/infiltração	2,5
Caudal unitário [m^3/h]	Médio s/infiltração	2 324
	Médio c/infiltração	2 827
	Ponta s/infiltração	3 832
	Ponta c/infiltração	4 291
Carga hidráulica [m^3/(m^2·h)]	Médio s/infiltração	0,6
	Médio c/infiltração	0,7
	Ponta s/infiltração	0,9
	Ponta c/infiltração	1,0

Tabela 15 – Caudal horário a bombar pelos grupos eletrobomba

	Caudal de recirculação [m^3/h]
Médio (75% do caudal médio c/infiltração)	0,75 x 2 827 = 2 120
Máximo (150% do caudal médio c/infiltração)	1,5 x 2 827 = 4 240

Assim, à saída do decantador, parte do efluente é encaminhado para um pequeno poço, no qual estão instaladas 3 bombas submersíveis (1 de reserva) com um caudal de 100 m^3/h e uma altura manométrica de 13 m.c.a. Por sua vez este efluente é bombado para dois filtros de areia fechados, funcionando em pressão e de construção metálica, do tipo FV2B, de conceção Degrémont [27], situados junto aos tanques de arejamento, como se pode ver pela Figura 7. Na Figura 8 encontra-se o esquema de funcionamento deste equipamento [27].

O funcionamento destes filtros é completamente automático graças a uma árvore de manobra composta por válvulas automáticas. As principais características destes filtros estão apresentadas na Tabela 16.

A lavagem dos filtros é garantida por uma lavagem do tipo hidropneumática, isto é, ar e água, que é acionada quando se atinge uma perda de carga entre a entrada e a saída superior a 3 m.c.a. Na Tabela 17 encontram-se as características dos equipamentos de lavagem [25].



Figura 7 – Localização dos filtros de areia.

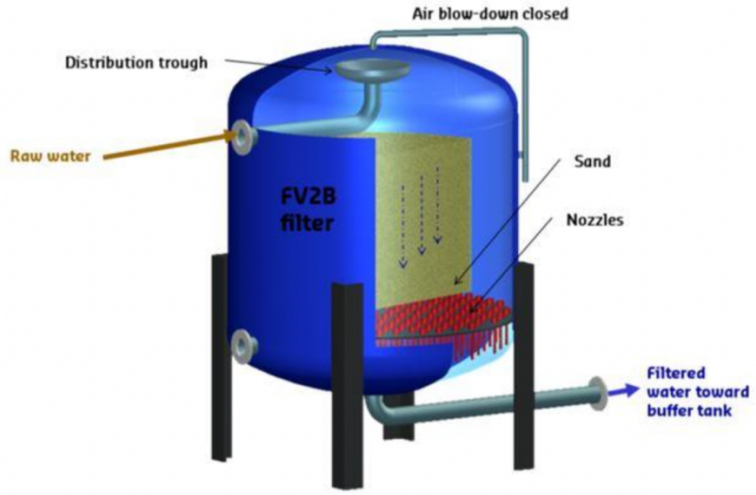


Figura 8 – Esquema de funcionamento dos filtros FV2B.

Tabela 16 – Principais características dos filtros de areia

Parâmetro	Valor
Diâmetro [mm]	3 500
Velocidade de filtração [$m^3/(m^2 \cdot h)$]	10,4
Meio filtrante	Areia TEM 1,35 mm
Altura do leito filtrante [mm]	950

Tabela 17 – Características dos equipamentos de lavagem

	Ar	Água
Tipo	Grupo eletrocompressor tipo *roots*	Grupo eletrobomba submersível
Pressão [m.c.a.]	3,6	11
Caudal [m^3/h]	500	145
Velocidade[$m^3/(m^2 \cdot h)$]	50	15

Após esta filtração, o efluente tratado passa por um canal de desinfeção UV, que utiliza módulos eletrónicos equipados com lâmpadas UV. O canal apresenta as dimensões apresentadas na Tabela 18. Este sistema é constituído por 5 módulos constituídos de uma estrutura rígida em aço inox, cada um com 8 lâmpadas. Estas, por sua vez, são protegidas contra as agressões do meio através de tubos de quartzo. A instalação permite uma dosagem máxima de radiação UV de 33,0 $mW \cdot s/cm^2$ o que, na teoria, permite garantir uma concentração de coliformes fecais inferior a 100 UFC/100 mL.

De salientar que, atualmente, apesar de o sistema de desinfeção UV se encontrar em funcionamento, este não é eficaz e por esse motivo não foi utilizado neste trabalho.

Tabela 18 – Dimensões do canal de desinfeção UV

Parâmetro	Valor
Comprimento [m]	5,00
Largura [m]	0,38
Altura líquida [m]	0,61

Por fim, o efluente é enviado para uma cisterna, com um volume de 178,5 m^3 (8,5 x 3,5 x 6,0 m), que alimenta várias bombagens.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 Em Portugal

A água exige que pensemos nela, e na sua gestão, enquanto produto, recurso e utilidade, aplicando-lhe os princípios de economia circular [28]. Tal como todos os recursos dentro dos sistemas de produção e consumo, a água também tem de ser pensada de uma forma circular – reduzindo, reutilizando e regenerando [28]. Assim, é necessário ser-se mais moderado e eficiente no consumo deste recurso, recolhendo e recirculando a água ao longo dos vários ciclos [28].

Nos últimos 30 anos, a intensidade e a frequência da ocorrência de períodos de seca tem vindo a aumentar o que leva a situações de desequilíbrio e escassez de água [29]. A reutilização de água revela-se como uma solução para a atual escassez deste recurso, na medida em que permite a manutenção desta no ambiente e a respetiva preservação para usos futuros [29]. Esta solução apresenta vários benefícios, tanto ambientais como sociais e económicos [29].

A nível económico, a reutilização de água apresenta menores custos de investimento e energia quando comparada com outras soluções, como a dessalinização ou a construção de novas barragens [30]. Quanto aos benefícios ambientais, esta estratégia visa melhorar o estado do ambiente, tanto quantitativamente, reduzindo a quantidade de água captada, como qualitativamente, reduzindo a carga rejeitada, principalmente em zonas sensíveis [30]. A nível social, permite um aumento na estabilidade da disponibilidade deste recurso, o que por sua vez minimiza os efeitos de secas e de escassez [30].

Por esse motivo, têm surgido projetos, tanto a nível nacional como internacional, que incentivam a utilização de Água para Reutilização (ApR), tal com o Projeto REUSE [31]. Este projeto, financiado pelo Fundo Ambiental, tem como principal objetivo promover a produção e utilização de ApR no regadio na região do Alentejo, onde, de forma habitual, se observa uma grande insolação e uma baixa precipitação, tal como se observa na ETAR de Beja [31].

A ETAR de Beja, que serve 32 750 habitantes e apresenta um caudal de 4 830 m^3/d, instalou um piloto de demonstração deste projeto [31]. Para isso foi utilizada uma

tecnologia de desinfeção com aproveitamento de um recurso renovável (energia solar), apresentando, por esse motivo, um baixo custo operacional [32]. A ApR produzida será utilizada no regadio de uma plantação de romãzeiras [32]. O esquema proposto encontra-se na Figura 9 [32].

Os ensaios realizados permitem concluir que a ApR produzida pode ser utilizada em rega gota-a-gota de fruteiras onde os frutos crescem 50 m acima do solo, tendo em conta o Decreto-Lei nº 119/2019, de 21 de agosto [29] [33].

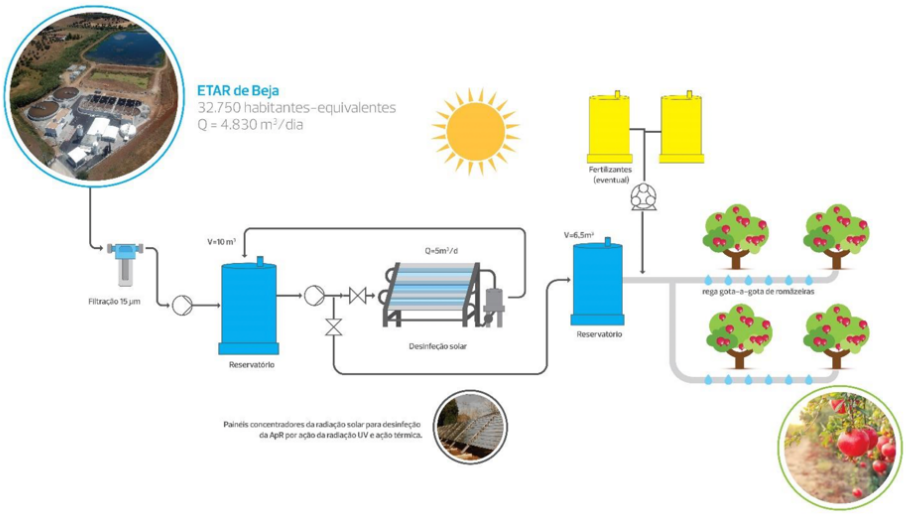


Figura 9 – Esquema de produção e utilização de ApR na ETAR de Beja.

O Decreto-Lei nº 119/2019, "estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização, por forma a promover a sua correta utilização e a evitar efeitos nocivos para a saúde e para o ambiente" [29].

Esta legislação divide a reutilização de água e as suas respetivas normas de qualidade em 3 grandes grupos: rega, usos urbanos e industriais. Dentro da reutilização para rega, esta divide-se em 5 classes, cada uma com normas de qualidade e usos distintos. Quanto aos usos urbanos estas águas podem ser utilizadas para usos recreativos, de enquadramento paisagístico, lavagem de ruas e veículos, água de combate a incêndios, águas de arrefecimento, autoclismos e suporte de ecossistemas, sendo que para cada uso existem normas de qualidade diferentes. Por último, o grupo

de usos industriais divide-se em 2 grupos: risco direto de ingestão e risco direto de contacto dérmico.

Nas Tabelas A1 e A2, presentes no Anexo A é possível verificar as normas de qualidade exigidas para reutilização para rega, as quais avaliam parâmetros como a Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5), Sólidos Suspensos Totais (SST), turvação, *Escherichia coli* (*E. coli*), entre outros [29].

Este documento faz ainda uma descrição detalhada dos possíveis usos da água consoante a sua classe, tal como se encontra apresentado na Tabela A3, presente no Anexo A [29]. Já as normas de qualidade para os usos urbanos e industriais encontram-se presentes no Anexo A, nas Tabelas A4 e A5, respetivamente [29].

3.2 No Mundo

A reutilização de água tem-se expandido para além dos usos na agricultura, urbanos e industriais, sendo por vezes utilizada para usos potáveis (diretos ou indiretos), o que nos leva a encarar a água residual tratada como uma nova fonte adicional e/ou alternativa de água [29].

Singapura, Ásia, é uma ilha economicamente desenvolvida e altamente urbanizada, e com recursos de água doce muito escassos, não contendo qualquer tipo de aquífero natural ou água subterrânea [34] [35]. As Nações Unidas avaliaram, em 2006, a disponibilidade de água doce de 190 países, tendo sido atribuído o 170º lugar a Singapura [36]. Adicionalmente, em 2020, o consumo de água doméstica em Singapura foi de aproximadamente 1,8 x 10^6 m^3/dia e o consumo per capita de 310 L/d/hab [34]. Em Portugal, por exemplo, o consumo médio diário de água por habitante é de 186 L/d/hab [37].

Por esse motivo, o governo de Singapura desenvolveu a "Estratégia das 4 Torneiras Nacionais", que consiste em dessalinizar a água do mar, reutilização potável indireta e não potável direta (de água residual), armazenamento de água da chuva e água importada [38].

A NEWater é uma das principais "4 Torneiras Nacionais", sendo cada vez mais uma importante fonte de água doce para Singapura [34]. Este processo recicla ou trata a água residual em água recuperada de alta qualidade e ultra limpa, protegendo a população durante os períodos secos e encaminhando Singapura para a sustentabilidade [39].

Na década de 1970, o governo de Singapura estudou a viabilidade de produzir água reciclada, no entanto, embora se tenha descoberto que era tecnicamente possível, o alto custo da tecnologia e a confiabilidade não comprovada eram preocupações insuperáveis [40].

Com a introdução de outros países, como os Estados Unidos, neste mercado, o custo e o desempenho da tecnologia de membrana melhoraram consideravelmente na década de 1990 [39].

Atualmente, 5 Estações NEWater produzem 285 milhões de m^3/ano, ou seja, aproximadamente 781 000 m^3/dia, o que corresponde a 40% da necessidade de água da

população [41]. Espera-se ainda que esta proporção atinga, em 2060, os 55%, quando a produção de NEWater alcance os 730 milhões de m^3/ano [41].

Em 1998, a *Public Utilities Board* de Singapura (PUB) montou uma equipa para testar o uso da mais recente tecnologia na recuperação de água para fins potáveis. Posteriormente, recorreu a uma instalação de demonstração à escala real capaz de produzir 10 mil m^3/d [39].

Um grupo internacional de especialistas em engenharia, ciências, biomédicas, química e tecnologia demonstrou que a qualidade da NEWater era consistentemente segura e alta, tendo em conta os requisitos da Organização Mundial de Saúde (OMS) e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) para uso potável [39]. A Figura 10 representa um esquema do processo utilizado nas estações de NEWater [39].

Assim, existem dois usos para a NEWater:

- Uso não potável – Fins de refrigeração industrial e de ar condicionado em fábricas, parques industriais e edifícios comerciais. Os maiores utilizadores da NEWater são as *wafer fabrication plants* (procedimento composto de muitos processos sequenciais repetidos para produzir semicondutores), que exigem uma qualidade de água ainda mais rigorosa do que a água potável.
- Uso potável indireto – Durante os períodos secos, a NEWater é adicionada aos reservatórios para se misturar com a água bruta, que é tratada nas instalações hidráulicas antes de ser fornecida aos consumidores como água da torneira [39].

Das 5 estações de NEWater, é de salientar a Changi NEWater Project Phase 2 por ser, atualmente, a maior de todas as estações [42]. Foi concebida para ter uma capacidade de produção de água de 228 mil m^3/d e uma taxa de recuperação total superior a 70%, tendo sido renovada recentemente e ampliada para ter uma capacidade de tratamento de aproximadamente 1 milhão de m^3/d [34]. O investimento total do projeto atingiu os 120 milhões de €. Este projeto utiliza o efluente secundário da ETAR de Changi que contém maioritariamente efluente doméstico [34].

A Figura 11 esquematiza o tratamento utilizado nesta estação de tratamento de NEWater. Os parâmetros de processo das unidades de UF e de OI, encontram-se nas Tabelas 19 e 20 [34].

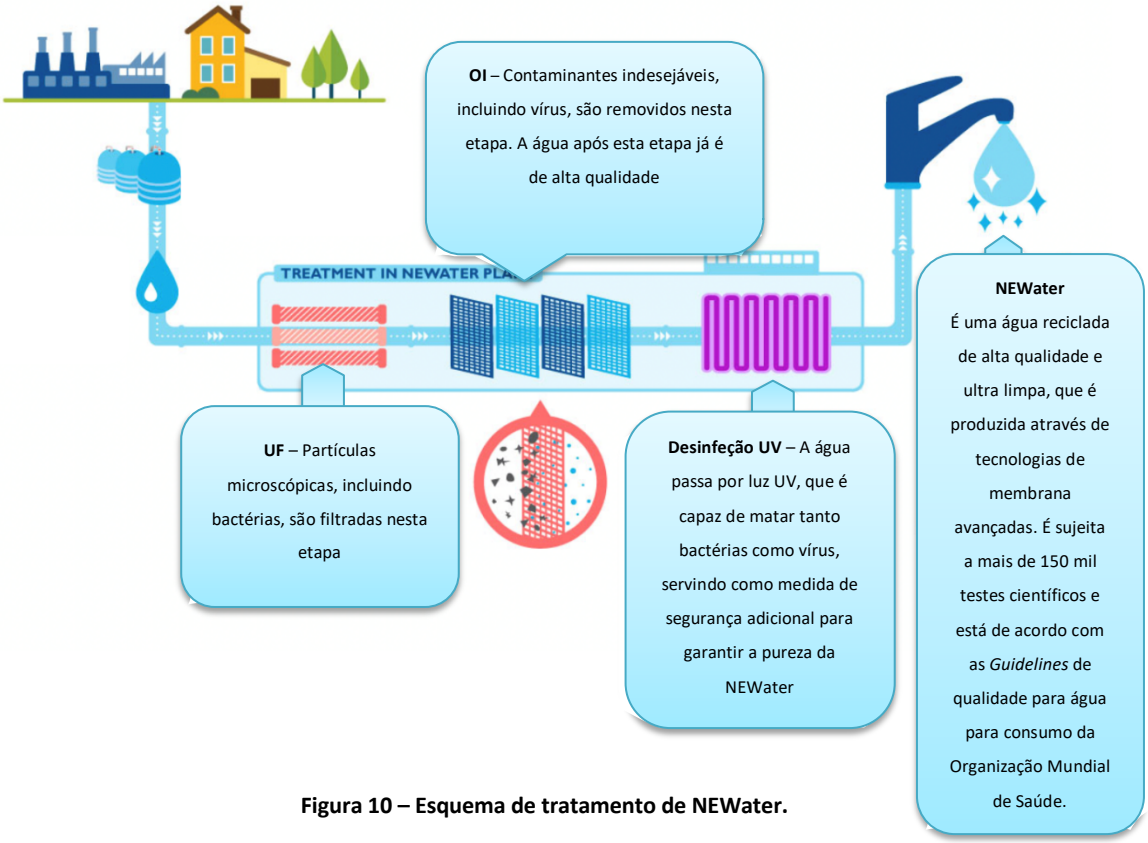


Figura 10 – Esquema de tratamento de NEWater.

