



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Danilo Cunha de Oliveira

**Avaliação da disponibilidade e uso de água
para reutilização na região norte de Portugal**

Maio 2022



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Danilo Cunha de Oliveira

**Avaliação da disponibilidade e uso de água
para reutilização na região norte de Portugal**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho realizado sob a orientação da

**Professora Doutora Maria Manuela Carvalho
de Lemos Lima**

Maa 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual
CC BY-NC-SA

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

AGRADECIMENTOS

Para que esse trabalho fosse desenvolvido houve grande apoio psicológico e financeiro dos meus pais a quem dedico esses agradecimentos, assim como, ao meu irmão que mesmo em momentos adversos foi capaz de me fazer rir e seguir em frente.

Agradeço também aos meus colegas de apartamento, nomeadamente: Grígorio, André, Wolney, Sidney e Eduardo que me ergueram durante toda essa época de pandemia e atuaram e atual como parentes em terras lusitanas.

Agradeço a minha orientadora por toda a paciência que teve comigo, principalmente no que tange às mudanças da linguagem brasileira para a portuguesa.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

Avaliação da disponibilidade e uso de água para reutilização na região norte de Portugal

Resumo

A ocorrência de secas tem tornado o planeta mais suscetível a escassez nos últimos anos. Portugal não se distingue do cenário mundial, sendo o início de 2022 já marcado por baixos níveis pluviométricos em todo o país, que dificultam a agricultura, a indústria, os serviços, a recreação e a saúde. Em contra partida, a água residual produzida ainda é um problema a ser solucionado, principalmente quando os recursos hídricos que recebem o efluente estão em baixos níveis. Em função da problemática de seca, em consonância com prover um destino correto da água residual, a economia circular promove a ideia de transformar resíduos de uma linha de produção em um novo produto, na situação em questão a água residual em água para reutilização.

A região norte também é afetada pela atual seca de 2022 e por isso, há a necessidade de alternativas para melhor gerir os recursos em busca de minimizar a problemática. O presente trabalho busca averiguar a potencialidade da região norte em transformar o resíduo, água residual, em recursos, água para reutilização. Desse modo, foram utilizados dados provenientes da ERSAR, INE, SNIAmb e PGRHs visando caracterizar a produção de água residual, suas redes, entidades em baixa e em alta e qualidade de modo indireto, bem como o consumo das regiões hidrográficas.

Os resultados foram apresentados em mapas de modo a melhor ilustrar as diferenças das entidades em baixa, há grande diferença entre os concelhos nortenhos. As cidades da região metropolitana do Porto e Braga adquirem destaque não somente na quantidade de água residual produzida, mas também na sua capacidade de tratamento, no que se refere os serviços em baixa. Por outro lado, percebe-se que as entidades gestoras em alta são as que mais tratam águas residuais haja vista que, de todo o caudal tratado, cerca de 56,20% pertence ao serviço em alta. Foi possível concluir que globalmente, a região norte seria capaz de substituir até 25,27% do seu consumo de água de abastecimento para fins não potáveis por água para reutilização se fossem criadas as infraestruturas necessárias para tal.

Palavras-Chave: Água para reutilização, Economia circular, Região norte de Portugal.

Evaluation of availability and uses of water reuse in the northern region of Portugal.

Abstract

The occurrence of droughts has made the planet more susceptible to water shortages in recent years. Portugal is no different from the rest of the world; the beginning of 2022 was already marked by low rainfall levels across the country, which hampers agriculture, industry, services, leisure, and health. On the other hand, the wastewater is still a problem to be solved, especially when the water resources that receive the effluent are at low levels. Due to drought problems, and in order to give a good destination to wastewater, the circular economy promotes the idea of converting the waste of a certain production line into a new product. In this case, converting wastewater into water for reuse.

The northern region is also being affected by the current drought of 2022 and for that reason, there is a need for alternative measures for managing the resources better in order to minimize this problem.

This project investigates the capability of the northern region in converting waste (wastewater) into resources (water for reuse). Therefore, data from ERSAR, INE, SNIAMB and PGRH were used so as to report the production of wastewater and also their wastewater networks, entities with low and high services, its quality in an indirect way and finally the consumption of the basin districts.

The results were presented through maps in order to exemplify in a better way the differences of the entities with low services, such that there are great differences between the northern municipalities. The cities in the metropolitan region of Porto and Braga are highlighted not only in the amount of wastewater produced, but also in their treatment capacity, in terms of low services. On the other hand, it can be seen that the high services managing entities are the ones that treat most of the wastewater, given that, of all the flow treated, about 56.20% belongs to the high service. It was possible to conclude that globally, the northern region would be able to replace up to 25.27% of its water supply consumption with water for reuse if the necessary infrastructures were built.

Keywords: Water reuse, Circular economy, Northern region of Portugal.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	OBJETIVOS:	4
1.1.	ESTRUTURA:	5
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1.	Escassez	7
2.2.	Economia circular	11
2.3.	Água para reutilização	13
2.4.	Usos da reutilização	17
2.5.	Qualidade da água residual	19
2.5.1.	Sólidos	21
2.5.2.	Matéria orgânica.....	24
2.5.3.	Nutrientes	27
2.5.4.	Organismos patogénicos.....	31
2.6.	Tratamento da água residual	33
2.6.1.	Tratamento preliminar	34
2.6.2.	Tratamento primário	35
2.6.3.	Tratamento secundário	37
2.6.4.	Tratamento terciário	42
2.6.5.	Desinfecção	48
3.	METODOLOGIA.....	54
3.1.	Método de análise e obtenção de dados	56
3.1.1.	Métodos de análise de obtenção de dados relativos à águas residuais	56
3.1.2.	Métodos de análise de obtenção de dados relativos ao consumo de água	59
3.2.	Identificação da área de estudo e método de geração de mapas	61
3.2.1.	Identificação da área de estudo.....	61
3.2.2.	Método de elaboração dos mapas.....	63
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1.	Resultados da disponibilidade de água residual	66
4.1.1.	Disponibilidade de água residual dos serviços em baixa	66
4.1.2.	Disponibilidade de água residual dos serviços em alta.....	83
4.2.	Resultados dos usos possíveis de ApR	86
4.3.	Discussão	91
5.	CONCLUSÃO	101
5.1.	Recomendações	103

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXO A.....	109
ANEXO B.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Opções de implementação da abordagem 5R.	13
Figura 2: Classificação e distribuição dos sólidos em função do tamanho.	22
Figura 3: Diferentes frações de sólidos em amostras de águas residuais.	23
Figura 4: Distribuição das espécies de azoto ao longo do tratamento com nitrificação e desnitrificação 30	
Figura 5: Representação esquemática de um reator UASB.	41
Figura 6: Rotas para as reações biológicas e reações de amônia e redução de azoto orgânico: (a) nitrificação-desnitrificação, (b) nitratação-desnitrificação e (c) nitrosação.	44
Figura 7: Configuração do processo utilizado para nitrificação biológica: (a) sistema único de crescimento suspenso de lodo, (b) sistema duplo de crescimento suspenso de lodo e (c) processo AB (sistema A com lodo ativado de alta taxa, sistema B com lodo ativado de baixa taxa de moção de nutrientes)	45
Figura 8: Adição de produtos químicos em um ponto único de dosagem em diversas localidades para remoção de fósforo: (a) antes da sedimentação primária, (b) antes e/ou após tratamento biológico, (c) após tratamento secundário, (d) adição de produtos químicos antes da filtração de estágio único e (e) adição de produtos químicos antes da filtração de estágio duplo	47
Figura 9: Fluxograma da metodologia das tomadas de decisões.	54
Figura 10 - Mapa de delimitação dos concelhos por Região Hidrográfica	55
Figura 11: Mapa de localização da área de estudo - Região Norte.	62
Figura 12: Densidade populacional das comunidades intermunicipais da região norte.	63
Figura 13: Mapa dos alojamentos com serviço efetivo por concelhos na região norte de Portugal.	67
Figura 14: Mapa dos caudais anuais por concelhos na região norte de Portugal em m ³ /ano.	68
Figura 15: Mapa dos caudais anuais tratados por concelhos na região norte de Portugal em m ³ /ano. ..	69
Figura 16: Mapa da relação tratado/coletado por concelhos na região norte de Portugal.	71
Figura 17: Mapa do número de estações de tratamento de águas residuais na região norte.	72
Figura 18: Mapa do número de ETAR com licença válidas por concelho na região norte	74
Figura 19: Mapa acerca da percentagem de ETAR com licença válida perante o total de ETAR por concelho na região norte.	74
Figura 20: Mapa da população equivalente com tratamento por concelho para a região norte.	77
Figura 21: Mapa da população equivalente com tratamento satisfatório por concelho na região norte. 78	
Figura 22: Mapa da utilização das ETAR em função da população equivalente por concelho na região norte.	79
Figura 23: Mapa do índice de infraestrutura por distrito na região norte.	82
Figura 24: Localização das entidades gestoras em serviço em alta na região norte por concelho.	83
Figura 25: Mapa de localização das regiões hidrográficas e os concelhos considerados para cada RH. ..	87
Figura 26: Mapa dos consumos por categoria por região hidrográfica na região norte.	88
Figura 27: Mapa dos consumos utilizáveis por categoria por região hidrográfica na região norte.	90
Figura 28: Mapa das entidades gestoras em alta por região hidrográfica na região norte.	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Síntese dos dados de escoamento, disponibilidade hídrica subterrânea, necessidades de consumo, disponibilidade renovável hídrica, capacidade de armazenamento na bacia, volume de afluente, WEI + e nível de escassez por Bacia e região hidrográficas.....	9
Tabela 2: Volume de água em hm ³ consumido por sector e por região hidrográfica.	10
Tabela 3: Informação sobre as características e quantidades de material removido do esgoto por grades grosseiras.	35
Tabela 4 - Parâmetros de avaliação utilizados.....	57
Tabela 5: Melhores e piores casos de sistema de tratamento de águas residuais na região norte.	72
Tabela 6: Melhores e piores resultados referente à ETAR licenciadas perante o total na região norte... ..	76
Tabela 7: Número de alojamentos, caudal coletado e tratado e a relação de quanto é tratado perante o coletado por entidade gestora em alta.	84
Tabela 8: Número de ETAR, de ETAR com licença de descarga válida, a relação de quantas ETAR possuem licença perante o total e o índice de conhecimento de infraestrutura por entidade gestora em alta.	85
Tabela 9: População equivalente de dimensionamento, com tratamento, com tratamento satisfatório e a relação entre a população equivalente com tratamento satisfatório perante a de dimensionamento por entidade gestora em alta.	86
Tabela A.1.....	109
Tabela A.2.....	113
Tabela B.1.....	117
Tabela B.2.....	117
Tabela B.3.....	118

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Correlações de CQO e CBO, suas frações e tratamentos indicados.....	25
Quadro 2: Balanço de CQO ao longo do processo de degradação anaeróbia.	26
Quadro 3: Balanço de CQO ao longo do processo de degradação aeróbia.	27
Quadro 4: Características de um desinfetante ideal.	49
Quadro 5: Mecanismos de desinfecção utilizando cloro, ozono, radiação UV e pausterização.	50
Quadro 6: Oferta, recolhida e tratada, e demanda, total e utilizável, na RH1 pelos serviços em baixa. ..	93
Quadro 7: Oferta, recolhida e tratada, e demanda, total e utilizável, na RH2 pelos serviços em baixa. ..	94
Quadro 8: Oferta, recolhida e tratada, e demanda, total e utilizável, na RH3 pelos serviços em baixa. ..	95
Quadro 9: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável na RH2 pelos serviços em alta. ..	96
Quadro 10: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável na RH3 pelos serviços em alta.	98
Quadro 11: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável na RH1 pelos serviços em alta.	99
Quadro 12: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável em totas as regiões pelos serviços em baixa e em alta.	100

1. INTRODUÇÃO

A escassez de água tende a aumentar nos próximos anos, agravando-se em locais já sujeitos a escassez e surgindo em novas localidades, seja ocasionada por falta de água, aumento populacional ou por qualidade insuficiente. Existem regiões do globo em que a escassez de água é uma realidade alarmante, enquanto em outros locais existe grande quantidade de água, mas sem qualidade suficiente para diferentes usos. Shannon *et al.* (2008) alertam sobre a água se tornar um recurso limitado em função do aumento populacional e económico, acarretando em não somente escassez em quantidade, mas também em qualidade. Fator esse que ainda pode ser vislumbrado na atualidade e que não coincidiu com mudanças de consumo para minimizar as adversidades.

A utilização de fontes alternativas para produção de água para fins não potáveis tornou-se necessária e a reutilização de água residual apresenta-se como uma possibilidade interessante para os próximos anos. Ao utilizar um resíduo na cadeia produtiva é notória a contemplação dos pilares da sustentabilidade, tão requisitados na atualidade. O recurso à utilização de água residual tratada, designada por água para reutilização (ApR), já é uma realidade em diversos países do mundo contemplando resultados satisfatórios para as entidades gestoras e para os utilizadores.

Esta tecnologia vem ganhando destaque nos últimos anos na América Latina (Silva, 2019), uma vez que a economia circular se torna uma política comum e, por vezes, necessária (Toze, 2006). Há vários países no globo, tais como a África do Sul, a Austrália, o Chipre, Singapura, a Suíça e a Tunísia, que usam com sucesso ApR (Maryam & Büyükgüngör, 2019). No entanto, a ApR pode ser mais utilizada em Portugal, apesar disto, constitui uma importante ferramenta para redução do stress hídrico, que deve ser acompanhada de segurança, eficiência e eficácia de custo para que a economia circular seja contemplada na sua totalidade (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).

Huertas *et al.* (2008) apresentam os diferentes usos de ApR: irrigação, usos residenciais, urbanos e recreativos, banho, aquacultura, industrial e potabilidade. No que tange o uso para irrigação, os autores ressaltam a importância do uso dessa água reutilizada, sendo diferenciada para alimentos que serão ingeridos diretamente ou cozidos, ou alimentos que serão fornecidos para alimento de animais. Não somente o destino do alimento, mas também o método de irrigação são fundamentais para garantir a segurança da população, fator esse que gera dúvidas da população para com

a técnica. Gomes (2011) apresenta os resultados de um inquérito sobre a aceitação da ApR, em que 32 % dos inquiridos negavam ou possuíam incertezas quanto ao uso de água residual tratada para irrigação agrícola em Portugal. A fator esse que não deve ter sofrido forte alteração desde o período de realização e a atualidade, haja vista que seria necessário um trabalho arduo de concientização.

O aumento das barreiras para uso de água residual tratada na agricultura, corrobora para um consumo maior desse recurso na indústria (Roccaro & Verlicchi, 2018). Silva (2019) acrescenta que o uso deste recurso em industriais ganha destaque em processos de refrigeração, etapa essa que requer grande quantidade de água. Embora a prática na indústria apresente potencial, é fundamental resguardar a qualidade da ApR produzida, uma vez que essa pode gerar corrosões ou incrustações nas tubagens de refrigeração, bem como a precipitação de sais em processos de aquecimento (Huertas *et al.*, 2008).

A elevada necessidade de segurança na ApR com destino à potabilidade, acarreta processos de tratamento mais complexos quando comparados com utilizações menos nobres. Desta maneira, é gerado um custo maior de produção do recurso para garantir a quantidade e a qualidade necessárias. O uso para potabilidade vem sendo usufruído em alguns estados dos Estados Unidos da América, como por exemplo a Califórnia, o Novo México e a Virgínia, bem como noutros países: Austrália, Namíbia e Singapura (Ghernaout, 2018). O autor expressa uma relutância da população estadunidense para com a água residual tratada chegando as torneiras do país, fator que gerou o movimento de oposição *Toilet to tap*. No entanto, Ghernaout (2018) afirma que, se o projeto de reuso for bem dimensionado e utilizando de tecnologias como osmose inversa e microfiltração, é possível que adquira condições de potabilidade ao direcioná-lo diretamente a um aquífero que está sendo utilizado para fins de potabilidade.

A necessidade de um sistema de tratamento de água residual é primordial em todos os casos. Todavia, este sistema pode ser descentralizado e composto com caixa de gordura predial, fossa, filtro e sumidouro em habitações isoladas e pequenas comunidades urbanas, ou centralizado e composto por extensa rede de drenagem seguida de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário em estações de tratamento de água residual (ETAR) para meios urbanos de maior dimensão. Embora o primeiro caso seja geralmente economicamente mais barato, ele não garante a

qualidade necessária ao reuso. Dessa maneira, um sistema centralizado e com maior nível de tratamento é necessário a fim de promover a saúde, a segurança do meio e a sua própria capacidade financeira. Jhansi & Mishra (2013) enaltecem o uso de diversos sistemas de tratamento de águas residuais com a finalidade do reuso, tais como: lagoas facultativas, anaeróbicas e de maturação; reatores anaeróbicos - por exemplo *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) ou reator anaeróbio de manta de lodo (RAFA); *wetlands* ou terras húmidas construídas; reservatórios de estabilização e leitos percoladores. Os autores ressaltam, ainda, que não existem somente esses métodos, podendo haver uma enumeração mais extensa que pode gerar uma elevada quantidade de combinações que atinjam os requisitos de quantidade e qualidade.

Combinações complexas que fazem uso de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário podem apresentar um elevado custo em novas estações. Contudo há a possibilidade de remodelar ETAR pré existentes, aproveitando o sistema de tratamento existente e, dependendo do caso, acrescentando unidades de tratamento a fim de atingir a qualidade do efluente necessária para o reuso. Dentre esses complementos, o uso de *membrane bioreactor* (MBR) ou, em português, reator biológico com membrana, ganha destaque no âmbito da pós desinfecção como uma forte unidade de tratamento (Hai *et al.*, 2014). Por sua vez, Maryam & Büyükgüngör (2019) explanam sobre o uso de *direct membrana filtration* (DMF), ou filtração direta por membrana em águas residuais brutas, apresentando uma solução em tratamento puramente físico que contempla a remoção de diversos parâmetros de qualidade.

O grau de qualidade necessário para a água residual tratada com destino ao reuso dependerá do tipo de uso final, dessa maneira, um arcabouço jurídico era necessário para que os procedimentos fossem legais e devidamente regulados. Em virtude disso o artigo 2º do Decreto-Lei nº 119/2019 (DRE, 2019) trata sobre as fontes de água residuais que podem ter como destino o reuso, estando disposto que não somente águas residuais domésticas podem ser utilizadas para esse fim, mas também industriais e urbanas. Em função dessa pluralidade de fontes fornecedoras, é possível vislumbrar um enorme potencial no setor ainda não explorado na sua íntegra. O decreto ainda resalta que essas fontes fornecedoras devem estar associadas a estações de tratamento de águas residuais para que possam ser reutilizadas. O intuito de associar a

água residual a ETAR é garantir a segurança do recetor da água de reuso, de maneira a assegurar a quantidade e qualidade necessária no recetor.

Ao que tange o usuário da água de reuso, ou seja, o recetor, pode destinar o recurso para paisagismo, demais usos urbanos, regas e indústrias como disposto no primeiro parágrafo do artigo 2º do Decreto-Lei nº 119/2019 (DRE, 2019). Vale ressaltar que a legislação em questão deixa clara a necessidade de licenciamento para operação e utilização, também tratando sobre operadores e utilizadores distintos para uma mesma água residual reutilizada. O processo de licenciamento para ambos os casos é rigoroso e depende fundamentalmente da qualidade fornecida pelo operador atrelada ao uso dado ao utilizador. Em função desse conjunto é definido um enumerado de padrões de qualidade que devem ser garantidos durante o funcionamento do projeto (DRE, 2019).

Embora esperadas, as alterações climáticas podem causar problemas antes que os preparos estruturais, sociais e económicos tenham sido concluídos. O ano de 2022 começou com seca no seu ano hidrológico com valores pluviométricos inferiores aos normais desde outubro de 2021 (IPMA I. P., 2022). A ocorrência da seca manifestou-se nas fases finais de uma pandemia que trouxe não somente questões problemáticas de saúde, mas também económicas e políticas.

A motivação do presente trabalho dá-se em função da necessidade de se utilizar água para reutilização em diversos usos, apresentando, assim, uma nova possibilidade para o cenário português em que a água residual após tratamento deixa de ser um resíduo e passa a ser um recurso. O intuito é perceber o quanto a região norte possui capacidade de transformar o problema, que hoje são as águas residuais, em solução, para fins não potáveis, em um futuro, reduzindo os problemas causados por mudanças climáticas geradas natural ou antropologicamente.

1.1. OBJETIVOS:

Diante da problemática da escassez, em consonância com a oportunidade do reuso de água, o presente trabalho propõe-se estudar a região norte de Portugal, a fim de perceber as possibilidades inerentes à sua produção de água residual em face aos seus usos.

Para tal, o trabalho pretende estudar a primeira fase de um processo de avaliação de potencial de reutilização de águas, com enfoque em termos quantitativos e medições indiretas em termos qualitativos. Para execução do mesmo há a necessidade de se buscar dados na literatura académica e dados técnicos sobre a região norte, no que tange aos seus concelhos e respetivas entidades gestoras de serviços de águas residuais, quer em baixa, quer em alta.

Com o intuito de tornar os dados mais claros e visuais, foi considerado como objetivo a elaboração de mapas temáticos em consonância com tabelas e quadros com os dados originais. Para que esse objetivo específico fosse atingido, houve a necessidade de se pesquisar dados geográficos referentes ao norte de Portugal no que se refere aos seus concelhos, distritos e regiões hidrográficas.

Visando adquirir relações de consumo da região norte de Portugal, o presente trabalho objetivou encontrar dados referentes às regiões hidrográficas que engloba. Procurou-se assim criar não somente um trabalho relativo ao planeamento dos recursos hídricos portugueses, mas também ao planeamento municipal e dos distritos, de forma a gerar resultados que englobassem as diferentes formas de planeamento e a gestão da água como um todo.

1.1. ESTRUTURA:

O presente trabalho foi subdividido em 5 capítulos. Após este capítulo inicial introdutório, o segundo capítulo trata da revisão bibliográfica. Assim o segundo capítulo, encontra-se estruturado em 6 pontos, de modo a gerar subtópicos: 2.1 que faz referência à escassez global, europeia, portuguesa e do norte de Portugal; 2.2 que trata da origem e dos caminhos da economia circular; 2.3 que trata mais diretamente da reutilização da água residual enquanto que o 2.4 apresenta casos no mundo; os subtópicos 2.5 e 2.6, por sua vez, tratam dos parâmetros de qualidade das águas residuais e dos métodos de tratamento de cada parâmetro de qualidade.

O capítulo 3 explana sobre a metodologia do trabalho. Encontra-se estruturado em dois subtópicos. O primeiro trata do método de obtenção de dados e do modo como os mesmos foram tratados para consumo de água e produção de águas residuais. Por sua vez, o item 3.2 trata do método usado para gerar os mapas e a identificação da área de estudo.

De forma geral o capítulo 4 apresenta os resultados da dissertação, sendo dividido de modo a abranger a primeira etapa do trabalho no item 4.1 que aborda a produção de água residual, onde é mais produzida e suas condições. Enquanto que no item 4.2 explana sobre o consumo de água e onde a água residual se poderia tornar um recurso em forma de água para reutilização. O subtópico 4.3, por sua vez, apresenta o resumo dos principais resultados obtidos nos demais subtópicos com o intuito de discutir os resultados em conjunto.

Por fim, o capítulo 5 resume as discussões mais importantes do trabalho bem como apresenta as considerações do autor para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Escassez

Diversos são os desafios que acompanham a trajetória humana durante os anos, sendo eles disputas territoriais ou talvez problemas sociais nomeadamente o racismo, o machismo e a homofobia, ou guerras e intervenções militares.

Dentre tantos conflitos presentes na atual realidade humana há, também, a falta de água potável para uma parcela da população. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2019) alerta para os problemas de saúde decorrentes da água contaminada consumida, alavancando o número de casos de cólera, disenteria, diarreia, hepatite A, poliomielite e febre tifoide. Entretanto, a OMS não se restringe a doenças diretamente transmitidas por água contaminada, pontuando, também, a dengue e a esquistossomose. Estima-se que 297 mil crianças abaixo de 5 anos de idade morram de diarreia todos os anos e esse número aproxima-se de 829 mil pessoas mortas em cada ano pelo mesmo motivo (OMS, 2019).

Diante deste desafio, é possível notar que no hemisfério norte, em latitudes mais próximas ao equador, existe uma maior dificuldade ao acesso à água, havendo, ainda, uma preponderância nos países africanos (Liu *et al.*, 2017). O autor ressalta que nos países africanos o stress hídrico não ocorre somente pela ausência de água, mas também por falta de infraestruturas que tratem e conduzam o recurso, dessa maneira, fatores económicos e sociais contribuem para uma maior escassez.

Por sua vez, o continente europeu não se encontra livre de problemas relativos a água. A necessidade do líquido não somente para potabilidade, mas também para demais usos domésticos, industriais, paisagísticos e rurais corroboram para um caudal superior aos usufruídos no século passado. Dessa maneira, novas fontes de água se tornaram necessárias, entretanto, nem todos os países possuem mais reservas do que recursos a serem explorados. A European Environment Agency (EPA) (2012) evidencia a escassez presente em Ancara, Turquia, entre os anos de 2006 e 2008, período esse em que os reservatórios atingiram 5 % do seu volume normal. A EPA cita como um fator causador do problema o aumento populacional urbano na cidade, uma vez que em 1927 a população aproximava-se de 75 mil habitantes e a atual projeção para 2025 é de 7,7 milhões de habitantes.

O ocorrido na Turquia pode-se refletir nos demais países europeus, onde locais com algum grau de stress hídrico tenderão a piorar, enquanto regiões com ausência de tais problemas terão uma predisposição a adquirir (EPA, 2012). A justificativa dada está no aumento da densidade populacional urbana, em consonância com as alterações climáticas, nomeadamente: redução dos índices pluviométricos e escoamento superficial.

A redução do índice pluviométrico é uma realidade em Espanha e é projetado que entre 2011 e 2040 ocorra uma perda de 5 %, enquanto que a longo prazo se acredita que ocorra uma redução de até 17 % em 2100 (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2011). Embora o índice pluviométrico seja um fator preponderante para a manutenção de rios, lagos e aquíferos e consequentemente da água captada para abastecimento, Francés *et al.* (2017) referem a dificuldade em estimar os efeitos certos nos recursos hídricos, uma vez que as temperaturas e os índices pluviométricos variam muito entre as diferentes regiões da Europa. Por exemplo no noroeste europeu regista-se uma precipitação média de 2000 mm ao ano, enquanto que no sudeste só se regista 300 mm ao ano.

Por sua vez, em Portugal é possível perceber uma redução na precipitação ao longo das décadas. Em 1970 a média anual referente ao continente era de 939 mm enquanto que em 2000 essa média atingiu somente 779 mm (Instituto de meteorologia, 2009). As últimas três décadas terem sido as com menor precipitação, sendo 2005 o ano mais seco dos últimos 78 anos, contudo, na década compreendida entre 2000-2009 também constam o segundo e terceiro anos mais secos, respetivamente, 2007 e 2004. Segundo o IPMA (2022) o índice pluviométrico entre outubro de 2021 e março de 2022 foi de 276,8 mm, sendo o menor valor desde 1931, para o período onde 77% do país se encontrava nas classes severas ou extremas de seca.

Embora a precipitação seja um fator importante para a ocorrência de secas é importante afirmar que essa não é a única responsável. Lopes *et al.* (2012) discorrem sobre os impactos do aumento da temperatura e da frequência com que cheias e secas ocorrem, enfatizando o incremento de poluentes na água, gerando problemas não somente da ordem social, mas também ambiental e económica. Os autores preocupam-se com o aumento do nível médio da água do mar, que pode aumentar a zona salina no

âmbito superficial e subterrâneo, além de destacar a possibilidade de erosões, incêndios e rotura de barragens.

O consumo de água em Portugal possui uma tendência de aumentar em função da agricultura, da indústria e do consumo humano sendo esse último com destaque para a época de verão (Lopes *et al.*, 2012). O acréscimo do consumo em consonância com épocas de secas corrobora para um cenário de escassez. A tabela 1 apresenta valores obtidos dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) em que foi utilizado o indicador *Water Exploitation Index Plus* (WEI+) como determinante para a caracterização de uma situação de escassez e do estado de gravidade da mesma.

Tabela 1: Síntese dos dados de escoamento, disponibilidade hídrica subterrânea, necessidades de consumo, disponibilidade renovável hídrica, capacidade de armazenamento na bacia, volume de afluente, WEI + e nível de escassez por Bacia e região hidrográficas

Região hidrográfica (RH)	Bacia hidrográfica (BH)	Escoamento hm³	Disponibilidades subterrâneas hm³	Necessidades hídricas hm³	Disponibilidades hídricas renováveis hm³	Capacidade de Armazenamento existente hm³	Volume afluente hm³	WEI + %	Nível de escassez
1	Minho	1329	105	160	1272	-	-	3	Sem escassez
	Lima	1946	143	248	1849	405,5	1649,3	4	Sem escassez
2	Cávado	2107	162	336	1965	1169,6	2124,9	10	Reduzido
	Ave	1295	124	252	1215	21,1	1213,8	17	Reduzido
	Leça	114	17	38	189	-	-	15	Reduzido
3	Douro	8010	1084	1183	7978	1726,91	8988	8	Sem escassez
4	Vouga	2556	445	390	2575	140,26	1892,5	8	Sem escassez
	Mondego	3978	795	668	4109	703,25	333,5	10	Reduzido
	Lis	322	177	62	426	-	-	9	Sem escassez
5	Ribeiras do Oeste	437	304	206	554	7,9	289,7	38	Moderado
	Tejo	6273	3195	1660	7831	2546,4	6049,3	19	Reduzido
6	Sado	994	503	399	1117	618,4	959,9	36	Moderado
	Mira	266	62	88	245	486,6	287,4	33	Moderado
7	Guadiana	1771	406	516	1701	4603,5	1886,4	25	Moderado
8	Ribeiras do Algarve	622	388	232	793	267,9	330,2	27	Moderado

Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente (2016).

Pereira & dos Santos (2017) analisaram os dados provenientes da PGRH e em sua análise é verificado que em Portugal continental há um nível de escassez reduzido, entretanto, o acompanhamento das bacias hidrográficas com nível moderado é

necessária com o intuito de evitar que a situação atual dê origem a uma escassez mais severa e preocupante.

Embora Portugal continental possua um reduzido nível de escassez é primordial frisar que, segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (2016), a escassez reduzida compreende a utilização de 10 % a 20 %, enquanto sem escassez remete a valores inferiores a esse intervalo, e escassez moderada ao conjunto entre 20 % a 40 %. O grau de escassez reduzida pode parecer ínfimo, ainda mais quando se transposto em números, mas a sua categorização já apresenta um alerta para um país que está em processo de expansão industrial e agrícola.