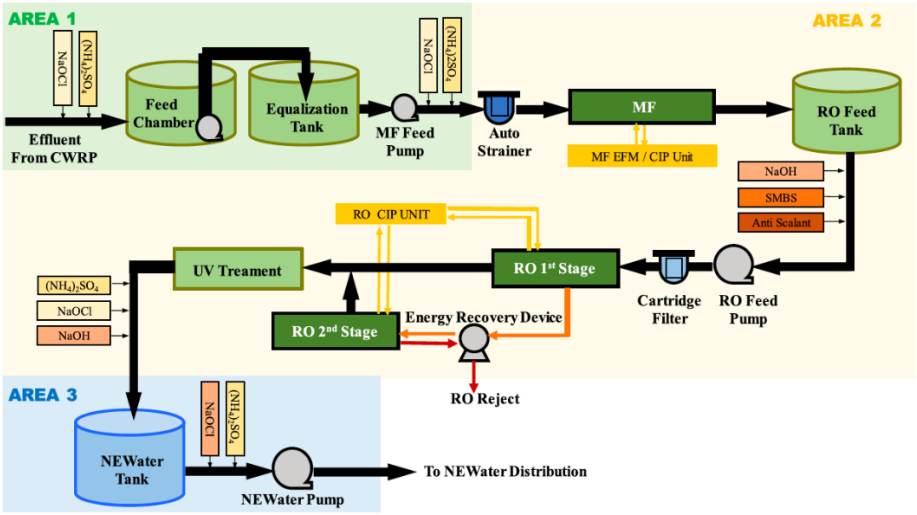


Figura 11 – Esquema de tratamento utilizado da Estação de Changi.

Tabela 19 – Parâmetros de funcionamento da unidade de microfiltração

Variável	
Tipo	Membrana de fibra oca de pressão externas
Número	12 conjuntos de 408 membranas/conjunto
Material	Fluoreto de polivinilideno
Membrana	0,08 μm
Capacidade de processamento	1 300 m^3/h
Fluxo de líquido	48,5 $L/(m^2 \cdot h)$

Tabela 20 – Parâmetros de funcionamento da unidade de osmose inversa

Variável	
Tipo	Filme em rolo
Número	10 conjuntos de 158 membranas/conjunto
Material	Poliuretano
Capacidade de processamento	1 090 m^3/h
Fluxo de líquido	17 $L/(m^2 \cdot h)$
Taxa de recuperação	80%

Quanto à unidade de desinfeção UV, existem 8 conjuntos (7 para uso normal e 1 de reserva), cada um com uma capacidade de processamento de 1429 m^3/h e uma dose nominal de UV de 50 mJ/cm^2 [34].

Durante todo o processo, a taxa de recuperação total foi de 73,5%, sendo que, em 2019, a taxa média de produção de água foi de 196 mil m^3/d. Na Figura 12 encontra-se o balanço da água ao longo do processo de produção de NEWater [34]. É possível verificar que a etapa com menor taxa de recuperação é a de OI, apresentando perdas de 20% [34].

A água produzida nas estações NEWater excede consistentemente os requisitos estipulados pela USEPA e pela OMS, tendo em conta os resultados dos testes físicos, químicos e microbiológicos realizados nos últimos dois anos [43].

Já o custo operacional total (Figura 13) situa-se entre os 0,07 e 0,14 €/m^3, que consiste em custos de energia, de consumo de produtos químicos, de manutenção e de mão de obra representando, respetivamente, 62,9, 20,2, 7,3 e 9,6%, do custo total [34].

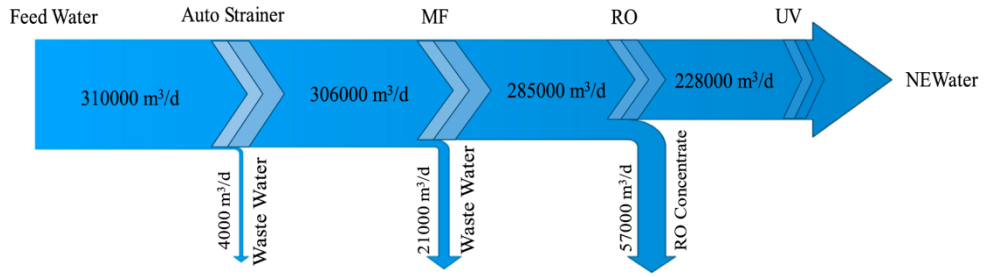


Figura 12 – Balanço da água ao longo do processo de produção.

O custo de energia, sendo a maior percentagem do custo total operacional, apresenta um consumo de energia por tonelada de água entre os 0,6 e os 0,8 kWh/m^3, repartidos entre a secção de entrada, MF, RO, UV e das áreas comuns, como se verifica pela Figura 14. É ainda utilizado um turbocompressor hidráulico como dispositivo de recuperação de energia, na unidade RO, produzindo 4000 kWh/d de eletricidade [34].

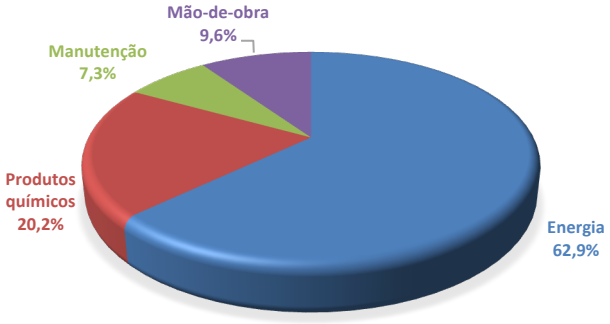


Figura 13 – Composição dos custos operacionais.

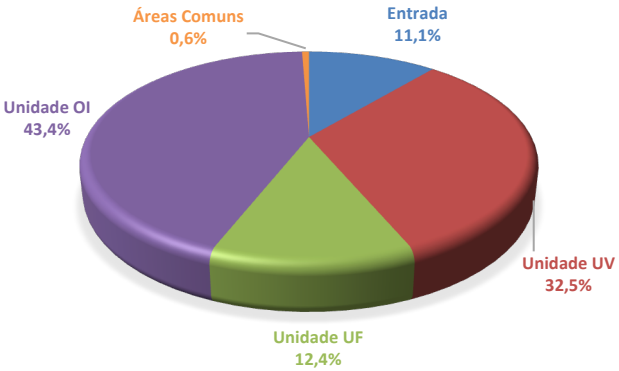


Figura 14 – Composição do consumo de energia.

O governo de Singapura tem feito esforços para promover a utilização da NEWater, baixando as suas taxas e tarifas [44]. A Tabela 21 mostra a comparação entre os preços da NEWater e da água de abastecimento de Singapura [44].

Singapura é um pioneiro na reciclagem direta de água residual em água potável, sendo um meio eficaz de reciclagem destas e de otimização da utilização dos recursos hídricos [45].

Este projeto, fornece um bom modelo para outros países ou regiões onde, tal como em Singapura, os recursos hídricos sejam escassos e distribuídos de forma desigual [34].

Tabela 21 – Comparação entre os preços da NEWater e da água de abastecimento de Singapura

	Água Potável		NEWater
Utilização mensal de água [m^3]	0 – 40	> 40	-
Tarifa [$/m^3$]	1,21	1,52	1,28
Imposto sobre a conservação da água [$/m^3$]	0,61	0,99	0,13
Tarifa de transporte da água [$/m^3$]	0,92	1,18	0,92
Preço Total [$/m^3$]	2,74	3,69	2,33

Na ETAR de Gaia Litoral utilizou-se um modelo semelhante ao aqui apresentado para a produção de água potável através da reutilização de águas residuais. A única diferença entre o sistema apresentado e o utilizado na ETAR de Gaia Litoral, é o processo de desinfeção que foi feito através de ozono ao invés da desinfeção por UV. Sendo o esquema utilizado o seguinte: Saída do tratamento secundário – Ultrafiltração – Osmose Inversa – Ozonização.

Foi também testada a hipótese da utilização de ApR de acordo com o Decreto-Lei nº 199/2019, através da utilização de filtros de areia e desinfeção com ozono.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Contagem de coliformes e *E. coli*

A deteção de coliformes fecais e *E. coli* foi realizada através do método Colilert-18 [46]. Este método utiliza uma Tecnologia de Substrato Definido (TSD), recorrendo ao *o-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside* (ONPG) e *4-methylumbelliferyl-β-D-glucuronide* (MUG) como indicadores.

Os coliformes fecais utilizam a enzima β-galactosidade para metabolizar o ONPG, alterando a sua cor de incolor para amarelo, enquanto a *E. coli* utiliza a mesma enzima para metabolizar o MUG e criar fluorescência azul, tal como se encontra demonstrado na Figura 15 [46].

O reagente Colilert-18 foi adicionado a 100 mL de cada amostra, sendo que por vezes foram realizadas diluições dependendo das concentrações esperadas de coliformes e *E. coli*.

As amostras foram então vertidas para um *Quanty-Tray* ou *Quanty-Tray/2000*, seladas num *Quanty-Tray Sealer* e incubadas a (36 ± 1) °C durante 18-20 h [47]. Após a incubação, o número de poços amarelos e fluorescentes foram contados, e obteve-se o Número Mais Provável (NMP) de coliformes e E. *coli* através do software *IDEXX MPN Generator* [48].

Nas Figuras 16 e 17 encontram-se exemplos da reação da metabolização do ONPG e MUG, respetivamente, pela enzima β-galactosidade.

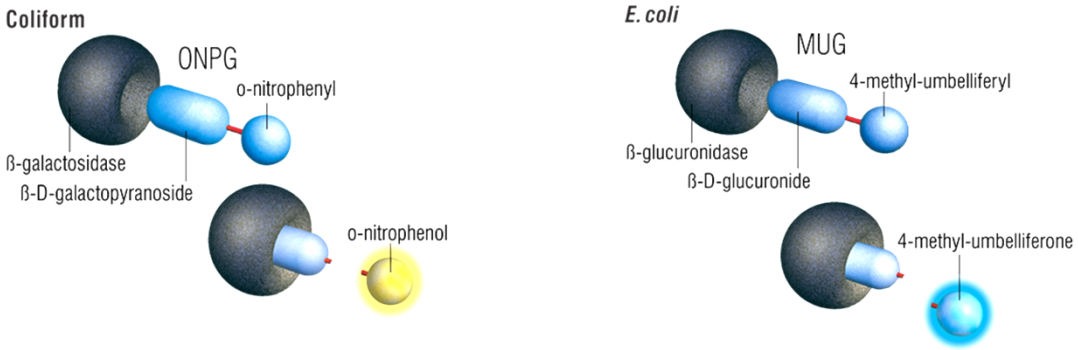


Figura 15 – Esquema representativa da metabolização do ONPG e MUG, respetivamente, pela enzima β-galactosidade.



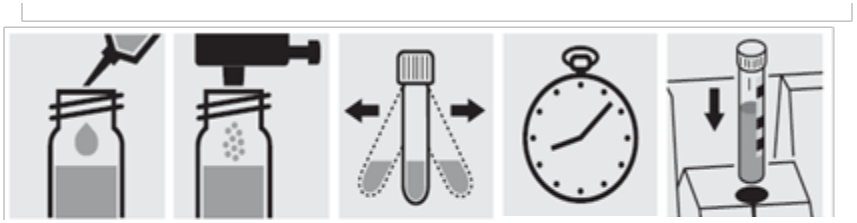
Figura 16 – Contagem de coliformes.



Figura 17 – Contagem de E. *coli.*

4.2 Determinação da Amónia [NH_4]

A determinação da amónia foi realizada através dos kits *Merck Spectroquant Ammonium Cell Test* [49]. O procedimento para a gama compreendida entre 4,0 e 80,0 mg/L de NH_4-N encontra-se na Figura 18. As leituras foram efetuadas no espetrofotómetro *Spectroquant Prove* 600 da *Merck* [50].



Pipetar para uma cuvete de reação 0,10 mL de amostra e agitar	Adicionar 1 dose de reagente NH_4 – 1K	Agitar vigorosamente	Deixar em repouso 15 minutos	Efetuar leitura no fotómetro, alinhando as marcas da cuvete e do equipamento

Figura 18 – Procedimento para a gama compreendida entre 4,0 e 80,0 mg/L de NH_4-N.

4.3 Determinação do Azoto Total [N-Total]

A determinação do azoto total foi realizada através dos kits *Merck Spectroquant Nitrogen (total) Cell Test* [51]. Os compostos de azoto orgânicos e inorgânicos são transformados em nitratos pelo método de Koroleff por reação com um oxidante num termoreator. O procedimento para a gama compreendida entre 0,5 e 15,0 mg/L de N encontra-se na Figura 19.

Para a determinação em gamas compreendidas entre 10 e 150 mg/L de N, deve-se adicionar apenas 1,0 e 9,0 mL de amostra e água destilada, respetivamente.

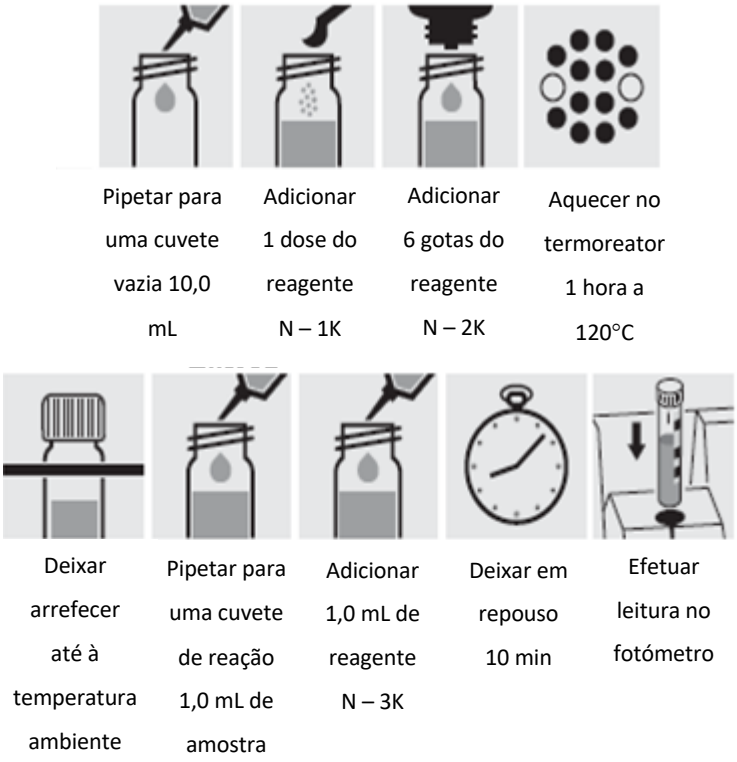


Figura 19 – Procedimento para a gama compreendida entre 0,5 e 15,0 mg/L de N.

4.4 Determinação da Carência Bioquímica de Oxigénio [CBO_5]

A CBO_5 expressa a quantidade de oxigénio utilizado pela amostra, durante um período de incubação de 5 dias. O oxigénio consumido é utilizado para a degradação bioquímica da matéria orgânica, mas também para a oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos.

Primeiramente, ajustou-se o pH na gama de 6,5 a 7,5 com as soluções diluídas de ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH) conforme o caso. De seguida, conforme o valor de CBO_5 previsto, transferiu-se para o respetivo frasco o volume de amostra referido, bem como a solução inibidora de nitrificação [52], tal como se encontra na Tabela 22.

Posteriormente, colocou-se a barra magnética no frasco, duas pastilhas de NaOH na manga de borracha e enroscou-se o manómetro ao frasco que contém a amostra [53].

Incubaram-se os frascos durante 5 dias na estufa a 20°C, em constante agitação. Por fim, leu-se o valor de CBO do 5º dia e converteu-se através da Equação 1.

CBO_5 [mg/L] = Valor indicado no mostrador x Fator de diluição [Equação 1]

Tabela 22 – Volume de amostra e de solução inibidora de nitrificação, conforme o valor de CBO_5 previsto

Volume de amostra [mL]	Intervalo de CBO_5 [mg/L]	Fator de diluição	Solução inibidora nitrificação [nº gotas]
432	0 – 40	1	9
365	0 – 80	2	7
250	0 – 200	5	5
164	0 – 400	10	3
97	0 – 800	20	2
43,5	0 – 2000	50	1
22,7	0 – 4000	100	1

4.5 Determinação do pH

A medição do pH foi realizada através de um elétrodo de pH [54]. Para isso, lavou-se cuidadosamente o elétrodo com água destilada e, posteriormente, secou-se com papel absorvente. Por último, introduziu-se o elétrodo na amostra, procedeu-se à leitura dos valores e lavou-se o elétrodo com água destilada novamente.

4.6 Determinação dos Sólidos Suspensos Voláteis e Totais [SSV e SST]

Primeiramente, pesou-se o filtro, registou-se o valor (P1) e colocou-se o filtro no dispositivo de filtração com o respetivo funil Buckner, com a superfície mais rugosa voltada para cima.

Posteriormente, homogeneizou-se a amostra, mediu-se o volume (V) necessário e verteu-se para o copo de filtração. De salientar que o volume da amostra deve ter como critério a produção de um resíduo seco entre 2,5 e 200 mg e um volume máximo de 1 L.

De seguida, filtrou-se a amostra e colocou-se o filtro no respetivo vidro de relógio previamente identificado. Levou-se a amostra à estufa a (105 ± 5)°C, durante 1 h. Por fim, pesou-se novamente o filtro (P2) e recorreu-se à Equação 2 para determinar o valor de SST.

$$\textbf{SST [mg/L]} = \frac{((\mathbf{P2} - \mathbf{P1}) \times \mathbf{1000})}{\mathbf{V}} \times \mathbf{1000} \qquad \text{[Equação 2]}$$

Para determinar os SSV, levou-se o filtro com o resíduo dos SST a incinerar na mufla a (550 ± 50)°C, durante 30 min. Por último, pesou-se a amostra (P3) e determinaram-se os SSV através da Equação 3.

$$\textbf{SSV [mg/L]} = \frac{((\mathbf{P2} - \mathbf{P3}) \times \mathbf{1000})}{\mathbf{V}} \times \mathbf{1000} \qquad \text{[Equação 3]}$$

4.7 Determinação do Fósforo Total

A determinação do fósforo total foi realizada através dos kits Merck Spectroquant Phosphate Cell Test [55]. Em meio sulfúrico, os iões ortofosfato reagem com os iões molibdato para formar ácido molibdofosfórico. O ácido ascórbico reduz então o ácido molibdofosfórico a azul de fosfomolibdénio (PMB) que se determina fotometricamente.

O procedimento para determinação do fósforo total (gama entre 0,5 e 25,0 mg/L de P) encontra-se esquematizado na Figura 20.

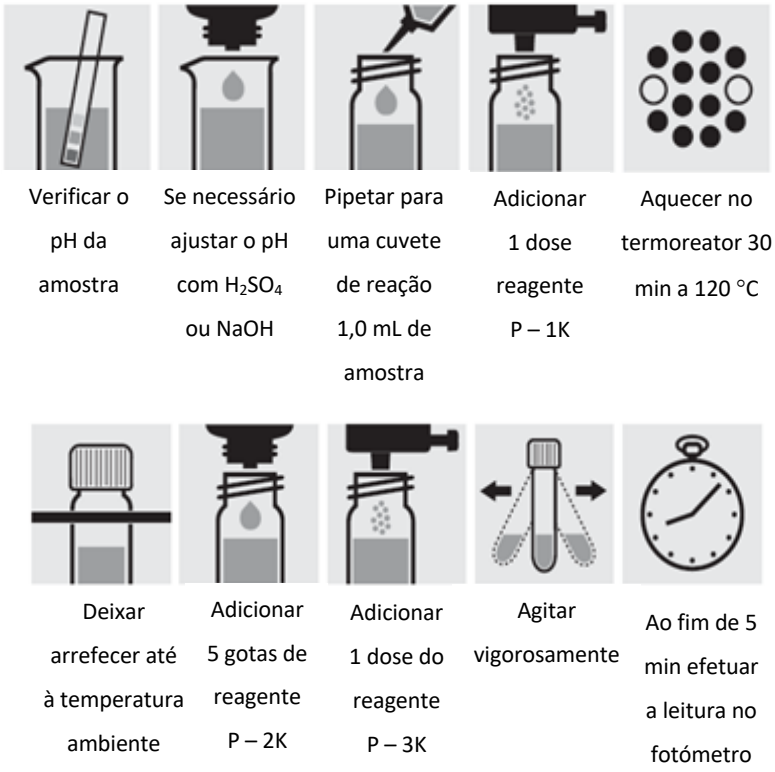


Figura 20 – Procedimento para determinação do fósforo total.

4.8 Turvação

A turvação é consequência da presença de partículas coloidais e/ou em suspensão como, por exemplo, matérias orgânicas e inorgânicas, areias e outros sedimentos, que obstruem a transmissão da luz.

Visto que os microrganismos se aderem a estas partículas em suspensão, um valor baixo de turvação pode significar uma baixa contaminação microbiológica da água, não sendo uma medida direta da matéria em suspensão.

Este parâmetro foi lido através do equipamento *2100Qis Portable Turbidimeter* da *Hach* [56].

4.9 Ozonização

Como foi referido anteriormente, o sistema UV apresenta a eficácia desejada e, por esse motivo, foi necessário utilizar outro equipamento capaz de fazer a desinfeção da água.

Para isso, utilizou-se o ozono que para além de ser um forte oxidante, que permite tempos de contacto baixos, é também eficaz na remoção de cheiro e sabor da água [57]. Na Tabela 23 encontram-se algumas vantagens e desvantagens da utilização deste equipamento [57].

A sua produção pode ser realizada através de dois métodos: por descargas elétricas ou por irradiação UV, sendo que neste caso é utilizado o primeiro método.

Nas Figuras 21, 22 e 23 encontra-se o equipamento piloto de ozonização fornecido pela empresa *De Nora*. Os dados fornecidos pela empresa relativos a este equipamento encontram-se nas Tabelas B1 e B2, presentes no Anexo B.

Tabela 23 - Vantagens e desvantagens da utilização do ozono

Vantagens	Desvantagens
Redução do teor de ferro	Cheiro desagradável
Redução do teor de manganês	Cor azulada
Remoção da matéria orgânica	Inexistência de poder desinfetante residual
Remoção de microrganismos e algas	Instabilidade que não permite transporte nem armazenamento
Transformação das substâncias não degradáveis em compostos degradáveis	
Produção no local	
Estabilidade perante pH de 6 a 8,5	

No painel de instrumentos (Figura 21) são controladas a concentração de ozono (que não deve exceder 0,01 ppm), a corrente gerada e a temperatura. Também é nesta zona que se ativa o funcionamento da bomba e da produção de ozono e se controlam todos os alarmes.

Já na parte lateral (Figura 23), é possível controlar a pressão do ar comprimido e do ar seco, bem como o fluxo de ozono, consoante a dose de ozono desejada. Estes valores são alterados tendo em conta a ficha técnica dada pelo fornecedor (Anexo B).

Para o normal funcionamento deste sistema utilizou-se água de arrefecimento proveniente do tratamento secundário.



Figura 21 – Painel de instrumentos.



Figura 22 – Reator de ozonização.

Por fim, as Figuras 24 e 25 esquematizam o funcionamento normal de um ozonizador e da produção de ozono através de ar [58]. Devido à falta de dados por parte do fornecedor, não foi possível garantir que este é o verdadeiro funcionamento do equipamento utilizado.

A bomba utilizada para retirar o efluente tratado do ozonizador apresenta as características presentes na Tabela 24 [59].



Figura 23 – Zona lateral do ozonizador.

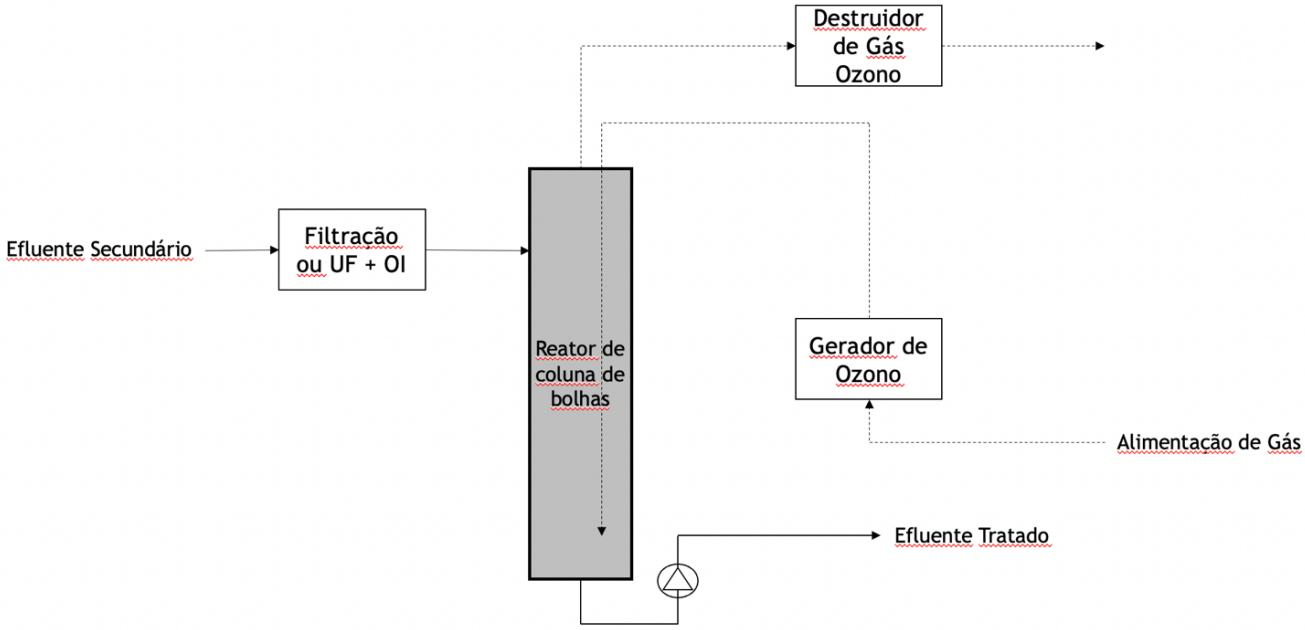


Figura 24 – Esquema de funcionamento do ozonizador.

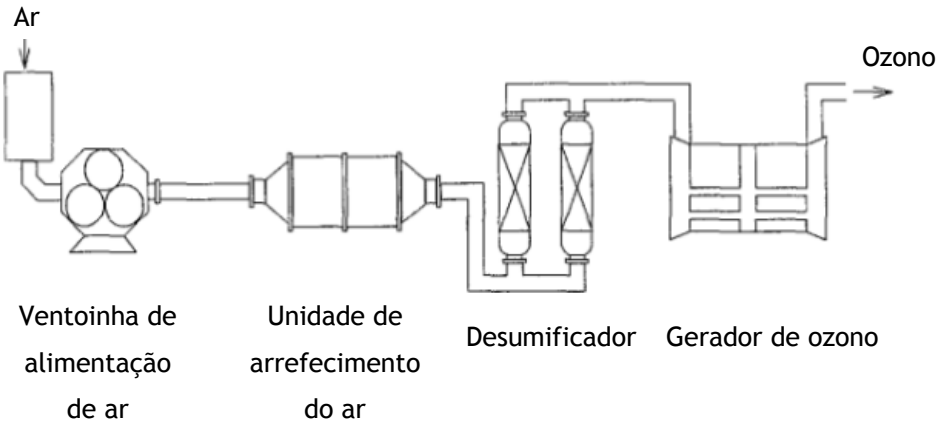


Figura 25 – Esquema de funcionamento da produção de ozono.

Tabela 24 – Características da bomba utilizada no ozonizador

Marca	Grundfos
Tipo	CM10-3 A-R-G-E-AQQE F-A-A-N
Modelo	96943251
Caudal nominal (Q_{nom}) [m^3/h]	10,0
Altura nominal (H_{nom}) [m]	38,0
Altura máxima ($H_{máx}$) [m]	46,6
Pressão máxima a 90 °C ($p_{máx}$) [bar]	1,6
Velocidade (v) [rpm]	2 900
Potência nominal (P_{nom}) [kW]	2,2

4.10 Unidades de UF e OI

A ultrafiltração é uma tecnologia de membrana utilizada para extrair matéria particulada e em suspensão, grandes macromoléculas, microrganismos e matéria coloidal [60]. Estas membranas são capazes de remover partículas entre os 0,1 e os 0,01 µm [57].

A unidade utilizada é composta por um sistema modular de membranas de fibras ocas de operação submersa (modelo C-MEM, AST-Ambiente), com um modo de operação de fora para dentro e em contínuo.

As suas principais características de funcionamento encontram-se na Tabela 25.

Por outro lado, a unidade de osmose inversa é, tal como o nome indica, o contrário da osmose natural. Ou seja, a água passa da solução mais concentrada para a solução menos concentração, através de uma força mecânica (bombas de alta pressão) [61].

Assim, esta tecnologia para além de ser capaz de remover todos os compostos removidos na ultrafiltração é também capaz de remover sais e vírus, removendo partículas com dimensões inferiores a 0,001 µm [57] [61].

A unidade usada é constituída por 3 membranas (1 x TML20D-400 e 2 x TM810V, ambas da marca Toray) colocadas em série, tendo as características apresentadas na Tabela 26 [62] [63]. As unidades de UF e OI encontram-se apresentadas na Figura 26.

Tabela 25 - Principais características da unidade de UF

Parâmetro	Valor
Dimensão dos poros [µm]	0,02
Nº de módulos	2
Nº de cartuchos de membranas	64/módulo
Caudal máximo [m^3/h]	10
Pressão de operação [bar]	0,12 – 0,16

Tabela 26 - Principais características das unidades de OI

Parâmetro	Valor
TML20D-400	
Pressão de operação [bar]	10
Pressão máxima [bar]	41
Área ativa da membrana [m^2]	37,1
Caudal [m^3/h]	1,22
Nº	1
TM810V	
Pressão de operação [bar]	10
Pressão máxima [bar]	55
Área ativa da membrana [m^2]	8,1
Caudal [m^3/h]	1,22
Nº	2



Figura 26 - Unidades de UF e OI.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção de ApR

Numa fase inicial, testou-se a produção de ApR através da utilização dos filtros de areia (já utilizados na ETAR) e da desinfeção com ozono, tendo em conta as normas de qualidade presentes no Decreto-Lei nº 119/2019 [29].

Para isso, foi utilizado o seguinte esquema de funcionamento: Saída do tratamento secundário (EF) – Filtração (filtros de areia) (ApR – P1) – Desinfeção com ozono (ApR – P2) – Cisterna.

Primeiramente, e com o intuito de compreender o funcionamento da unidade piloto de ozonização, testou-se a eficácia de remoção de coliformes totais e E. *coli*, com diferentes Tempos de Retenção Hidráulica (TRH) (variando o volume de água presente no reator) e doses de ozono.

Na Tabela 27 encontram-se as principais características do equipamento.

Tabela 27 - Dimensões do ozonizador

Parâmetro	Valor
Diâmetro (D_{reator}) [m]	0,35
Altura (H_{reator}) [m]	1,5
Volume (V_{reator}) [m^3]	0,14

Para tal, selecionaram-se as concentrações de ozono e os TRH que se iriam testar com base num estudo realizado anteriormente [61], cujos resultados se encontram representados na Figura 27.

Como se verifica, no efluente de Washington (semelhante ao da ETAR de Gaia Litoral) quanto maior a Dose de Ozono Transferida (TOD), menor o valor de coliformes fecais no efluente, tal como seria de esperar. No entanto, verifica-se que com o aumento do TRH, não existe um aumento da eficácia do processo (ou seja, não se verifica uma redução significativa do nº de coliformes fecais no efluente).

O mesmo estudo indica que as amostras só devem ser recolhidas após 3 ou 4 vezes o TRH [64].