O elevado número de turistas no país configura um consumo da água produzida, contudo, o mesmo não se mostra expressivo se comparado com o consumo dos sectores industrial, agrícola e urbano como detalhado na tabela 2. Grande parte da água produzida em Portugal tem como destino a agricultura e a pecuária, 74,7 %, enquanto que os sectores urbano e industrial garantem um montante de 19,6 % e 5,0 %, respetivamente.

Tabela 2: Volume de água em hm³ consumido por sector e por região hidrográfica.

Sector		Região hidrográfica								Total	% do total
		RH 1	RH 2	RH 3	RH 4	RH 5	RH 6	RH 7	RH 8		
Urbano	hm ³	26	61	161	103	394	25	72	47	889	19,6
Industrial	hm ³	8	45	7	66	67	32	1	1	227	5,0
Agricultura e pecuária	hm ³	105	266	684	571	1170	248	243	102	3389	74,7
Turismo	hm ³	1	2	3	3	10	2	2	11	34	0,7
Total	hm ³	140	374	855	743	1641	307	318	161	4539	100,0

Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente (2015).

Ao analisar a relação do consumo de água na região hidrográfica das Ribeiras do Oeste e do Tejo (RH5) na tabela 2 com seu nível de escassez, tabela 1, é possível

perceber um problema nas próximas décadas, caso o consumo da região se mantenha. Grande parte do consumo desta região é destinado à agricultura e pecuária em primeira estância, sendo seguido pelo consumo urbano. Esse consumo primário pode ter de ser deslocado nos anos que se seguem devido ao stress hídrico da região.

Segundo o Plano Nacional para Uso Eficiente da Água 2012-2020 o consumo de água para o setor industrial atinge um montante de 291 hm³/ano (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012). Por seu turno, os indicadores da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) apontam uma produção de água residual não doméstica para a região norte de aproximadamente 33,56 hm³/ano para o ano de 2019 em serviços em baixa.

2.2. Economia circular

As entidades gestoras de águas residuais em Portugal apresentam ampla concorrência, uma vez que há 10 empresas que gerem esse tipo de serviço em alta e 325 entidades gerindo em baixa (ERSAR, 2019), dessa maneira é notória a necessidade de haver um destaque entre as empresas de maneira que cada qual possua um serviço diferenciado e competitivo. No âmbito da busca por um *case* de negócios diferenciado, a economia circular ganha ênfase num cenário moderno.

Lett (2014) enaltece que a economia circular é pautada na escola de ecologia, uma vez que sua base reside em reduzir, reutilizar e reciclar visando um menor impacto no meio ambiente. A autora reforça a ideia de que os resíduos desempenham um papel importante nessa nova maneira de se produzir, de forma que materiais que anteriormente seriam despejados em aterros ou estações de tratamento possam ser reimplantados na cadeia produtiva.

O ato de reduzir baseia-se em minimizar a retirada de matéria prima do meio, atuando, assim, numa redução da extração de recursos naturais causando uma menor produção de produtos finais. Por sua vez, a União Europeia (2008) conceitua o reuso como operações que utilizem de produtos ou componentes, que não tenham sido classificados como resíduos, novamente na cadeia produtiva com as mesmas funções pela qual foram produzidos. Acerca do conceito de reciclar, sendo ele qualquer processo

de recuperação de materiais, substâncias ou produtos sendo reinseridos na cadeia com o mesmo propósito que foram gerados ou para diferentes fins.

A Comissão Europeia (2017) afirma que a transição para uma economia mais circular promove oportunidades não somente para a Europa, mas também para seus cidadãos. A Comissão afirma que a aplicação dos pilares sustentáveis nessa vertente econômica trazem consigo ganhos financeiros para empresas bem como competitividade, além de possibilitar uma maior integração social no que tange empregos e oportunidades para a população.

É fundamental salientar que não somente os resíduos sólidos podem ser reinseridos numa cadeia produtiva num plano de reciclagem ou reutilização, mas também a água. A reutilização de água, tal qual a sua reciclagem apresentam vantagens para a população e para a natureza, os benefícios económicos e sociais abrangem o estímulo a inovação, o aprimoramento de tecnologias de recuperação e recirculação (Lorek & Lorek, 2018).

O aproveitamento pode se dar de diferentes formas, captação de água pluvial para fins não potáveis quando não for possível tratamento e potáveis quando o mesmo for possível. Além deste, o uso de água residual pode acarretar em ganhos financeiros, sociais e ambientais. Por exemplo a reutilização de águas cinzas e negras em edificações pode promover soluções para redução do consumo de água de abastecimento público em que o uso não necessite de alta qualidade do líquido, a exemplo de limpezas de pátios, rega de plantas entre outros em zonas domésticas.

A *Internacional water association* (IWA, 2016) corrobora para a temática criando a metodologia 5R que se define por: redução, reuso, reciclagem, restauração e recuperação do recurso em um ciclo como pode ser visto na figura 1. Por sua vez, a *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) (WBCSD, 2017) afirma que com esta metodologia garante que todas as possibilidades de mitigar riscos atrelados a água sejam desenvolvidos e mitigados.



Figura 1: Opções de implementação da abordagem 5R.
Fonte: CEBDS (2018).

2.3. Água para reutilização

Água residual com destino ao reuso ou água para reutilização (ApR) é aquela em que esse resíduo será reinserido na cadeia produtiva e para tal é tratado de maneira a garantir a segurança para o fim desejado (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019). A agência explana, ainda, que água residual é aquela água previamente utilizada por algum tipo de consumidor, podendo ser proveniente de redes domésticas, industriais, urbanas e pluviais contaminadas. Ao unir essas definições é notório o elevado potencial desse recurso até então pouco utilizado.

Diante de um cenário de infraestruturas pré-concebidas sem que o reuso fosse considerado, é necessário que adaptações não somente na ETAR, mas também na rede sejam pensados e realizados. Os primeiros sistemas de reutilização construídos nos Estados Unidos da América, no sul da Europa e na Austrália foram adaptações de estações centralizadas em que se acrescentaram mais unidades de tratamento a fim de garantir a qualidade do recurso para uso agrícola (Hering *et al.*, 2013).

Embora os sistemas centralizados possuam uma elevada capacidade de tratamento e consequentemente elevados caudais, a utilização de sistemas descentralizados em pequenas comunidades e aglomerados ganha destaque devido à sua flexibilidade, baixos custos com energia e, também, se distingue em função dos reduzidos custos de adaptação para reuso (Hering *et al.*, 2013). Além de sistemas descentralizados e centralizados, a ocorrência de sistemas com unidades de tratamento fora do convencional possui valor na área da reutilização. Cita-se, a título de exemplo, o caso de Torrele, no sudoeste da Bélgica, onde foram usadas dunas para infiltração, em

consonância com ultrafiltração e osmose inversa com destino a potabilidade de comunidades próximas ao sistema (Frijns *et al.*, 2016).

Embora a reutilização de água residual para agricultura, indústria e urbanismo, preponderantemente, se tenha realçado nas últimas décadas, a mesma não teve início há pouco tempo. De facto, em 1897, uma fazenda australiana próxima de Melbourne, já utilizava água residual doméstica para irrigação, continuando a funcionar na atualidade e irrigando com água residual cerca de 10000 ha (Comissão Europeia, 2006).

Hering *et al.* (2013) afirmam que a utilização das águas residuais municipais pode trazer diversos ganhos para a cidade. No seu trabalho citam o caso do sul da Califórnia, onde foi adotada água para reutilização, tendo-se notado uma redução no consumo de energia elétrica, haja vista que se constatou que tratar água residual possuía um custo benefício melhor que dessalinizar e bombear a água de um corpo hídrico.

Ainda na América é possível perceber diferentes usos de água residual tratada. No Brasil, a ETAR do ABC Paulista fornece cerca de 25 % do efluente de sua unidade convencional para o sistema Aquapolo, com um caudal médio de 650 L/s. Esse empreendimento é uma parceria entre a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e a iniciativa privada, com o intuito de reutilizar água residual na indústria (Silva, 2019). A autora explana sobre o funcionamento do sistema, em que a água residual é previamente tratada pela ETAR do ABC Paulista e parte desse recurso é encaminhada para o Aquapolo onde será novamente tratada por meio de filtros de disco, membrana de ultrafiltração, remoção de azoto e fósforo, além do processo de osmose inversa.

O sistema do Aquapolo possui capacidade de atingir um caudal de adução de até 1000 L/s, tendo uma capacidade de armazenamento de 70000 m³ (Silva C. , 2019). Embora possua essa capacidade, aproximadamente, 500 L/s são destinados a uma indústria petroquímica.

Apesar dos benefícios quanto à economia de energia, ao meio ambiente e aos custos, diversos desafios devem ser ultrapassados para que a ApR se torne mais comum no mundo. Ao analisar a União Europeia em sua amplitude de países e culturas, é possível perceber que nem todos os países possuem legislação quanto ao reuso de água residual e quanto aos membros que possuem, é evidente a diferença entre suas abordagens e parâmetros (Frijns *et al.*, 2016). A existência de um grupo de parâmetros

comuns aos 28 países da União é difícil, devido às diferentes abordagens que cada país possui, bem como às suas diferenças geográficas e capacidade económica (Fawell, Le Corre, & Jeffrey, 2016), dessa maneira, legislações individuais geraram a realidade multifacetada do cenário atual.

A necessidade de uma legislação reguladora com padrões bem definidos visando garantir a segurança da população e do meio promove a viabilidade dos sistemas de reuso, seja para atrair investidores para a área (Fawell *et al.*, 2016) ou, ainda, tornar a população mais receptiva. O autor ressalta que esse atraso na regulamentação da União Europeia pode-se dar em função da problemática do balanceamento entre a rigorosidade dos critérios e da viabilidade dos sistemas.

A definição de padrões mais ou menos rigorosos influenciará na viabilidade do sistema, mas não somente esse fator é importante para tornar o reuso viável. Frijns *et al.* (2016) discorrem sobre a importância de tarifas de água competitivas, é importante que um plano económico seja elaborado de maneira a abordar agentes externos e os benefícios trazidos pelo reuso, dessa forma, criando um tarifário competitivo no mercado já existente e estabelecido. Por sua vez, a União europeia promoveu uma referência aos padrões mínimos de qualidade para água para reutilização em 2020 na agricultura (União Europeia, 2020), configurando uma nova ferramenta para o cenário de reutilização europeu.

Viabilidade económica, tecnologias aplicadas e parâmetros reguladores são critérios importantes para a aplicação adequada de um sistema de reuso, contudo, Beck (2009) afirma que o critério crítico para viabilidade da reutilização da água residual é a aceitação da população. Segundo ela, o *yuck factor* dificulta um maior uso desses sistemas, a falta de conhecimento da população gera um entrave principalmente quando a água residual tratada tem como destino um uso direto a população. Maryam & Büyükgüngör (2019) compilaram algumas pesquisas para afirmar que o número de pessoas dispostas a usos não potáveis é consideravelmente superior a uso potável. Os autores ainda ressaltam que para usos na agricultura e para serviços públicos detêm menos objeções que usos com contato direto a população.

A aceitação da população depende de diversos fatores. Gomes & Lima (2011) realizaram inquéritos na região de Vila do Conde e Póvoa de Varzim com o intuito de entender a aceitação da população para um reuso com destino a agricultura. Em seu

trabalho, os autores perceberam que a ressalva da população está principalmente na saúde pública, uma vez que essa categoria foi eleita como a mais importante, além da saúde pública foi colocado em questão a opinião dos agricultores, a monitorização do sistema, a informação aos usuários e o preço da água.

Para Frijns *et al.* (2016), a comunicação com a população é necessária, programas de conscientização em que seja explanado sobre a escassez de água, os benefícios e os riscos dos sistemas é uma maneira de alavancar a aceitação. Entretanto, o autor salvaguarda que esses programas não devem ser demasiadamente técnicos para a população leiga, uma vez que essa pode ficar confusa com termos que não são do seu quotidiano.

Os riscos para a saúde podem variar de acordo com o tipo de água residual. De facto, um efluente tratado proveniente de uma rede doméstica é diferente de um industrial, valendo ressaltar que a água residual doméstica varia de acordo com cultura, população entre outros fatores podendo, então, haver águas residuais domésticas tratadas com características completamente distintas. A carga de água residual proveniente de Pequim é, em parte, usada como irrigação após tratamento biológico e Khan *et al.* (2008) afirmam em seu estudo que há uma elevação na concentração de metais pesados devido esse tipo de irrigação. Segundo os autores houver um aumento moderado no elementos químicos: cromo, cobre, níquel, chumbo, zinco, contudo, a maior elevação foi no cádmio, além disto todos os metais pesados estavam acima dos valores permitidos pelas agências reguladoras. Embora os elementos químicos estivessem acima dos valores permitidos, o indicador usado na pesquisa de Khan *et al.* (2008) referente a riscos para a saúde por ingestão dos vegetais, apresentou uma ausência de ameaça.

A presença de metais pesados pode ser um problema para a saúde humana e animal, mas não existe somente esse empecilho. Toze (2006) explica sobre patógenos e que esses terão uma maior severidade dependendo do grau de contato humano, animal e ambiental, ela ainda afirma que os patógenos podem ser de diferentes ordens, nomeadamente: vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Para além de organismos patogénicos existem, também, problemas relativos à presença de químicos tanto na ordem dos metais pesados quanto em fármacos e desreguladores endócrinos

(Toze, 2006), toda essa coletânea de dificuldades se atrela à saúde humana, mas também a problemas para animais e ao próprio meio ambiente.

2.4. Usos da reutilização

Em Portugal, a reutilização de água residual está vinculada ao Decreto-Lei 119/2019 de 21 de agosto, que dispõe que a origem da água residual pode ser doméstica, industrial e urbana e que sua utilização tem abrangência de regas, paisagismo, urbano e industrial, desde que o recurso possua qualidade suficiente. A legislação deixa claro a proibição do uso para potabilidade com justificação de que a segurança da população é prioritária.

Al-Jasser (2011) apresenta resultados favoráveis à irrigação utilizando água residual tratada, com base nas seis maiores ETAR de Riad, Arábia Saudita, com análises físico-química compostas durante 10 meses. Os dados referentes à qualidade do efluente contemplaram a legislação do país para irrigação restrita, ou seja, usos mais controlados e com menos contato humano; por outro lado a irrigação irrestrita não foi contemplada no estudo. Al-Jasser (2011) afirma que medidas menos restritivas proporcionariam um maior uso da água residual tratada, reduzindo o consumo de água potável. No entanto, alerta ainda para o facto das estações existentes na Arábia Saudita poderem não contemplar as medidas necessárias, e que os padrões ou as estações deverem ser revistos para garantir que a água residual possam ser reinserida na cadeia produtiva.

Pedrero *et al.* (2020) explanam sobre a produção de água residual, realçando que, em algumas situações, a produção do recurso só ocorre em parte do ano devido a especificidades do consumo de água, fator esse que deve ser considerado na idealização do projeto. Embora a presença de água residual para reutilização seja um fator preponderante, ela não se classifica como restritiva segundo os autores, haja vista que a água para reutilização é um suplemento da rede já existente de irrigação. Dessa forma, os autores tratam como principal fator de viabilidade a qualidade da água residual e acrescentam que os nutrientes presentes na mesma podem vir a ser benéficos ao cultivo implantado.

Pedrero *et al.* (2020) apresentam um conjunto de dados que corroboram para o uso de água residual sem tratamento em culturas de oliveiras, é notória que a fonte do

recurso seja analisada, uma vez que fontes domésticas terão grande quantidade de matéria orgânica, patógenos, enquanto que fontes industriais variam consideravelmente as suas características físico-químicas devido o tipo de indústria. Embora a ausência de tratamento ou um uso reduzido da mesma possa trazer desconfiança à cerca do produto e perigos para consumidores e agricultores, os autores afirmam que, no contexto de oliveiras, esse fator não se torna um problema devido ao tipo de cultivo feito, sem que haja o encharcamento do fruto e ausência de contato direto dos produtores com a água residual diluída. Os autores enaltecem, também, o facto da água residual possuir nutrientes que tornam a mesma um fertilizante diluído, mas alertam sobre concentrações de sal e metais pesados como agentes danosos.

Em seu trabalho, Balcik-Canbolat *et al.* (2017) apresentaram resultados favoráveis à reutilização de água residual tratada numa indústria têxtil. Os autores utilizaram experiências laboratoriais com três configurações distintas sob pressão, nomeadamente: uso de nanofiltração, uso de osmose reversa e uso de nanofiltração seguido de osmose reversa. Os resultados para as duas últimas configurações mostraram-se mais vantajosas devido um efluente com menor carência química de oxigênio, condutividade, sólidos suspensos, cloro e dureza. Balcik-Canbolat *et al.* (2017) mostram que o uso conjunto de nanofiltração e osmose reversa permite um tempo de comatação menor, além de proporcionar concentrados que podem ser utilizados posteriormente. Contudo, os autores reforçam a necessidade de mais avaliações para comprovar a eficácia notada nos seus sistemas em laboratório.

Haroon *et al.* (2013) abordaram a possibilidade de reutilizar água proveniente da limpeza de garrafas numa indústria de bebidas. Segundo os autores, essa etapa industrial era responsável pelo consumo de cerca de 50-60% do abastecimento de água da indústria. A produção de bebidas na indústria analisada por Haroon *et al.* (2013) tinha um gasto de 2,9 a 3,9 m³ de água/m³ de produto final, apresentando assim um elevado gasto de recursos hídricos. Os autores analisaram os processos de limpeza e notaram fases com temperaturas variando de 60-80 °C nos banhos com NaOH, fases com temperaturas mais brandas (28 °C), para além de fases com uso de sabão e água corrente.

Dessa maneira, propuseram o uso de osmose reversa e/ou indução iónica em conjunto com filtração após as diferentes fases de limpeza das garrafas. Os seus

resultados foram positivos para todas as fases da limpeza, havendo uma remoção 99% para osmose reversa e superior a 99% na indução iónica para o caso estudado. Haroon *et al.* (2013) concluíram que a reutilização de água nessas fases de limpeza acarretaria numa redução de 60% da água de abastecimento consumida pela indústria.

A utilização de água residual tratada pode apresentar-se de diferentes maneiras em processos industriais, podendo não possuir qualidade ou quantidade suficientes para diferentes fins. Kossar *et al.* (2013) estudaram uma fábrica de papel localizada no sul do Brasil. Na sua pesquisa, pode-se perceber que o maior consumo de água no processo produtivo ocorria nas máquinas de papel, contudo, os autores não poderiam propor o reuso de água residual tratada para todas as máquinas, devido à sua qualidade ser insuficiente derivado da elevada cor pós tratamento. Dessa maneira, foi proposto um sistema que contemplaria somente duas linhas de produção, em que a água de reuso não entraria em contato direto com produto final, não prejudicando, assim, a qualidade da produção.

Kossar *et al.* (2013) conseguiriam reduzir em cerca de 385 m³/h o consumo de água nas linhas selecionadas, reduzindo também a produção de água residual e utilização de químicos. Entretanto, o sistema foi orçado de maneira a que o período de retorno do investimento fosse de 15,3 anos, sendo rejeitado pela indústria que alegou que era excessivo. É notória a consonância entre a quantidade de água residual tratada e os custos inerentes à adaptação ou acréscimo do tipo de tratamento, haja vista que o período de retorno do investimento deve ser um fator preponderante para tomada de decisão.

2.5. Qualidade da água residual

A qualidade de um efluente final de uma ETAR está geralmente ligada ao local em que ocorrerá a sua rejeição para o meio hídrico receptor. Por exemplo, rios com elevado volume de água tendem a diluir melhor as concentrações das águas residuais tratadas, enquanto que redes fluviais de menor porte sofrem mais com concentrações elevadas de águas residuais, requerendo um tratamento mais elevado, para que possa ocorrer a descarga nesse manancial. Além de redes fluviais, há também a possibilidade de ser direcionado para águas subterrâneas ou lagos. A variar de caso a caso, o efluente de uma ETAR está ligado à carga do seu efluente e à sua adequação com as cargas

possíveis no meio receptor, dessa maneira, o tratamento terá de ser mais ou menos eficaz.

No cenário português, dois Decretos-Lei ganham destaque à cerca da descarga de efluente em águas superficiais, subterrâneas, solo e litorais, nomeadamente: Decreto-Lei nº 152/1997 de 19 de julho (DRE, 1997) e Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 agosto (DRE, 1998). O primeiro decreto trata das descargas de água residuais urbanas (industriais e domésticas) em águas superficiais, além de tratar sobre a maior proteção em zonas sensíveis e menos sensíveis. A identificação das zonas sensíveis e menos sensíveis foi sendo alvo de sucessivas alterações à lei, encontrando-se atualmente em vigor os Decretos-Lei nº 198/2008, de 8 de outubro (DRE, 2008), que alterou a lista de zonas menos sensíveis do continente, definiu as áreas de influência de todas as zonas sensíveis e disponibilizou o acesso à correspondente informação geográfica, e nº 133/2015, de 13 de julho (DRE, 2015), que eliminou da classificação como zona menos sensível as águas costeiras da vertente norte da ilha da Madeira e de todas as águas costeiras da ilha de Porto Santo.

O Decreto-Lei nº 152/1997 de 19 de julho (DRE, 1997) em seu texto aborda carência química e bioquímica de oxigênio, sólidos em suspensão, azoto total e fósforo total, determinando as concentrações máximas para os efluentes de ETAR, além de dispôr sobre o plano amostral de análise e o número de amostras que poderão estar em conformidade mediante o número de amostras.

No que lhe diz respeito, o Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 de agosto (DRE, 1998) contempla não somente águas residuais, mas também águas para consumo humano, suporte de vida aquícola, águas balneares e rega. No que tange à proteção quanto às águas residuais, o decreto abrange mais parâmetros se comparado com o decreto do ano anterior, uma vez que trata não somente de cheiro, cor, pH e temperatura, mas também de diferentes tipos de azoto, fósforo e sulfato, metais pesados, óleos, detergentes, pesticidas e compostos organoclorados, desse modo, é possível perceber a evolução com os cuidados com os meios hídricos entre os anos de 1997 e 98.

Ao tratar de águas para reutilização há o Decreto-Lei 119/2019 de 21 de agosto (DRE, 2019) que acrescenta mais um conjunto de valores limites para reutilização mediante o tipo uso dado ao efluente tratado. A legislação também trata sobre o licenciamento, os riscos e planos amostrais. O decreto torna o plano amostral em função

do tipo de uso dado ao efluente tratado, desse modo a periodicidade é diferente não somente o parâmetro de qualidade, mas também para o seu uso, fator que difere do Decreto-Lei 152/1997 de 19 de julho.

Os parâmetros avaliados numa estação de tratamento de água residual devem ser conjugados com a origem da água residual, uma água residual doméstica não deve ser tratada e parametrizada igual a um efluente oriundo de uma indústria. O fator origem também faz referência a subdivisões dentro de uma mesma categoria. Por exemplo o efluente de uma indústria metalúrgica não será igual a um efluente de fábrica têxtil, dessa forma, os parâmetros de qualidade devem ser revistos caso a caso. Sólidos

A presença de sólidos na água residual possui diferentes modos de se apresentar. Uma água residual proveniente de rede doméstica tende a possuir mais sólidos orgânicos, contudo, é notória a presença de resíduos sólidos na rede de drenagem de águas residuais, acarretando em gradeamentos como pré tratamento em estações de tratamento de águas residuais haja a vista que são considerados sólidos grosseiros (Metcalf & Eddy, 2016). Para Santos (2019) a presença desses sólidos deve ser desconsiderada para o parâmetro dos sólidos em virtude da sua dificuldade de caracterização por meio convencionais, dessa forma, a água residual bruta deve ser considerada somente após o tratamento preliminar.

De maneira mais ampla, Von Sperling (2014) trata todos os contaminantes como parte constituinte dos sólidos com exceção dos gases dissolvidos. O autor ainda ressalta a amplitude do tema, requerendo diviões dentro do mesmo tendo, sendo relacionadas com o tamanho e o estado e com a natureza química do sólido. Embora a classificação dos sólidos faça sentido quanto à sua natureza química ou física, é ainda possível apresentar subdivisões: sólidos suspensos (SS), sólidos coloidais (SC) e sólidos dissolvidos (SD) para características físicas; sólidos orgânicos/voláteis (SV) e sólidos inorgânicos/fixos (SF) quanto a características químicas. É fundamental ressaltar que a soma de dos sólidos suspensos totais (SST) e dos sólidos dissolvidos totais (SDT) acarreta na detecção dos sólidos totais (ST) de uma amostra, o mesmo também é percebido para com os sólidos totais voláteis (STV) e sólidos totais fixos (STF) (Santos, 2019).

Em função do tamanho das partículas sólidas é designado um dos grupos citados, Segundo Von Sperling (2014), convencionou-se a utilizar um papel filtro com aberturas

entre 0,45 e 2 μm , sendo aqueles sólidos que atravessam o filtro designados por sólidos dissolvidos ou sólidos não filtráveis, enquanto que os retidos são designados por sólidos suspensos ou filtráveis. Esta é uma denominação simples, que dificulta a identificação do terceiro tipo de sólidos segundo as características físicas, já que grande parte dos SC são considerados SD segundo esta convenção. Na figura 2 está sinalizada a distinção entre os sólidos segundo suas dimensões e acresce os tipos de seres vivos e materiais existentes em cada categoria.

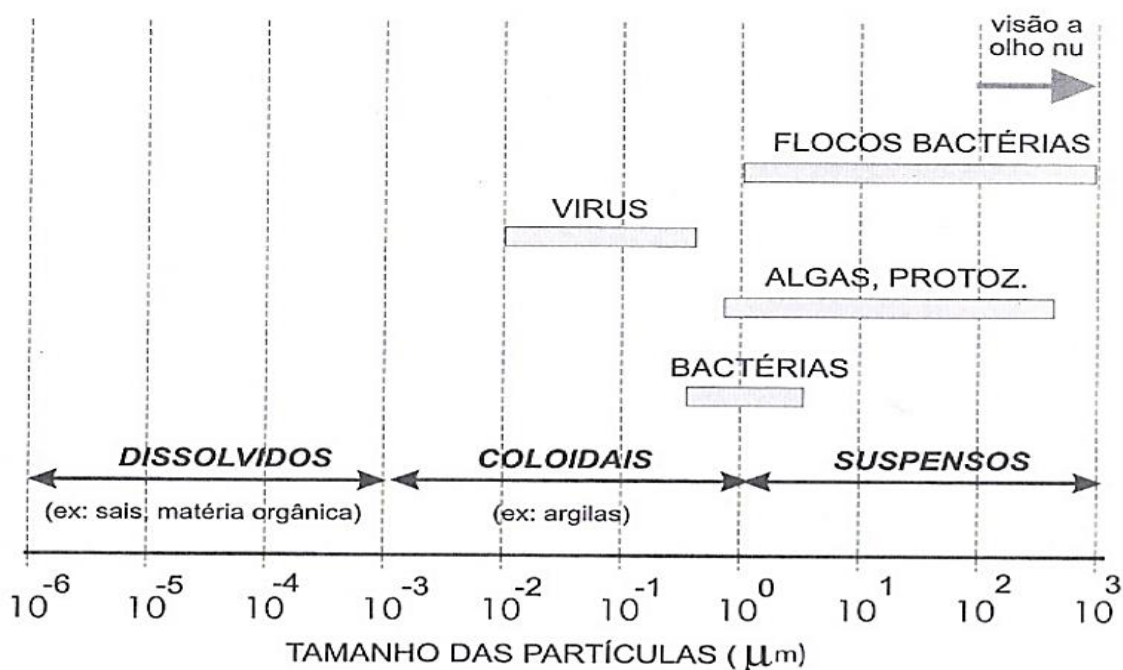


Figura 2: Classificação e distribuição dos sólidos em função do tamanho.

Fonte: Von Sperling (2014).

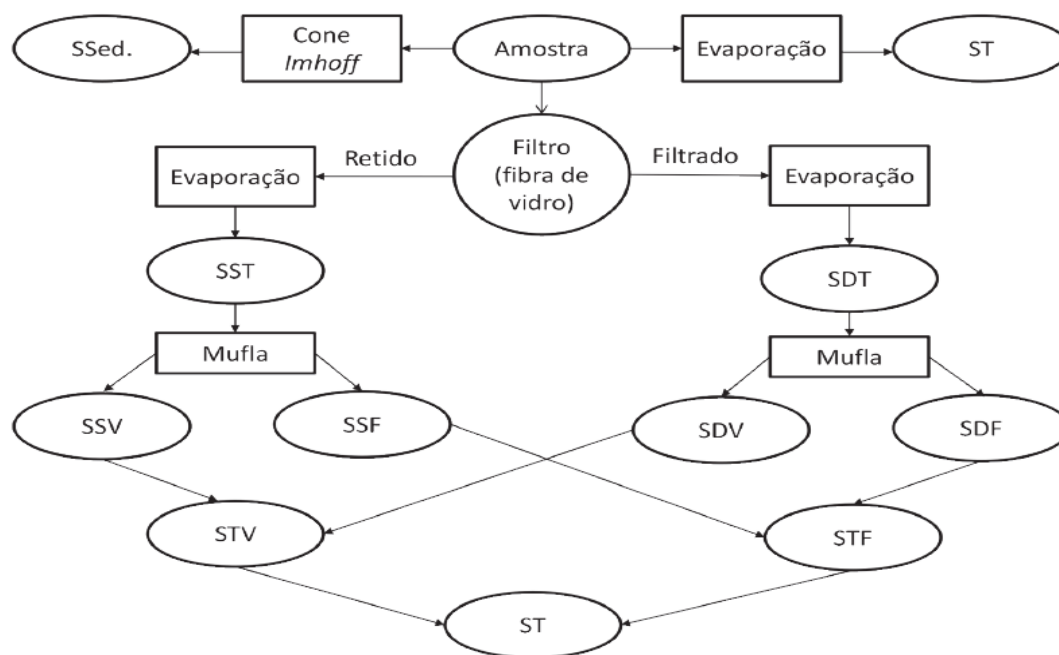
Por sua vez, os sólidos voláteis e fixos são diferenciados por um ensaio em que a amostra é levada a um forno (mufla) cuja temperatura está entre 500 - 550 $^{\circ}\text{C}$, cujo intuito é calcinar o material volátil enquanto o restante dos sólidos se mantém no recipiente amostral (Santos, 2019). O autor ainda distingue que os sólidos voláteis estão relacionados com materiais orgânicos, ao passo que os fixos são atrelados a materiais inorgânicos, nomeadamente areias, argilas entre outros.