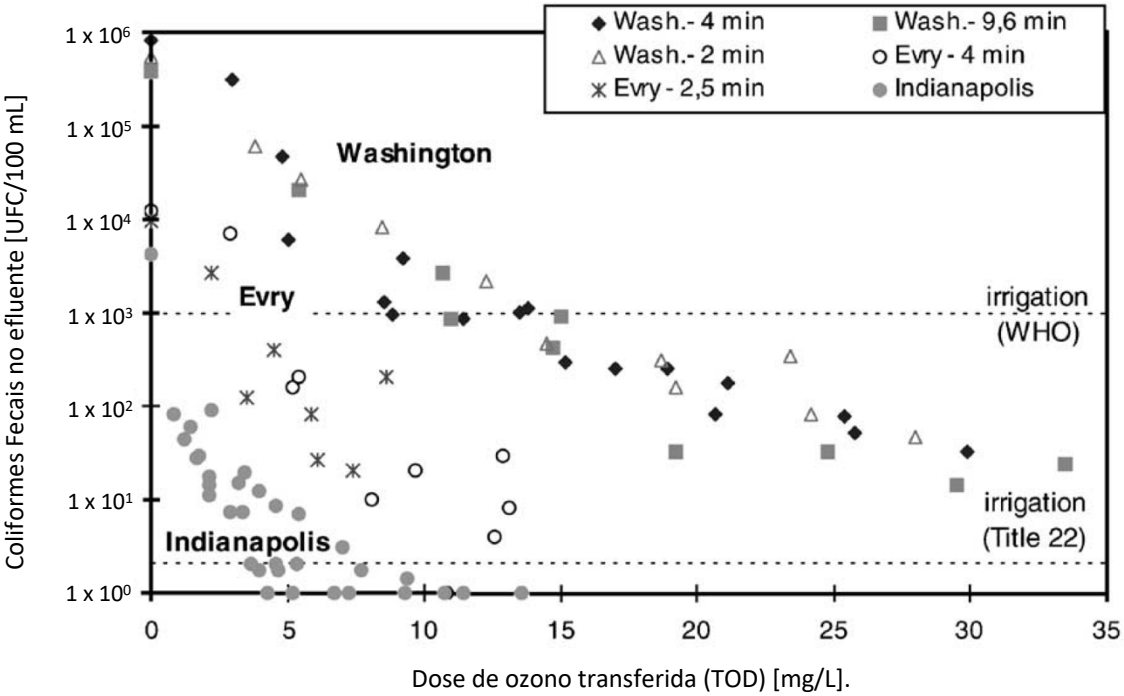


Figura 27 – Eficácia da desinfeção com ozono com diferentes TRH, TOD e efluentes.

De modo a variar o TRH, determinou-se, através da Equação 4, o TRH máximo. De salientar que o caudal de água tratada ($Q_{ozonizador}$) foi medido ao longo de vários dias, tendo-se obtido um valor médio de 1,14 m^3/h. Para este cálculo utilizou-se um coeficiente de segurança de 10%.

$$\mathbf{TRH_{máx}\ [min]} = \frac{\mathbf{0{,}9 \times V_{reator}\ [m^3]}}{\mathbf{Q_{ozonizador}\ [m^3/min]}} \qquad \text{[Equação 4]}$$

$$\Leftrightarrow TRH_{máx}\ [min] = \frac{0{,}9 \times 0{,}14}{0{,}019}$$

$$\Leftrightarrow TRH_{máx} = 6{,}6\ min$$

Posto isto, selecionaram-se dois TRH: 2 e 4 min. Recorrendo à Equação 4, determinaram-se as alturas de líquido ($H_{líquido}$) dentro do reator, correspondentes ao TRH desejado, tendo-se obtido 0,39 e 0,79 m, respetivamente.

Selecionaram-se, com base na informação presente na Figura 27, as concentrações de ozono apresentadas na Tabela 28. É de salientar que a concentração de ozono à entrada não corresponde à TOD sendo, por isso, necessário recorrer à Equação 5 para realizar a conversão.

Tabela 28 – Concentrações de ozono selecionadas e respetivas TOD para ApR

Caudal de gás ($Q_{gás}$) [m^3/h]	Pressão do gás ($p_{gás}$) [bar]	($Q_{ozonizador}$) [m^3/h]	Corrente fornecida (I) [A]	Concentração de Ozono ([O_3]) [g/Nm^3]	TOD [g/m^3]
0,7	1	1,14	1,12	28,8	7,1
			1,40	46,2	11,4
			1,77	66,9	16,4
			1,95	73,0	17,9
			2,15	78,8	19,4
			2,73	88,5	21,8

$$\textbf{TOD [g/m}^3\textbf{]} = \frac{\mathbf{Q_{gás}\ [m^3/h]}}{\mathbf{Q_{ozonizador}\ [m^3/h]}} \times (\mathbf{[O_3]_{g\ in}} - \mathbf{[O_3]_{g\ out}}) \qquad \text{[Equação 5]}$$

Onde $[O_3]_{g\ in}$ representa a concentração de ozono na alimentação de gás ao reator e $[O_3]_{g\ out}$ a concentração de ozono que sai no destruidor. Assim, a parcela ($[O_3]_{g\ in} - [O_3]_{g\ out}$) corresponde à concentração de ozono que é transferida para a água.

Considerando uma eficiência de 40% na transferência de massa do ozono (40% é transferido para a água) [64], tem-se que:

$$([O_3]_{g\ in} - [O_3]_{g\ out}) = (100\% \times [O_3]_{g\ in} - 60\% \times [O_3]_{g\ in}) = 40\% \times [O_3]_{g\ in}$$

$$\Leftrightarrow \text{TOD [g/m}^3\text{]} = \frac{Q_{gás}\ [m^3/h]}{Q_{ozonizador}\ [m^3/h]} \times [O_3]_{g\ in} \times 40\%$$

Aplicando, como exemplo, à concentração de 28,8 g/Nm^3:

$$\Leftrightarrow \text{TOD} = \frac{0,7}{1,14} \times 28,8 \times 40\% = 7,1\ g/m^3$$

A Tabela 29 representa os resultados obtidos para as diferentes TOD de ozono e TRH. De realçar que neste momento não se avaliou a eficácia dos filtros de areia, tendo-se, primeiramente, avaliado qual a TOD ótima para o efluente estar conforme o DL 119/2019.

Já a Figura 28 demonstra a evolução da remoção de E. *coli* com o aumento da TOD, quer para um tempo de retenção de 2 min como para 4 min.

Tabela 29 – Resultados obtidos para diferentes TOD de ozono e TRH

TRH [min]	TOD [g/m^3]	Coliformes Totais [UFC/100 mL]		E. *coli* [UFC/100 mL]	
		Entrada (EF)	Ozono (ApR – P2)	Entrada (EF)	Ozono (ApR – P2)
2	7,1	1,73 x 10^6	8,16 x 10^5	1,94 x 10^5	8,20 x 10^4
	11,4		-		4,88 x 10^4
	16,4		8,16 x 10^4		9,32 x 10^3
	17,9	9,80 x 10^5	111	1,65 x 10^5	20
			53		< 10
		1,55 x 10^6	41	1,84 x 10^5	5
	19,4	> 2,42 x 10^6	137	5,79 x 10^5	31
		9,80 x 10^5	53	1,65 x 10^5	10
		1,99 x 10^6	19	2,49 x 10^5	3
	21,8	> 2,42 x 10^6	64	5,79 x 10^5	10
		9,80 x 10^5	50	1,65 x 10^5	8
		1,55 x 10^6	12	1,84 x 10^5	2
		1,99 x 10^6	29	2,49 x 10^5	4
		1,99 x 10^6	15	3,45 x 10^5	1
		8,66 x 10^5	89	6,38 x 10^4	11
		8,67 x 10^5	109	6,38 x 10^4	8
4	19,4	> 2,42 x 10^6	530	6,49 x 10^5	< 100
		> 2,42 x 10^6	164	5,79 x 10^5	31
	21,8	-	100	-	< 100
		> 2,42 x 10^6	200	6,49 x 10^5	< 100
		> 2,42 x 10^6	99	5,79 x 10^5	20

Como se verifica, com o aumento do TRH não existe uma diminuição no número de UFC/100 mL de coliformes totais e E. *coli* no efluente, sendo que em certos casos se registaram valores mais elevado. Por esse motivo, selecionou-se o TRH = 2 min.

Tendo em conta os resultados para diferentes TOD, confirma-se que com o aumento da dosagem fornecida, existe também um aumento da eficácia do processo obtendo-se, por isso, um efluente com menor número de UFC/100 mL.

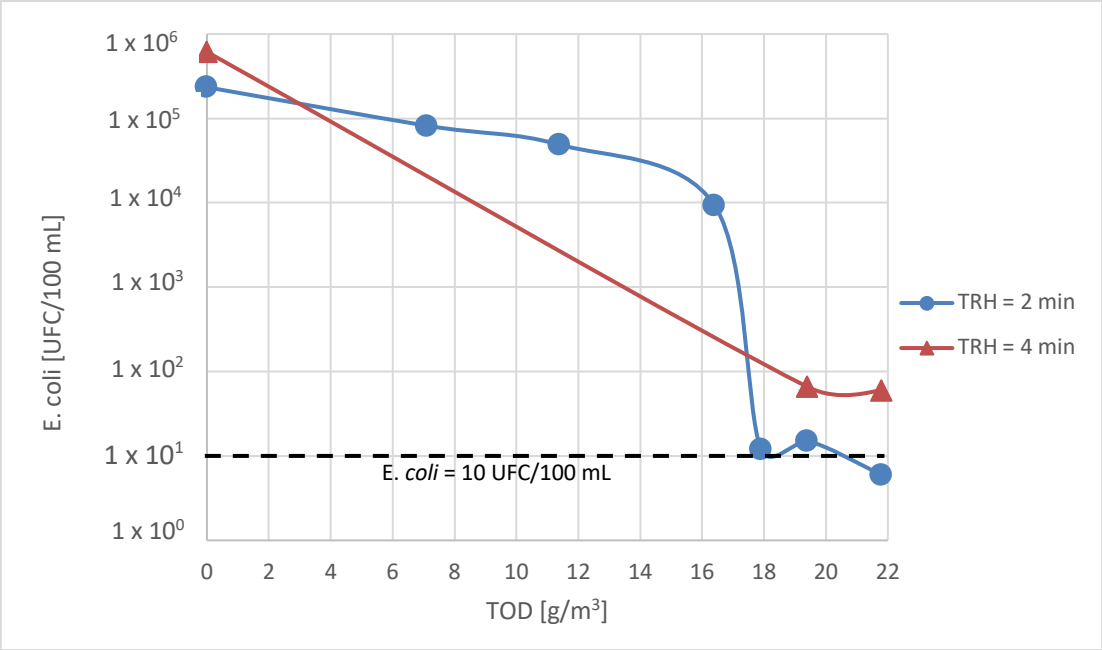


Figura 28 – Valores obtidos para a E. *coli*, consoante a TOD e o TRH.

Através da Figura 28, selecionou-se a combinação que poderia ser reutilizada para o maior número de fins possíveis, isto é, aquela que apresenta um valor de E. *coli* inferior a 10 UFC/100 mL.

Assim, a combinação escolhida foi:

- TRH = 2 min
- TOD = 21,8 g/m^3

Posteriormente, foram retiradas 6 amostras em 6 dias distintos com o intuito de avaliar parâmetros relevantes para a produção de ApR tais como a Carência Bioquímica de Oxigénio [CBO_5], Sólidos Suspenso Totais [SST], pH, Turvação, entre outros. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 30 e nas Figuras 29 e 30.

Tabela 30 – Resultados para todos os pontos do esquema de funcionamento de ApR

Parâmetro	Efluente (EF)	Filtração (ApR – P1)	Ozono (ApR – P2)
pH	7,48 ± 0,14	7,22 ± 0,13	7,27 ± 0,08
CBO_5 [mg/L]	10 ± 3	5 ± 1	6 ± 2
SST [mg/L]	20 ± 5	3 ± 1	3 ± 1
Turvação [NTU]	11,21 ± 3,39	1,35 ± 0,17	1,09 ± 0,16
NH_4^+ [mg/L]	51,9 ± 7,7	51,7 ± 6,8	52,3 ± 7,8
N – Total [mg/L]	55 ± 6	53 ± 6	54 ± 6
P – Total [mg/L]	1,7 ± 0,3	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,2
Transmitância [%]	38,7 ± 2,9	52,8 ± 1,4	65,5 ± 1,4
Coliformes Totais [UFC/100 mL]	$1,37 \times 10^6 \pm 5,40 \times 10^5$	$4,16 \times 10^5 \pm 2,19 \times 10^5$	51 ± 40
E. *coli* [UFC/100 mL]	$1,78 \times 10^5 \pm 1,09 \times 10^5$	$4,43 \times 10^4 \pm 2,08 \times 10^4$	6 ± 4

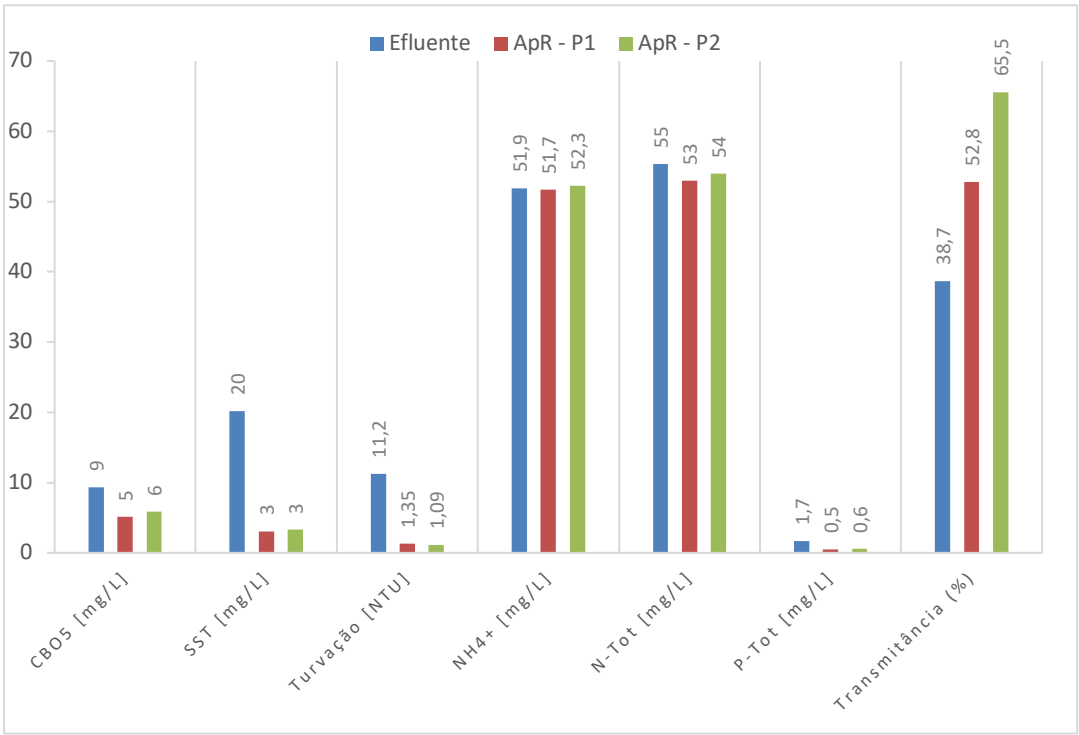


Figura 29 – Comparação entre os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos, nos diferentes pontos de amostragem.

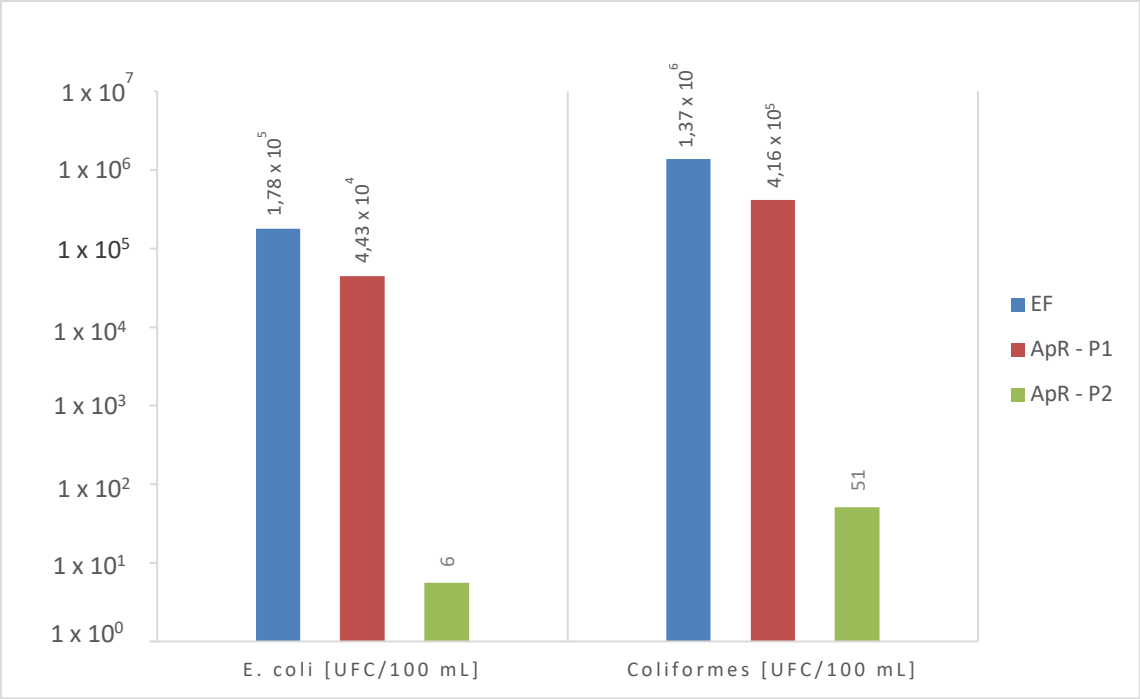


Figura 30 – Comparação entre os resultados obtidos para os parâmetros biológicos, nos diferentes pontos de amostragem.

Através dos resultados obtidos, é possível afirmar que os filtros de areia são eficazes a remover os SST, Turvação, CBO_5 e fósforo. Denota-se também uma redução de uma escala logarítmica tanto no valor dos coliformes totais como da E. *coli*.

Já a desinfeção com ozono é, como seria de esperar, extremamente eficaz na redução do valor de material microbiológico e, consequentemente, na redução da turvação.

Os valores elevados de azoto amoniacal (NH_4^+) e azoto total (N-total), devem-se à ausência de desnitrificação no tratamento secundário, visto que este não é provocado, acontecendo apenas de forma natural. Por esse motivo, estes parâmetros não demonstram qualquer alteração significativa durante os processos de tratamento, tal como o pH.

Tendo em conta os valores obtidos de NH_4^+ e N-total, podem ser descartados, de imediato, os seguintes usos: recreativos, de enquadramento paisagístico, águas de arrefecimento e autoclismos [29].

A Tabela 31, compara o efluente tratado com a parâmetros exigidos no Decreto-Lei 119/2019, para os vários fins possíveis [29].

De salientar que apesar da legislação considerar os parâmetros de NH_4^+ e N-total como facultativos, estes podem levar a limitações para o uso em rega, tais como a criação de biofilmes e obstrução dos sistemas da mesma. Assim, a reutilização deste efluente para rega deveria ser novamente avaliada *a posteriori*.

Tabela 31 – Comparação entre os resultados obtidos e a legislação em vigor

Parâmetro	Ozono (ApR – P2)	Rega Classe A – DL 119/2019	Água de combate a incêndios e lavagem de ruas e veículos – DL 119/2019	Usos industriais – DL 119/2019
pH	7,27 ± 0,08	-	6,0 a 9,0 ✓	-
CBO_5 [mg/L]	6 ± 2	≤ 10 ✓	≤ 25 ✓	-
SST [mg/L]	3 ± 1	≤ 10 ✓	-	-
Turvação [NTU]	1,09 ± 0,16	≤ 5 ✓	≤ 5 ✓	≤ 5 ✓
NH_4^+ [mg/L]	52,3 ± 7,8	≤ 10 (Facultativo)	-	-
N – Total [mg/L]	54 ± 6	≤ 10 (Facultativo)	-	-
P – Total [mg/L]	0,6 ± 0,2	≤ 5 (Facultativo)	-	-
Transmitância [%]	65,5 ± 1,4	-	-	-
Coliformes Totais [UFC/100 mL]	50 ± 40	-	-	-
E. *coli* [UFC/100 mL]	6 ± 4	≤ 10 ✓	≤ 10 ✓	≤ 10 ✓

De forma resumida, o efluente produzido pode ser reutilizado para os seguintes fins:

- Rega – Classe A;
- Usos Urbanos – Água de combate a incêndios e Lavagem de ruas e veículos;
- Usos Industriais – Qualquer tipo de uso.

5.2 Produção de Água para Consumo

Para a Produção de Água para Consumo (ApC), foi utilizado o seguinte sistema de funcionamento: Saída do Tratamento Secundário (EF) – Ultrafiltração (ApC - P1) – Osmose Inversa (ApC – P2) – Desinfeção com Ozono (ApC – P3).

Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros exigidos no Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro [65].

Primeiramente e tendo em conta os dados obtidos na primeira fase do trabalho, testaram-se 3 TOD diferentes de forma a compreender que dose poderia ser utilizada neste novo sistema de funcionamento. As TOD selecionadas encontram-se na Tabela 32.

Já a Tabela 33 representa os valores obtidos tanto para os coliformes totais como para a E. *coli*, para as TOD referidas.

Tabela 32 - Concentrações de ozono selecionadas e respetivas TOD para ApC

Caudal de gás ($Q_{gás}$) [m^3/h]	Pressão do gás ($p_{gás}$) [bar]	($Q_{ozonizador}$) [m^3/h]	Corrente fornecida (I) [A]	Concentração de Ozono ([O_3]) [g/Nm^3]	TOD [g/m^3]
0,7	1	1,23	1,12	28,8	6,5
			1,40	46,2	10,5
			2,73	88,5	20,1

Tabela 33 – Resultados obtidos para os parâmetros microbiológicos com diferentes TOD

Amostra	Coliformes Totais [UFC/100 mL]	E. *coli* [UFC/100 mL]
ApC – P1	659	10
ApC – P2	4,2	0
ApC – P3 [20,1 g/m^3]	0	0
ApC – P3 [10,5 g/m^3]	0	0
ApC – P3 [6,5 g/m^3]	0	0

Através dos resultados obtidos na Tabela 33, é possível concluir que com qualquer das dosagens testadas se obtém um valor de 0 UFC/100 mL, tanto para os coliformes totais como para a E. *coli*. Por esse motivo, selecionou-se a menor TOD testada (6,5 g/m^3), visto que esta também seria a dosagem com menor consumo de energia.

Na Tabela 34 e 35 encontram-se, respetivamente, os resultados obtidos durante os 6 dias de amostragem, quer para os parâmetros biológicos, quer para os parâmetros físico-químicos.

Tabela 34 – Resultados dos parâmetros biológicos para todos os pontos de funcionamento de ApC

Parâmetro	EF	ApC – P1	ApC – P2	ApC – P3
Bactérias Coliformes [UFC/100 mL]	$2{,}17 \times 10^{6} \pm 3{,}04 \times 10^{5}$	762 ± 653	10 ± 10	0
Clostridium perfringens [UFC/100 mL]	Não medido	3 ± 1	0	1 ± 1
E. *coli* [UFC/100 mL]	$3{,}11 \times 10^{5} \pm 1{,}22 \times 10^{5}$	4 ± 3	0	0
Enterococos fecais [UFC/100 mL]	Não medido	2 ± 1	0	0
Número de colónias a (22 ± 2)°C [UFC/mL]	Não medido	2 050 ± 574	1 034 ± 552	0
Número de colónias a (36 ± 2)°C [UFC/mL]	Não medido	2 733 ± 1 650	1 116 ± 979	0

Tabela 35 - Resultados dos parâmetros físico-químicos para todos os pontos de funcionamento de ApC

Parâmetro	EF	ApC – P1	ApC – P2	ApC – P3
Alumínio Total [µg Al/L]	Não medido	20 ± 0,4	< 20	< 20
Amónio [mg NH_4^+/L]	51 ± 4	57 ± 4	2,3 ± 0,6	1,6 ± 0,1
Cloretos [mg Cl/L]	Não medido	363 ± 24	< 5	< 5
Cobre [mg Cu/L]	Não medido	$2{,}82 \times 10^{-3} \pm 6{,}37 \times 10^{-4}$	$< 5 \times 10^{-4}$	$1{,}73 \times 10^{-3} \pm 6{,}15 \times 10^{-4}$
Condutividade [µS/cm]	Não medido	1720 ± 84	27 ± 4	24 ± 1
Cor [mg/L PtCo]	Não medido	43 ± 2	< 2	< 2
Carbono Orgânico Total [mg C/L]	Não medido	9 ± 0	< 0,5	< 0,5
Dureza Total [mg $CaCO_3$/L]	Não medido	123 ± 5	< 10	< 10
Ferro Total [µg Fe/L]	Não medido	104 ± 9	< 20	< 20
Fluoretos [mg F/L]	Não medido	0,33 ± 0,08	0,11 ± 0,02	< 0,1
Manganês [mg Mn/L]	Não medido	0,06 ± 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitratos [mg NO_3/L]	Não medido	7,5 ± 5,4	< 2	< 2
Nitritos [mg NO_2/L]	Não medido	7,6 ± 3,9	0,13 ± 0,05	$< 5 \times 10^{-3}$
pH	7,31 ± 0,12	7,5 ± 0,1	6,5 ± 0,2	6,5 ± 0,1
Sólidos Suspensos Totais [mg/L]	30 ± 3	< 5	< 5	< 5
Turvação [NTU]	13,1 ± 2,0	< 0,2	< 0,2	< 0,2

Como se verifica, através da Tabela 34 as membranas de UF removem 99,962 e 99,999% das bactérias coliformes e da E. *coli* presente no efluente de saída do tratamento secundário, respetivamente. Quanto aos parâmetros físico-químicos (Tabela 35), estas apresentam taxas de remoção de SST e Turvação de, pelo menos, 83,33 e 98,47%, respetivamente. No entanto, só este tratamento não seria suficiente para se obter uma água com qualidade de consumo humano.

De seguida, o 2º passo (OI) tem como principal objetivo remover a maioria dos contaminantes, metais perigosos, minerais, partículas, sais e bactérias, que não foram removidos durante a UF. Assim, as percentagens de remoção para este processo (OI) e do seguinte (Desinfeção) encontram-se na Tabela 36.

Denota-se que a tecnologia é 100% eficaz na remoção de bactérias como o *Clostridium perfringes*, E. *coli* e Enterococos fecais. No entanto, esta não remove completamente as bactérias coliformes nem os microrganismos viáveis. Em relação aos parâmetros físico-químicos, este processo apresenta-se extremamente eficaz em praticamente todos os parâmetros, exceto o alumínio total e os fluoretos que já se encontram em baixa concentração à saída da ultrafiltração.

É de salientar que alguns parâmetros apresentam taxas de remoção representadas com "≥". Tal deve-se ao facto de estes ultrapassarem o limite de deteção do método de medição.

Por último, o passo de desinfeção com ozono tem como principal objetivo eliminar todos os microrganismos ainda presentes na água a tratar, como se verifica pelas taxas de remoção de 100% tanto das bactérias coliformes como dos microrganismos viáveis. De realçar que o aumento apresentado no número de UFC/100 mL da bactéria *Clostridium perfringens* deve-se, provavelmente, a uma contaminação durante a recolha das amostras ou da tubagem que transporta o efluente. Dos parâmetros físico-químicos, os únicos que apresentam redução são o ião amónio (30,43%), a condutividade (11,11%), os fluoretos (≥ 9,09%) e os nitritos (≥ 96,16%).

Em suma, é possível concluir que a UF é eficaz a remover a bactéria E. *coli*, os SST e, consequentemente, a turvação. A OI apresenta a capacidade de remover por completo todos os microrganismos, à exceção das bactérias coliformes e microrganismos viáveis, e grande parte dos contaminantes, minerais, sais e metais perigosos. Por fim, a desinfeção com ozono tem a capacidade de, tal como o nome

indica, desinfetar completamente o efluente produzido, apresentando ainda taxas de remoção significativas para o ião amónio e os nitritos.

Tabela 36 – Percentagens de remoção para os equipamentos de osmose inversa e desinfeção

Parâmetro	Remoção ApC – P2 [%]	Remoção ApC – P3 [%]
Bactérias Coliformes [UFC/100 mL]	98,67	100
Clostridium perfringens [UFC/100 mL]	100	Verifica-se aumento
E. *coli* [UFC/100 mL]	100	Sem alteração
Enterococos fecais [UFC/100 mL]	100	Sem alteração
Número de colónias a (22 ± 2)°C [UFC/mL]	49,56	100
Número de colónias a (36 ± 2)°C [UFC/mL]	59,17	100
Alumínio Total [µg Al/L]	≥ 0,83*	Sem alteração
Amónio [mg NH_4^+/L]	96,02	30,43
Cloretos [mg Cl/L]	≥ 98,62*	Sem alteração
Cobre [mg Cu/L]	≥ 82,25*	Verifica-se aumento
Condutividade [µS/cm]	98,44	11,11
Cor [mg/L PtCo]	≥ 95,31*	Sem alteração
Carbono Orgânico Total [mg C/L]	≥ 94,44*	Sem alteração
Dureza Total [mg $CaCO_3$/L]	≥ 91,89*	Sem alteração
Ferro Total [µg Fe/L]	≥ 80,80*	Sem alteração
Fluoretos [mg F/L]	67,00	≥ 9,09
Manganês [mg Mn/L]	≥ 81,82*	Sem alteração
Nitratos [mg NO_3/L]	≥ 73,21*	Sem alteração
Nitritos [mg NO_2/L]	98,28	≥ 96,16
pH	13,72	Sem alteração
Sólidos Suspensos Totais [mg/L]	Sem alteração	Sem alteração
Turvação [NTU]	Sem alteração	Sem alteração

*** - Valor obtido ultrapassa o limite de deteção**

Posteriormente, os valores obtidos após a desinfeção com ozono (ApC – P3) foram comparados, na Tabela 37, com a legislação referente à água para consumo humano (Decreto-Lei 152/2017).

Tabela 37 – Conformidade dos valores obtidos com a legislação em vigor

Parâmetro	ApC – P3	DL 152/2017	Conformidade
Bactérias Coliformes [UFC/100 mL]	0	0	Conforme
Clostridium perfringens [UFC/100 mL]	1 ± 1	0	Não Conforme
E. *coli* [UFC/100 mL]	0	0	Conforme
Enterococos fecais [UFC/100 mL]	0	0	Conforme
Número de colónias a (22 ± 2) °C [UFC/mL]	0	≤ 100	Conforme
Número de colónias a (36 ± 2) °C [UFC/mL]	0	≤ 20	Conforme
Alumínio Total [µg Al/L]	< 20	200	Conforme
Amónio [mg NH_4^+/L]	1,6 ± 0,1	0,5	Não Conforme
Cloretos [mg Cl/L]	< 5	250	Conforme
Cobre [mg Cu/L]	$1{,}73 \times 10^{-3} \pm 6{,}15 \times 10^{-4}$	2	Conforme
Condutividade [µS/cm]	24 ± 1	2500	Conforme
Cor [mg/L PtCo]	< 2	20	Conforme
Carbono Orgânico Total [mg C/L]	< 0,5	Sem alteração anormal	Conforme
Dureza Total [mg $CaCO_3$/L]	< 10	Recomendável que esteja entre 150 - 500	Não Conforme
Ferro Total [µg Fe/L]	< 20	200	Conforme
Fluoretos [mg F/L]	< 0,1	1,5	Conforme
Manganês [mg Mn/L]	< 0,01	50	Conforme
Nitratos [mg NO_3/L]	< 2	50	Conforme
Nitritos [mg NO_2/L]	$< 5 \times 10^{-3}$	0,5	Conforme
pH	6,5 ± 0,1	6,5 – 9,5	Conforme
Sólidos Suspensos Totais [mg/L]	< 5	-	Conforme
Turvação [NTU]	< 0,2	4	Conforme

Como é possível observar, através da Tabela 37, apenas 3 dos 22 parâmetros não se encontram conformes, sendo eles a bactéria *Costridium perfringens*, o ião amónio e a dureza total.

Primeiramente e, tal como já foi referido anteriormente, a presença da bactéria *Clostridium perfringens* nesta etapa do tratamento deve-se, provavelmente, a uma contaminação, visto que esta não foi detetada após a unidade de OI e que a desinfeção com ozono não promove o crescimento bacteriano.

Seguidamente, o excesso de concentração do ião amónio no efluente tratado pode-se dever a dois fatores:

- Não se fazer desnitrificação no tratamento secundário. A ETAR de Gaia Litoral não força o processo de desnitrificação, utilizando apenas uma desnitrificação "selvagem". Assim, a concentração de NH_4^+ à saída do tratamento secundário encontra-se elevada, aproximadamente 51 mg/L.
- Condições de utilização da unidade de OI não ótimas. Em trabalhos futuros deveria ser testada uma maior pressão e membranas mais finas, com o intuito de se compreender se seria possível, com o mesmo efluente, atingir os parâmetros definidos pela legislação em vigor.