Santos (2019) enaltece a importância de analisar os sólidos em estações de tratamento de água residual, haja a vista que essa análise permite com que problemas de operação das estações sejam evitados ou minimizados. Em seu trabalho, o autor exemplifica o caso de se encontrar areia de maneira indesejada num reator *Upflow*

Anaerobic Sludge Blanket (UASB), comprometendo a unidade de tratamento e originando uma possível redução da sua eficiência.

Para além desta classificação da matéria sólida, há, também, a categoria quanto à sedimentação. Para esse efeito é depositado 1 litro de amostra no cone *Imhoff* por um período de uma hora, com o objetivo de promover a decantação de partículas obtendo, então, os sólidos sedimentáveis para os que se depositam no fundo do cone e os não sedimentáveis (Von Sperling, 2014). Durante a análise no cone ainda é possível vislumbrar a cor do líquido e dos sedimentos, além do odor aparente da amostra como análises secundárias (Santos, 2019). Santos (2019) ilustra a importância do parâmetro devido a problemática relativa ao intumescimento das lamas em sistemas de lamas ativadas.

Na figura 3 apresentam-se de forma simplificada os métodos para adquirir as diferentes classificações da matéria sólida, além de definir todas as categorias de forma mais ilustrativa.



Legenda: SSed.: sólidos sedimentáveis; ST: sólidos totais; SST: sólidos suspensos totais; SDT: sólidos dissolvidos totais; SSV: sólidos suspensos voláteis; SSF: sólidos suspensos fixos; SDV: sólidos dissolvidos voláteis; SDF: sólidos dissolvidos fixos; STV: sólidos voláteis totais; STF: sólidos fixos totais.

Figura 3: Diferentes frações de sólidos em amostras de águas residuais.

Fonte: Metcalf & Eddy (2016).

No que tange os sólidos suspensos totais, o Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 agosto (DRE, 1998) atribuiu como valor limite de emissão (VLE) o valor de 60 mg/L, sendo o VLE

uma média mensal onde nenhuma média diária pode exceder o dobro do VLE mensal. Por sua vez, o Decreto-Lei nº 119/2019 de 21 agosto (DRE, 2019) os valores limites variam de acordo com o tipo de uso dado a água residual, em que rega de classe A tem valor máximo permitido de 15 mg/L de sólidos suspenso totais, enquanto que as classes B, C e D permitem até 35 mg/L de SST, contudo a rega de classe E é mais branda e possibilita um valor máximo de até 60 mg/L para a variável. Embora os usos urbanos e paisagísticos (não urbanos) não delimitem um valor para sólidos, eles enquadram uma turvação máxima de 5 NTU.

2.5.2. Matéria orgânica

A presença de sólidos numa água residual não impacta somente em fatores físicos relativos ao líquido, mas também em diversos outros parâmetros. Os sólidos voláteis estão atrelados à matéria orgânica e dessa maneira, estão correlacionados com a carência química de oxigénio (CQO) e com a carência bioquímica de oxigénio (CBO). A importância desses parâmetros se detêm no oxigénio presente no corpo receptor, haja vista que elevadas concentrações de CBO e CQO ocasionam elevado consumo do oxigénio dissolvido (OD) e, por sua vez, baixo teor desse pode resultar na morte de animais, enquanto que em situações mais extremas pode gerar um meio anaróbio e, assim, liberação de gases fétidos como sulfereto de hidrogénio (Santos, 2019).

A CBO é conceitualmente a quantidade de oxigênio necessária para se estabilizar a matéria orgânica carbonácea por processos bioquímicos, por sua vez, a CQO defini-se pelo consumo de oxigênio para oxidação química da matéria orgânica (Von Sperling, 2014). Ambos os parâmetros retratam de forma indireta a quantidade de matéria orgânica, contudo, são variáveis utilizadas amplamente em legislações referentes a matéria orgânica no âmbito de tratamento da água residual (Von Sperling, 2014).

É fundamental entender o significado de ambos os parâmetros para compreender relatórios de qualidade da água, projetar estações de tratamento e operar estações em funcionamento. Desse modo, ressalta-se que a CBO está relacionada com a matéria orgânica biodegradável ou não inerte e somente mensura esta, enquanto que a CQO afere toda a matéria orgânica, sendo ela não biodegradável/inerte ou não (Santos, 2019).

Von Sperling (2014) relaciona as duas variáveis (CQO/CBO) de maneira a indicar o tipo de fração mais presente e o tratamento mais convencional para cada situação, Santos (2019) também o faz contudo de maneira inversa ao de Von Sperling, sendo então CBO/CQO. O Quadro 1 ilustra os ponderamentos dos autores para cada situação.

Von Sperling (2014)			Santos (2019)		
CQO/ CBO	< 2,5	Elevada fração biodegradável		$\geq 0,5$	Utilizar processos biológicos de tratamento
		Tratamento biológico			
	[2,5 e 4]	Fração biodegradável não é elevada	CBO /CQO		Elevada fração não biodegradável
		Verificar viabilidade de tratamento biológico			
	> 4	Elevada fração inerte		< 0,3	Tratamento físico-químico
		Tratamento físico-químico			Combinar ou não com tratamento biológico

Quadro 1: Correlações de CQO e CBO, suas frações e tratamentos indicados.

Fonte: adaptado de Von Sperling (2014) e Santos (2019).

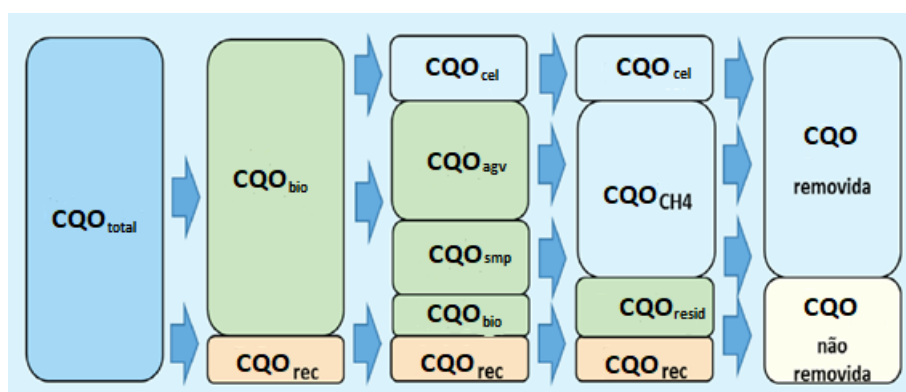
Santos (2019) enaltece que a relação CQO/CBO é vantajosa para se entender a degradabilidade da água residual e acrescenta que em esgotos sanitários brasileiros a relação encontra-se em torno de 2, enquanto que Von Sperling (2014) afirma que a mesma encontra-se entre 1,7 e 2,4 para águas residuais domésticas de 163 estações de tratamento de águas residuais nos estados de São Paulo e Minas Gerais no Brasil. O último ainda afirma que para águas residuais provenientes de indústrias essa relação varia amplamente.

É comum que ambos os parâmetros sejam analisados em conjunto e para além de se conhecer mais aprofundadamente a carga orgânica, há, também, o fator tempo. O ensaio de CBO também é conhecido como $CBO_{5,20}$ em virtude de ser ocorrer ao longo de cinco dias numa temperatura de 20 °C, o tempo é tal para que os microorganismos aeróbicos presentes na amostra consigam consumir a matéria orgânica ali presente (Santos, 2019). Dessa maneira, o ensaio de CQO corroborou com tomada de decisões mais urgente uma vez que sua duração aproximasse de 3 horas (Santos, 2019), a diferença em relação ao ensaio de CBO está atrelada ao fato de que serão utilizados catalisadores químicos para oxidar o material orgânico presente na amostra.

Von Sperling (2014) acrescenta que o teste de CQO é vantajoso por permitir mensurar a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica,

contudo, devido o mesmo medir a fração fixa e a biodegradável é comum que o resultado seja superestimado. O autor aponta também que o ensaio de CBO permite que seja obtida a taxa de consumo de matéria orgânica ao longo do tempo enquanto que a CQO não tem tal capacidade.

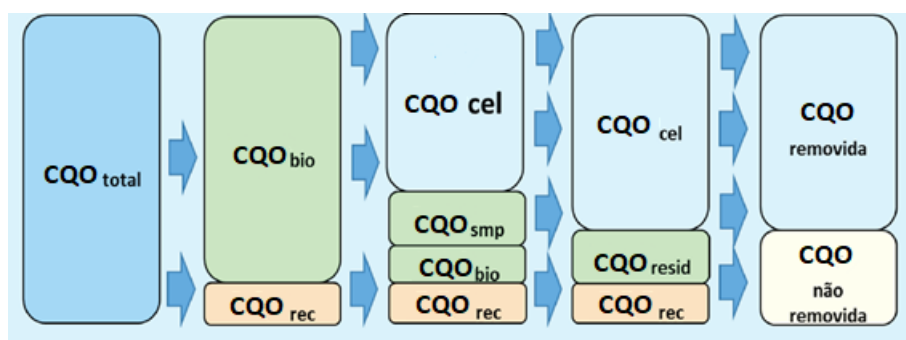
A remoção de CQO pode ocorrer de maneira anaeróbia ou aeróbia em reatores especializados ou na consonância de reatores, cada tipo tem suas vantagens e desvantagens. Em processos anaeróbios a produção de lodo é reduzida em função da baixa disponibilidade de energia ocasionada pela ausência de oxigênio, dessa maneira, os microorganismos consomem a matéria orgânica, mas não produzem grande número de novas células (CQO_{cel}) (Santos, 2019). O material biodegradável (CQO_{bio}) é, em parte, convertido em ácidos graxos (CQO_{agv}) que, posteriormente, será transformado em metano e sairá da fase líquida e dessa forma que grande parte da matéria orgânica é removida do sistema. Santos (2019) acrescenta, ainda, que o material orgânico não tratado em um sistema anaeróbico é formado pelo material residual (CQO_{resid}) e CQO não recalcitrante (CQO_{rec}). O material residual de um tratamento anaeróbico é composto por produtos de microorganismos solúveis, *soluble microbial products* (CQO_{smp}), por material orgânico que por algum motivo não foi removido no processo de tratamento e ácidos graxos que não foram transformados em metano. O quadro 2 apresenta de forma resumida o processo de produção das frações de CQO e a sua eliminação num sistema anaeróbico.



Quadro 2: Balanço de CQO ao longo do processo de degradação anaeróbia.
Fonte: adaptado de Santos (2019).

Por sua vez, os sistemas aeróbicos possuem grande quantidade de energia o que acarreta em grande síntese celular e, conseqüentemente, muito lama residual, estima-

se que 50% da matéria biodegradável seja convertida na produção de novas células (Santos, 2019). Desse modo a matéria orgânica removida do sistema ocorre pela separação das lamas e da água residual nos reatores. Em processos aeróbios a produção de metano se torna inviável e, assim, a formação de ácidos gordos deixa de ocorrer (Santos, 2019). De modo geral, a CQO não removida é composta por material recalcitrante (CQO_{rec}) e material residual (CQO_{smp} e CQO_{bio}). No Quadro 3 está ilustrado o balanço da CQO em um sistema aeróbico.



Quadro 3: Balanço de CQO ao longo do processo de degradação aeróbia.

Fonte: adaptado de Santos (2019).

Ainda segundo o Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 agosto (DRE, 1998) a presença de CQO e CBO não deve ser superior a 150 e 40 mg /L O₂, respetivamente. Sendo a CBO em questão a CBO₅, 20°C nas mesmas disposições de médias aritméticas e diárias dispostas para sólidos.

No que tange a matéria orgânica, o Decreto-Lei nº 119/2019 de 21 agosto (DRE, 2019) abrange o mesmo padrão para todos os tipos de usos urbanos, sendo o valor máximo permitido 25 mg/L O₂ para CBO₅ com exceção da lavagem de carros que não tem limite. No entanto, ao tratarmos de regas nota-se que o valor se altera em função da classe, sendo os valores máximos permitidos para as classes A e E respetivamente: 10 e 40 mg/L O₂ para CBO₅, enquanto que para as classes B, C e D iguais a 25 mg/L O₂ para o mesmo parâmetro.

2.5.3. Nutrientes

Numa água residual, os sólidos podem-se apresentar das mais diversas formas, seja por tamanho, natureza química ou física. A matéria orgânica também se ilustra em formatos diferentes que permitem interpretações detalhadas sobre o que há na água residual tal qual os sólidos. Não obstante dos parâmetros anteriores, os nutrientes

presentes nas águas residuais existem em abundantes formatos que dependerão do tipo de água residual, temperatura, pH dentre outros fatores, mas existem dois elementos que se destacam no meio da variedade de nutrientes: azoto e fósforo.

A eutrofização é o principal fator que torna os elementos azoto e fósforo os mais analisados quando se trata de nutrientes, haja vista que são preponderantes para o crescimento exagerado de algas e plantas em meios aquáticos. A eutrofização gera problemas ambientais amplos nomeadamente: impacto visual causado pela transformação nas superfícies de lagos e represas, consumo de oxigênio dissolvido pelas conversões de azoto, mortandade de peixes por asfixia ou toxicidade causada pela presença de amónia livre, assoreamento devido à morte de animais e deposição de resíduos de algas e plantas, maus odores e doenças humanas por excesso de nitrato como a metahemoglobinemia (Santos, 2019; Von Sperling, 2014).

O azoto em água residual pode ser encontrado em diferentes compostos sendo a amónia (ou sua forma ionizada), nitrito, nitrato e azoto orgânico as mais comuns. Em águas residuais domésticas o mais comum são a amónia e o azoto orgânico sendo esses dois comumente nomeados de azoto total *Kjeldahl* (NTK). O NTK é utilizado para estimar a demanda de oxigênio que será necessária para oxidar a parte nitrogenada em sistemas aeróbios uma vez que em sistemas aeróbios o azoto orgânico tende a se transformar em azoto amoniacal segundo a amonificação (Santos, 2019). Em função dessas divisões foi dado como azoto total o somatório de NTK (azoto amoniacal + azoto orgânico), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-).

Santos (2019) acrescenta ao conjunto de azotos os gases N_2 e N_2O , sendo o primeiro um produto da desnitrificação e o segundo como um produto da nitrificação e desnitrificação, contudo, ambos são produtos que deixam a fase líquida do sistema, mas devem ser considerados para o entendimento do balanço de azoto.

O meio em que o azoto se encontra fará com que seu composto se altere, em meios com pH abaixo de 8 nota-se que a fração amoniacal se dá predominantemente no ião NH_4^+ enquanto que a pH igual a 9,5, metade desta fração é NH_3 e o restante em NH_4^+ e, por fim, pH acima de 11 torna o NH_3 totalitário (Von Sperling, 2014). A temperatura também altera essa fração, Santos (2019) apresenta dados que sugerem que o aumento da temperatura favorece a presença de NH_3 em detrimento de NH_4^+ para um mesmo pH.

Os processos de transformação de azoto geram diferentes produtos e subprodutos que configuram fatores importantes para o tratamento de água residual. O processo de amonificação, como dito anteriormente, promove a transformação de azoto orgânico em amoniacal em meios aeróbios e anaeróbios, enquanto que o processo de nitrificação ocorre, preponderantemente, em meios anaeróbios produzindo nitrito em processos parciais e nitrato em processos completos oriundos de azoto amoniacal. Além desses há também o processo de desnitrificação que transforma o nitrato em gás azoto em condições anaeróbias, por último, há o processo ANAMMOX que gera gás azoto a partir de azoto amoniacal por oxidação anaeróbia utilizando de nitrito como aceptor de elétrons (Santos, 2019).

A figura 4 apresenta brevemente as transformações do azoto ao longo de uma cadeia de processos que inclui a amonificação, nitrificação e desnitrificação em um processo de tratamento que contemplaria todos os processos enumerados.

Por sua vez, a preocupação com o fósforo no que tange a eutrofização dá-se em função do mesmo ser considerado um nutriente limitante para o crescimento populacional das plantas em meios aquáticos principalmente em localidades quentes (Santos, 2019).

O fósforo pode ser encontrado em meios aquosos como fosfatos em três formatos distintos sendo eles: ortofosfatos, polifosfato e fosfato orgânico (Metcalf & Eddy, 2016). Von Sperling (2014) ressalta que os ortofosfatos e polifosfatos são produtos inorgânicos e oriundos de detergentes e produtos químicos domésticos quando se tratando de águas residuais domésticas, Santos (2019) acrescenta que grande parte do fósforo encontrado nas águas residuais está na forma inorgânica de ortofosfatos.

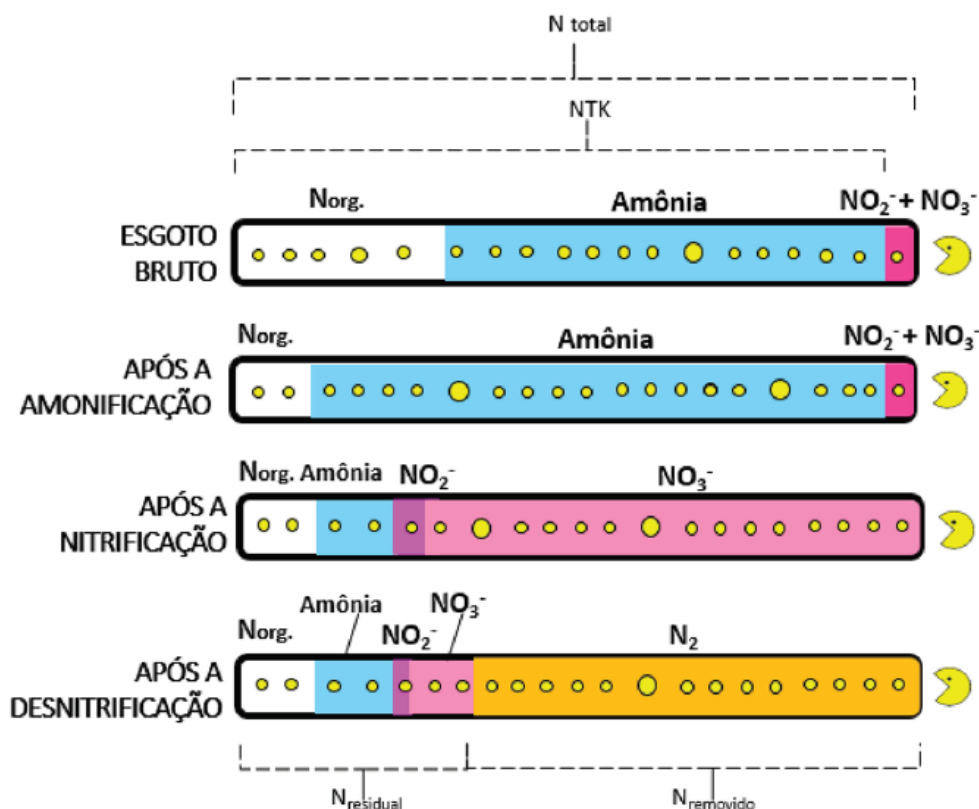


Figura 4: Distribuição das espécies de azoto ao longo do tratamento com nitrificação e desnitrificação

Fonte: Santos (2019).

Metcalf & Eddy (2016) salientam que os ortofosfatos estão disponíveis para metabolização sem que ocorram quebras futuras enquanto que o polifosfatos podem se hidrolisar em processos lentos que gerarão ortofosfatos aumentando, assim, a quantidade de ortofosfatos no meio. Os autores ainda explanam que os fosfatos orgânicos apresentam menor importância em águas residuais domésticas, contudo, o mesmo pode-se tornar mais significativo em águas residuais industriais.

A presença de fósforo não reativo em meio aquoso mostra-se como um grande desafio no tratamento de água residual uma vez que esse formato de nutriente não é facilmente removido com os processos de tratamento atuais (Metcalf & Eddy, 2016). Embora a dificuldade seja notória, a utilização de alúmen em conjunto com elevados níveis de tratamento proporcionam decréscimos de 60 % no crescimento de algas para concentrações de fósforo total de 0,5 g/m³ (Metcalf & Eddy, 2016).

Diferentemente dos sólidos e da matéria orgânica, o azoto é subdividido entre azoto amoniacal, azoto total e nitrato perante o Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 agosto (DRE, 1998) que estabelece a VLE para os parâmetros, respetivamente: 10 mg/L NH₄,

15 mg/L N e 50 mg/L NO₃. Por sua vez, o fósforo é limitado somente a um parâmetro, mas que se subdivide em função do local de despejo, desse modo a VLE é 10 mg/L P por regra geral, 3 mg/L P se for descarregado em águas que alimentem lagoas e albufeiras e 0,5 mg/L P se for diretamente descarregado em lagoas e albufeiras.

Ao analisar o Decreto-Lei nº 119/2019 de 21 agosto (DRE, 2019) que trata dos padrões de reutilização de água residual é notório que em todos os tipos de regas há o mesmo valor máximo, sendo ele 10 mg NH₄/L para azoto amoniacal e 15 mg N₂/L para azoto total, o mesmo não se difere para fósforo que também é igual em todas as regas, cujo máximo é de 5 mg P/L.

Por sua vez, o decreto também fala sobre os usos urbanos em que usos recreativos e paisagísticos o azoto amoniacal não pode ultrapassar os 5 mg NH₄/L e 2 mg P/L para fósforo se o mesmo houver a possibilidade de eutrofização. Enquanto que águas de arrefecimento requerem um máximo de 5 mg NH₄/L e se houver a presença de cobre o máximo passa a ser de 1 mg NH₄/L, por fim, os autoclismos também têm valor definido de 10 mg NH₄/L. No entanto as demais classes de usos urbanos não possuem valor definido.

2.5.4. Organismos patogénicos

A presença de microrganismos na água residual se dá, majoritariamente, por fezes humanas em águas residuais domésticas, podendo também ter influência de infiltração de água pluvial na rede de coleta de esgoto, centros comerciais e indústrias (Metcalf & Eddy, 2016). Embora haja enorme diversidade de espécies de microrganismos em águas residuais, em sua maioria não são prejudiciais à saúde humana, mas há capacidade de influenciar o meio em que são despejadas (Santos, 2019).

Metcalf & Eddy (2016) afirmam que a amplitude de microrganismos perpassa por bactérias, fungos, protozoários, helmintos, vírus, plantas e animais microscópicos, havendo, assim, várias formas de classificar os organismos presentes em água residual ao longo do tempo. Em função da complexidade de se determinar todos os tipos de microrganismos patogénicos fora adotado um sistema de indicadores: coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, esses indicadores foram escolhidos

devido as suas características de resistência, sua remoção é equivalente a diversas bactérias, além de facilidade de análise e bom custo inerente (Von Sperling, 2014).

Os coliformes totais compreendem um grupo de bactérias que não necessariamente está correlacionado com origens fecais, podendo ser considerados coliformes “ambientais”, dessa maneira, não é um fator interessante para águas superficiais, mas sim para tratamento uma vez que não deve haver quaisquer coliformes após tratamento de água (Von Sperling, 2014).

Por sua vez, os coliformes fecais ou termotolerantes são originários do trato intestinal humano e animal, em sua maioria. Possuem a denominação “termotolerante” devido a sua resistência a temperaturas elevadas o que é utilizado para quantificação em teste de laboratório. Embora possa também seja nomeado “fecal” é importante salientar que mesmo com a elevada temperatura do seu ensaio é possível que ocorram resquícios de outros tipos de microorganismos não fecais presentes na amostra, dessa forma, o mesmo não deve ser considerado puramente como contaminação fecal (Von Sperling, 2014).

Por fim, a *Escherichia coli* é o parâmetro que indica a presença de contaminação fecal, sendo uma variável amplamente utilizada com essa finalidade. Todavia, a contaminação fecal garantida pela *Escherichia coli* não é exclusivamente humana uma vez que o microorganismo pode ser encontrado em fezes de outros animais (Von Sperling, 2014).

É fundamental ressaltar que a condicionante fecal em águas residuais não é tão importante se a mesma tiver origem doméstica haja vista que já pressupõem-se que haverá poluição fecal. Também é importante reafirmar que a *Escherichia Coli* é o principal coliforme termotolerante analisado e que o coliformes totais são, por sua vez, os mais notório dentro dos coliformes totais, ou seja, ao analisar coliformes totais há uma análise mais generalista em relação aos demais (Von Sperling, 2014).

Diferentemente dos demais padrões definidos pelo Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 agosto (DRE, 1998) os patógenos não se enquadram como valores para descarga, não são expressamente definidos pela legislação em questão. Embora esse decreto não possua padrão definido, o Decreto-Lei nº 119/2019 de 21 agosto (DRE, 2019) é mais exigente, usos urbanos e paisagísticos não possuem exigência na classe de lavagem de ruas. Para lavagem de carros, autoclismos, água de combate a incêndio, usos

paisagísticos e recreativos o valor máximo para *Escherichia Coli* é de 10 ufc/100 ml, enquanto que águas de arrefecimento é mais brando e permite até 200 ufc/100 ml.

Por sua vez, as regas possuem maior severidade a depender do contato humano, desse modo as classes A, B, C, D e E possuem valores máximos de *Escherichia Coli*, respetivamente: 10, 100, 1000, 10000 e 10000 ufc/100 ml. A legislação também trata de ovos de parasitas intestinais para as classes C e D que não possam ser superiores a 1 N^o/L.

2.6. Tratamento da água residual

A existência de parâmetros que devem ser minimizados ou eliminados, acarreta na necessidade de meios para que esses atinjam seus padrões, esses meios são as unidades de tratamento.

Usualmente o tratamento em uma estação de tratamento de água residual é dividindo em níveis de tratamento com uma mesma finalidade, ou seja, existem operações e processos de tratamento que tem como objetivo remover patógenos e todas essas operações e processos fazem parte do mesmo nível de tratamento, o mesmo ocorrendo para matéria orgânica, sólidos e nutrientes. Dessa forma, os níveis de tratamento são: preliminar, primário, secundário, terciário e desinfecção. É importante salientar que existem mais possibilidades haja vista que existem normas de tratamento mais exigentes relacionadas com poluentes como fármacos ou plásticos, entre outros.

O nível de tratamento requerido é definido pelas legislações em vigor, o Decreto-Lei nº 152/1997 de 19 de junho (DRE, 1997) torna obrigatório o tratamento secundário para todas as estações de tratamento com população equivalente superior a 2000 e estações que descarreguem em águas doces e estuários. Para além do tratamento secundário, o decreto também estabelece que quando o efluente for descarregado em zonas sensíveis é necessário um tratamento superior ao secundário quando a ETAR possuir população equivalente superior à 10000. O Decreto-Lei 119/2019 de 21 de agosto (DRE, 2019) torna ainda mais rigoroso o tratamento para ApR, uma vez que o tratamento mínimo para qualquer tipo de reutilização é o secundário e sendo mais rigoroso a medida que o uso terá mais contato com o ser humano.

2.6.1. Tratamento preliminar

O objetivo principal do tratamento preliminar é a remoção de sólidos que possam causar danos as unidades de tratamento, tubagens, válvulas entre outros equipamentos presentes (Santos, 2019). O autor ainda explana que esses sólidos são, por via de regra, sólidos grosseiros que possuem constituição variável de região para região e areias.

A remoção dos sólidos grosseiros é realizada por um conjunto de grades com espaçamentos bem definidos entre si, dessa forma, sólidos que possuam dimensões superiores ao espaçamento das grades são retidos (Von Sperling, 2014). As grades podem ser consideradas grossas com espaçamentos entre 4 e 10 cm, médias cujos espaçamentos são de 2 a 4 cm e as finas entre 1 e 2 cm (Von Sperling, 2014). Ainda segundo o autor é comum em ETAR com presença de reatores UASB a utilização de grelhas no gradeamento com espaçamento de 0,1 a 1 cm. É fundamental alertar que a divisão entre as categorias de grades é variável entre autores, Santos (2019) trata como grades grossas e médias entre o intervalo de 2 a 4 cm e as finas entre 1 e 2 cm enquanto que Metcalf & Eddy (2016) atribuem às grades grosseiras espaçamentos superiores a 6 cm, às grades finas o intervalo de 0,5 a 6 cm e às microgrades um espaçamento inferior a 0,5 cm.

A quantidade de sólidos retirada de um tratamento por gradeamento varia de acordo com alguns fatores, nomeadamente: o tamanho e o tipo de ocupação de solo da área drenada para a ETAR, a presença ou não de elevatórias na rede de drenagem e a educação sanitária da população (Santos, 2019). A tabela 3 apresenta os valores obtidos por Metcalf & Eddy (2016) para a quantidade de volume de material retido em consonância com o tipo de gradeamento utilizado, bem como a quantidade de água presente na água residual analisada.

Dimensões das aberturas entre barras, cm	Conteúdo de água, %	Peso específico, kg/m ³	Volume material retido L/1000 m ³	
			Gama	Típica
0,6	60-90	700-1100	51-100	67
1,25	60-90	700-1100	37-74	50
2,5	50-80	600-1100	15-37	22
3,75	50-80	600-1100	7-15	11
5	50-80	600-1100	4-11	6

Tabela 3: Informação sobre as características e quantidades de material removido do esgoto por grades grosseiras.

Fonte: adaptado de Metcalf & Eddy (2016)

Ao tratar sobre a remoção de areia em unidades de tratamento preliminar, é notória a utilização de desarenadores. Estes são estruturas simples que visam a sedimentação da areia enquanto a matéria orgânica contínua para as operações e processos de tratamento seguintes (Von Sperling, 2014). O autor ainda ressalta que os desarenadores possuem diferentes configurações no que tange o seu formato (retangulares ou quadrados com fundo semicónico), quanto à aeração (presença ou não de aeradores) e quanto ao processo de remoção de areia (manual, semi mecanizado ou completamente mecanizado).

Ainda no tratamento preliminar é comum haver a medição de caudal após a passagem pelo gradeamento e o desarenador, como forma de contabilizar a entrada na estação. Para além do medidor de caudal, em efluentes industriais pode ser necessário um tanque de equalização após o tratamento preliminar visando manter o caudal constante ao longo do dia para que a operação seja mais fácil (Von Sperling, 2014). Nesses tanques deve haver o cuidado de evitar a sedimentação de material, que podem causar maus odores por decomposição anaeróbia.

2.6.2. Tratamento primário

Tal qual o tratamento preliminar, o tratamento primário tem o intuito de minimizar ou eliminar os sólidos presentes na água residual. Von Sperling (2014) explana que após o tratamento preliminar ainda existem sólidos suspensos não grosseiros predominantemente matéria orgânica, o autor afirma que há a necessidade de remoção desses sólidos e assim define que o tratamento primário se destina a sólidos suspensos sedimentáveis e flutuantes.