No entanto, apesar deste parâmetro não se encontrar conforme o exigido no Decreto-Lei nº 152/2017, o efluente produzido não será utilizado para fins potáveis diretos, mas sim como fonte potável indireta. Ou seja, este será misturado com água bruta como, por exemplo, das barragens.

Este passo é não só importante para diluir eventuais compostos que tenham resistido a todas as fases de tratamento (como é o caso do ião amónio), bem como para devolver alguns minerais essenciais que tenham ficado retidos nas membranas de UF e OI, como é o caso do carbonato de cálcio (dureza total), manganês, nitratos e cloretos.

Para além dos aspetos que já foram referidos anteriormente, o efluente produzido deve ser reutilizado como fonte potável indireta por uma questão social. Num inquérito realizado a 100 pessoas, foi posta em questão a possibilidade de utilizar este efluente como fonte potável direta e indireta, onde foi explicado o processo de funcionamento e tratamento dado e referido que se obtinha um efluente de alta qualidade.

Das 100 pessoas, 82% responderam que beberiam da água como fonte potável indireta, contudo apenas 43% respondeu que continuaria a beber caso esta fosse utilizado diretamente. Estes resultados revelam a necessidade de utilizar um *buffer*, adicionando o efluente produzido a barragens ou lagos, tal como é feito Singapura.

5.3 Custos

Devido à política de privacidade da empresa fornecedora das membranas de osmose inversa e ultrafiltração, não foi fornecido qualquer valor quer para a aquisição deste tipo de equipamentos, quer para a sua utilização. Por esse motivo, os cálculos aqui apresentados tratam-se de uma aproximação efetuada através de um estudo realizado no Algarve [66].

Apesar do estudo se focar num processo de dessalinização, este é bastante semelhante ao processo aqui apresentado, dado que utiliza sistemas de membranas de UF, OI e desinfeção [67].

Esta aproximação foi obtida através do custo nivelado da água (*Levelized Cost Of Water*) (LCOW), calculado a partir da Equação 6:

LCOW = (CAPEX x CRF + OPEX + EC)/TWP) [Equação 6]

Onde:

- CAPEX – Custos de Capital
- CRF – Fator de Recuperação de Capital
- OPEX – Custos Operacionais
- EC – Custos Energéticos
- TWP – Produção anual total de água dessalinizada

Os custos previstos (CAPEX e OPEX), de um modo geral, para uma central dessalinizadora com uma produção diária superior a 100 000 m^3/d encontram-se na Tabela 38 [68] [69]. De salientar que neste estudo se considerou a utilização de Painéis Fotovoltaicos (PF) e Turbinas Eólicas (TE) [66].

As despesas de capital (CAPEX) dos PF e das TE consideram a compra de todos os equipamentos necessários ao funcionamento do sistema, assim como os custos de instalação. No que diz respeito às despesas operacionais (OPEX), estes englobam a substituição de componentes, custos de equipa e manutenção.

Tabela 38 – Despesas de capital e operacionais para uma central dessalinizadora

CAPEX		OPEX	
Central dessalinizadora	2,23 €/(m^3/ano)	**Mão de obra**	9,2 cêntimos/m^3
Painéis fotovoltaicos (PF)	550 €/kW	**Manutenção**	2% da central dessalinizadora
Turbinas de vento	1 000 €/kW	**Químicos**	6,5 cêntimos/m^3
Tempo de vida	30 anos	**Substituição de membranas**	2,8 cêntimos/m^3
Taxa de desconto	7%	**Painéis fotovoltaicos**	1,5% do CAPEX dos PF
-	-	**Turbinas de vento**	2% do CAPEX das TE

Para o caso do Algarve foram então estudados 3 cenários distintos: cenário base (*baseline*), centralizado e descentralizado.

No cenário base, uma única central dessalinizadora irá fornecer água para todo o Algarve e será alimentada exclusivamente pela rede elétrica portuguesa. Já no cenário centralizado, também apenas uma central dessalinizadora irá abastecer todo o Algarve, no entanto esta será alimentada energeticamente por fontes de energia renovável (*Renewable Energy Sources* – RES) e pela rede elétrica portuguesa. Por último, o cenário descentralizado será alimentado do mesmo modo que no cenário centralizado, contudo serão duas centrais dessalinizadoras a fornecer água para o Algarve, uma localizada em Portimão e outra em Monte Gordo [66]. De salientar que os custos das RES foram calculados através do custo médio horário do kWh do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL) [66].

De um modo geral, a comparação entre os diferentes cenários encontra-se apresentada na Tabela 39. Já as contribuições para o LCOW, do cenário base, centralizado e descentralizado estão presentes nas Figuras 31, 32 e 33, respetivamente.

Como se verifica, o cenário base é o que traduz um resultado mais alto (LCOW = 0,90 €/m^3), estando compreendido entre os valores esperados, 0,59 e 2,81 €/m^3 [68]. Neste cenário, a maior contribuição pertence aos gastos com energia (43,7%) o que revela já à partida uma grande vantagem em utilizar RES, de modo a baixar o custo da energia consumida. Já os custos CAPEX e OPEX, representam, aproximadamente, 34 e 21% do total anual [66].

De seguida, o cenário centralizado onde a central dessalinizadora será alimentada não só pela rede elétrica portuguesa como também por RES, resulta numa redução de 17 cêntimos/m^3 no LCOW, conseguida através da redução nos custos de energia. Assim, neste cenário a maior contribuição pertence aos custos CAPEX que representam cerca de 41%, seguidos dos custos de eletricidade (29%) e, por fim, os OPEX (26%) [66].

Por último, o cenário descentralizado considera a construção de duas centrais dessalinizadoras, sendo estas abastecidas do mesmo modo que no cenário centralizado. A construção de duas centrais implica uma redução de apenas 1 cêntimo/m^3 no LCOW e um valor inferior a 1 M€ no custo anual total, sendo por isso duas soluções muito semelhantes [66]. De salientar que para este cenário o custo CAPEX total foi de 298 M€ (ao longo dos 30 anos de tempo de vida), os custos OPEX e energéticos de cerca de 28 e 13 M€/ano, respetivamente.

No entanto, ambas as soluções se encontram longe do custo de produção de 0,45€/m^3 da água de abastecimento, no ano de realização do estudo (2019), o que representa um valor mais alto 64,7 e 62,2%, respetivamente [66].

Tabela 39 – Comparação entre as diferentes soluções

	Cenário base	Cenário centralizado	Cenário descentralizado
Capacidade [m^3/dia]		330 000	
Potência instalada em PF [MW]	-	6,3	12,6
Potência instalada em TE [MW]	-	5	10
Capacidade de armazenamento [m^3]		10 000	
Custo anual [M€]	64,1	52,3	51,5
LCOW [€/m^3]	0,91	0,74	0,73

Tendo em conta os resultados obtidos, verifica-se que estas soluções ou semelhantes, como é o caso da reutilização de águas residuais para a produção de água potável, não apresentam, no momento atual, um custo de produção competitivo quando comparados com o tradicional tratamento de águas para consumo humano.

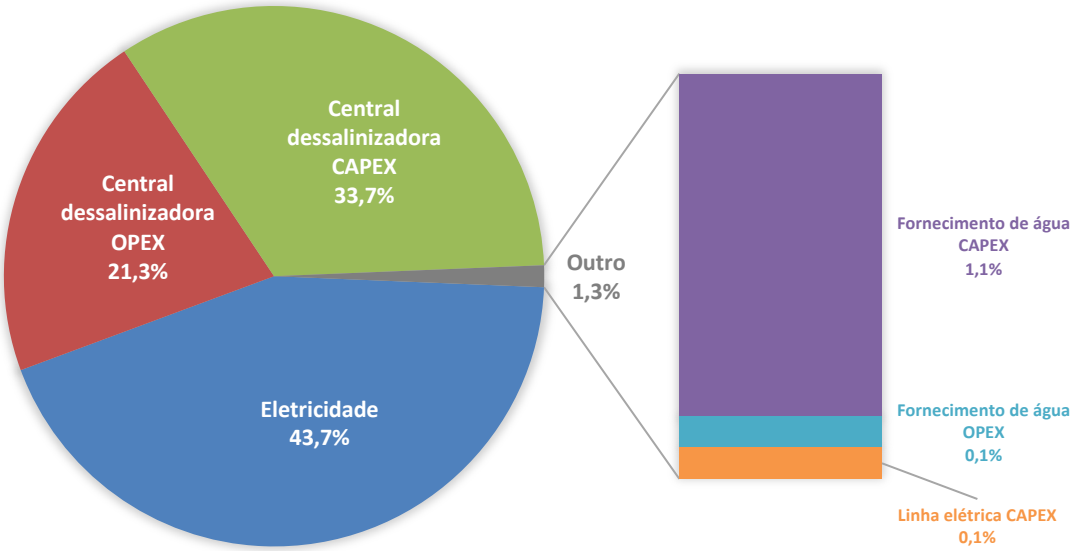


Figura 31 – Contribuições para o LCOW do cenário base.

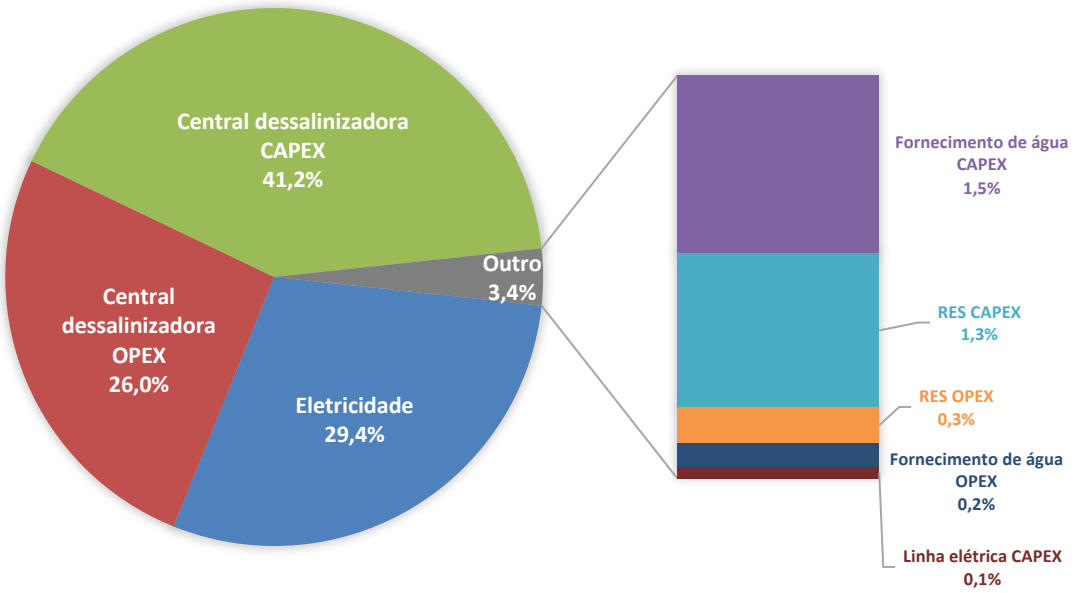


Figura 32 – Contribuições para o LCOW do cenário centralizado.

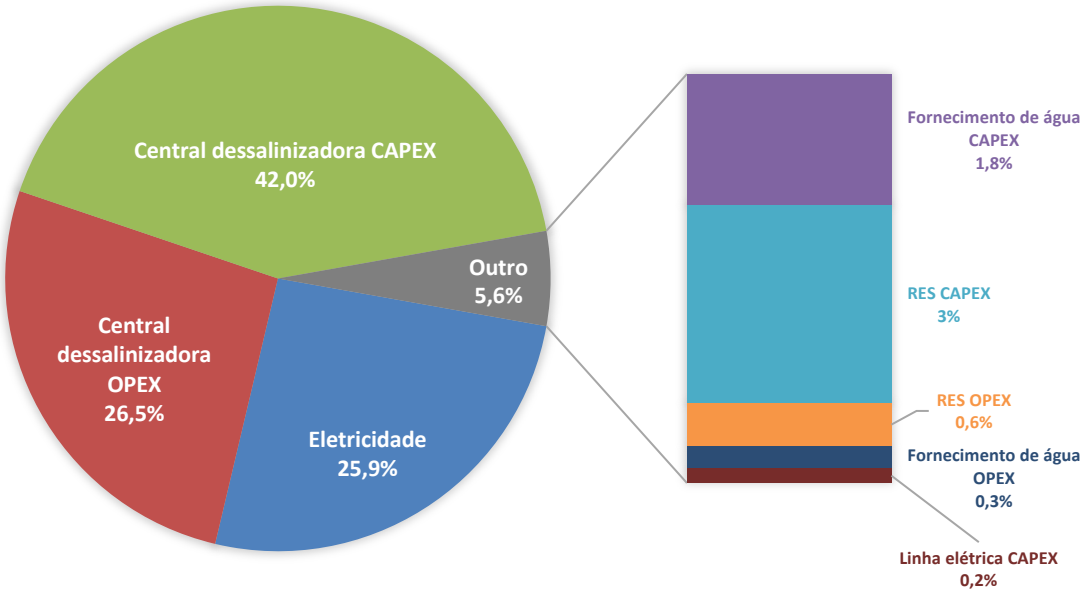


Figura 33 – Contribuições para o LCOW do cenário descentralizado.

No entanto, em locais como o interior de Portugal, onde a água potável é escassa (principalmente nos períodos mais quentes), o tratamento de águas residuais de modo a levá-las ao nível de potabilidade pode ser uma solução competitiva.

De modo a tornar projetos como estes economicamente viáveis, deve-se seguir o exemplo da central dessalinizadora de Llobregat, Barcelona, que apresenta uma capacidade de 200 000 m^3/d e foi totalmente financiada pelo Fundo de Coesão da União Europeia, Ministério do Ambiente de Espanha e pela empresa que opera a concessão do abastecimento de água [70].

Para o caso em questão, a ETAR de Gaia Litoral, que conta com um caudal médio e de ponta de 66 700 e de 101 693 m^3/d, considerou-se uma capacidade de aproximadamente 110% do caudal de pontal, ou seja, 110 000 m^3/d e um tempo de vida de 30 anos. Sendo a capacidade definida 1/3 da capacidade do projeto proposto no Algarve, obtém-se um valor de cerca de 100, 9 e 4 M€, para os custos CAPEX, OPEX e energéticos, respetivamente, o que responde a um custo anual de, aproximadamente, 16 M€. De notar que o valor apresentado para os custos CAPEX é o valor total para os 30 anos de funcionamento.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo analisar e replicar o processo de reutilização de águas residuais, utilizado em Singapura, de modo a levá-las ao nível de potabilidade. Para isso, utilizaram-se processos como a UF, OI e desinfeção com ozono, de maneira a ser possível a obtenção de um efluente de alta qualidade. Foi ainda avaliada a viabilidade económica deste tratamento, através de uma aproximação realizada com base noutros estudos semelhantes e a utilização deste efluente para produção de ApR.

O efluente produzido através do processo utilizado em Singapura, obteve resultados próximos da perfeição, com exceção dos parâmetros *Clostridium perfringens*, Ião Amónio e dureza total. Para o caso da dureza total, este encontra-se inferior ao recomendável pela legislação, pelo que se trata de um excesso de tratamento e não uma ausência do mesmo. Já o excesso de Ião Amónio no efluente final, pode ser consequência de dois fatores: a não utilização de desnitrificação durante o tratamento secundário ou então a utilização de condições não ótimas na unidade de OI. Por último, a presença da bactéria *Clostridium perfringens* após a desinfeção com ozono deve-se, provavelmente, a uma contaminação presente na tubagem utilizada ou durante a recolha da amostra.

Quanto aos custos desta unidade, estima-se um valor anual de cerca de 16 M€/ano, durante os 30 anos de tempo de vida, divido em 100 M€ (total) para os custos CAPEX, 9 e 4 M€/ano para os custos OPEX e energéticos, respetivamente. O valor de LCOW é 62% superior ao custo de produção da água de abastecimento.

Já o efluente tratado apenas com desinfeção, apresentou uma alta qualidade, podendo ser utilizado para rega (classe A), água de combate a incêndios, lavagem de ruas e veículos e qualquer tipo de uso industrial. Para isso, utilizou-se uma dosagem de ozono de 21,8 g/m^3 e um TRH de 2 min.

Em suma, a utilização deste tipo de tratamento avançado não apresenta, ainda, um custo de produção que possa ser competitivo com o atualmente utilizado. No entanto, e tendo em consideração a seca que se tem vivido ao longo dos últimos anos, esta pode ser uma solução para um futuro próximo, com esforço e a contribuição com fundos de coesão como é o caso da central dessalinizadora de Llobregat.

7 LIMITAÇÕES E TRABALHO FUTURO

Sendo o processo de reutilização de águas residuais para a produção de água para consumo humano uma solução ainda não utilizada em Portugal, a realização deste trabalho foi dificultada, sobretudo na fase inicial de testes.

Uma das limitações deste trabalho foi a falta de tempo para instalar e avaliar o processo e todos os equipamentos associados, não dando margem para erros ou alterações na estrutura escolhida.

Em trabalhos futuros, devem ser testadas diferentes condições de operação, principalmente na unidade de osmose inversa de modo a compreender que variações existem em consequência, por exemplo, da alteração da pressão. Tal levanta questões relevantes como, por exemplo, se seria possível utilizar o mesmo efluente e obter um resultado para o Ião Amónio em conformidade com a legislação, caso se aumentasse a pressão.

Para além disto, esta solução deve ser avaliada com efluentes secundários de diferentes ETARs, de forma a compreender que resultados se obteriam com as mesmas condições de trabalho e, até mesmo, reduzir a pressão utilizada na unidade de osmose inversa e/ou a dosagem de ozono utilizada durante a desinfeção diminuindo, assim, o consumo de energia.

Por último, este procedimento deve ser testado em zonas do país como, por exemplo, o interior de Portugal onde existe escassez de água, visto que nestes casos o custo de produção deste efluente pode ser competitivo, dada a falta de oferta.

8 REFERÊNCIAS

[1] – Vieira, J. M. 2018. Água e Saúde Pública. Lisboa: Edições Sílabo. ISBN 978-972-618-969-5.

[2] – Salgot, M., Folch, M. 2018. Wastewater Treatment and Water Reuse. Currente Opinion in Environmental Science & Health (2): 64-74. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005.

[3] - Monte, H., Santos, M., Albuquerque, A., Barreiros, A. 2016. Tratamento de Águas Residuais. Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico. Lisboa.

[4] – Angelakis, A. N., Zengh, X. F. 2015. Evolution of Water Supply, Sanitation, Wastewater and Stormwater Technologies Globally. Water (7): 455-463. https://doi.org/10.3390/w7020455.

[5] – World Health Organization. 2004. Guidelines for Drinking-Water Quality. Genebra: World Health Organization. ISBN 978 92 4 154995 0.

[6] – Kathryn, A., Glatter, M.D., Paul Finkelman, P., D. 2021. History of the Plague: An Ancient Pandemic for the Age of Covid-19. The American Journal of Medicine: 176-181. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2020.08.019.

[7] – Bramanti, B., Stenseth, N.C., Walløe, L., Lei, X. 2016. Plague: A Disease Which Changed the Path of Human Civilization. Adv Exp Med Biol: 1-26. https://doi.org/10.1007/978-94-024-0890-4_1.

[8] – Prentice, M.B., Rahalsion, L. 2007. Plague. Lancet: 1196-1207. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)60566-2.

[9] – Lima, S. C. 2008. Hygeia Homenageia John Snow. Hygeia.

[10] – Australian Government. 2016. Australian Drinking Water Guidelines. National Health and Medical Research Council.

[11] – Breach, B. 2011. Drinking Water Quality Management from Catchment to Consumer. IWA Publishing.

[12] – Gibson, J., Drake, J., Karney, B. 2017. UV Disinfection of Wastewater and Combined Sewer Overflows. Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment: 267-275. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56017-5_22.

[13] – Masschelein, W. J. 2002. Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation. Lewis Publisher, Boca Raton.

[14] – Kirschner, M. J. 1991. Ozone. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: 349-357.

[15] – von Sonntag, C., von Gunten, U. 2012. Chemistry of Ozone in Water and Wastewater Treatment: From Basic Principles to Applications. Londres: IWA Publishing. ISBN 978 178 040 083 9.

[16] – Cervantes-Avilés, P., Moreno-Andrade, I., Carillo-Reyes, J. 2021. Approaches Applied to Detect SARS-CoV-2 in Wastewater and Perspectives post-COVID-19. Journal of Water Process Engineering. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101947.

[17] – World Health Organization – Coronavirus (COVID-19). Dashboard. 2022. Consultado a 31 de março de 2022. Disponível em: https://covid19.who.int.

[18] – Lo, I.L., Lio, C.F., Cheong, H.H., Lei, C.I., Cheong, T.H., Zhong, X., Tian, Y., Sin, N. N. 2020. Evaluation of SARS-CoV-2 Rna Shedding in Clinical Specimens and Clinical Characteristics of 10 Patients with COVID-19 in Macau. International Journal of Biological Sciences: 1698-1707. https://doi.org/10.7150/ijbs.45357.

[19] – Amirian, E.S. 2020. Potencial Fecal Transmission of SARS-CoV-2: Current Evidence and Implications for Public Health. International Journal of Infectious Diseases: 363-370. https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.057.

[20] – Collivignarelli, M.C., Collivignarelli, C., Carnevlae Miino, M., Abbà, A., Pedrazzani, R., Bertanza, G. 2020. SARS-CoV-2 in Sewer Systems and Connected Facilities. Process Safety and Environmental Protection: 196-203. https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.049.

[21] – Randazzo, W.-2, Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A., Sánchez, G. 2020. SARS-CoV-2 RNA in Wastewater Anticipated COVID-19 Occurence in a Low Prevalence Area. Water Research. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115942.

[22] – Wang, X. W., Li, J. S., Jin, M., Zhen, B., Kong, Q. X., Song, N., Xiao, W. J., Yin, J., Wei, W., Wang, G. J., Si, B. Y., Guo, B. Z., Liu, C., Ou, G. R., Wang, M. N., Fang, T. Y. Chao, F. H., Li, J. W. 2005. Study on the Resistance of Severe Acute Respiratory Syndrome-Associated Coronavirus. Journal of Virological Methods: 171-177. https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2005.02.005.

[23] – SIMDOURO. Grupo Águas de Portugal. Sistema – Mapa do Sistema – Vila Nova de Gaia – ETAR Gaia Litoral. 2022. Consultado a 14 de abril de 2022. Disponível em: https://www.simdouro.pt/dados.php?ref=etargaialit.

[24] – SIMDOURO. Grupo Águas de Portugal. SIMDOURO – Quem somos. 2022. Consultado a 15 de abril de 2022. Disponível em: https://www.simdouro.pt/dados.php?ref=quem-somos.

[25] – Águas de Gaia. ETAR de Gaia Litoral. 2003. Memória Descritiva e Dimensionamento Processual para o Horizonte de Projeto 2020.

[26] – Suez. Degremont Water Handbook. Degremont Technologies – Wastewater Treatment – Primary Treatment – Compact Lamelar Settling – Sedipac 3D. Consultado a 19 de abril de 2022. Disponível em: https://www.suezwaterhandbook.com/degremont-R-technologies/wastewater-treatment/primary-treatment/compact-lamellar-settling-Sedipac-3D.

[27] – Suez. Degremont Water Handbook. Degremnont Technologies – Desalination – Filtration – Vertical Pressure Filter – FV2B Filter. Consultado a 27 de abril de 2022. Disponível em: https://www.suezwaterhandbook.com/degremont-R-technologies/desalination/filtration/vertical-pressure-filter-FV2B-Filter.

[28] – Martins, J.P., Godinho, F. 2021. A Água e os Rios no Futuro. Contributos do CNA para Decisões Estratégicas no Setor da Água. Lisboa: Conselho Nacional da Água. ISBN 978-989-33-2396-0.

[29] – Decreto-Lei nº 119/2019 de 21 de agosto. Ministério do Ambiente e Transição Energética. Diário da República: Série I, nº 159 (2019). Acedido a 21 de março de 2022. Disponível em: https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/119-2019-124097549.

[30] – Agência Portuguesa do Ambiente – Água. Licenciamento. Água para Reutilização. 2021. Consultado a 21 de março de 2022. Disponível em: https://apambiente.pt/agua/agua-para-reutilizacao-apr.

[31] – Águas de Portugal – Atividade. Inovação. REUSE. 2015. Consultado a 17 março de 2022. Disponível em: https://www.adp.pt/pt/atividade/inovacao/reuse/?id=218.

[32] – Águas de Portugal. REUSE. Produção Inovadora de Água para Reutilização na Agricultura. 2019.

[33] – Antunes, S., Madeira, J., Rego, C., Cordovil, C.M. d S., Guerreiro, D., Morais, D., Lopes, D., Saraiva, I., Coelho, J.P., Gomes, J.C., Ruivo, M., Moreira, M., Varela, M., Ramalho, S., Vilar, V., Brôco, N. 2020. REUSE – Produção e Utilização de Água para Reutilização no Regadio do Alentejo.

[34] – Bai, Y., Shan, F., Zhu, Y., Xu, J., Wu, Y., Luo, X., Wu, Y., Hu, H., Zhang, B. 2020. Long-term Performance and Economic Evaluation of Full-scale MF and RO Process – A Case Study of the Changi NEWater Project Phase 2 in Singapore. Water Cycle 1: 128-135. https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.09.001.

[35] – Khoo, T.C. 2009. Singapore Water: Yesterday, Today and Tomorrow. Water Management in 2020 and Beyond: 237-250. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89346-2_12.

[36] - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. 2006. Water – A Shared Responsibility (United Nations World Water Development Report 2.), Paris.

[37] – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos – Início. Setor. Factos e Números. 2020. Consultado a 23 de março de 2022. Disponível em: https://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros.

[38] – Guest, J. S., Skerlos, S. J., Barnard, J. L., Beck, M. B., Daigger, G. T., Hilger, H., Jackson, S. J., Karvazy, K., Kelly, L., Macpherson, L., Mihelcic, J. R., Pramanik, A., Raskin, L., Van Loosdrecht, M. C. M., Yeh, D., Love, N. G. 2009. A New Planning and Design Paradigm to Achieve Sustainable Resource Recovery from Wastewater. ACS Publications. https://doi.org/10.1021/es9010515.

[39] – Singapore's National Water Agency. Home – Water Supply – Four National Taps - NEWater. 2022. Consultado a 23 de março de 2022. Disponível em: https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater.

[40] – Lee, H., Tan, T. P. 2016. Singapore's Experience with Reclaimed Water: NEWater. International Journal of Water Resources Development: 611 – 621. https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1120188.

[41] – Lefebvre, O. 2018. Beyond NEWater: an Insight into Singapore's Water Reuse Prospects. Current Opinion in Environmental Science & Health: 26 – 31. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.001.

[42] – Lu, R. Q., Yang, G., Gong, H. 2019. Enlightenment of Singapore's NEWater Technology to the Production of High-Quality Reclaimed Water in China. China Water & Wastewater: 36-40.

[43] – Singapore's National Water Agency. Home – Water Supply – Water Quality – NEWater. 2022. Consultado a 9 de abril de 2022. Disponível em: https://www.pub.gov.sg/watersupply/waterquality/newater.

[44] – Furlong, C., Jegatheesan, J., Currell, M., Iyer-Raniga, U., Khan, T., Ball, A.S. 2019. Is the Global Public Willing to Drink Recycled Water? A Review for Researchers and Practitioners. Utilities Policy: 53-61. https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.11.003.

[45] – Xu, G. D., Gao, S., Yu, L. 2018. Analysis on the Development Process of NEWater in Singapore. Environ Protect: 70-73.

[46] – IDEXX. Home – Water – Products & Services – Colilert 18. Consultado a 2 de maio de 2022. Disponível em: https://www.idexx.com/en/water/water-products-services/colilert-18/?fbclid=IwAR3dGnGgtBhdrlUFxyD47hROwnCAeeacIGp3HW-NoXBepCUEZBq0sq17SZo.

[47] – IDEXX. Home – Water – Products & Services – Quantification. Consultado a 2 de maio de 2022. Disponível em: https://www.idexx.com/en/water/water-products-services/quanti-tray-system/.

[48] – IDEXX. Home – Water – Resources & Regulatory – MPN Generator. Consultado a 2 de maio de 2022. Disponível em: https://www.idexx.com/en/water/resources/mpn-generator/.

[49] – Merck. Home – Analytics and Sample Preparation – Test Kits and Photometric Methods – Instrumental Test Systems for Quantitative Analyses – Photometric Measurements, Spectroquant System – Spectroquant Tests – Ammonium Cell Test. Consultado a 2 de maio de 2022. Disponível em: https://www.merckmillipore.com/PT/en/product/Ammonium-Cell-Test,MDA_CHEM-114558?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

[50] – Merck. Home – Analytics and Sample Preparation – Spectroquant Prove – Spectroquant Prove 600. Consultado a 31 de maio de 2022. Disponível em: https://www.merckmillipore.com/PT/en/analytics-and-sample-preparation/spectroquant-prove/spectroquant-prove-600/XUeb.qB.niQAAAFQa.V2i3EE,nav?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

[51] – Merck. Home – Analytics and Sample Preparation – Test Kits and Photometric Methods – Instrumental Test Systems for Quantitative Analyses – Photometric Measurements, Spectroquant System – Spectroquant Tests – Nitrogen (total) Cell Test. Consultado a 3 de maio de 2022. Disponível em:

https://www.merckmillipore.com/PT/en/product/Nitrogen-total-Cell-Test,MDA_CHEM-114763?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

[52] – Lab Unimited. Home – Xylem - WTW NTH 600 Nitrification Inhibitor 209331. Consultado a 31 de maio de 2022. Disponível em: https://www.labunlimited.com/s/ALL/X-209331/Xylem---WTW-NTH-600-Nitrification-Inhibitor-209331.

[53] – VWR. Inicial – Hidróxido de Sódio. Hidróxido de Sódio 98,5 – 100,5%, perolas, AnalaR NORMAPUR® Reag. Ph. Eur. reagente analítico. Consultado a 31 de maio de 2022. Disponível em: https://pt.vwr.com/store/product/781220/hidroxido-de-sodio-98-5-100-5-perolas-analar-normapur-reag-ph-eur-reagente-analitico.

[54] – MedicalExpo. Laboratório – Análise Físico-química – Medidor de pH de laboratório – Phoenix Instrument – Medidor de pH de laboratório EC-30-pH. Consultado a 31 de maio de 2022. Disponível em: https://www.medicalexpo.com/pt/prod/phoenix-instrument/product-112336-742789.html.

[55] – Merck. Home – Analytics and Sample Preparation – Test Kits and Photometric Methods – Instrumental Test Systems for Quantitative Analyses – Photometric Measurements, Spectroquant System – Spectroquant Tests – Phosphate Cell Test. Consultado a 4 de maio de 2022. Disponível em: https://www.merckmillipore.com/PT/en/product/Phosphate-Cell-Test,MDA_CHEM-114729?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

[56] – Hach. Products – Lab Products – Turbidimeters – 2100Qis Portable. Consultado a 31 de maio de 2022. Disponível em: https://www.hach.com/2100q-portable-turbidimeter/product?id=7640450963.

[57] – Santos, C. 2020. Tratamento de Águas Residuais. Manual de Apoio.

[58] – Magara, Y., Itoh, M., Morioka, T. 2004. Application of Ozone to Water Treatment and Power Consumption of Ozone Generating Systems. Progress in Nuclear Energy: 175-182. https://doi.org/10.1016/0149-1970(95)00041-H.

[59] – Grundfos. Produtos e Serviços – Soluções de A-Z – CM, CME – CM – CM 10-3 A-R-G-E-AQQE F-A-A-N. Consultado a 2 de junho de 2022. Disponível em: https://product-selection.grundfos.com/br/products/cm-cme/cm/cm-10-3-96943251?tab=variant-specifications&pumpsystemid=1578010315.

[60] – Huesa. Water Technology. Tecnologias – Ultrafiltração. Consultado a 22 de junho de 2022. Disponível em: https://jhuesa.com/pt-pt/tecnologias/ultrafiltracao.

[61] – Petrochem. Área de Negócio – Tratamento de Águas – Equipamentos – Filtração – O que faz e como funciona uma osmose inversa. Consultado a 22 de junho de 2022. Disponível em: https://www.petrochem.pt/pt/area-de-negocio/tratamento-de-aguas/equipamentos/filtracao/o-que-faz-e-como-funciona-uma-osmose-inversa.html.

[62] – Lenntech. Products – Toray Membranes – TML20-400 Brackish Water Reverse Osmosis Element. Consultado a 22 de junho de 2022. Disponível em: https://www.lenntech.com/products/Toray-Membranes/TML20D-400/TML20D-400-Brackish-Water-Reverse-Osmosis-Element/index.html.

[63] – Lenntech. Products – Toray Membranes – TM810V Sera Water Reverse Osmosis Element. Consultado a 22 de junho de 2022. Disponível em: https://www.lenntech.com/products/Toray-Membranes/TM810V/TM810V-Sea-Water-Reverse-Osmosis-Element/index.html.

[64] – Xu, P., Janex, M. L., Savoye, P., Cockx, A., Lazarova, V. 2001. Wastewater Disinfection by Ozone: Main Parameters for Process Design. Water Research: 1043-1055. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00298-6.