O tratamento primário é comumente constituído por sedfimentadores em que o tempo de retenção do líquido no sedimentador determina a quantidade de sólidos que sedimentarão, formando lamas primárias no fundo e espuma no sobrenadante, esse último é composto por diversos materiais, mas destacam-se os óleos e gorduras (Von Sperling, 2014). A presença de sedimentadores no tratamento primário permite com que haja uma remoção de 60-70% dos sólidos, além de 25-35% de CBO (Von Sperling, 2014), por sua vez, Metcalf & Eddy (2016) apresentam dados mais otimistas haja vista que contemplam uma remoção de 50-70% de sólidos e 25-40% de CBO.

Os sedimentadores podem ter configurações diferentes, sendo circulares, retangulares, possuindo remoção manual ou mecanizada de lamas, utilização ou não de pré floculação, além de poderem ser associados em série e/ou em paralelo (Von Sperling, 2014; Metcalf & Eddy, 2016). A presença de lama no fundo dos sedimentadores requer remoção em tempos definidos para que a operação da mesma se mantenha eficaz, a sua realização manual exige mais tempo de paralisação do decantador tornando, assim, necessária a existência de um decantador em paralelo para que a ETAR possa funcionar continuamente.

Uma das maiores desvantagens acarretada pelo sedimentador é a área que ocupa, uma vez que corresponde a uma parte significativa da estação de tratamento em função do tempo de retenção do líquido para que ocorra o processo de sedimentação. Dessa maneira, a utilização de floculadores pré-sedimentação torna a unidade de tratamento mais compacta (Metcalf & Eddy, 2016), a adição de um coagulante tal qual sulfato de alumínio e cloreto férrico em consonância com um polímero tornam o processo de sedimentação célere. O funcionamento de uma unidade que conjuga floculadores e sedimentadores, exige a existência de pequenos tanques utilizando turbinas que mantêm gradientes de velocidade de forma que os químicos se misturem com a água residual gerando flocos. Assim, estes à entrada dos sedimentadores já possuem dimensões que tornam o processo de sedimentação mais rápido.

A escolha do polímero e do coagulante é efetuiadoa través de um ensaio *Jar-Test*, em que são testados os gradientes de velocidade, os tipos de coagulante e de polímero em amostra da água residual da estação de maneira a averiguar qual a combinação mais eficaz. (Von Sperling, 2014) salienta que, embora o processo seja otimizado, a sua produção de lama aumenta, fator que deve ser considerado em

projetos uma vez que a lama assim produzida não está estabilizada, e é portanto mais difícil de processar posteriormente.

2.6.3. Tratamento secundário

Embora ocorra alguma remoção de matéria orgânica no tratamento primário em função da sedimentação de sólidos orgânicos, essa não é suficiente para tratar a água residual, dessa maneira, o tratamento secundário tem como principal objetivo remover a matéria orgânica.

Diferentemente dos tratamentos preliminares e primários, o secundário utiliza não operações físicas, mas sim processos biológicos. Um processo biológico possibilita o contato entre a matéria orgânica presente na água residual e bactérias, protozoários, fungos e outros microrganismos, servindo-lhes de alimento (Von Sperling, 2014). Ainda segundo o autor, os microrganismos utilizam essa matéria para seu crescimento celular liberando água, gás carbônico e, em casos anaeróbios, metano.

Os processos biológicos podem classificar-se como: aeróbio, anóxico e anaeróbio. Todos estes processos eliminam matéria orgânica da água residual, contudo, a presença de oxigênio nas reações biológicas dos microrganismos acarreta em produtos diferentes e quantidades distintas. A necessidade de energia para crescimento e para reações inerentes à existência dos microrganismos torna necessário falar sobre anabolismo e catabolismo, o primeiro define-se pela síntese de matéria orgânica, ou seja, o crescimento celular, enquanto que o catabolismo trata sobre a quebra de matéria orgânica, ou seja reações celulares. O metabolismo celular é a soma do anabolismo e catabolismo.

Em seu livro, van Haandel & van der Lubbe (2012) referem que as bactérias aeróbias metabolizam cerca de 67% da matéria orgânica por anabolização, ou seja, aumentam numericamente, e o restante da matéria é oxidada. Os autores sustentam esta afirmação com base no aumento bacteriano entre 0,35 g a 0,52 g de SSV por grama de CQO, sendo utilizado por eles o valor médio de 0,45 g SSV g CQO⁻¹ que representa a síntese da massa microbiológica perante a CQO metabolizada. Todavia a relação de quanto do CQO metabolizado é anabolizado segue a taxa de 1,48 g de CQO por grama de SSV, valor esse obtido na literatura. Ou seja, para a metabolização de uma grama de CQO são:

$$1,48 \frac{g \text{ CQO}}{g \text{ SSV}} * 0,45 \frac{g \text{ SSV}}{g \text{ CQO}} = 0,666 \cong 0,67 \quad (1)$$

Por sua vez, os processos anóxicos ocorrem na presença de oxigénio, contudo, o mesmo pode estar agregado a moléculas, dessa forma, os microrganismos utilizam os compostos para suas reações químicas. As moléculas mais comuns são nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e sulfato (SO_4^{2-}) (van Haandel & ven der Lubbe, 2012).

Por fim, as bactérias anaeróbias tem um crescimento celular menor que os sistemas aeróbios. Esses microrganismos necessitam de energia que se dará por meio da quebra da matéria orgânica gerando gás carbónico e metano, quebra essa que liberta energia. Embora essa reação produza energia, a proporção de CQO consumida para geração de metano é de 4 g de CQO consumida por 1 g de CH_4 produzida (van Haandel & ven der Lubbe, 2012). Ou seja, para que os microorganismos anaeróbios adquiram energia é necessário que mais matéria seja consumida, se compararmos com os processos aeróbios. Van Haandel & ven der Lubbe (2012) afirmam que cerca de 5% da CQO é sintetizada pelos microrganismos, enquanto que o restante se torna metano, dessa maneira, grande parte da matéria orgânica sai da fase líquida da água residual. Em termos gerais, os processos anaeróbios produzem menos lamas do que os aeróbios, em função do anabolismo distinto dos microrganismos.

Em virtude do tipo de processo biológico, do espaço presente na estação, dos gastos com manutenção e operação, são definidas as unidades de tratamento. Para os processos aeróbios destacam-se as lamas ativadas e os reatores aeróbios com biofilmes (Von Sperling, 2014), dentro dessas categorias existem diversas tecnologias que permitem melhor adaptação as necessidades de tratamento.

O tratamento por lamas ativadas caracteriza-se pelo passagem do afluente num tanque arejado por aeradores, dispersores e/ou sopradores que utilizam oxigénio para realizar suas reações químicas. Geram ainda flocos biológico que, por sua vez, realizaram a oxidação da matéria orgânica, e que se mantêm em suspensão devido o sistema de arejamento. Após a passagem pelo tanque arejado, a água residual é encaminhada para um decantador secundário que terá como objetivo separar as fases da mistura, as lamas assim acumuladas no fundo do decantador são ricas em bactérias, mas possuem pouco alimento. Essas lamas são, então, bombeadas para o tanque de arejamento, dessa

maneira as lamas mantêm-se ativas, originando um ambiente com grande quantidade de microrganismos dentro do tanque de arejamento. É importante salientar que eventualmente haverá a necessidade de se remover lamas do sistema para que ele se mantenha eficiente (Santos, 2019).

Devido à recirculação de lamas no tanque de arejamento, o tempo de detenção hidráulico para uma sistema convencional encontra-se entre 6 a 8 horas para a fase líquida, tornando o reator menor, contudo, o tempo de detenção das lamas está na ordem de 4 a 10 dias, sendo comumente chamado de idade das lamas (Von Sperling, 2014). Para além do sistema convencional existem: arejamento prolongado em que a idade das lamas atinge cerca de 18 a 30 dias; fluxo intermitente, em que todas as etapas são realizadas no mesmo tanque eliminando a necessidade do sedimentador secundário; reatores com leito móvel que viabilizam o crescimento das bactérias em estruturas internas ao tanque; bioreatores de membranas em que a água residual é filtrada por membranas separando, assim, as fases líquidas e sólidas (Von Sperling, 2014).

No que lhe diz respeito, os reatores aeróbios com biofilmes possuem superfícies de contato em que as bactérias se aderem para crescimento do biofilme, a passagem da água residual pelo biofilme acarreta no contato entre alimento e microrganismo havendo, assim, reações aeróbias que convertem a matéria orgânica e nutrientes (Metcalf & Eddy, 2016). A gama de materiais para enchimento é diversa, contemplando materiais como: brita, escória, areia, madeira e plásticos. Inicialmente o material mais utilizado era brita e os reatores possuíam alturas entre 1,25 a 2 metros, fator que sofreu alterações ao longo do tempo, haja vista que atualmente é possível encontrar reatores com 5 a 10 metros utilizando meios plásticos que permitem a presença de 90 a 95% do seu volume em zonas vazias (Metcalf & Eddy, 2016).

Essa tecnologia é comumente designada por leitos percoladores de alta e baixa taxas, ambos recebem água residual por gotas ou jatos e terão o líquido percolado por entre seu enchimento coberto por biofilme, contudo, o de alta carga recebe uma concentração maior de CBO. Este diferencial acarreta na redução do tamanho do reator e redução na eficiência de remoção, haja vista que haverá mais matéria orgânica por volume do filtro gerando, contudo, gera uma lama não digerida. Para além da lama, a concentração de CBO é superior aos de baixa carga, devido o mesmo receber a

recirculação do efluente após decantador secundário visando manter o caudal e a carga equilibrados, além de trazer oxigénio e uma nova possibilidade de remoção de matéria orgânica (Von Sperling, 2014).

Von Sperling (2014) ressalta o controle natural da população microbiana, o aumento do biofilme corrobora para a redução do espaço vazio entre o enchimento, em função disso, a velocidade de percolação entre os poros aumenta o que provoca o deslocamento do material aderido pela tensão de corte. Dessa maneira há a necessidade de um decantador secundário para remoção do filme biológico desprendido.

Embora os processos aeróbios possuam taxas de remoção de matéria orgânica entre 80 - 90 %, esses requerem maior gasto com energia, maiores custos de implantação e operação do sistema. Por sua vez, sistemas anaeróbios possuem eficácia de 50 – 70 % para remoção de CBO, mas produzem material que pode gerar energia, além de reduzidos gastos com implantação e operação (Santos, 2019).

Dentre as tecnologias utilizadas para tratamento anaeróbio, destaca-se a utilização de reatores *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) ou reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lamas. O seu funcionamento base consiste na entrada da água residual pela parte inferior do reator e seguindo um fluxo ascendente, o afluente perpassa por uma camada de lama composta por microrganismos anaeróbios e facultativos que serão responsáveis por digerir a matéria orgânica no interior do reator (Santos, 2019). As reações anaeróbios geram gás carbónico e metano, principalmente, sofrendo também de um fluxo ascendente dentro do reator. Com o intuito de reter a biomassa, encaminhar o efluente e separar os gases, foi integrado no sistema um separador trifásico e um defletor de gases (Von Sperling, 2014). Os defletores encaminham os gases para o interior do separador trifásico, enquanto que as partes sólidas e líquidas ocupam os demais espaços, na parte exterior do separador ocorre a acumulação de sólidos. Estes acumulam-se até adquirir peso suficiente para desatrelarem do separador e caírem para o fundo do reator, onde se encontram as lamas. Na figura 5 é possível visualizar as partes componentes de um reator UASB, bem como suas denominações e sentido do efluente.

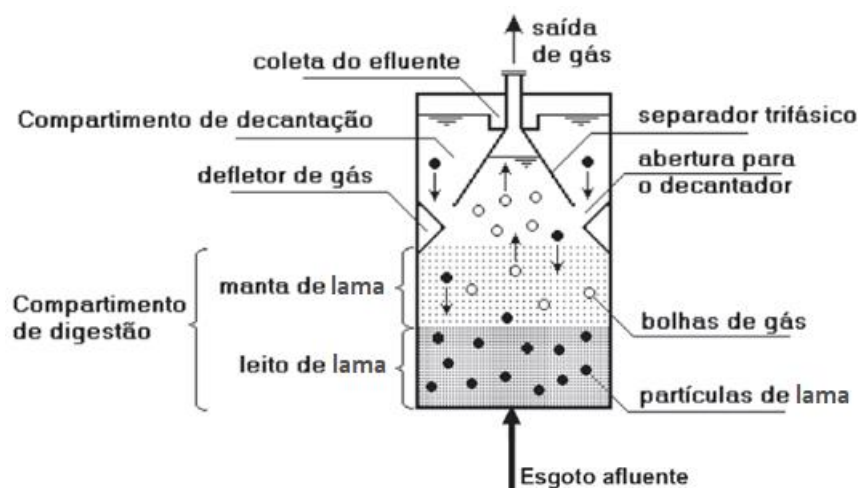


Figura 5: Representação esquemática de um reator UASB.

Fonte: adaptado de Chernicharo (2016, p. 379)

Para além de processos anaeróbios e aeróbios, há aqueles que utilizam ambos, como é o caso das lagoas facultativas. Estas lagoas utilizam áreas extensas e apresentam simplicidade de operação e de manutenção para tratar a água residual (Von Sperling, 2014). Trata-se de um processo natural em que o afluyente percorre a unidade num tempo de detenção elevado (superior a 20 dias). Durante esse período a matéria orgânica em suspensão decanta formando lama e uma porção anaeróbia no fundo da lagoa (Von Sperling, 2014). A CBO dissolvida não decanta e é tratada pela digestão de bactérias aeróbias e facultativas. A ocorrência de fotossíntese permite a presença de oxigénio e, assim, a conversão aeróbia da matéria. Todavia, é importante que as bactérias da lagoa sejam facultativas, haja vista que durante a noite é possível que a lagoa se torne anaeróbia e, por isso, seja fundamental que os microrganismos sejam capazes de resistir à ausência e presença de oxigénio (Von Sperling, 2014).

Usualmente as lagoas facultativas possuem áreas grandes para que haja maior zona com presença de luz solar, fator que acarreta em uma unidade pouco fundo (1,5 – 2 metros) (Von Sperling, 2014). Além das lagoas facultativas existem outras lagoas que utilizam processos de tratamento semelhantes e a conjugação dessas unidades permite que a área utilizada seja reduzida, como é o caso da combinação de uma lagoa anaeróbia antes de uma lagoa facultativa. Lagoas anaeróbias têm pequena área e profundidade entre 4 e 5 metros, o seu tempo de detenção está entre 2 e 5 dias, durante os quais ocorre uma decomposição parcial da matéria orgânica, removendo uma taxa de 50 a 70 %. Dessa forma, a conjugação com uma lagoa facultativa permite com que somente 30

– 50% da matéria orgânica entre a unidade facultativa o que representa uma redução de 2/3 da área total da estação (Von Sperling, 2014).

Com o intuito de reduzir ainda mais a área utilizada pelas lagoas facultativas foram anexados arejadores garantindo a oxigenação do meio, em virtude disso, foram criadas as lagoas arejadas facultativas e as lagoas arejadas de mistura completa. Ambas utilizam equipamentos para arejar, contudo, a segunda mantém o nível de arejamento elevado de maneira a formar turbulência. Essa distinção é notória ao analisar o tempo de detenção: em lagoas arejadas facultativas o tempo está na ordem de 5 a 10 dias, enquanto que nas de mistura completa é entre 2 e 4 dias (Von Sperling, 2014). Embora o arejamento elevado da mistura completa seja vantajosa para o tratamento, o mesmo requer uma lagoa de sedimentação uma vez que gera grande quantidade de lamas que necessitam de sedimentação (Von Sperling, 2014).

2.6.4. Tratamento terciário

Enquanto os demais tratamentos são dedicados a sólidos e a matéria orgânica, o terciário destina-se à remoção de nutrientes presentes na água residual. Como tratado anteriormente, os principais nutrientes em questão são o azoto e o fósforo.

A remoção de azoto se dá de duas formas principais, por processos biológicos em suspensão ou adsorvido (Metcalf & Eddy, 2016), contudo os processos biológicos em questão podem se divididos em três, nomeadamente: nitrificação-desnitrificação, nitratação-desnitrificação e nitratação parcial e oxidação anaeróbia de amónia (Metcalf & Eddy, 2016).

O processo de nitrificação-desnitrificação consiste na oxidação de amónia para nitrito, sendo seguida de uma conversão de nitrito para nitrato com acréscimo de oxigénio formando, assim o processo de nitrificação. Por sua vez, a desnitrificação implica o consumo de carbono para transformação de nitrato a nitrito e posterior conversão de nitrito a azoto gasoso (Metcalf & Eddy, 2016).

Ao analisar o processo de nitratação-desnitrificação é notória a redução nos consumos de oxigénio e carbono, esse fato deve-se a não haver transformação de nitrito em nitrato. Por outras palavras, a amónia é oxidada em nitrito em processo autotrófico e em fase heterotrófica anóxica o nitrito é convertido em azoto gasoso, esse processo

representa uma redução de 25% no consumo de oxigénio por estequiometria e 40% em carbono (Metcalf & Eddy, 2016).

Por fim, a nitrificação parcial e oxidação anaeróbia da amónia utiliza o processo de nitrosação em que somente uma parte da amónia é convertida em nitrito e posteriormente a amónia restante e o nitrito são transformados em nitrato e azoto gasoso em meio anaeróbio por bactérias oxidantes de amónia (Anammox) (Metcalf & Eddy, 2016). Na figura 6 são apresentados os processos em questão, sendo a parte “a” referente ao processo de nitrificação-desnitrificação, ao “b” o processo de nitratação-desnitrificação e o “c” ao restante.

Os procedimentos de tratamento em suspensão podem ter configurações distintas, contudo, é comum haver o tratamento de CBO e azoto no mesmo reator de lodo ativado que pode ocorrer em uma mesma câmara seguida de sedimentação. Também é possível um formato mais complexo em que numa primeira etapa a lama ativada visa remover primordialmente a matéria orgânica. Sendo seguida de uma etapa de sedimentação, após esse, o efluente é encaminhado para outra câmara de lamas ativadas seguida de sedimentação, ou seja, um processo duplo (Metcalf & Eddy, 2016).

Para além da câmara dupla, é possível anexar um processo anóxico antes da segunda câmara de lamas ativadas formando, assim, um primeiro conjunto de alta taxa de remoção nas câmaras iniciais e de baixa taxa a partir do processo anóxico (Metcalf & Eddy, 2016). A primeira câmara tem baixo tempo de retenção e alta carga de matéria orgânica, enquanto que a segunda possui baixa carga e elevado tempo de retenção em função do lento crescimento das bactérias nitrificantes (Metcalf & Eddy, 2016). Na figura 7 é possível visualizar de forma simples os processos mencionados acima, respetivamente em “a”, “b” e “c”.

Por outro lado, o processo de remoção de azoto biológico em meio aderente (adsorção) deve contar com a pré remoção de matéria orgânica do afluente. Isto justifica-se devido às bactérias nitrificantes podem ter o seu crescimento inibido pelas bactérias heterotróficas, por estas últimas terem taxas de crescimento elevadas na presença de matéria orgânica (Metcalf & Eddy, 2016).

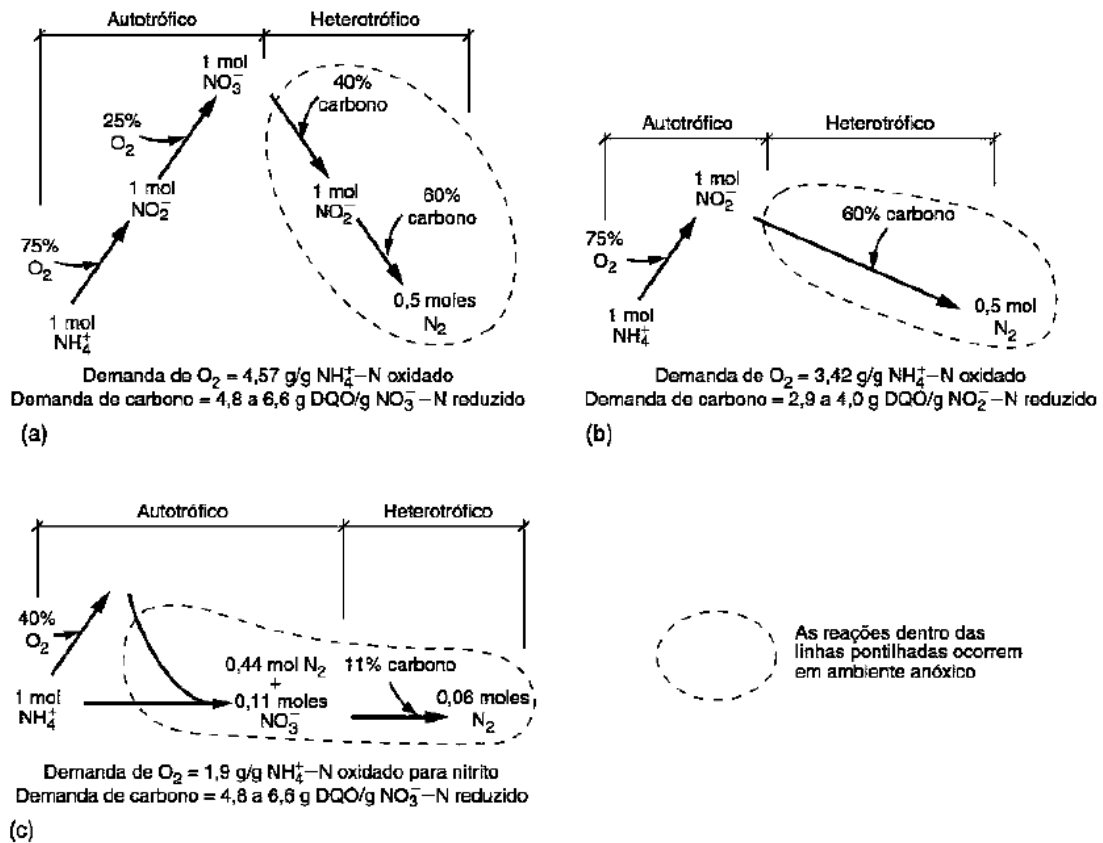


Figura 6: Rotas para as reações biológicas e reações de amônia e redução de azoto orgânico: (a) nitritificação-desnitrificação, (b) nitratação-desnitrificação e (c) nitrosação
 Fonte: Metcalf & Eddy (2016).

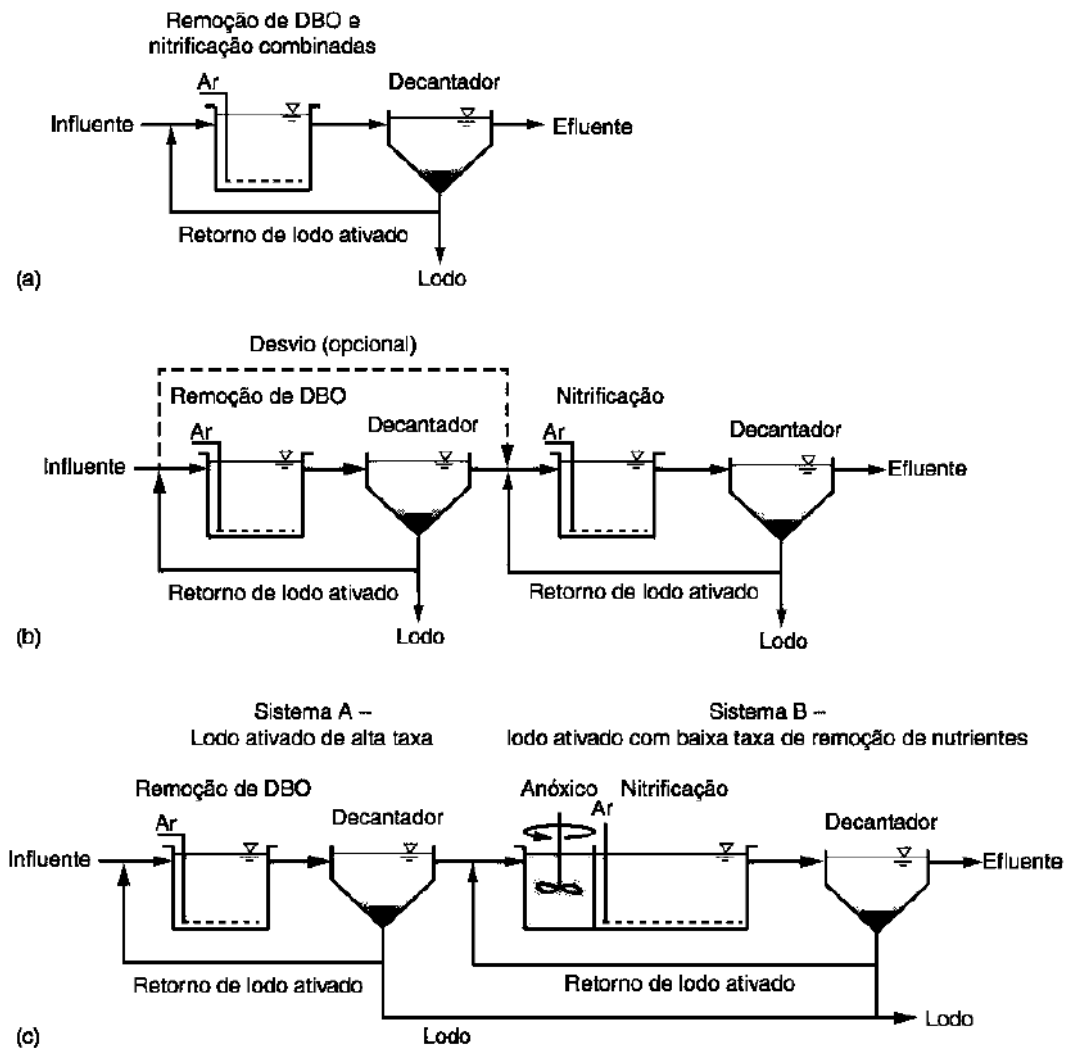


Figura 7: Configuração do processo utilizado para nitrificação biológica: (a) sistema único de crescimento suspenso de lodo, (b) sistema duplo de crescimento suspenso de lodo e (c) processo AB (sistema A com lodo ativado de alta taxa, sistema B com lodo ativado de baixa taxa de remoção de nutrientes)

Fonte: Boehnke, Diering, & Zuckut (1997)

A remoção de fósforo no tratamento terciário pode ser efetuada de duas maneiras distintas: tratamento químico e tratamento biológico. O tratamento químico expressa-se na adição de compostos químicos na água residual, nomeadamente: alumínio (Al (III)), ião férrico (Fe (III)), ferro ferroso (Fe (II)) e cálcio (Ca (II)) (Metcalf & Eddy, 2016). Os autores ainda ressaltam que a conjugação dos compostos químicos com polímeros se tem mostrado benéfica para a floculação.

Um ponto vantajoso da utilização de tratamento químico é a variedade de possibilidades de aplicação do reagente químico, já que pode ser aplicado em diversas

etapas da ETAR. A figura 8 ilustra aplicações dos produtos químicos em diferentes etapas do tratamento.

Em unidades de tratamento primário os sais metálicos de alumínio e ferro reagem com ortofosfatos solúveis produzindo precipitado, para além disso, há remoção parcial de fósforo orgânico e polifosfatos, esse precipitado é removido nas lamas primárias juntamente com os sólidos suspensos e parte da matéria orgânica (Metcalf & Eddy, 2016). Por sua vez, no tratamento secundário, a aplicação varia de acordo com o tipo de unidade utilizada. Em filtros biológicos é comum que o químico seja aplicado no efluente primário ou ao efluente do filtro que recirculará, enquanto que em lamas ativadas a adição ocorre no influente da unidade, da unidade de arejamento ou no sedimentador (Metcalf & Eddy, 2016).

Metcalf & Eddy (2016) afirmam que a utilização de cálcio como produto químico destinado à remoção de fósforo tem declinado, devido a problemas de manutenção e operação causados pelo manuseio, dosagem e armazenamento do material, além deste produzir quantidades maiores de lamas quando comparado com os sais metálicos. Há também que se preocupar com o aumento do pH causado pelo cálcio, uma vez que a dosagem eleva o pH para 11, visando a precipitação de fósforo em unidades de tratamento primário e secundário, fator que deve ser considerado tendo em conta que pH altos podem causar problemas no tratamento biológico (Metcalf & Eddy, 2016).

Por outro lado, a remoção biológica de fósforo ocorre por meio de organismos acumuladores de fósforo (OAF), esses seres assimilam ácidos gordos voláteis, nomeadamente, o ácido acético e propiónico, dando origem a poli- β -hidroxialcanoato (PHA) (Metcalf & Eddy, 2016). Os autores ressaltam que a absorção de ácidos gordos voláteis se dá em meio anaeróbio, haja vista que a CQO, em formato de ácido gordo, sofre fermentação pelos OAF, cujo agente energético da reação são as reservas de polifosfatos internos as células, dessa forma, há a liberação de ortofosfatos para o meio.

A segunda etapa para remoção de fósforo é a inserção desta água residual numa câmara aeróbia ou anóxica, em que os organismos heterotróficos ordinários (OHO) irão consumir o ortofostato liberado pelos OAF enquanto essas utilizarão de suas reservas em PHA (Santos, 2019). Em função do crescimento celular decorrente do consumo de PHA pelos OAF e do ortofosfato pelos OHO há um acréscimo celular que sedimentará e, assim, será removido do meio pelo purga do excesso de lamas.

Santos (2019) acrescenta que para remoção de fósforo e azoto é essencial a utilização de sistemas de lamas ativadas. Contudo, no que tange a remoção de fósforo é necessário que o tanque anaeróbio seja dimensionado para remoção parcial de matéria orgânica, uma vez que o objetivo é garantir a produção de ácidos gordos.

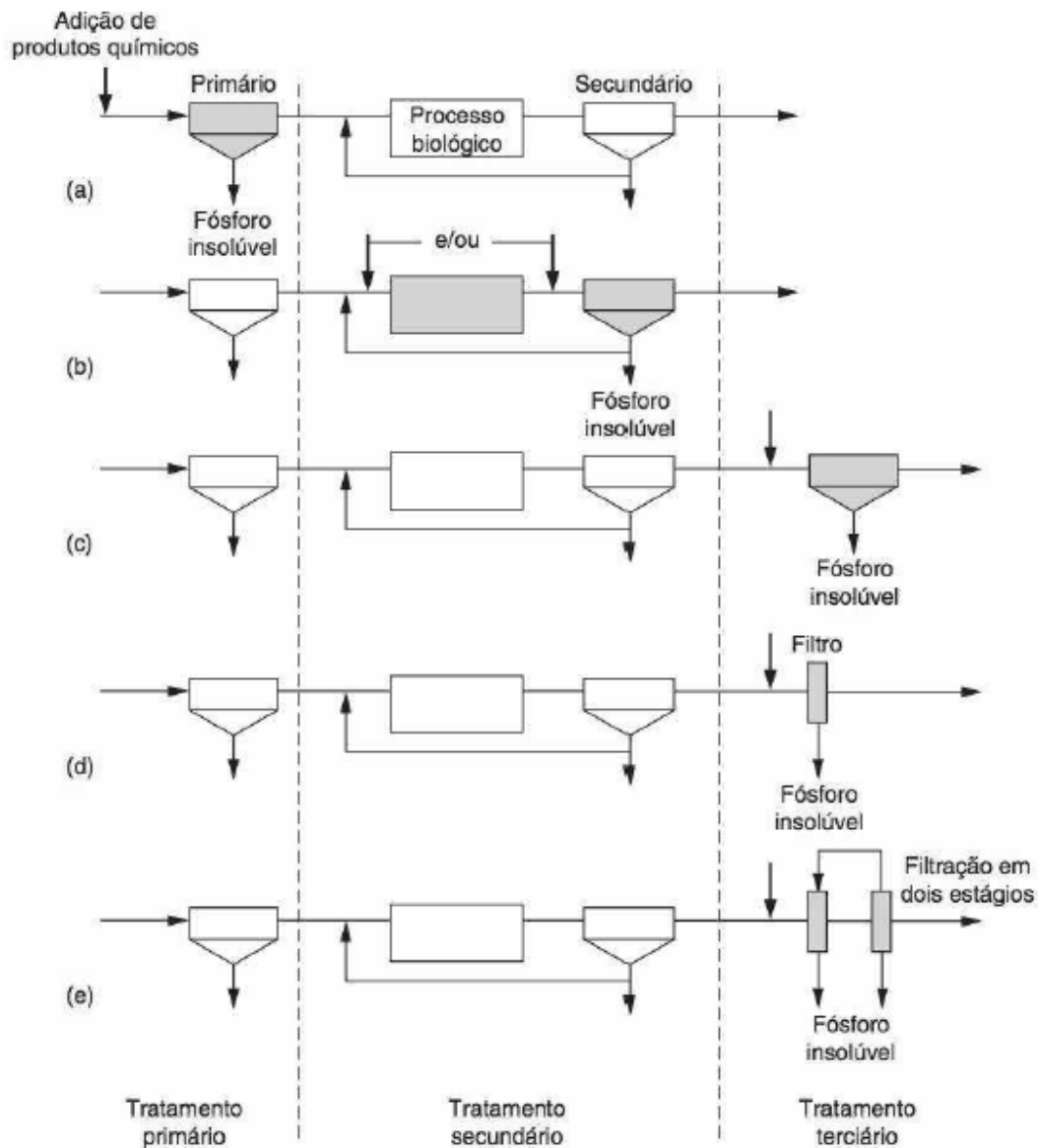


Figura 8: Adição de produtos químicos em um ponto único de dosagem em diversas locações para remoção de fósforo: (a) antes da sedimentação primária, (b) ante e/ou após tratamento biológico, (c) após tratamento secundário, (d) adição de produtos químicos antes da filtração de estágio único e (e) adição de produtos químicos antes da filtração de estágio duplo

Fonte: Metcalf & Eddy (2016)

É importante salientar que a presença de nitrato no meio pode atrapalhar a remoção de fósforo no sistema anaeróbio, isso ocorre devido à competição entre

bactérias (Metcalf & Eddy, 2016). Bactérias que não os OAF irão utilizar nitrato para consumir a matéria orgânica ou seja, a matéria orgânica não será transformada em ortofosfatos no meio aquoso e, assim, a sua remoção será reduzida (Metcalf & Eddy, 2016).

2.6.5. Desinfecção

Para além de sólidos, matéria orgânica e nutrientes é necessário ponderar os patógenos presentes na água residual, visando evitar a transmissão de doenças. Para a desinfecção são considerados processos químicos e processos físicos, no primeiro caso são comumente utilizados o cloro e o ozono como agentes desinfetantes, enquanto que nos processos físicos tem destaque a radiação ionizante e não ionizante, remoção mecânica (Metcalf & Eddy, 2016; Santos, 2019).

A utilização de lagoas de maturação após um sistema de tratamento de esgotos, por exemplo, uma lagoa facultativa, possibilita um polimento da água residual. O principal objetivo das lagoas de maturação é a remoção de organismos patogênicos e nutrientes, além de possibilitarem uma remoção adicional de CBO. Nas lagoas de maturação predominam condições adversas para os organismos patogênicos, tais como temperatura, radiação solar, elevados valores de pH (normalmente acima de 9,0), altas concentrações de oxigênio dissolvido (especialmente níveis de supersaturação), efeito de toxinas produzidas por algas e outros, como predação, competição e escassez de alimento (Pinto, 2012).

De modo simplificado, para que a desinfecção ocorra é necessário que um agente desinfetante atue na água residual. É notório que cada agente tem vantagens e desvantagens relacionadas com o tipo de água residual e suas características após os demais tratamentos.

Na tabela 4 estão expostas as características de um agente desinfetante ideal, suas propriedades e respostas esperadas mediante cada tipo de característica apresentada.

Característica	Propiedades/resposta
Alteração das características da solução	Deve ser eficaz, com a mínima alteração das características da solução, como aumenta da concentração de sólidos dissolvidos
Disponibilidade	Deve estar disponível em grandes quantidades e a um custo razoável
Capacidade de remoção de odor	Deve ser capaz de remover odores enquanto atua como desinfetante
Homogeneidade	A solução deve apresentar composição uniforme
Interação com outros materiais	Não deve ser absorvido por outros compostos orgânicos e outros materiais que não sejam os microrganismos que se pretende inativar
Não devem ser corrosivos ou causar manchas	Não deve degradar metais ou manchar roupas ou dispositivos sanitários
Toxicidade aos organismos superiores	Deve ser tóxico apenas para microrganismos nas concentrações utilizadas
Penetração	Deve ter capacidade de penetrar através da superfície das partículas e células dos microrganismos
Segurança	Deve ser seguro durante o transporte, armazenagem, manuseio e uso
Solubilidade	Deve ser solúvel em água ou no tecido das células dos microrganismos
Estabilidade	Deve manter a sua ação desinfetante ao longo do tempo, principalmente durante a armazenagem
Toxicidade aos microrganismos	Deve ser eficaz mesmo em baixas concentrações
Toxicidade à temperatura ambiente	Deve ser eficaz em ampla faixa de variação de temperatura

Quadro 4: Características de um desinfetante ideal.

Fonte: Metcalf & Eddy (2016).

Os agentes desinfetantes químicos mais comuns são o cloro e seus compostos e o ozono, contudo, também podem ser utilizados o bromo, o iodo, fenol e compostos fenólicos, álcoois, metais pesados e seus compostos, corantes, sabões e detergentes sintéticos, sais quaternários de amónia, peróxido de hidrogénio, ácido peracético, álcalis e ácidos (Metcalf & Eddy, 2016).

A tabela 5 apresenta de forma resumida os mecanismos de desinfecção por cloro, ozono, radiação ultravioleta e pausterização, que se descrevem detalhadamente no texto seguinte.

Cloro	Ozono	Radiação UV	Pasteurização
1 Oxidação direta da parede celular, com liberação de conteúdo da célula para o meio líquido	1 Oxidação direta da parede celular, com liberação de conteúdo da célula para o meio líquido	1 Danos ao DNA e ao RNA (formação de ligações duplas) no interior das células dos organismos	1 A estrutura das enzimas dentro das células é alterada pelo calor (desnaturação), inativando as células
2 Modificação da permeabilidade da parede celular	2 Reações com os radicais produzidos na decomposição do ozono	2 Os ácidos nucleicos nos microrganismos são os que mais absorvem energia nos comprimentos de onda variando entre 240-280 nm	2 A estrutura de proteínas e ácidos graxos da parede celular é danificada pelo calor liberando o conteúdo das células para o líquido
3 Alteração do protoplasma da célula	3 Danos aos constituintes do ácido nucleico	3 Como o DNA e o RNA mantêm informações para a reprodução dos microrganismos, os danos causados inativam os organismos	3 Os fluidos da célula podem expandir e romper a parede da célula, liberando o seu conteúdo para o meio líquido
4 Inibição da atividade enzimática	4 Quebra das ligações carbono-azoto, resultado na despolimerização		
5 Danos ao DNA e ao RNA			

Quadro 5: Mecanismos de desinfecção utilizando cloro, ozono, radiação UV e pasteurização.

Fonte: Metcalf & Eddy (2016).

O cloro é um material amplamente utilizado devido à sua acessibilidade, contudo é um material altamente tóxico e que requer cuidados para que sua dosagem não torne o efluente tóxico para meios aquáticos, além, de precauções com o transporte e armazenagem visando não intoxicar a população e os trabalhadores das estações (Metcalf & Eddy, 2016). O cloro, assim como seus compostos, ao entrarem em contato com água forma ácido hipocloroso, esse, por sua vez, dissocia-se em OCl^- e H^+ . É essencial salientar que o ácido hipocloroso possui capacidade de inativação maior que o OCl^- (Metcalf & Eddy, 2016; Santos, 2019), dessa forma, é desejável que a reação de dissociação seja minimizada, para tal é necessário que haja controle de temperatura e pH.

Usualmente a desinfecção por cloração ocorre em câmaras em contato com chicanas ou tubulações que permitem que haja tempo de contato suficiente entre o agente desinfetante e a água residual (Metcalf & Eddy, 2016).

Embora o cloro seja um agente desinfetante de fácil acesso, ele tem a desvantagem da produção de trihalometanos, substâncias cancerígenas danosas ao

meio, dessa maneira, o ozono destaca-se por ser um material que não produz tais substâncias (Santos, 2019). Diferentemente da cloração que utiliza OCl^- para desinfecção, o ozono faz uso dos radicais HO e HO_2 , que atuam na destruição da parede celular e na lise celular (Metcalf & Eddy, 2016).

O ozono é considerado um virocida mais eficaz que o cloro e não tem sua atuação modificada perante as alterações no pH. Contudo, é notório que se tratando de ozono residual é mais interessante que o meio seja ácido em função da sua maior estabilidade (Metcalf & Eddy, 2016)

Embora o ozono não produza trihalometanos existem outros subprodutos de desinfecção, nomeadamente: ácidos, aldeídos, aldós e ácidos, subprodutos bromados e peróxido de hidrogénio (Metcalf & Eddy, 2016). Com exceção dos compostos bromados, os subprodutos produzidos são biodegradáveis o seu controle é mais simples, já que passagens por filtros ativados ou despejo no solo são suficientes, contudo os bromados requerem tratamentos mais complexos (Metcalf & Eddy, 2016).

Diferentemente dos processos químicos, a utilização de radiação ultravioleta não acarreta a adição de uma nova substância no efluente, mas sim a passagem do efluente por entre lâmpadas UV. A radiação em questão caracteriza-se por não ser ionizante e atua diretamente no DNA e no RNA dos microrganismos, dificultando a realização normal do seu metabolismo (Metcalf & Eddy, 2016).

A desinfecção por radiação UV pode-se dar em canais abertos ou fechados em que o efluente passa pelas lâmpadas que poderão estar configuradas de três maneiras para canais abertos: horizontais e paralelas ao escoamento, verticais e perpendiculares ao escoamento ou inclinadas. Para canais fechados o escoamento dá-se perpendicular às lâmpadas ou paralelo (Metcalf & Eddy, 2016).

A radiação ultravioleta é subdividida em UV-A, UV-B e UV-C, sendo essa divisão relativa ao seu comprimento de onda. A radiação UV-C é apontada como a melhor desinfetante, mais especificamente o comprimento de onda entre 255 e 265 nm (Metcalf & Eddy, 2016). Em função desse parâmetro ótimo de operação foram idealizadas três tipos de lâmpadas para desinfecção, nomeadamente: baixa pressão e baixa intensidade, baixa pressão e alta intensidade e média pressão e alta intensidade (Metcalf & Eddy, 2016). É fundamental ressaltar que o consumo energético dos tipos de

alta intensidade é elevado e deve ser levado em consideração no dimensionamento. Metcalf & Eddy (2016) apontam a lâmpada de baixa pressão e baixa intensidade como sendo a mais eficaz, haja vista que 30 a 50% da energia consumida é convertida em radiação UV com comprimento de onda de 254 nm, valor esse próximo ao comprimento ótimo.

Em sistemas de reuso a desinfecção por radiação ultravioleta tem a sua dosagem recomendada alterada dependendo do tipo de tratamento, sendo de 50 mJ/cm² para sistemas efluentes de osmose reversa, 80 mJ/cm² para sistemas de micro, ultra e nanofiltração e 100 mJ/cm² para efluentes de filtros granulares ou equivalentes (NWRI, 2012). Essa distinção dá-se em função da concentração de vírus após os tratamentos mencionados e a necessidade de inativação dos mesmos na desinfecção (Metcalf & Eddy, 2016).

O tratamento por radiação ionizante não é tão utilizado em estações de grande porte e estações comerciais (Metcalf & Eddy, 2016). Ainda segundo os autores, a desinfecção por radiação ionizante utiliza nêutros, radiação gama e X, além de partículas alfa e beta para realizar o tratamento de água e efluentes.

Por fim, a desinfecção por processos mecânicos ocorre ao longo do processo de tratamento por processos de sedimentação e filtração, que ocorrem noutras etapas de tratamento de uma estação, contudo, destaca-se o uso de micro e ultrafiltração para remoção de microrganismos patogênicos em estações de reuso (Metcalf & Eddy, 2016).

Em adição aos processos mencionados, a pasteurização é um procedimento de baixo custo em comparação aos demais processos de desinfecção (Metcalf & Eddy, 2016). A pasteurização consiste no aquecimento do afluente por um determinado período de tempo de forma a eliminar os microrganismos. Este método de tratamento pode ser aplicado de três modos, nomeadamente: em batelada, altas temperaturas e baixos tempos de contenção (ATBT) e ultra alta temperatura (UAT) (Metcalf & Eddy, 2016). Os autores ainda ressaltam que, o tratamento por batelata tende a ser utilizado em estações de pequenas dimensões devido aos volumes requeridos e o sistema UAT é empregado em casos específicos, desse modo, o sistema ATBT é o mais aplicado de entre os sistemas de pasteurização.

O procedimento consiste no pré aquecimento do afluente utilizando do efluente desinfetado e aquecido por meio de tubulações que permitem a passagem de calor, mas

não de contato direto entre os líquidos. Em seguida, o afluente pré aquecido é direcionado para a câmara de pasteurização em que sua temperatura é elevada por meio de gases ou fluídos, perdurando na câmara por um tempo definido (Metcalf & Eddy, 2016). O tempo em questão é alterado em função do tipo de sistema de pasteurização, para sistemas em batelada o valor entre 30 e 35 minutos, enquanto para ATBT está entre 8 a 30 segundos e em sistemas UAT a sua detenção é menor que 5 segundos (Metcalf & Eddy, 2016).

3. METODOLOGIA

Esta dissertação foca-se na primeira fase do desenvolvimento de um projeto de reutilização (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019), que tem por objetivo estudar o potencial de reutilização de água, comparando o potencial de produção de ApR com a análise dos possíveis usos. Assim, o presente capítulo da metodologia da dissertação foi organizado em duas secções. Na primeira apresenta-se a metodologia adotada para a recolha, confirmação, aceitação e rejeição de dados, posteriormente agrupados e analisados como indicadores. Na segunda secção identifica-se a área de estudo e o modo como os resultados foram agrupados em mapas, com o objetivo de facilitar a compreensão da informação gerada.

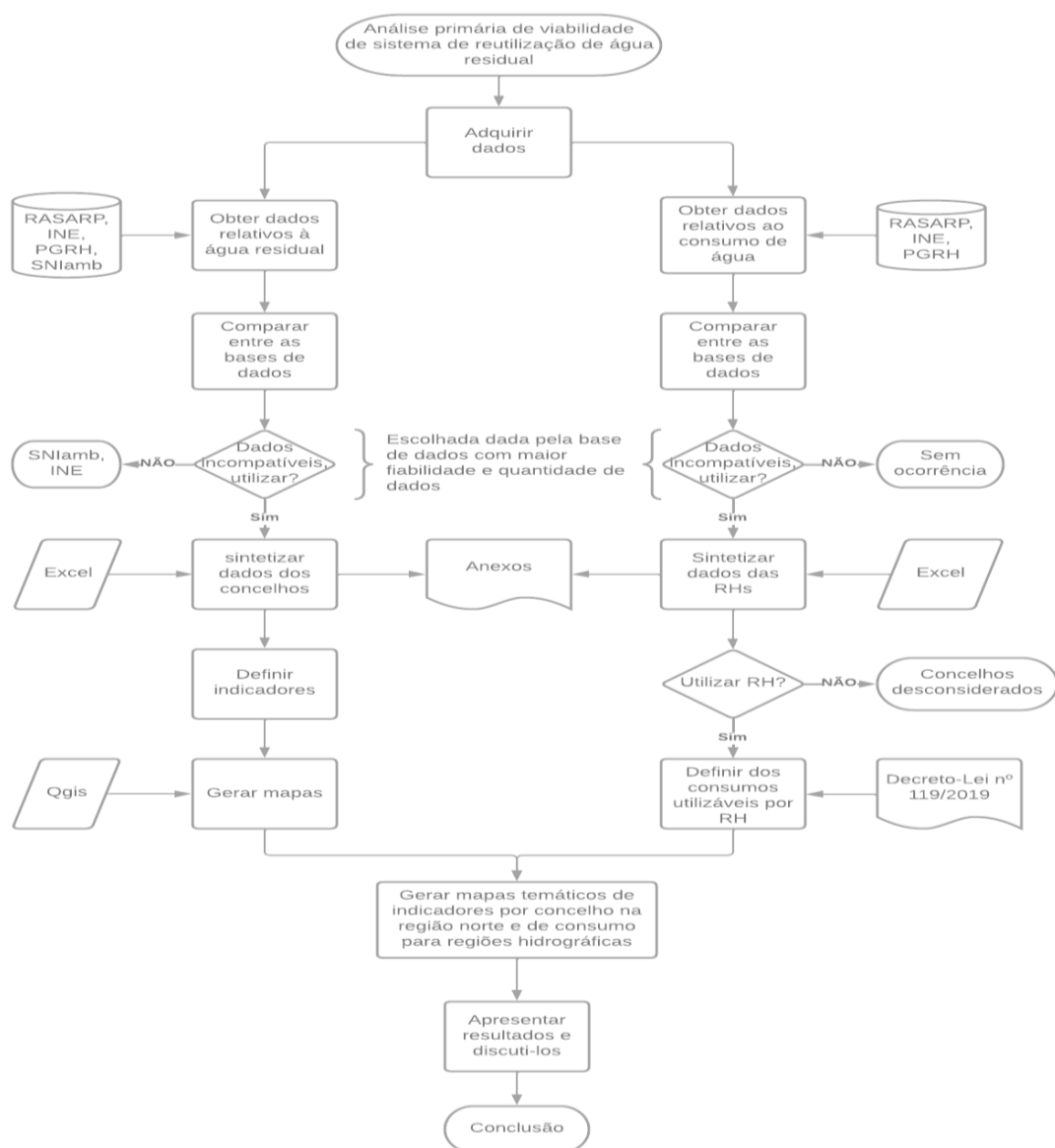


Figura 9: Fluxograma da metodologia das tomadas de decisões.
Fonte: Autor (2022).

O fluxograma presente na figura 9 busca resumir a metodologia adotada no trabalho e torná-la mais ilustrativa. Assim, com o objetivo de efetuar uma análise inicial da viabilidade de sistemas de ApR na região norte de Portugal, foi necessário desenvolver duas grandes tarefas:

- 1ª tarefa: aquisição de dados relativos à oferta e procura
- 2ª tarefa: gerar mapas temáticos de indicadores por concelho e de consumo por região hidrográfica

O presente trabalho centrou-se na região norte de Portugal, abrangida por 86 concelhos. No entanto foram desconsiderados 3 concelhos para consumo de água, haja vista que fazem parte da RH4 (Vouga, Mondego e Lis) que não foi considerada, uma vez que grande parte desta região se encontra fora da região norte. Por sua vez, a RH3 (Douro) possui zonas que não são da região norte, contudo, a maior parte de sua extensão territorial está contida na região norte, desse modo, foi considerada na íntegra para o presente trabalho, visto que não era possível separar os dados. A Figura 10 destaca as 3 Regiões Hidrográficas abordadas neste trabalho: RH1 (Minho e Lima), RH2 (Ave, Cávado e Leça) e RH3 (Douro).

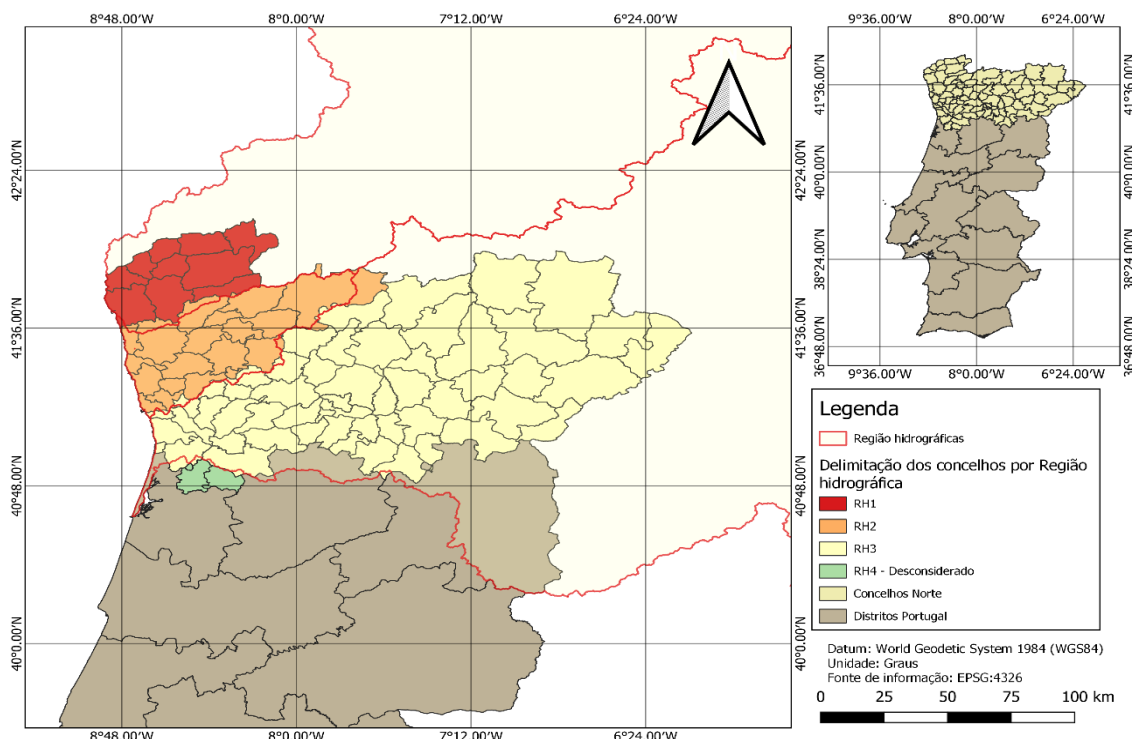


Figura 10 - Mapa de delimitação dos concelhos por Região Hidrográfica

Fonte: Autor (2022).

3.1. Método de análise e obtenção de dados

3.1.1. Métodos de análise de obtenção de dados relativos à águas residuais

Com o intuito de avaliar o potencial da reutilização de água residual na região norte de Portugal analisaram-se os dados do relatório de indicadores referentes ao ano de 2019 realizado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) que podem ser encontrados no Relatório Anual de Serviços de Águas e Resíduos (RASARP) ou em planilha excel no site da entidade. Os dados obtidos pelas ERSAR são fornecidos pelas diferentes entidades gestoras de serviços em baixa e em alta, sendo a ERSAR responsável por obter os dados, conferi-los e sintetizá-los em indicadores.

A ERSAR (2022) categoriza os serviços de águas residuais em baixa e em alta, cuja distinção está nas atribuições. As entidades em baixa são responsáveis pela drenagem da água residual e encaminhamento para as entidades em alta, que são geralmente responsáveis pelo tratamento. Por vezes, as próprias entidades em baixa tratam as suas águas residuais quando possuem ETAR próprias, podendo existir serviços em alta que as entidades por vezes possuem redes de drenagem de águas residuais próprias.

Além disto, a ERSAR (2022) também acrescenta que Portugal possui um elevado número de sistemas o que acarreta na dificuldade de gestão económica e técnica dos sistemas, o que se nota pela falta de informação acerca de quais entidades exportam águas residuais e quais entidades importam esse recurso. Desta forma, pode afirmar-se que a forma como o sistema de serviços de águas residuais se organiza pode ser um pouco complexo e não uniforme no território português.

Para além da ERSAR, outras fontes de dados se tornam notórias para o trabalho em questão, nomeadamente: o Sistema Nacional de Informação de Ambiente (SNIAmb), o Instituto Nacional de Estatística (INE) e os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) para as regiões hidrográficas 1, 2 e 3. O SNIAmb disponibiliza dados referentes a qualidade da água residual, bem como a identificação do nível de tratamento. O INE disponibiliza dados dos censos. Por fim, os PGRH referem aos dados de consumo de água e permitem identificar quais os municípios pertencentes a cada região hidrográfica.

Com a finalidade de tornar a dissertação mais fiável, houve a comparação entre os dados da ERSAR e SNIAmb para o parâmetro relativo a quantidade de ETAR. Em função dessa comparação houve a desconsideração dos dados provenientes da SNIAmb

para as análises contidas nessa dissertação devido a falta de compatibilidade. Preferiu-se utilizar a ERSAR devido essa possuir mais dados que permitiriam uma melhor análise para o ano em questão, contudo, os dados adquiridos pela SNIAmb constam no anexo A, juntamente com os provenientes dos PGRH e ERSAR.

Assim, o presente trabalho utilizou os dados referentes aos serviços em baixa e em alta com o intuito de melhor caracterizar a realidade dos diferentes concelhos. Para além do RASAR, foram igualmente consultados os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) das regiões hidrográficas Minho e Lima (RH1), Cávado, Ave e Leça (RH2) e Douro (RH3). Os dados para os serviços em alta foram apresentados em função de suas entidades gestoras, diferentemente dos serviços em baixa que foram apresentados por concelhos. Foram utilizados alguns parâmetros de avaliação apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de avaliação utilizados

Parâmetros	Definição	Unidade
População equivalente de dimensionamento das ETAR	Estimativa de carga de CBO ₅ diária, sendo igual a 60 g de oxigénio, essa medida é feita utilizando a média	Habitantes (hab)
População equivalente com algum tipo de tratamento	semanal cujo maior valor fora detetado em um período de um ano	
População equivalente com tratamento satisfatório		
Número de alojamentos com serviço efetivo	Conjunto de alojamentos que estão contemplados pelo sistema de drenagem de águas residuais pela sua entidade gestora.	und
Número de estações de tratamento por concelho	Número de estações existentes num dado concelho, e distinguem-se em função da	
Número de estações de tratamento com licença de descarga válida	licença de descarga, haja vista que nem todas as instalações de tratamento têm licença válida	
Índice de conhecimento de infraestrutura	Medida de entendimento das entidades gestoras sobre as suas estruturas de tratamento de águas residuais. Somatório das diferentes classes envolvidas no tratamento de água residual, sendo essas	0 - 200

	classes um conjunto de variáveis analisadas em consonância pela ERSAR	
Número de alojamentos com serviço efetivo	Quantidade de locais em que as entidades gestoras prestam serviço de saneamento. Essa variável não se deve confundir com o número total de alojamentos no concelho uma vez que não representa o número total de alojamentos na localidade, somente aquelas servidas pelas entidades.	und
Caudal coletado no ano	Medir toda a água residual coletada pela entidade gestora	m ³ /ano
Caudal tratado no ano	Todo o caudal tratado pela entidade	

Fonte: Autor (2022)

É notório que para além da visualização em CBO é possível fazer tal equivalência em SST, NTK e fósforo total. Para esse trabalho, essas estimativas foram para o dimensionamento das ETAR internas aos municípios e entidades, para a quantidade de pessoas com algum tipo de tratamento e com tratamento satisfatório. O tratamento satisfatório é garantido quando a estação contempla os requisitos presentes no Decreto-Lei nº 236/1998 de 1 agosto (DRE, 1998) e Decreto-Lei nº 152/1997 de 19 de junho (DRE, 1997).

A variável número de alojamentos com serviço efetivo não se deve confundir com o número total de alojamentos no concelho uma vez que não representa o número total de alojamentos na localidade, somente aquelas servidas pelas entidades.

Em função dos dados obtidos pela ERSAR foi possível acrescentar mais indicadores com o objetivo de analisar a potencialidade da região, desse modo, três parâmetros foram calculados: a percentagem de utilização das ETAR, a percentagem de água residual tratada e a percentagem de ETAR com licença válida.

O primeiro foi calculado pela relação entre a população equivalente com tratamento satisfatório e a população equivalente de dimensionamento das ETAR segundo a equação 2:

$$Ut. ETARs = \frac{Pop. eqv. trat. Sat.}{Pop. eqv. dime.} * 100 \quad (2)$$

Ut. ETARs = Utilização das estações de tratamento (%);

Pop. Eqv. Trat. Sat = População equivalente com tratamento satisfatório;

Pop. Eqv. Dime. = População equivalente para dimensionamento.

A percentagem de tratamento foi calculada por meio da relação entre a quantidade de caudal tratado pela quantidade de caudal coletado, dessa forma, podendo visualizar de forma mais clara a quantidade de água residual que ainda pode ser utilizada se houver tratamento, esse parâmetro seguiu a equação 3:

$$Trat. realizado = \frac{Cau. trat. \frac{m^3}{ano}}{Cau. colet. \frac{m^3}{ano}} * 100 \quad (3)$$

Trat. realizado = Quantidade de caudal realizado diante do coletado (%);

Cau. Trat. = Caudal tratado por um entidade gestora num concelho (m³/ano)

Cau. Colet. = Caudal coletado por um entidade gestora num concelho (m³/ano)

Ao que se refere a percentagem de estações com licença válida, ela é igual à relação entre a quantidade de estações que possuem tal licença e o número total de estações para um dado concelho. A equação 4 ilustra tal parâmetro:

$$\% ETARs L. = \frac{n^{\circ} ETARs L.}{n^{\circ} ETARs tot.} * 100 \quad (4)$$

% ETARs L. = Quantidade ETAR com licença de descarga válida (%);

Nº ETARs L. = Número de ETAR com licença de descarga válida num concelho (un.)