[65] - Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro. Ministério do Ambiente e Transição Energética. Diário da República: Série I, nº 235 (2017). Acedido a 13 de junho de 2022. Disponível em: https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/152-2017-114315242.

[66] – Azinheira, G., Segurado, R., Costa, M. 2019. Is Renewable Energy-Powered Desalination a Viable Solution for Water Stressed Regions? A Case Study in Algarve, Portugal. Energies: 4651. https://doi.org/10.3390/en12244651.

[67] – Veolia. Home – Soluções – Dessalinização. Consultado a 21 de junho de 2022. Disponível em: https://www.veolia.pt/solucoes/dessalinizacao.

[68] – Caldera, U., Bogdanov, D., Breyer, C. 2016. Local Cost of Seawater RO Desalination Based on Solar PV and Wind Energy: A global estimate. Desalination: 207–216. http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2016.02.004.

[69] – Gao, L., Yoshikawa, S., Iseri, Y., Fujimori, S., Kanae, S. 2017. An economic assessment of the global potential for seawater desalination to 2050. Water: 763. https://doi.org/10.3390/w9100763.

[70] – Water Technology. Water Supply – Technology – Barcelona Sea Water Desalination Plant. Consultado a 21 de junho de 2022. Disponível em: https://www.water-technology.net/projects/barcelonadesalinatio/.

ANEXOS

Anexo A – Decreto-Lei nº 119/2019

Nas Tabelas A1 e A2, é possível verificar as normas de qualidade exigidas para reutilização para rega, as quais avaliam parâmetros como a Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5), Sólidos Suspensos Totais (SST), turvação, *Escherichia coli* (*E. coli*), entre outros [29].

Tabela A 1 – Normas de Qualidade de água para reutilização para rega

Classe de qualidade	CBO_5 (mg/L O_2)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	*E. coli* (UFC/100 mL)	Ovos de parasitas intestinais (Nº/L) (1)	Azoto Amoniacal (2)	Azoto Total (2)	Fósforo Total (2)
A	≤ 10	≤ 10	≤ 5	≤ 10		10 mg NH_4^+/L	15 mg N/L	5 mg P/L
B	≤ 25	≤ 35		≤ 100				
C	≤ 25	≤ 35		≤ 1 000	≤ 1			
D	≤ 25	≤ 35		≤ 10 000	≤ 1			
E (3)	≤ 40	≤ 60		≤ 10 000				

(1) – Aplicável na rega de culturas agrícolas destinadas ao consumo animal.
(2) – Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega.
(3) – Só aplicável a sistemas descentralizados ou descentralizados em simbiose.

Este documento faz ainda uma descrição detalhada dos possíveis usos da água consoante a sua classe, tal como se encontra apresentado na Tabela A3 [29]. Já as normas de qualidade para os usos urbanos e industriais encontram-se nas Tabelas A4 e A5, respetivamente [29].

Tabela A 2 – Normas de Qualidade de água para reutilização para rega para proteção das culturas agrícolas, florestais e solos

Parâmetro	Norma de Qualidade	Unidade
Alumínio	5,0	mg Al/L
Berílio	0,1	mg Be/L
Cobalto	0,05	mg Co/L
Fluoretos	2,0	mg F^-/L
Ferro	2,0	mg Fe/L
Lítio	2,5	mg Li/L
Manganês	0,2	mg Mn/L
Molibdénio	0,01	mg Mo/L
Selénio	0,02	mg Se/L
Vanádio	0,1	mg V/L
SAR	Variável em função da sensibilidade das culturas	
Salinidade		
Boro		

Tabela A 3 – Descrição das classes de rega

Classe	Possíveis Usos
A	Rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru em que a parte consumível está em contacto direto com a água; rega de jardins públicos sem restrição de acesso; rega de jardins privados
B	Rega com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumida não está em contacto direto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos; rega de jardins com restrição de acesso, incluindo áreas de lazer e desportivas (Campos de golfe)
C	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está me contacto direto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos.
D	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia
E	Rega com restrições de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso naturalmente restrito (sebes, áreas de contenção)

Tabela A 4 – Normas de Qualidade de água para usos urbanos e usos paisagísticos

Parâmetro	Suporte de ecossistemas	Usos recreativos, de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas (5)	Água de combate a incêndios (1)	Águas de arrefecimento	Autoclismos (1)	Lavagem de veículos (4) (5)
pH	A determinar caso a caso em função do estado ecológico e respetivos parâmetros de suporte	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,5 a 8,5 (2)	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
CBO_5 ($mg/L\ O_2$)		≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25	
Turvação (NTU)		≤ 5		≤ 5		≤ 5	≤ 5
Azoto Amoniacal ($mg\ NH_4/L$)		≤ 5			≤ 5 ≤ 1 (na presença de cobre)	≤ 10	
Fósforo Total (mg/L)		≤ 2 (3)					
E. coli (UFC/100 mL)		≤ 10		≤ 10	≤ 200	≤ 10	≤ 10

(1) – As vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas da máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega.
(2) – Pode ocorrer crescimento microbiano a valores superiores ou inferiores a esta gama de pH.
(3) – Quando utilizado em locais sujeito à ocorrência de eutrofização (lagos urbanos, fontes).
(4) – Em função das especificidades de aplicação das ApR poderão ser controlados alguns metais e compostos iónicos, tais como ferro, manganês, cloretos, sulfatos, alcalinidade e sílica, para minimização da ocorrência de calcificação ou corrosão dos sistemas de armazenagem e distribuição de água.
(5) – Em sistemas de lavagem manual a alta pressão, as vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega.

Tabela A 5 – Normas de Qualidade de água para reutilização em uso industrial

	Turvação	*E. coli* (UFC/100 mL)
Em circuitos com risco de ingestão (incluindo ingestão acidental) e contacto dérmico	≤ 5	≤ 10
Em circuitos com risco direto de contacto dérmico		≤ 1 000

Anexo B – Piloto de Ozonização

Os dados fornecidos pela empresa De Nora relativos às condições de funcionamento deste equipamento encontram-se apresentados nas Tabelas B1 e B2.

Tabela B 1 – Funcionamento para as condições de operação nº 1

DE NORA	FAT REPORT OZONE GENERATOR			Report No.: 2								
DNWTI Project & Serial No PSU.	Pilota 1279	Test Date: 26/01/21		Applicable Range 100% Load								
Customer	Pilota 1279	Generator S/N: **		Contractual Ozone Production	g/h	42						
Generator type	Steriline MCP1-A	Inverter TVacon: NXP0430		Normalized flow rate	Nm^3/h	1,05						
Ozone production g/h	42			Ozone concentration	g/Nm^3	40						
Ozone concentration g/Nm^3	40			Ozone production	g/h	37						
Flow rate Nmc	1,05											
Tubes	n°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			P	Vp	Vs	K	Ind.d.p.	Ind.d.s.	Ap	As		
			kVA	V	V	n°	µH	µH	A	A	A	nF
TRANSFORMER			1,92	700	9450	13,5			2,74	0,20		
CHOKE												
INDUCTANCE								45			2,75	
VESSEL CAPACITY												1,59
INVERTER VACON											4,3	
Process Data												
Pressure gas inlet vessel	*bar*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,7*
Dew point LOX	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Dew point O.D.S.	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Oxygen Purity	%	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Temperature gas inlet vessel	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Temperature gas outlet vessel	°C											
Temperature water inlet vessel	°C	10										
Temperature water outlet vessel	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Delta out/in temperature	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Flow rate cooling water	m^3/h	0,3										
Feed Gas Data												
Flow rate outlet gas	m^3/h	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Normalized flow rate outlet gas	Nm^3/h	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*	*1,05*
Ozone concentration	g/Nm^3	0,6	1,5	3,8	11,3	18,7	23,8	27,1	30,1	32,2	33,7	35,4
Ozone production	g/h	0,6	1,6	4,0	11,8	19,6	24,9	28,4	31,5	33,7	35,3	37,0
Calculated data												
Absorbed power /tube	kW/tube	0,06	0,09	0,14	0,33	0,45	0,54	0,62	0,70	0,76	0,83	0,90
Specific consumption	W/gr O3	*95,57*	*57,34*	*35,21*	*27,91*	*23,00*	*21,68*	*21,86*	*22,23*	*22,56*	*23,54*	*24,30*
Current/tube feed power line	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Current/tube primary transformer	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLC-Touch screen												
Set point	%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Current provided by inverter on HMI	A	0,57	0,68	0,93	1,49	1,81	1,96	2,11	2,25	2,39	2,54	2,72
Electric grid data detected with Fluke												
Voltage L1 rms	V	387	387	387	386	387	387	387	389	389	389	387
Voltage L2 rms	V	386	387	387	387	386	387	387	387	388	389	388
Voltage L3 rms	V	387	387	386	383	386	385	386	388	389	388	388
Current L1 rms	A	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	1,3	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1
Current L2 rms	A	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0
Current L3 rms	A	0,2	0,3	0,3	0,7	0,9	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	1,9
Active power	kW	*0,06*	*0,09*	*0,14*	*0,33*	*0,45*	*0,54*	*0,62*	*0,70*	*0,76*	*0,83*	*0,90*
Apparent power	kVA	0,15	0,24	0,38	0,58	0,71	0,85	0,99	1,04	1,11	1,21	1,3
Reactive power	kVAR	0,06	0,08	0,08	0,12	0,14	0,15	0,16	0,19	0,19	0,22	0,23
Power factor	PF	0,27	0,41	0,42	0,61	0,62	0,63	0,65	0,67	0,67	0,68	0,68
Cosfi		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Electric grid data detected with Fluke												
Current absorbed primary trafo	A	0,61	0,72	0,95	1,51	1,82	1,99	2,13	2,27	2,42	2,58	2,75
Voltage rms primary trafo	V	332	374	457	579	620	633	644	654	669	684	704
Voltage rms secondary trafo	KV											
Electric grid data detected on Vacon inverter												
Current U	A	0,57	0,69	0,91	1,47	1,79	1,96	2,12	2,22	2,39	2,52	2,70
Analog output AO1	mA	2,71	3,18	4,26	6,91	8,32	9,06	9,69	10,37	11,05	11,78	12,53
Analog input AI1	V	0	0,91	1,93	2,91	3,91	4,92	5,92	6,93	7,94	8,94	10
Temperature	°C	24	24	24	24	24	25	24	25	25	25	26
DC BUS	V dc	544	540	540	533	533	532	533	55	532	530	529
Frequency	Hz	1000										
Voltage output inverter	V_out	150	169	191	212	234	255	277	299	320	342	365
Current W	A	0,58	0,68	0,91	1,46	1,79	1,95	2,08	2,22	2,36	2,52	2,68
Calculated data												
V (main supply) *1.35	1,35	522,45	522,45	522,45	521,1	522,45	522,45	522,45	525,15	525,15	525,15	522,45
Power absorbed trafo	kVA	0,20	0,27	0,43	0,87	1,13	1,26	1,37	1,48	1,62	1,76	1,94
Itr2 Current absorbed second. Trafo	A	0,05	0,05	0,07	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Current absorbed for each one tube	A	0,05	0,05	0,07	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Temperature value												
Ambient	°C	20										
Internal cabinet	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Flow Meter Compensation Data												
Pressure calibration of flow meter	bar	1,7										
Temperature calibration of flow met.	°C	20										

Tabela B 2 – Funcionamento para as condições de operação nº 2

DE NORA	FAT REPORT OZONE GENERATOR	*Report No.: 2*

DNWTI Project & Serial No PSU.	**Pilota 1279**	**Test Date: 02/02/21**	
Customer	**Pilota 1279**	**Generator S/N: ****	
Generator type	**Steriline MCP1-A**	**Inverter TVacon: NXP0430**	
Ozone production g/h	**55**		
Ozone concentration g/Nm³	**88**		
Flow rate Nmc	**0,63**		

Applicable Range 100% Load		
Contractual Ozone Production	g/h	55
Normalized flow rate	Nm³/h	0,63
Ozone concentration	g/Nm³	88
Ozone production	g/h	55

Tubes	n°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			P	Vp	Vs	K	Ind.d.p.	Ind.d.s.	Ap	As		
			kVA	V	V	n°	µH	µH	A	A	A	nF
TRANSFORMER			1,92	700	9450	13,5			2,74	0,20		
CHOKE												
INDUCTANCE								45			2,75	
VESSEL CAPACITY												1,59
INVERTER VACON											4,3	
Process Data												
Pressure gas inlet vessel	***bar***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***
Dew point LOX	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Dew point O.D.S.	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Oxygen Purity	%	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Temperature gas inlet vessel	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Temperature gas outlet vessel	°C											
Temperature water inlet vessel	°C						10					
Temperature water outlet vessel	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Delta out/in temperature	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Flow rate cooling water	m³/h						0,3					
Feed Gas Data												
Flow rate outlet gas	m³/h	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**	**0,7**
Normalized flow rate outlet gas	Nm³/h	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***	***0,62***
Ozone concentration	g/Nm³	**3,6**	**9,2**	**28,8**	**46,2**	**57,8**	**66,9**	**73**	**78,8**	**83,3**	**85,9**	**88,5**
Ozone production	g/h	**2,2**	**5,7**	**18,0**	**28,8**	**36,1**	**41,8**	**45,6**	**49,2**	**52,0**	**53,6**	**55,2**
Calculated data												
Absorbed power /tube	kW/tube	0,08	0,12	0,24	0,34	0,41	0,48	0,55	0,61	0,68	0,75	0,82
Specific consumption	W/gr O3	***35,60***	***20,90***	***13,35***	***11,79***	***11,37***	***11,50***	***12,07***	***12,40***	***13,08***	***13,99***	***14,85***
Current/tube feed power line	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Current/tube primary transformer	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLC-Touch screen												
Set point	%	**0**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**
Current provided by inverter on HMI	A	0,48	0,68	1,12	1,4	1,58	1,77	1,95	2,15	2,35	2,54	2,73
Electric grid data detected with Fluke												
Voltage L1 rms	V	385	384	384	384	384	383	383	384	383	384	383
Voltage L2 rms	V	385	385	383	385	385	385	385	384	384	384	384
Voltage L3 rms	V	384	383	384	384	384	383	383	383	382	383	383
Current L1 rms	A	0,4	0,4	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,5	1,7	1,9
Current L2 rms	A	0,2	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7
Current L3 rms	A	0,2	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7
Active power	kW	***0,08***	***0,12***	***0,24***	***0,34***	***0,41***	***0,48***	***0,55***	***0,61***	***0,68***	***0,75***	***0,82***
Apparent power	kVA	0,22	0,26	0,39	0,56	0,62	0,72	0,83	0,91	1,02	1,07	1,16
Reactive power	kVAR	0,06	0,07	0,07	0,09	0,1	0,12	0,13	0,15	0,15	0,16	0,18
Power factor	PF	0,43	0,51	0,54	0,64	0,85	0,66	0,68	0,69	0,68	0,68	0,7
Cosfi		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Electric grid data detected with Fluke												
Current absorbed primary trafo	A	0,52	0,71	1,13	1,42	1,61	1,78	1,97	2,16	2,36	2,55	2,74
Voltage rms primary trafo	V	276	340	438	478	493	511	530	553	576	600	625
Voltage rms secondary trafo	KV											
Electric grid data detected on Vacon inverter												
Current U	A	0,49	0,69	1,12	1,39	1,57	1,77	1,95	2,14	2,32	2,51	2,71
Analog output AO1	mA	2,3	3,21	5,21	6,49	7,34	8,19	9,05	9,94	10,84	11,7	12,61
Analog input AI1	V	0	0,91	1,92	2,92	3,91	4,91	5,92	6,93	7,94	8,95	10
Temperature	°C	20	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23
DC BUS	V dc	537	535	532	531	530	533	528	528	527	525	526
Frequency	Hz						990					
Voltage output inverter	V_out	130	152	176	200	224	247	271	296	320	344	370
Current W	A	0,49	0,70	1,13	1,40	1,58	1,75	1,93	2,13	2,33	2,51	2,70
Calculated data												
V (main supply) *1.35	1,35	519,75	518,4	518,4	518,4	518,4	517,05	517,05	518,4	517,05	518,4	517,05
Power absorbed trafo	kVA	0,14	0,24	0,49	0,68	0,79	0,91	1,04	1,19	1,36	1,53	1,71
Itr2 Current absorbed second. Trafo	A	0,04	0,05	0,08	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20
Current absorbed for each one tube	A	0,04	0,05	0,08	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20
Temperature value												
Ambient	°C						20					
Internal cabinet	°C	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Flow Meter Compensation Data												
Pressure calibration of flow meter	bar	1,7										
Temperature calibration of flow met.	°C	20										