Nº ETARs tot. = Número de ETAR total num concelho (un.)

De modo a compatibilizar os dados também foram averiguadas as regiões hidrográficas dos concelhos, assim sendo, cada concelho foi enquadrado em uma RH de acordo com o PGRH. Concelhos que encontravam-se em mais de uma RH foram analisados caso a caso por meio de visualização de mapas e alocados na RH em que a maior parte do território estava contida.

3.1.2. Métodos de análise de obtenção de dados relativos ao consumo de água

Os consumos identificados nos PGRH são subdivididos em cinco categorias, nomeadamente: urbano, industrial, turismo, agrícola e energia. Para o presente trabalho os usos urbanos e energéticos foram desconsiderados uma vez que o primeiro necessita que não haja contato direto humano (DRE, 2019) e não é possível garantir tal

requisito mediante os dados obtidos haja vista que sua definição não é clara. Em relação ao uso energético, não é intenção deste trabalho tratar quanto a fins hidroelétricos.

Ainda tratando dessas divisões, os usos industrial, o turismo e o agrícola dividem-se em dois subgrupos cada qual, sendo eles, respectivamente: prevenção e controlo integrados de poluição (PCIP), não PCIP, golfe, hotelaria, agricultura e pecuária. Dentre essas repartições somente a hotelaria foi descartada devido à sua definição que permite o consumo para gastronomia o que não é permitido caso se deseje substituir tal consumo com ApR.

Desse modo o presente trabalho levou em consideração os consumos relativos a indústria PCIP e não PCIP, do golfe, da agricultura e da pecuária, em todos os casos foi averiguado o consumo superficial e subterrâneo, os valores para fins de cálculos nesse trabalho foram o somatório dessas duas captações. O Decreto-Lei nº 119/2019 define usos que são permitidos para ApR e em função dessas delimitações os dados de consumo foram analisados de maneira a excluir aqueles que não se enquadravam.

No que diz respeito a indústria PCIP e não PCIP a restrição era que a produção não poderia ser alimentar, assim sendo, utilizou-se da estimativa presente no trabalho de Silva *et al.* (2002) que define como a maior parte do consumo de água na indústria portuguesa a indústria transformadora e enquadra a alimentar como representando 24% desse total. Em virtude disto houve a simplificação do escopo de indústrias, assumindo que todo o consumo seria proveniente de indústrias transformadoras, toda a região norte sendo homogéna e que somente 76% do valor obtido pelos PGRH seria considerado para efeitos de cálculos.

Não houve quaisquer reduções de quantidade de consumo nas subssecções relativas ao golfe e à agricultura, sendo essas penalizadas somente quanto à qualidade da água residual como expresso no Decreto-Lei nº 119/2019 em seu anexo I.

Por sua vez, o consumo de água pela pecuária requisiu de cálculos para definição do seu parâmetro, uma vez que a pecuária suína não pode ser utilizada com fins de ApR (DRE, 2019). Desse modo, utilizou-se dos dados obtidos pelo Instituto nacional de estatística (INE) em seu Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas (INE, 2017) para separação dos tipos de pecuária. A separação foi feita mediante o número de cabeças de bovinos, suínos, caprinos e ovinos, desse modo a percentagem relativa

aos suínos (7%) foi reduzida do total. O valor utilizado para a pecuária foi 93% e não conta com utilização de espécie suína.

Os dados utilizados pelo inquérito foram para a região norte e considerou-se que a distribuição das explorações agrícolas era homogénea no território para todos os tipos de pecuária em questão, bem como o consumo de água igual para todas as espécies. Essa simplificação ocorreu devido à falta de dados mais detalhados, havendo somente dados acerca da região norte e não dos concelhos que a compoem.

3.2. Identificação da área de estudo e método de geração de mapas

3.2.1. Identificação da área de estudo

Como forma de analisar a potencialidade da reutilização de água residual na região norte de Portugal, foi necessário averiguar as cidades que compõe tal região, dessa forma, foram analisados 8 distritos: Aveiro, Braga, Bragança, Guarda, Porto, Viana do Castelo, Vila Real e Viseu, contudo, os distritos de Aveiro, Guarda e Viseu tiveram sua participação incompleta, haja vista que somente parte dos seus territórios são considerados como pertencentes à região norte, totalizando uma área de 21 285,86 km² (INE, 2018). Em função da divisão geográfica nacional, o presente trabalho contempla 86 concelhos apresentados na figura 11, bem como as divisões dos concelhos, Portugal continental e as regiões hidrográficas presentes na região, sendo a região hidrográfica do Minho e Lima (RH1) a mais ao norte, seguida das regiões hidrográficas do Cávado, Ave e Leça (RH2) e do Douro (RH3), respectivamente mais a sul da RH1.

A grande maioria dos concelhos enquadraram-se nessas regiões, com exceção de Oliveira de Azeméis, São João da Madeira e Vale de Cambra que se encontram na RH4 e não foram considerados para os cálculos dos consumos de água referidos na subsecção 3.1.2. Por sua vez, a RH3 possui concelhos que não pertencem à região norte, ou seja, o valor utilizado para o consumo da região hidrográfica é inferior à utilizada no trabalho. Esta simplificação deve-se ao facto de não haver modo de dissociar os dados da RH3 por concelho ou distrito, mas só ser possível identificar o seu valor total.

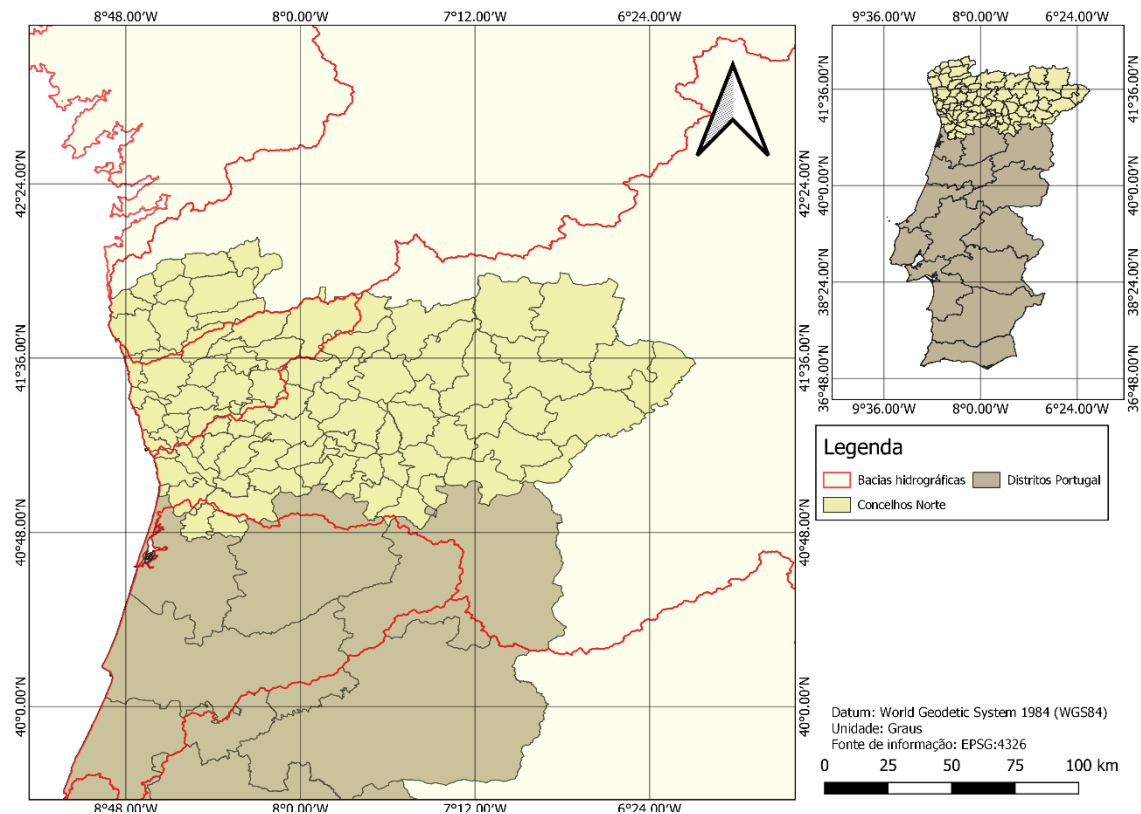


Figura 11: Mapa de localização da área de estudo - Região Norte.

Fonte: Autor (2021).

Segundo a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional Norte (CCDR-N, 2020), a região é dividida em oito subdivisões intermunicipais, que contemplam o nível III da nomenclatura de unidades territoriais para fins estatísticos (NUTS III). Perante essas comunidades intermunicipais é possível analisar sua densidade populacional segundo a figura 12.

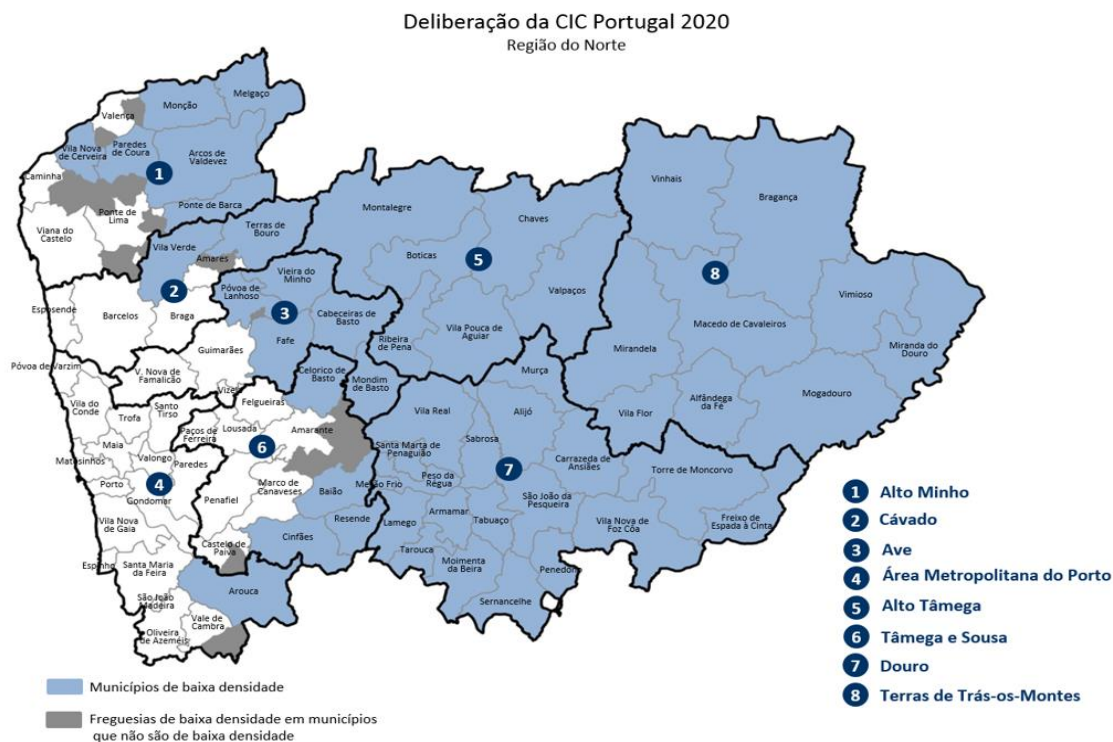


Figura 12: Densidade populacional das comunidades intermunicipais da região norte.
Fonte: CCDR-N (2020).

3.2.2. Método de elaboração dos mapas

A elaboração dos mapas foi possível recorrendo ao *software* Qgis Desktop versão 3.16.8. Os *shapefiles* para elaboração dos mapas foram obtidos por meio do banco de dados do *Global Administrative Areas* (GADM) que fornece dados geográficos acerca de vários países. Os *shapefiles* obtidos contemplam três escalas usadas no trabalho, a divisão de Portugal como país, como distritos e como concelhos, todas as camadas mencionadas utilizam o sistema de coordenadas EPSG:4326 - WGS 84.

Os dados obtidos foram sintetizados em Excel e derivado deles foram calculados os demais parâmetros de análise, em seguida os dados foram anexados nas janelas de atributos dos *shapefiles* do Qgis. Dentro do programa foi possível utilizar das simbologias pré definidas para gerar padrões de cores graduados para cada parâmetro e, assim, produzir mapas temáticos.

Vale ressaltar que, para gerar os mapas graduados, houve a necessidade de manter todos os dados em valores numéricos, ou seja, em distritos que não havia dados por falta de resposta, ou por não se aplicarem ou por não estarem disponíveis foram

inseridos valores numéricos negativos e alteradas as legendas finais do Qgis, para manter a visualização do trabalho mais fácil.

Essas três categorias são utilizadas em função dos dados obtidos pela ERSAR, sendo o “Não respondeu” referente a entidade gestoras que não forneceram os dados por falta de resposta a entidade reguladora, sendo representado pelo “-3”, enquanto que o “Não aplicável” define-se por ser um dado que não é empregado naquele concelho, seja por falta de coleta de águas residuais ou ausência de ETARs, utilizou-se o valor “-2”. Por fim, o “Não disponível” refere-se aos dados que por algum outro motivo não foram fornecidos a ERSAR e desse modo não constam em seus indicadores, utilizou-se do “-1”.

O método utilizado para graduação dos mapas não foi linear para a definição das classes, optou-se por utilizar a quebra natural ou *Jenks*. Esta escolha deve-se ao facto de que o método torna a distribuição de cores no mapa mais clara, uma vez que usa um algoritmo que efetua iterações para maximizar a diferença entre as classes, separando assim as quebras nos dados. Essas quebras ocorrem quando os dados não são homogêneos e requeririam um maior número de classes para que o mapa se tornasse mais informativo.

O presente trabalho utilizou as quebras naturais, seguidas de uma modificação nas suas classes, justificando-se essa alteração em detrimento da conjugação das classes negativas com as classes positivas. Essa conjugação ocorria devido a classes com valores próximos de zero em alguns mapas, desse modo o método foi aplicado e posteriormente os valores negativos foram retirados manualmente. Em seguida foram acrescentados novamente à graduação no mapa de forma manual e divididos entre “Não respondeu”, “Não aplicável” e “não disponível” como explanado acima.

Para mapas de identificação de localidades relativos às regiões hidrográficas não foi utilizado o método de graduação, mas sim o método de categorização simples, em que o mapa adquiria coloração em função dos componentes escritos. Desse modo, as suas colorações ficaram em função das regiões hidrográficas e por suas entidades gestoras em alta por concelho.

No que se refere a Guimarães e Vizela, foi necessário que os dados fossem utilizados iguais para os municípios haja vista que ambas pertencem à entidade gestora Vimágua e essa não disponibiliza os dados individualizados dos seus concelhos. Assim,

para o presente trabalho e para os mapas que decorrem dos dados obtidos pela ERSAR, Guimarães e Vizela sempre possuirão os mesmos valores e, conseqüentemente as mesmas colorações. A mesma situação ocorre para a entidade Águas do Norte que contempla oito entidades gestoras, nomeadamente: Amarante, Arouca, Baião, Celourico de Basto, Cinfães, Fafe, Santo Tirso e Trofa. Para além de terem as mesmas colorações nos mapas os mesmos serão tratados pelo nome da entidade gestora para as tabelas presentes nos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo apresentam-se os resultados, e respetiva discussão, relativos ao potencial de reutilização de água, comparando o potencial de produção de ApR com a análise dos possíveis usos. Na secção 4.1 apresentam-se os resultados relativos à disponibilidade de água residual na região norte de Portugal. Optou-se por apresentar separadamente os resultados da disponibilidade de água residual dos serviços em baixa (subsecção 4.1.1) e em alta (subsecção 4.1.2), fazendo refletir assim nos resultados a dificuldade de lidar com diferentes tipos de entidades gestoras quando se pretende caracterizar o panorama da drenagem e tratamento de águas residuais em Portugal. Na secção 4.2 apresentam-se os resultados relativos aos potenciais usos de ApR na região norte de Portugal, enquanto que na secção 4.3 se analisa criticamente a relação entre a oferta e procura de ApR.

4.1. Resultados da disponibilidade de água residual

4.1.1. Disponibilidade de água residual dos serviços em baixa

A figura 13 apresenta o número de alojamentos por concelho com serviço efetivo de drenagem e tratamento de águas residuais. A figura 14 apresenta os caudais anuais de água residual produzida e drenada por concelhos. Diante dos dados obtidos é possível vislumbrar que regiões mais densamente urbanizadas possuem uma maior produção de água residual anual, essa afirmação dá-se em função da semelhança entre a figura 12 e a figura 14 e que também pode ser vislumbrada ao analisar o número de alojamentos com serviço efetivo na figura 13. As exceções a essa regra são Chaves, Vila Real e Bragança que estão em zonas de baixa densidade populacional e possuem um caudal anual mediano. Sendo Penedono o concelho com menor caudal coletado anual, contando com um valor igual a $143767,8 \text{ m}^3/\text{ano}$.

A região metropolitana do Porto possui quatro das sete maiores geradoras de águas residuais da região norte, contando com Porto, Vila Nova de Gaia, Matosinhos e Valongo, ocupando primeiro, segundo, quinto e sétimo lugares, respetivamente. Braga, por sua vez, configura a terceira posição com um caudal coletado anual igual a $13723322,3 \text{ m}^3/\text{ano}$ enquanto que o conjunto Águas do Norte compreende do quarto lugar com um valor de $13594554 \text{ m}^3/\text{ano}$, valendo ressaltar que essa entidade gestora

configura um grupo de oito concelhos em baixa e serviço em alta que compreende grande parte da região norte. Enquanto que Vímágua ocupa o sexto lugar com um caudal equivalente à 10889094 m³/ano.

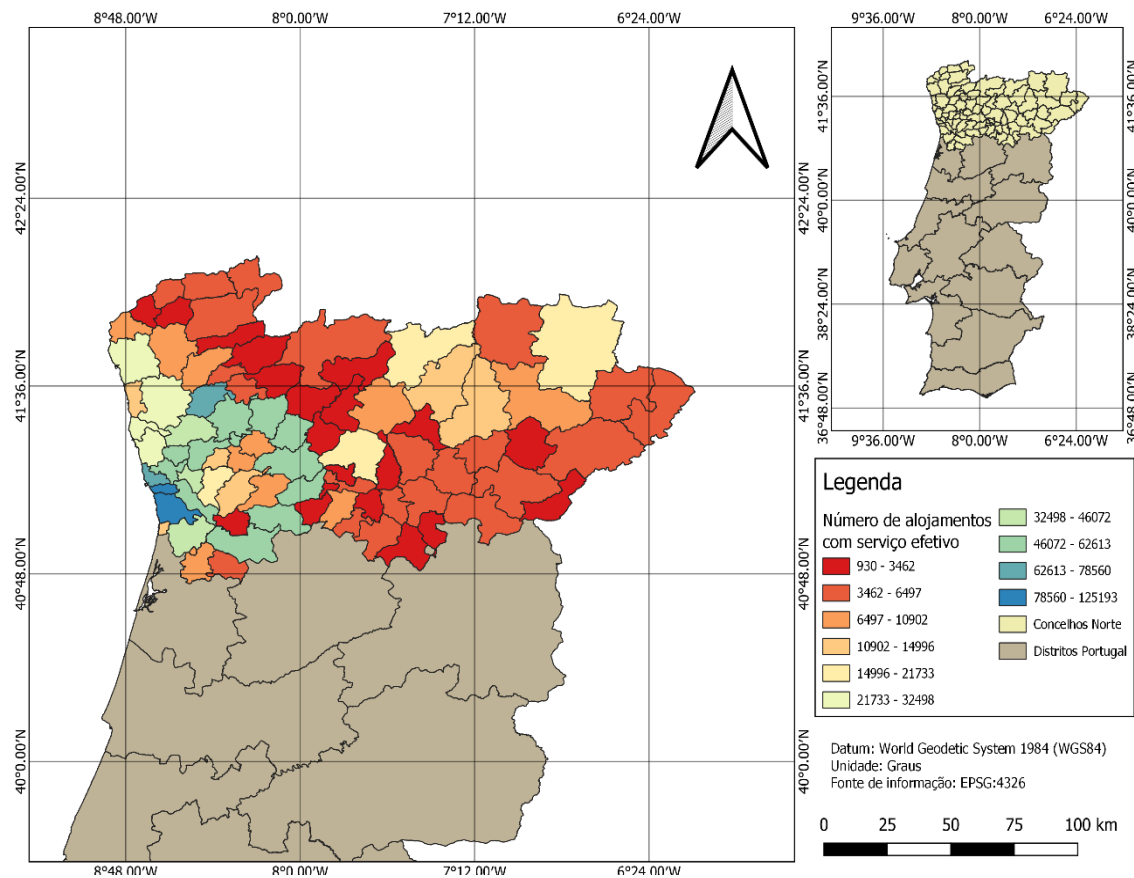


Figura 13: Mapa dos alojamentos com serviço efetivo por concelhos na região norte de Portugal.

Fonte: Autor (2022).

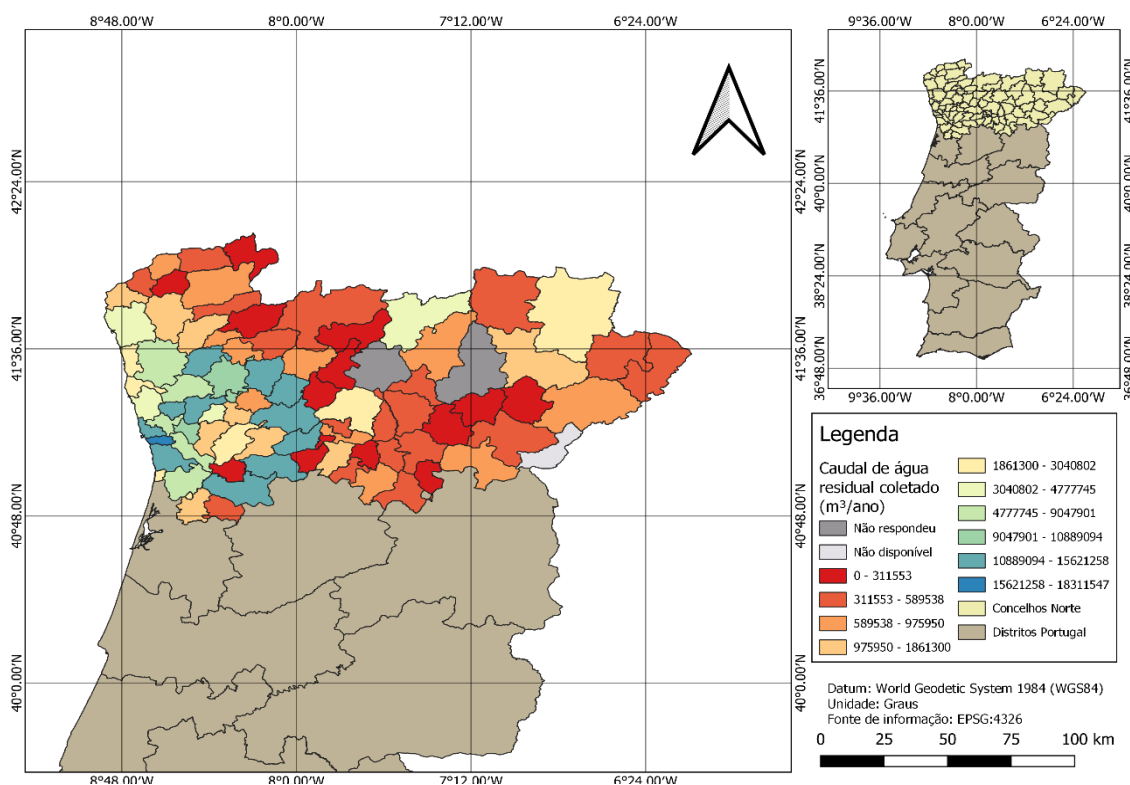


Figura 14: Mapa dos caudais anuais por concelhos na região norte de Portugal em m³/ano.

Fonte: Autor (2022).

Para a variável em questão, 3 concelhos não disponibilizaram dados para ERSAR e, conseqüentemente, não podem ser analisados, são eles: Mirandela, Vila Pouca de Aguiar e Freixo de Espada e Cinta. Desse modo, são considerados os piores resultados para a variável, haja vista que não se é possível perceber a situação do município.

Ao comparar as figuras 13 e 14 é evidente a sua similaridade e que o número de alojamentos está correlacionado com o caudal de água residual coletado. Outro ponto interessante de se ressaltar é a diferença entre os consumos nos concelhos. Ainda que a relação entre essas variáveis seja nítida, também é notório que ela não é linear, ou seja, sempre que uma cresce a outra também aumentará, mas não na mesma proporção, isso deve-se a diferentes hábitos locais na região.

Embora a quantidade de água residual seja um fator preponderante para a reutilização de água residual, a mesma deve ter qualidade para ser reutilizada, dessa maneira, a figura 15 apresenta um mapa com a quantidade de água residual tratada por ETAR, e por concelho das região norte.

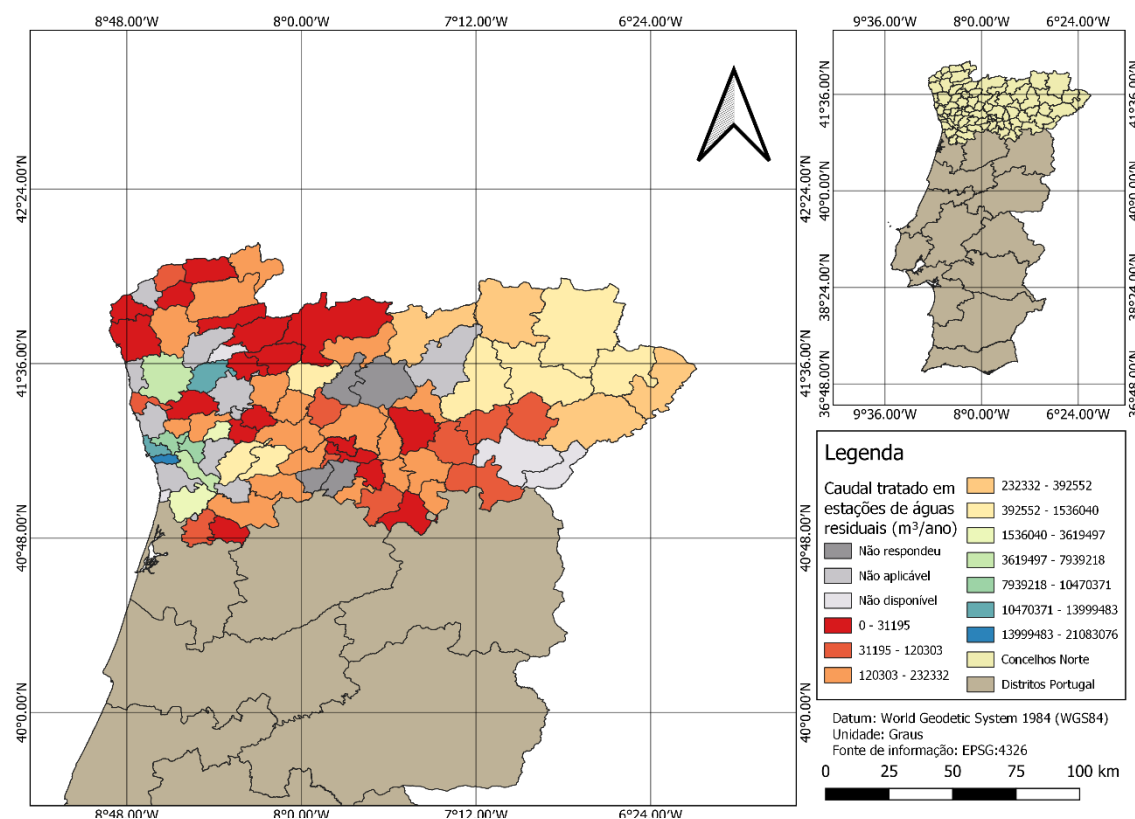


Figura 15: Mapa dos caudais anuais tratados por concelhos na região norte de Portugal em m³/ano.

Fonte: Autor (2022).

Diferentemente do caudal coletado, o caudal tratado apresenta 19 concelhos sem dados que correspondem a aproximadamente 22% do total analisado. Para além da falta de informação que configura uma falta de potencialidade para as localidades, há também regiões sem qualquer tratamento, somente drenagem, nomeadamente: Caminha, Felgueiras, Vieira do Minho, Ponte da Barca e Terras de Bouro para serviços em baixa segundo o RASARP.

Em contrapartida, as cidades com maiores caudais tratados não correspondem completamente com as com maiores caudais coletados, haja vista que Vila Nova de Gaia não possui tratamento de águas residuais em serviço em baixa. Em função disto, Maia que ocupava a oitava cidade com maior coleta de águas residuais ganha destaque como uma das cinco cidades com maior tratamento formando o conjunto: Porto, Matosinhos, Braga, Valongo e Maia, respectivamente do primeiro ao quinto.

Embora os mapas anteriores tenham dado destaque ao mesmo grupo de cidades, a figura 15 apresenta um maior número de cidades com bons desempenhos acerca da relação do quanto é coletado e quanto é tratado. Paços de Ferreira, Marco

Canaveses, Vimioso, Boticas, Braga e Valongo formam um grupo com tratamento de 100%, ou seja, toda a água residual coletada é tratada o que representa um elevado potencial de reutilização dos distritos.

Por sua vez, Porto, Matosinhos, Maia e Penedono ultrapassam os 100% com 115,13%, 109,96%, 108,16% e 103,89%, respectivamente, em outras palavras, as entidades tratam mais água residual que coletam. É possível pressupor que a causa desse fenómeno seja infiltração de águas pluviais e/ou subterrâneas na rede de drenagem de águas residuais, ou que a estimativa de água residual produzida mediante a água de consumo fornecida esteja sujeita a erros em regiões em que não foi possível fazer a medição exata.

Ainda que o facto das entidades tratarem mais água residual do que a que coletam seja um fator interessante a ser estudado e ilustre capacidade de tratamento, deve-se ter cautela haja vista que as estações podem se encontrar sobrecarregadas devido a essas cargas a mais, além de mostrar fragilidade na rede e no planeamento da entidade configurando, assim, um fator problemático para a potencialidade dos concelhos citados.

Não obstante das demais cidades, Barcelos, Miranda do Douro e Cabeceira de Bastos formam um grupo com elevada capacidade de tratamento, mas que não atingiram a totalidade de água coleta para com água tratada, atingindo valores superiores a 96% de tratamento.

Mirandela é um caso à parte na avaliação realizada, uma vez que a primeira possui caudal anual tratado equivalente a 517694,1 m³/ano, mas não possui dados de caudal coletado devido à falta de resposta da entidade gestora.

Para além dos 20 concelhos sem dados suficientes para realizar tal análise, 46 concelhos apresentaram valores abaixo de 50% para a relação tratado/coletado em baixa. Dentre esse escopo, 38 estiveram abaixo de 25% para a mesma relação, desse modo, conclui-se que muito ainda precisa ser melhorado para que as cidades apresentem uma melhor qualidade de vida para população e se tornem mais competitivas no cenário de reutilização de água residual. Assim, nesses municípios não há lugar à reutilização da própria água residual, sem que seja necessário o recurso à exportação/importação entre entidade em baixa e em alta desse recurso.

A figura 16 apresenta um mapa com a quantidade de estações de tratamento de águas residuais na região norte. Os distritos de Bragança e norte de Vila Real destacam-se pela quantidade de estações dentro de seus concelhos, nomeadamente: Mirandela, Macedo de Cavaleiros, Chaves, Vila Pouca de Aguiar, Bragança, Sabrosa, Mirando do Douro, Vinhais, Boticas e Alfândega da Fé são as cidades com maior número de estações, respectivamente.

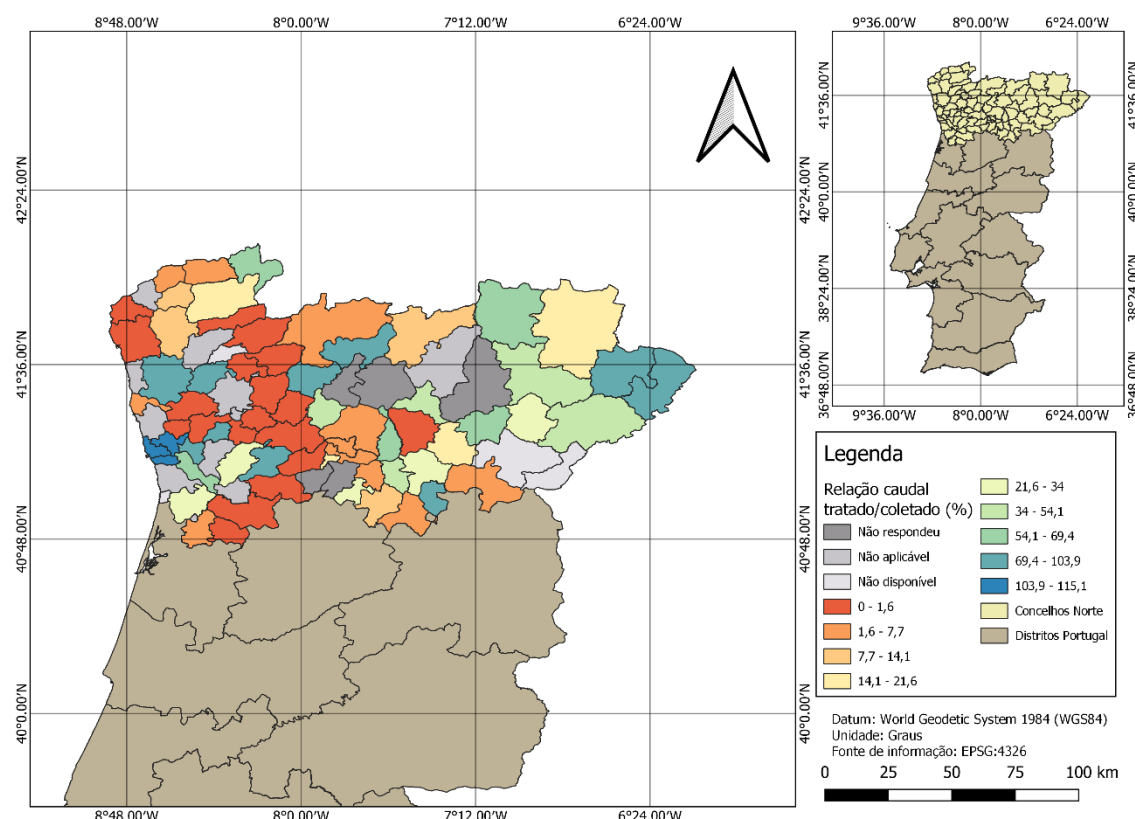


Figura 16: Mapa da relação tratado/coletado por concelhos na região norte de Portugal. Fonte: Autor (2022).

Todavia, é fundamental salientar que não somente a quantidade de estações deve ser analisada, ao observar em conjunto as figuras 15 e 16 (mapa de tratado/coletado, nº de ETAR) nota-se que nenhuma das cidades com maior número de estações se encontra nas 10 melhores cidades em relação à quantidade tratada perante a coletada, sendo Miranda do Douro e Sabrosa os dois concelhos que mais se aproximam das melhores com 98,29 % e 64,97 %. Miranda do Douro possui alto potencial contudo, Sabrosa já tem uma queda considerável que se vislumbra nas demais cidades com elevado número de ETAR.

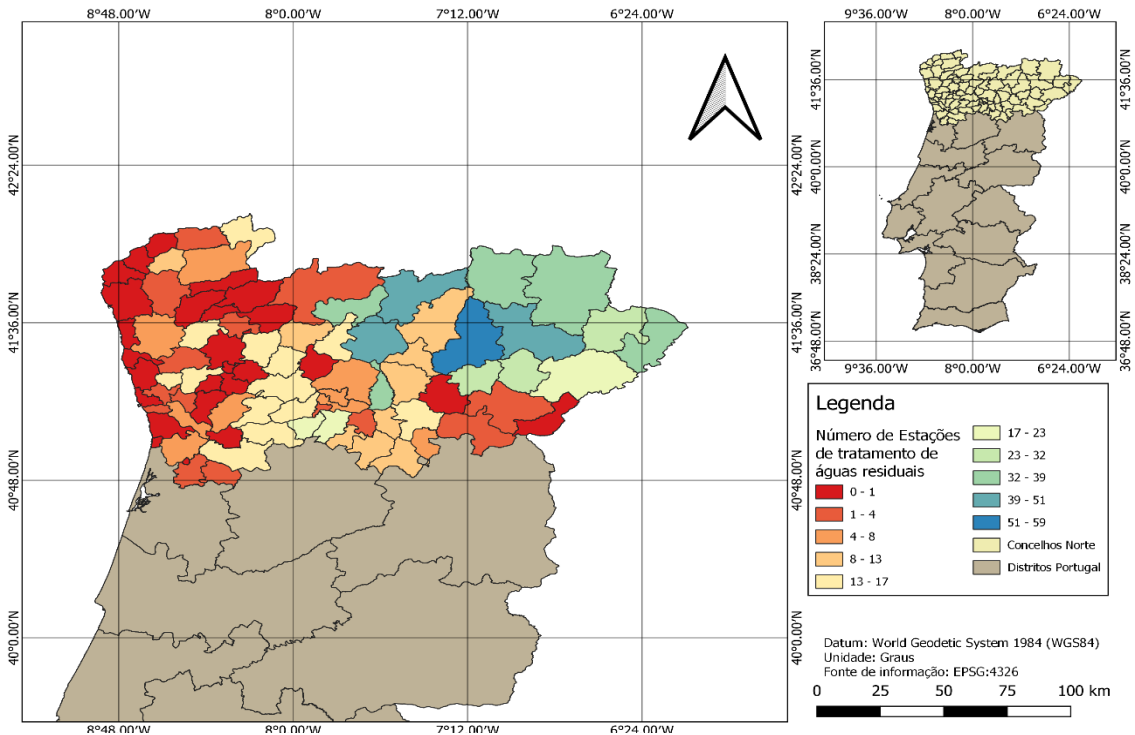


Figura 17: Mapa do número de estações de tratamento de águas residuais na região norte.

Fonte: Autor (2022).

Na tabela 5 foi considerados os 10 concelhos com sistemas menos eficientes em relação entre caudal tratado/coletado que possuem ETAR, bem como os sistemas mais eficientes.

Menor relação			Maior relação		
Concelhos	Número de estações	Relação tratado/coletado	Concelhos	Número de estações	Relação tratado/coletado
Póvoa de Varzim	1	3,15	Paços de Ferreira	1	100
Peso da régua	7	2,87	Maia	3	100
Armamar	4	1,58	Braga	15	100
Águas do norte ¹	16	1,57	Marco de Canaveses	16	100
Vale de Cambra	3	0,86	Vimioso	28	100
Póvoa de Lanhoso	4	0,85	Boticas	33	100
Alijó	10	0,68	Barcelos	8	98,85
Lousada	1	0,35	Miranda do Douro	36	98,29
Vila Nova de Famalicão	3	0,21	Cabeceiras de Bastos	12	96,62
Viana do Castelo	1	0,03	Gondomar	5	69,38

1: A águas do Norte consta como concelho, embora seja uma entidade em baixa que engloba diversos concelhos e consta aqui como representante dos mesmos.

Tabela 5: Melhores e piores casos de sistema de tratamento de águas residuais na região norte.

Dentre os melhores casos existem concelhos com poucas estações que obtiveram ótimas relações entre o tratado e o coletado como é o caso de Paços de Ferreira, Maia e Barcelos, para um sistema de reutilização, uma concentração maior da água residual pode ser interessante a fim de reduzir os gastos com caminhões pipas e aduções, mas essa afirmação pode variar em detrimento de relevo e concentração dos usos dados. Também é importante ressaltar a disparidade que se inicia com Gondomar, dentre as 10 melhores é a que possui a menor taxa de tratamento sendo sua diferença para a imediatamente acima desta uns alarmantes 27,24%.

Ao que se referem os piores casos é evidente que possuem predomínio de sistemas com baixo número de ETAR e que essas não têm tratado a água residual coletada, fator que caracteriza não somente uma fraqueza para ApR, mas também um problema de saúde pública. Para além desses casos, há também um grupo que compreende 18 concelhos sem estações de tratamento de águas residuais que possuem caudais que atingem até 26510352 m³/ano que poderiam estar sendo tratados e reutilizados. Esse grupo é formado por: Castelo de Paiva, Espinho, São João da Madeira, Amares, Esposende, Terras de Bouro, Vieira do Minho, Vila Verde, Freixo de Espada e Cinta, Felgueiras, Paredes, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia, Caminha, Ponte da Barca, Vila Nova de Cerveira, Vizela e Guimarães.

Ademais a quantidade de estações, é importante analisar se elas possuem licença para descarregar seu efluente, desse modo as figuras 18 e 19 apresentam a quantidade de ETAR com licença e a relação quantidade de ETAR com licença válida perante a quantidade total de ETAR no concelho, respectivamente.

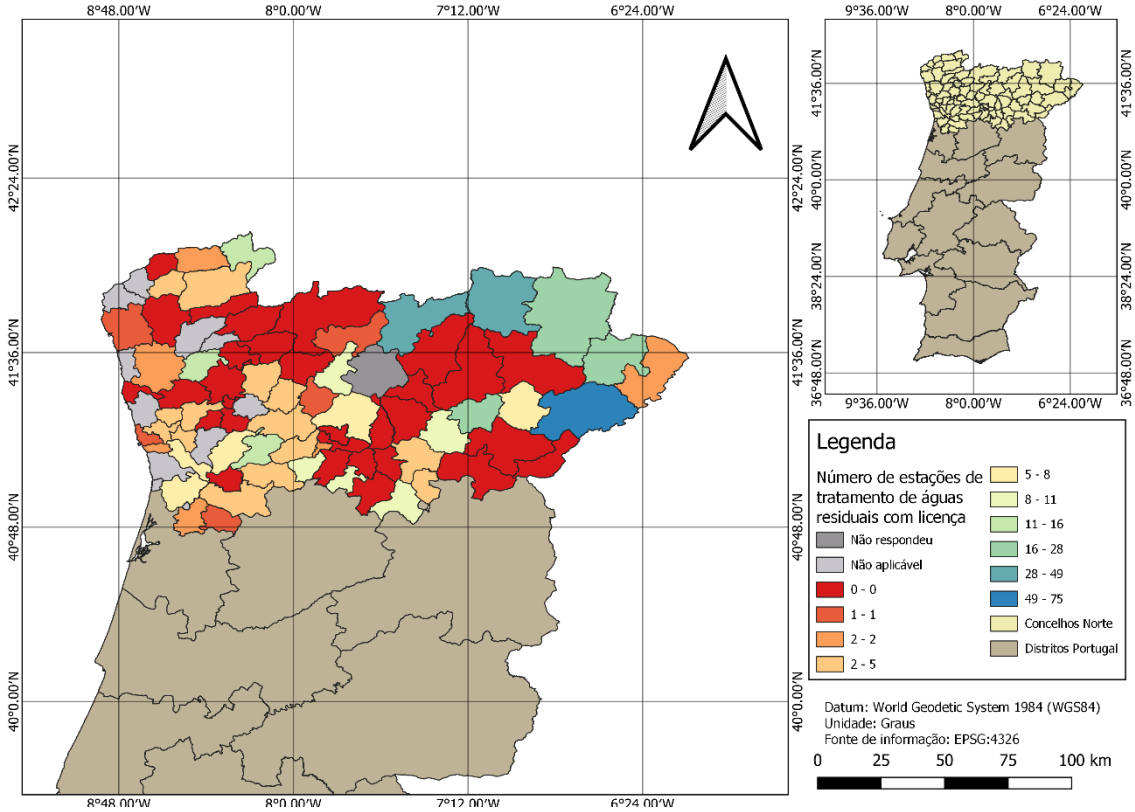


Figura 18: Mapa do número de ETAR com licença válidas por concelho na região norte
Fonte: Autor (2022).

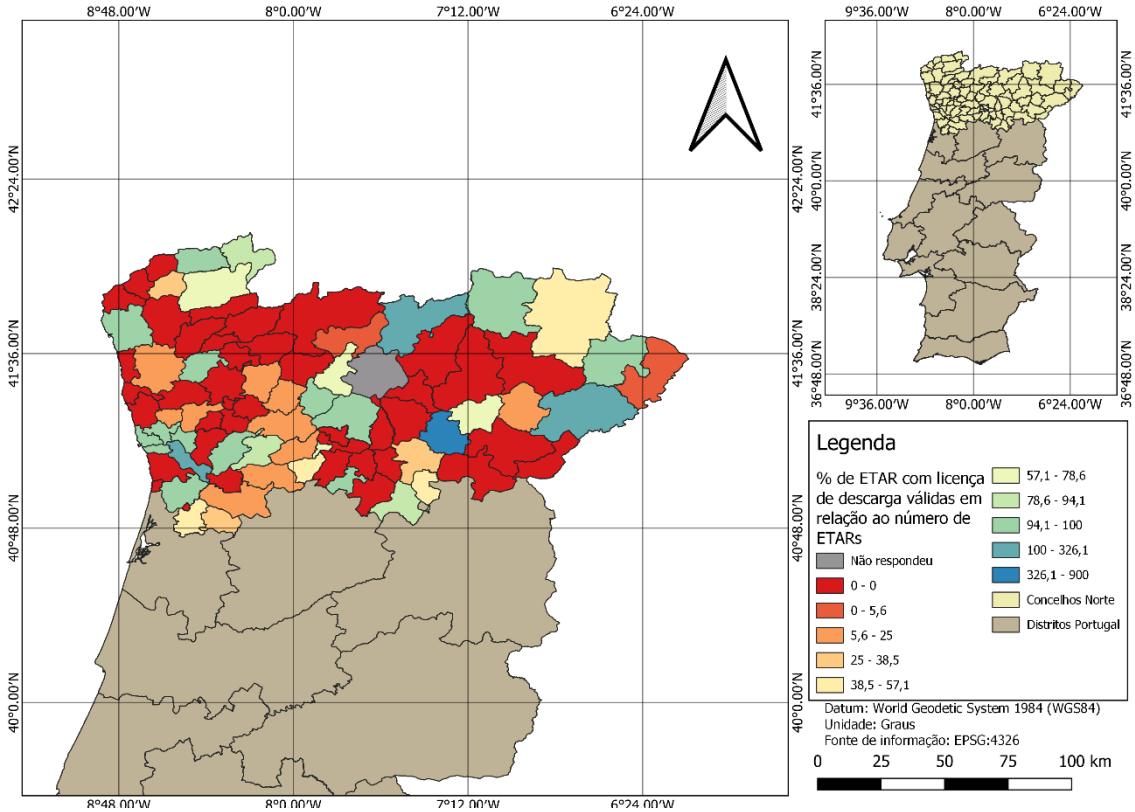


Figura 19: Mapa acerca da percentagem de ETAR com licença válida perante o total de ETAR por concelho na região norte.
Fonte: Autor (2022).

Nota-se que no mapa presente na figura 18 existem concelhos em que são considerados que não se aplicam e isso deve-se ao fato de não possuírem estações de tratamento ou outras instalações de tratamento, desse modo não se aplicam à variável, importante diferenciar das localidades que possuem 0 instalações de tratamento com licença, em que nesse caso existem meios de tratamento no local, mas nenhum possui licença de descarga válida.

Somente um concelho não contribuiu devido a ausência de resposta para a ERSAR, sendo ele Vila Pouca de Aguiar. Somaram-se 18 concelhos em que a análise não foi realizada haja vista que não existem estações de tratamento de águas residuais em seu território, logo não haverá estações licenciadas.

No que tange concelhos com 0% na relação ETAR licenciada/ETAR total, é possível afirmar que 26,74% das cidades não tem licenças, mas operam estações de tratamento. Por sua vez, 19,77% dos concelhos tiveram resultados iguais ou inferiores à 50%, porém superiores à 0%. Enquanto que, para o mesmo parâmetro, somente 5,81% estiveram entre 50% e 75% para a variável em questão.

Valores acima de 75% até os 100% resultaram num montante de 18 cidades que representam 20,93% do total de concelhos investigados. Em função desses dados é notória a falta de licenciamento na região, uma vez que somente 14 concelhos obtiveram 100% de licenciamento correspondendo a 123 ETAR num total de 841 ETAR na região norte.

Por sua vez, 4 concelhos apresentaram resultados acima dos 100%, nomeadamente: Chaves, Gondomar, Mogadouro, Carrazeda de Ansiães. Isso deve-se ao fato do parâmetro de estações com licenciamento contar com outros tipos tratamento de águas residuais que não ETAR como, por exemplo, fossas sépticas coletivas entre outros, desse modo o valor ultrapassa o 100%.

Novamente, Braga, Porto, Matosinhos, Valongo e Maia aparecem entre os concelhos com melhores resultados, configurando cidades com elevado potencial para reutilização de águas residuais na região Norte. Na Tabela 6 estão apresentadas as cidades com piores e melhores resultados perante o parâmetro em questão.

Outro ponto importante em salientar são as distinções que se notam entre os casos presentes na Tabela 6, a queda na quantidade de instalações com licença de

descarga é notória entre Sernancelhe para Mesão Frio, fator que corrobora para a estratificação visualizada na quantidade de água residual coletada perante a tratada.

Tabela 6: Melhores e piores resultados referente à ETAR licenciadas perante o total na região norte.

Piores resultados com pelo menos uma ETAR				Melhores resultados com até 100%			
Concelhos	Nº de ETARs	Nº de instalações com licença válida	Relação ETAR Lin./ETAR total	Concelhos	Nº de ETARs	Nº de instalações com licença válida	Relação ETAR Lin./ETAR total
Lousada	1	0	0	Matosinhos	1	1	100
Paços de Ferreira	1	0	0	Viana do Castelo	1	1	100
Póvoa de Varzim	1	0	0	Mondim de Basto	1	1	100
Valença	1	0	0	Porto	2	2	100
Vila Nova de Foz de Côa	2	0	0	Monção	2	2	100
Ponte de Lima	2	0	0	Maia	3	3	100
Montalegre	2	0	0	Valongo	3	3	100
Vila Nova de Famalicão	3	0	0	Penafiel	7	7	100
Torre de Moncorvo	3	0	0	Vila Real	7	7	100
Póvoa de Lanhoso	4	0	0	Santa Maria da Feira	8	8	100
Armamar	4	0	0	Tarouca	11	11	100
Santa Marta de Penaguião	5	0	0	Braga	15	15	100
Peso da Régua	7	0	0	Vimioso	28	28	100
Alijó	10	0	0	Vinhais	34	34	100
Murça	10	0	0	Melgaço	17	16	94,12
Valpaços	11	0	0	Marco Canaveses	16	15	93,37
Moimenta da Beira	11	0	0	Sernancelhe	11	10	90,91
Cabeceira de Bastos	12	0	0	Ribeira de Pena	14	11	78,57

Tabuaço	13	0	0	Mesão Frio	3	2	66,67
Lamego	21	0	0	Arcos de Valdevez	6	4	66,67
Sabrosa	39	0	0	Vila Flor	29	19	65,52
Macedo de Cavaleiros	51	0	0	Penedono	7	4	57,14
Mirandela	59	0	0	Bragança	39	21	53,85

Ao analisar os dados referentes a população equivalente com tratamento, foi possível perceber que aproximadamente 46,51% dos concelhos não possuíam dados. Dentre esses, 36 (41,86% do total) concelhos encontram-se como “não aplicável”, todavia 20 cidades (23,26% do total) possuem estações de tratamento, logo não há uma razão de estarem enquadradas nessa categoria perante a ERSAR. Os demais 4,65% dos concelhos não possuem dados devido a falta de resposta das entidades gestoras ou pelo dado não estar disponível. Em função dessa baixa quantidade informação o mapa presente na figura 20 está maioritariamente acinzentado.

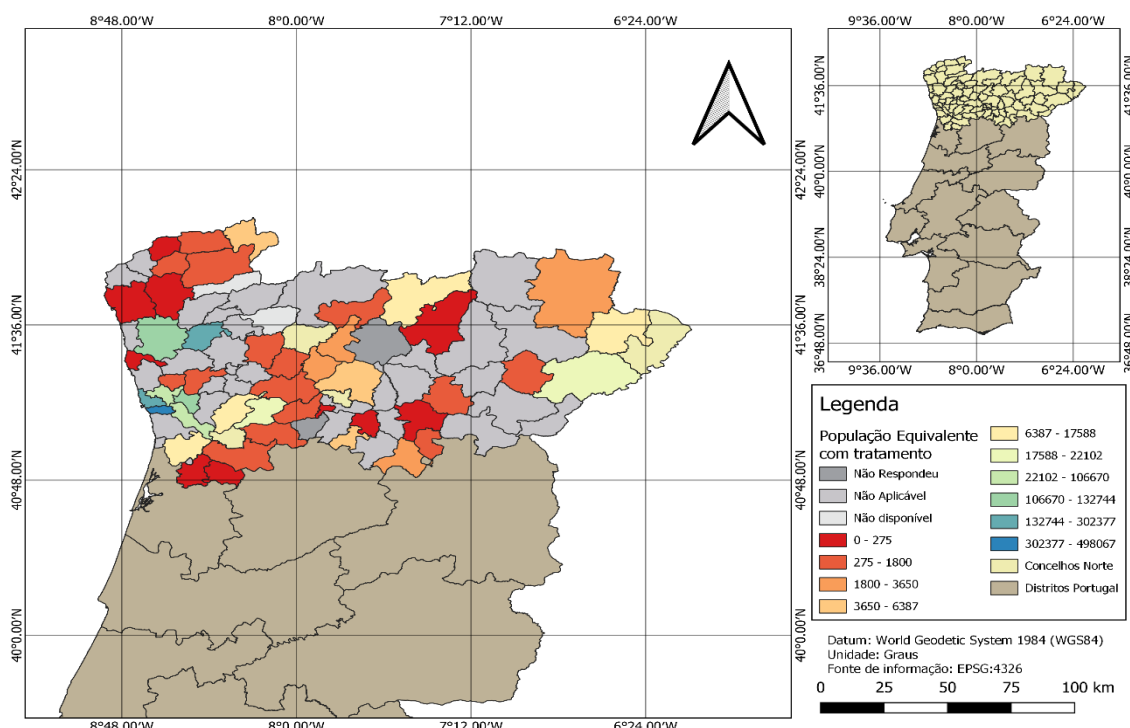


Figura 20: Mapa da população equivalente com tratamento por concelho para a região norte.

Fonte: Autor (2022).

Por sua vez, a Valpaços, Póvoa de Varzim, Ponte de Lima, Armamar e Valença são cidades com estações de tratamento, mas não possuem população equivalente com tratamento. Com exceção de Valpaços, todas as demais cidades possuem caudal tratado

registrado o que torna a fiabilidade desses dados duvidosa ou que a entidades gestoras tenham estimativas erradas de sua carga a montante, desse modo, esse grupo configura o pior para o parâmetro para aqueles que possuem dados.

Não obstante das cidades com ausência de população equivalente com tratamento, há um conjunto de concelhos que possui uma população equivalente com tratamento variando entre 115 e 1800. Esse conjunto não representa um grande potencial para reutilização haja vista que essas população não ultrapassa 250000 m³/ano de caudal tratado.

Por outro lado, os 7 concelhos com maiores resultados para o parâmetro possuem população equivalentes variando entre 102369 e 498067. Esse grupo é formado por: Gondomar, Maia, Valongo, Barcelos, Matosinhos, Braga e Porto em ordem crescente. Nota-se que esse conjunto possui elevada carga afluente e por isso necessitará de tratamento em condições, desse modo a figura 21 apresenta a população equivalente com tratamento satisfatório e que deve ser analisado em conjunto com a figura 22 para que seja percebido o grau de utilização dos sistemas de tratamento municipais.

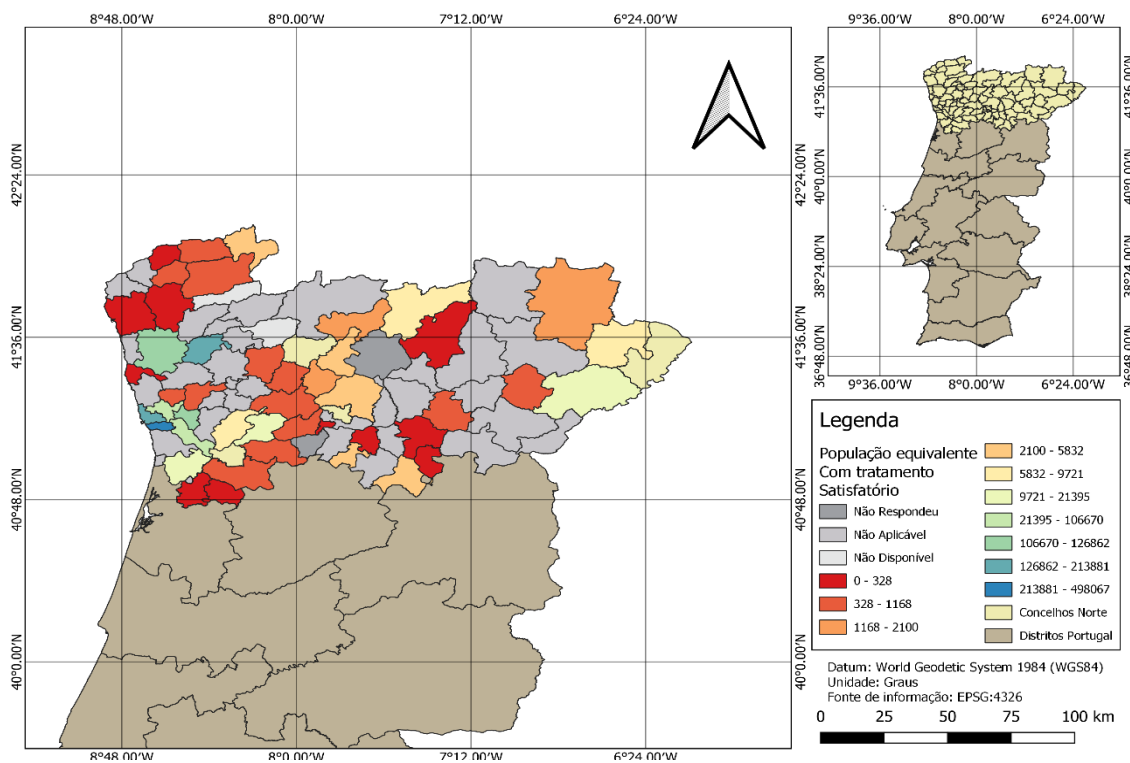


Figura 21: Mapa da população equivalente com tratamento satisfatório por concelho na região norte.

Fonte: Autor (2022).

Não houve grandes diferenças entre os mapas relativos a população equivalente com tratamento e o com tratamento satisfatório, a ausência de dados foi a mesma para ambas as figuras. Essa ausência em aproximadamente metade dos dados é prejudicial para o estudo de viabilidade de sistemas de ApR haja vista que a legislação vigente restringe os usos baseado na qualidade do efluente, desse modo, não havendo valores para serem estudados a reutilização se torna viável por análise quantitativa para grande parte da região até que os mesmos forneçam dados e que esses, por sua vez, se enquadrem nos parâmetros do Decreto-Lei 119/2019 de 21 de agosto.

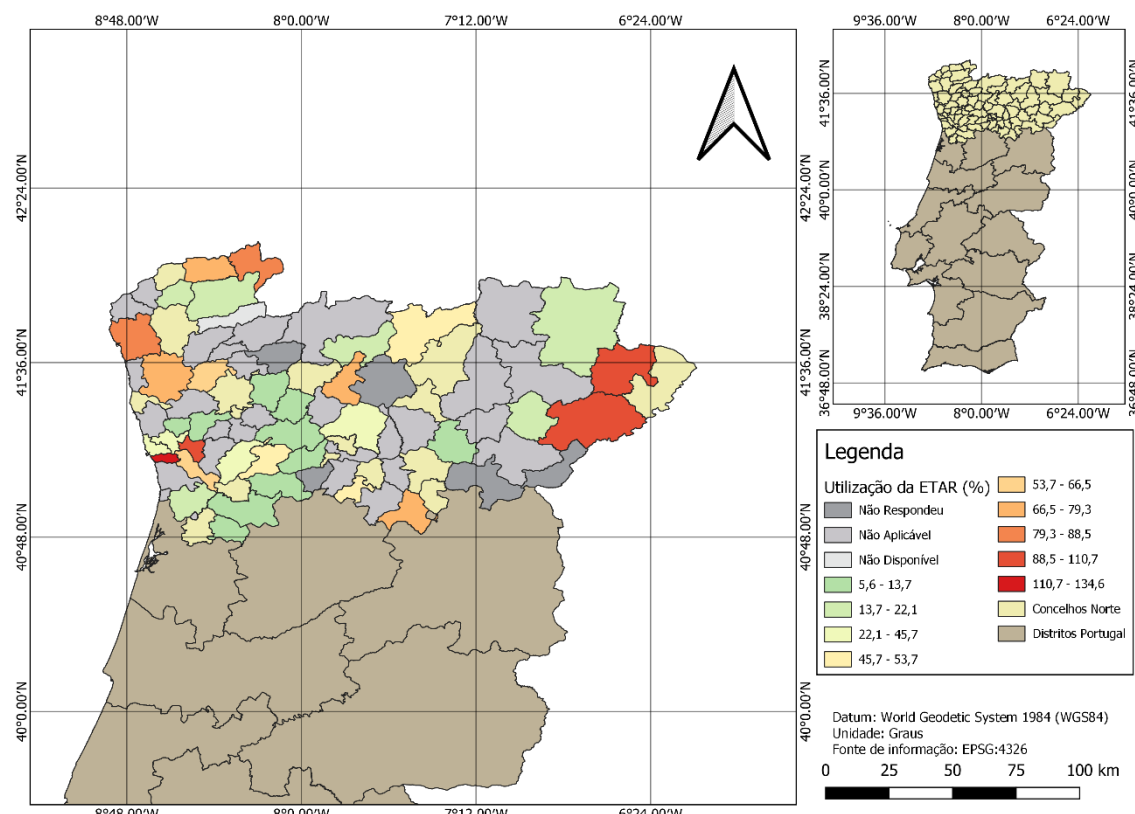


Figura 22: Mapa da utilização das ETAR em função da população equivalente por concelho na região norte.

Fonte: Autor (2022).

Tal qual a população equivalente com tratamento, a relação de utilização da ETAR também contou com poucos dados, haja vista que o cálculo dessa variável conta com os dados de população equivalente com tratamento satisfatório. 41 distritos não possuíam dados (47,67% do total de distritos), um a mais que o parâmetro com tratamento, isso deve-se ao fato de Mondim de Bastos possuir população com tratamento satisfatório, mas não possuir população equivalente de dimensionamento. Essa situação provavelmente está relacionada com a perda da informação pela câmara

municipal, visto que o concelho possui estação e caudal tratado anual, logo há uma população equivalente de dimensionamento para a ETAR local.

No que lhe diz respeito, o intervalo superior a 0 % e inferior a 50% encontram-se 24 concelhos com os melhores resultados para o parâmetro uma vez que, quanto menor a taxa de utilização da estação, maior é potencial do concelho de crescer e ter infraestruturas capazes de suportar cargas novas sem que haja a necessidade de se preparar novas estruturas. Dentre o grupo os que possuem maior percentagem são Matosinhos e Maia, cujos fatores são: 43,57 e 45,66%, respetivamente, embora possuam os maiores valores para esse grupo também são os que possuem maiores caudais tratados, 13999483 e 9455114 m³/ano e maiores percentagens perante o parâmetro tratado/coletado, de modo que adquirem um destaque para o grupo.

Os demais distritos desse conjunto possuem percentagens variando entre 0,59 e 43,39%, representados por Oliveira de Azeméis e Penafiel, respetivamente, para além disto, 20 dos 24 concelhos possuem utilização inferior a 25% configurando uma zona utilização reduzida, dentre esses Oliveira de Azeméis (0,59%), São João da Pesqueira (1,34%) e Penedono (4,84%) formam o trio com menores utilizações. Penedono possui destaque por ser um concelho com 149354,2 m³/ano de água residuais tratadas representando 103,89% na relação tratado/coletado, mesmo podendo conter infiltrações em sua rede devido a percentagem superior a 100%.

Houve 7 cidades que tiveram percentagens de utilização da ETAR entre 50 e 75%, dentre elas Braga e Marco Canaveses são notórios por ter 100% na correlação tratado/coletado, além de possuírem caudais anuais tratados iguais 13723322,3 e 1536040 m³/ano, respetivamente, sendo suas percentagens de utilizações, respetivamente: 61,06% e 51,91%.

Vimioso foi o único concelho com utilização de 100 %, e pertencendo ao grupo no intervalo de 75 a 100 % que compreende 8 concelhos. Embora esse conjunto represente baixo potencial, há 2 cidades que ultrapassaram os 100% conjeturando sobrecarga do sistema e, assim, definindo os dois piores distritos, nomeadamente: Valongo e o Porto.

O caso de Valongo possui a relação tratado/coletado igual a 100%, desse modo, não se caracteriza por infiltrações e sim por uma carga que já ultrapassou a capacidade do sistema. Por sua vez, o Porto apresentou possibilidade de infiltrações no sistema ou

valores subestimados perante a estimativa de carga da água residual do seu sistema tendo em conta que possui 115,13% para a relação tratado/coletado. Em ambos os casos, um estudo de expansão do seu sistema de tratamento, bem como de exportação de água residual pode ser interessante. Todavia, também é importante salientar que ambos os concelhos possuem todas as suas estações licenciadas e toda a sua população equivalente possui tratamento satisfatório, o que indica que mesmo em sobrecarga estão sendo capazes de tratar em qualidade a produção total de seus municípios.

Dentre os concelhos, 37 apresentaram valores inferiores à 100 para o índice de conhecimento de infraestrutura, o que corresponde a 43,02% do total de distritos analisados, 13 obtiveram valores inferiores a 50, sendo 3 distritos cujo valor igual a 0, nomeadamente: Freixo de Espada à Cinta, Alijó e Tabuaço. O trio configura os piores concelhos para o parâmetro em questão, vale ressaltar que Freixo de Espada à Cinta é uma cidade que possui uma das menores disponibilidades de dados, essa falta de dados corrobora para o baixo valor no índice do concelho uma vez que o índice é calculado utilizando de diversos indicadores solicitados pela ERSAR para as entidades gestoras.

Ao mesmo tempo que há concelhos com resultado ruins, há 49 cidades com índice igual ou superior a 100 no que se traduz em 56,98% do total de cidades. Mais internamente a esse conjunto de cidades é possível distinguir 31 (36,05%) distritos que obtiveram valores iguais ou superiores à média nacional para serviços em baixa, 125, ou seja, a região conta mais de um terço de seu montante superior aos dados portugueses, fator que certamente demonstra um potencial.

Ao passo que a média do país é ultrapassada existem aqueles que se destacam perante os demais, 2 concelhos obtiveram valor máximo no indicador, nomeadamente: Matosinhos e Gondomar. A dupla constitui 2,33% dos concelhos e caracteriza-se por ter caudais anuais tratados entre os 10 maiores da região, tornando-se cidades competitivas num cenário de potencial de reutilização de água residual, perante a totalidade de cidades do Norte.

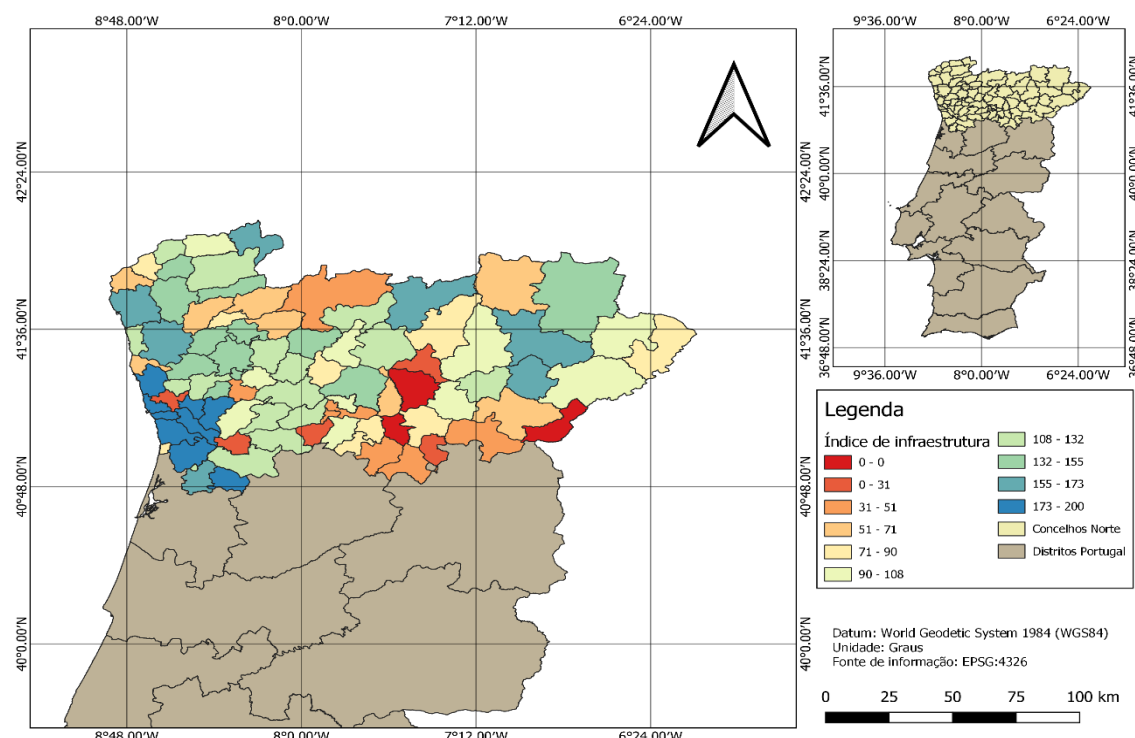


Figura 23: Mapa do índice de infraestrutura por distrito na região norte.
 Fonte: Autor (2022).

Para além dos dados obtidos pela ERSAR, foram analisados os tipos de estações de tratamento por concelho no site interativo da SNIAmb, contudo, ao cruzar esses dados com a ERSAR não houve uma correlação, desse modo, os dados não foram utilizados. A falta de correlação dá-se em função dos dados disponibilizados pela RASARP oriundo da ERSAR apresenta um total de 841 estações para a região norte enquanto que o mapa interativo da SNIAmb disponibiliza somente 617 ETAR e 73 rejeições em solo, a disparidade entre os dados tornou inviável a análise em conjunto haja vista que não era possível distinguir quais estações a ERSAR dispunha que a SNIAmb também tratava e vice-versa. Essa disparidade pode ser vislumbrada pelos dados contidos no anexo A.

Todavia, é importante salientar que ambos os dados são provenientes da administração pública e deveriam ter alguma correlação ou deixar mais claro os seus parâmetros, é evidente que para melhores análises sobre aproveitamento de águas residuais é fundamental que os dados disponíveis sejam mais fiáveis. A Agência Portuguesa do Ambiente (2015) afirma que a existência de séries históricas está em posse da SNIAmb e da ERSAR, contudo, ainda não se foi possível harmonizar tais dados e que essa é um objetivo a ser cumprido, principalmente no que tangem as

metodologias usadas no futuro uma vez que as atuais séries históricas tem difícil correlação em função dos conceitos distintos utilizados pelas detentoras dos dados.

4.1.2. Disponibilidade de água residual dos serviços em alta

Na figura 23 estão expressas as entidades gestoras e os concelhos que fazem parte de cada entidade em serviço em alta, bem como aquelas que não possuem serviço em alta. É notório que grande parte da região norte é contemplada pelas Águas do Norte, contudo, existem também SIMDOURO, TRATAVE e a Associação de Municípios de Terra de Santa Maria (AMTSM).

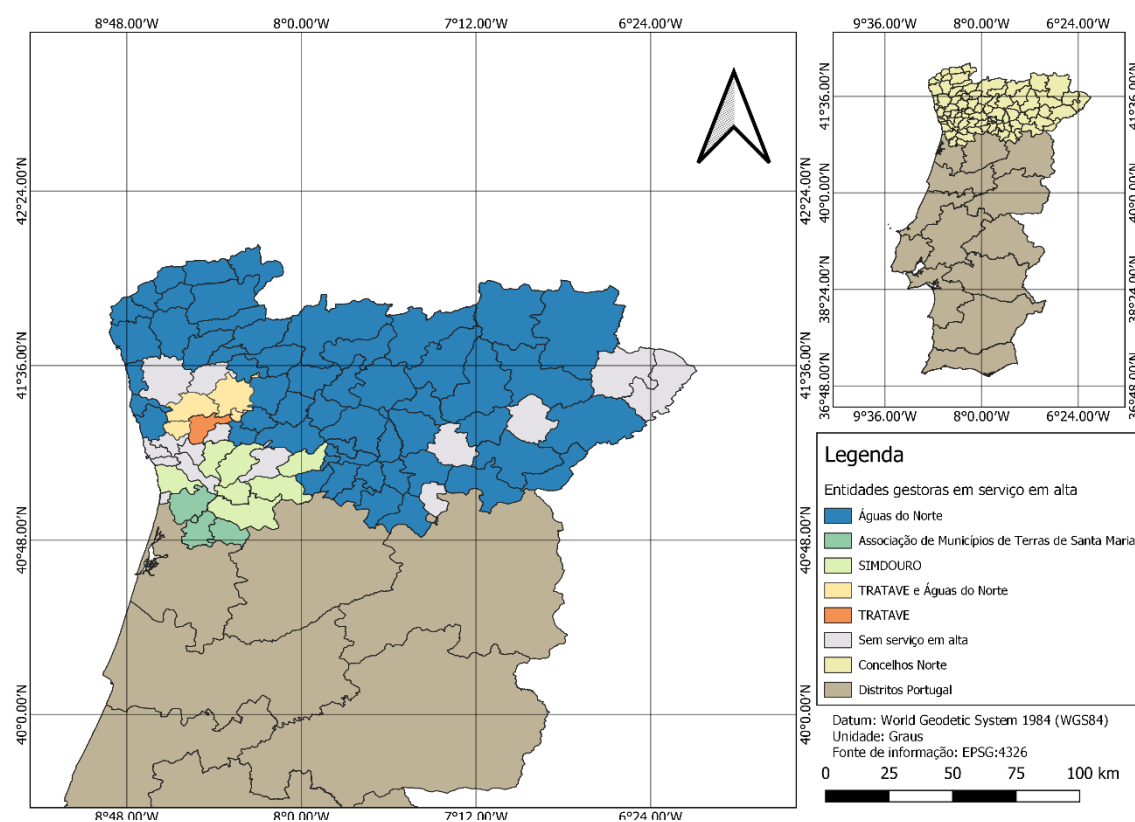


Figura 24: Localização das entidades gestoras em serviço em alta na região norte por concelho.

Fonte: Autor (2022).

Ao analisar a quantidade de alojamentos na região é perceptível que a Águas do Norte possui a maioria com os seus 513818 alojamentos, seguidas do SIMDOURO e TRATAVE, 179809 e 145493, respectivamente e por último AMTSM, como pode ser visto na tabela 6. Era de se esperar que quanto maior a quantidade de alojamento maior seria o caudal coletado, contudo, SIMDOURO perde lugar para TRATAVE em termos de volume de água residual coletada o que também se percebe no caudal tratado, esse fator pode estar relacionado ao consumos regionais relativos a cultura e a sociedade

como um todo, além de possíveis colaborações com serviços, estabelecimentos de menor escala e a quantidade de industriais na localidade que encaminhem sua água residual para a rede pública.

Tabela 7: Número de alojamentos, caudal coletado e tratado e a relação de quanto é tratado perante o coletado por entidade gestora em alta.

Entidade gestora	Nº Alojamentos un.	Caudal coletado m³/ano	Caudal tratado m³/ano	Relação coletado/tratado %
Águas do Norte	513818	58100481	55535592	95,585
Associação de Municípios de terras de Santa maria	25032	6906021	6906020	99,99
SIMDOURO	179809	24682400	23984331	97,17
TRATAVE	145493	35630127	41687116	117,00

Fonte: Autor (2022).

Em termos gerais, as Águas do Norte apresentam maior relevância no cenário de produção de água residual tratada, 55535592 m³/ano, entretanto, é fundamental ressaltar que os concelhos compreendem extensa área na região norte e que não necessariamente são produzidos em um mesmo local para que se torne simples o uso da água residual como recurso. Fator que torna o TRATAVE mais interessante pela elevada produção do recurso se encontrar em uma zona mais restrita, o que torna a logística mais simples e menos onerosa.

Para além da quantidade de volume tratado e coletado, é importante relativizar o quanto é tratado perante o que é coletado, a AMTSM apresenta quase 100% da sua água residual tratada, embora que represente o menor volume do recurso, ainda assim, é fundamental que as entidades tenham capacidade de tratar a sua água residual em condições para idealizar a ApR. Por sua vez, a TRATAVE apresenta mais água residual tratada que coletada o que pode estar atrelado a falhas de medição na sua rede, falhas na rede de drenagem sofrendo de infiltração, problemas com as estimativas de coleta da entidade ou afluências indevidas. Em uma visão mais abrangente, todas as entidades em alta na região norte apresentam boa capacidade de tratamento em relação às suas respectivas coletas haja vista que a menor percentagem para o parâmetro é de aproximadamente 95,58%.

As Águas do Norte apresentam a maioria das estações de tratamento de águas residuais na região, com cerca de 85,78% do total. Embora este seja um número elevado

para uma mesma entidade, não é possível afirmar um enfoque em sistemas centralizados ou descentralizados, uma vez que a zona é vasta e não foi possível detalhar as localidades de cada estação. As demais ETAR da região encontram-se, predominantemente, sob domínio da entidade SIMDOURO compondo um total de 22 estações.

A TRATAVE, por sua vez, possui uma estação sem licença de descarga válida como pode ser vista na tabela 7, fator esse que torna a relação licença/total penalizada em termos de percentagem, mas inexpressiva em valores reais. Da mesma forma que ocorreu com Chaves, Gondomar, Mogadouro, Carrazeda de Ansiães nos serviços em baixa, as Águas do Norte ultrapassam a relação ETAR com licença/total o que também deve estar atrelado ao facto da variável presente no RASARP considerar tratamentos que não sejam estações de tratamento tradicionais que, consequentemente, não se apresentam no número de ETAR.

Somente a AMTSM apresentou índice de conhecimento de infraestrutura abaixo da média nacional, sendo elas respectivamente, 91 e 165. Ao analisar em conjunto a tabela 7 e 8 torna-se preocupante a fiabilidade da entidade com elevada capacidade de tratamento perante o coletado e ter baixo conhecimento de suas infraestruturas. A TRATAVE apresentou o maior conhecimento de sua rede, contudo, sua diferença entre a Águas do Norte e SIMDOURO não foi alarmante, desse modo, a região encontra-se preponderantemente acima da média nacional.

Tabela 8: Número de ETAR, de ETAR com licença de descarga válida, a relação de quantas ETAR possuem licença perante o total e o índice de conhecimento de infraestrutura por entidade gestora em alta.

Entidade gestora	Nº ETAR un.	Nº ETAR Licença un.	Relação ETAR com licença/total %	Índice de conhecimento de Infraestrutura -
Águas do Norte	175	178	101,71	185
Associação de Municípios de terras de Santa maria	2	2	100	91
SIMDOURO	22	22	100	176
TRATAVE	5	4	80	191

Fonte: Autor (2022).

Diferentemente das Águas do Norte, AMTSM e SIMDOURO que apresentaram mais 70% da capacidade de dimensionamento das suas estações sob uso com

desempenho satisfatório, a TRATAVE compreendeu somente 36,22%, aproximadamente, de uso. Essa baixa percentagem dá-se em função das cargas expressas em população equivalente recebida pelas estações ser consideravelmente menor que a dimensionada, o que demonstra um preparo da entidade para futuros aumentos de carga recebidas em sua rede como pode ser visto na tabela 8.

Ademais à capacidade das estações está o quanto de carga é tratado satisfatoriamente, as Águas do Norte apresentaram cerca de 99,72% da sua carga tratada com tratamento satisfatório ao vislumbrar as colunas 3 e 4 da tabela 8, encontrando-se somente atrás da TRATAVE que possui 100% para a mesma variável. Enquanto que o SIMDOURO e a AMTSM assumiram o montante de 99,20% e 81,62%, respetivamente, o que torna a região capaz de tratar a maior parte de sua carga em termos satisfatórios, factor esse que corrobora para a fiabilidade de suas estações com licença de descarga válida.

Tabela 9: População equivalente de dimensionamento, com tratamento, com tratamento satisfatório e a relação entre a população equivalente com tratamento satisfatório perante a de dimensionamento por entidade gestora em alta.

Entidade gestora	Pop. Eqv. Dim. e.p.	Pop. Eqv. Trat. e.p.	Pop. Eqv. Trat. S. e.p.	Relação Pop. Eqv. Trat. S./ Pop. Eqv. Dim. %
Águas do Norte	1157280	1042169	1039260	89,80
Associação de Municípios de terras de Santa maria	121920	104912	85611	70,22
SIMDOURO	548468	506862	502785	91,67
TRATAVE	980384	355094	355094	36,22

Fonte: Autor (2022).

4.2. Resultados dos usos possíveis de ApR

Não obstante a disponibilidade de água residual, no que tange a ApR há necessidade de vislumbrar quais os usos presentes na região que se enquadram na nova legislação de reutilização. Na figura 25 constam os concelhos da região norte, sendo divididos em quatro categorias referentes a região hidrográfica em que se encontram. É importante ressaltar que os concelhos presentes na RH3 que não pertencem à região norte foram considerados como utilizadores para fins de cálculos, enquanto que os da RH4 foram desconsiderados.

Nota-se que o consumo de água pode ser alterado em função de mudanças climáticas, além de medidas políticas portuguesas ou espanholas no que tange as RH 1 e 2 haja vista que grande parte dessas regiões se encontram em território espanhol como mostra a figura 25. As mudanças no consumo são dadas devido a necessidade de adaptação de uma cultura de plantação, redução ou aumento na quantidade de cabeças de gado, instalações e desativações de serviços e indústrias, taxas de imigração entre outros e deve ser posto em questão em estudos futuros. O presente trabalho utiliza de dados pré pandêmicos o que pode ter alterado a forma como se consumiu água nos últimos dois anos.

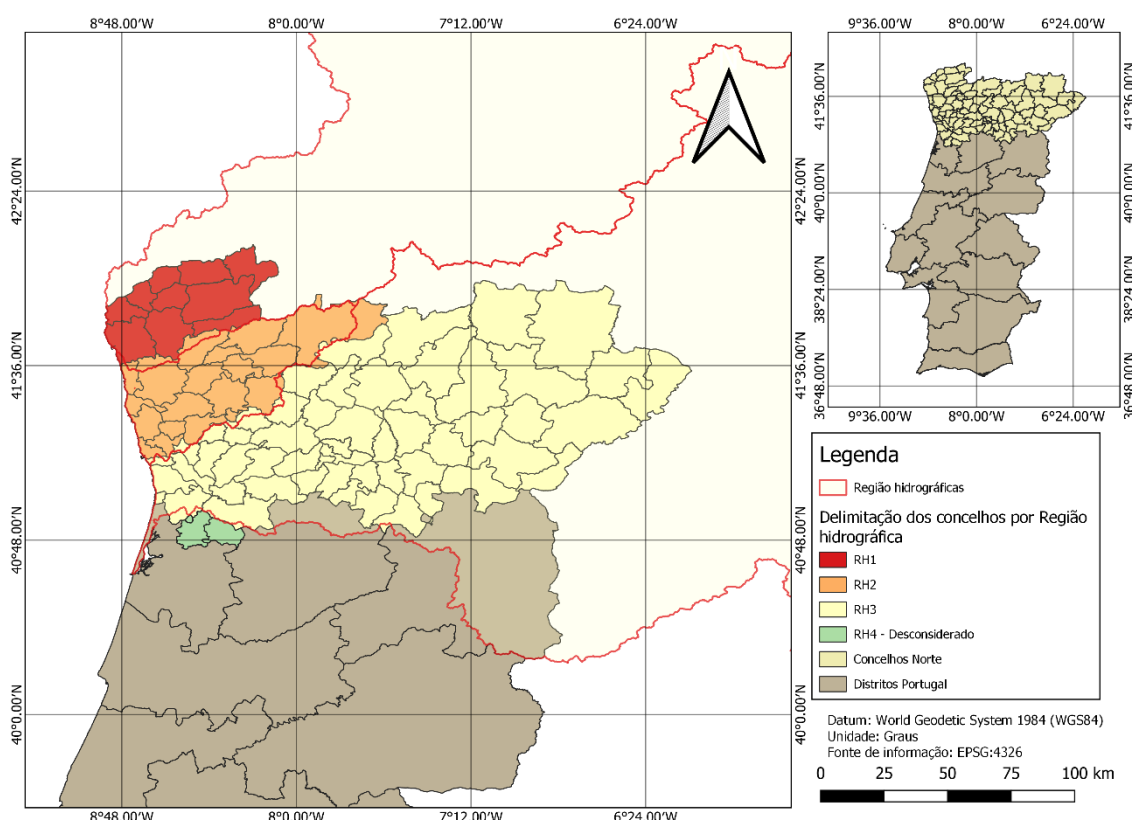


Figura 25: Mapa de localização das regiões hidrográficas e os concelhos considerados para cada RH.

Fonte: Autor (2022).

Os consumos totais na região norte variam consideravelmente entre as três regiões hidrográficas como se pode ver na figura 26. De uma forma geral, a menor RH tem o menor consumo enquanto a maior RH possui o maior consumo, essa relação deve-se à disparidade entre a RH1 com 2866,68 hm³/ano e a RH3 com 73980,78 hm³/ano. Entretanto, é fundamental salientar que esse consumo não pode ser totalmente contemplado por uso de ApR, a exemplo do consumo energético que representa

95,61%, 94,37% e 99,17% do total consumo anual nas RH1, RH2 e RH3, respectivamente, sendo essa produção maioritariamente hidroelétrica, ou seja, a água utilizada será encaminhada para o rio novamente sendo reutilizada para outros fins ao longo do seu curso fluvial.

Também foi possível analisar que todas as regiões possuem predominância na captação superficial em detrimento da subterrânea e que a maior parte deste consumo é dado por geradoras de energia, nomeadamente termoelétricas e hidrelétricas. O consumo superficial em todas as regiões foi elevado devido o consumo energético em que tomou valores iguais a: 2740,69 hm³/ano para RH1, 7341,52 hm³/ano para RH2 e 73366,58 hm³/ano para RH3, montantes que correspondem a 98,07%, 97,11% e 99,59% do total consumido superficialmente.

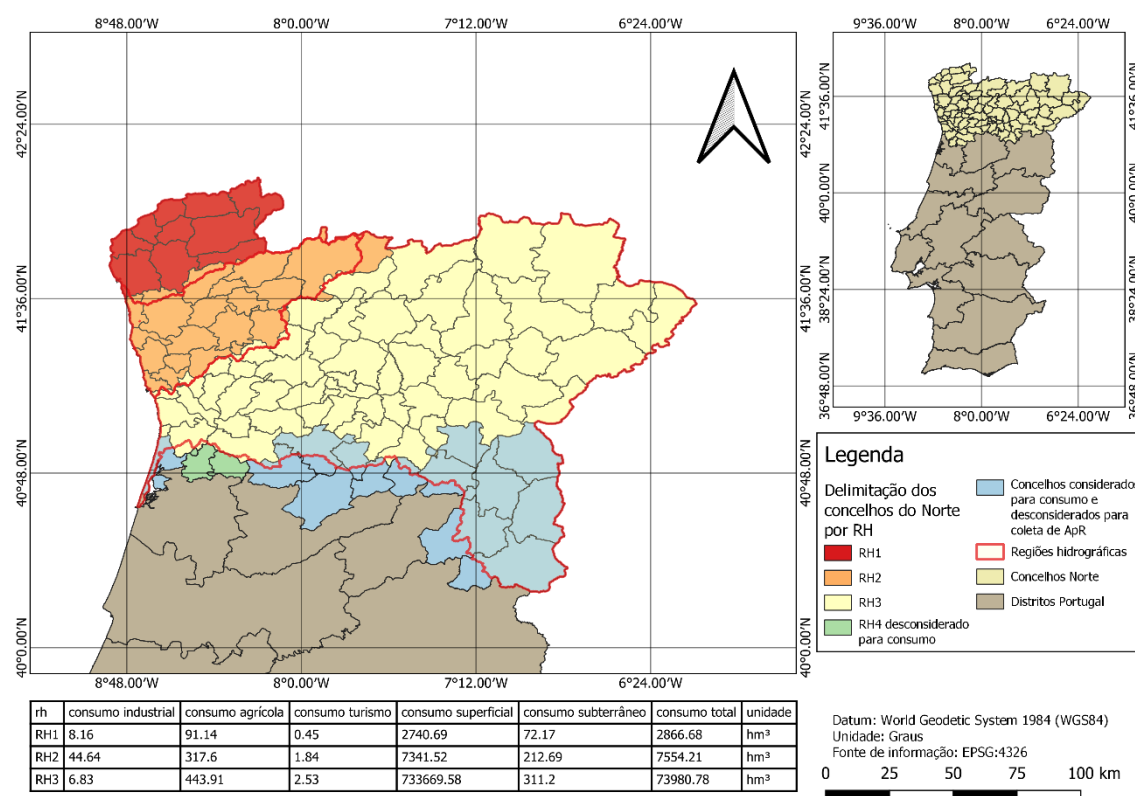


Figura 26: Mapa dos consumos por categoria por região hidrográfica na região norte.
 Fonte: Autor (2022).

No que diz respeito aos consumos agrícola, turístico e industrial os usos agrícolas ganham destaque por ser o maior consumidor em todas as regiões. Para além de ressaltar o maior consumo é evidente a proximidade dos valores das RH2 e RH3 mesmo tendo dimensões em diferentes ordens, o que pode significar uma elevada irrigação ou

uso de métodos/sistemas de irrigação menos eficientes, como aspersão, na região RH2. Embora a maior parte do consumo total das regiões se dê por meios superficiais, no meio agrícola há predominância no consumo subterrâneo haja vista que na RH1 61,25% do consumo agrícola é subterrâneo, enquanto nas RH2 e RH3 são 60,59% e 63,88%, respectivamente.

Para além do consumo agrícola, o consumo industrial possui destaque na RH2 com 44,64 hm³/ano sendo o maior para a categoria entre as três regiões. As RH1 e RH2 consumiram maioritariamente água superficial para as suas industriais, uma vez que esse consumo atingiu 96,57% e 65,05%, respectivamente, facto que não se repete na RH3 em que somente 17,86% foi consumo superficial. Todavia, essa região foi a menor consumidora de água para fins industriais, não sendo tão expressiva em nenhum dos meios de captação.

Embora a reutilização de água residual seja uma possibilidade para redução da captação para abastecimento de maneira a tornar o consumo mais circular e sustentável, ele possui limitações visto que a legislação impede certos usos para ApR de forma a garantir a segurança dos usuários. Desse modo, na figura 26 são expressos os valores relativos aos usos possíveis por categoria por região hidrográfica, bem como os concelhos que a compõem. No anexo B é possível visualizar os dados utilizados para as contas em sua íntegra, valores totais, consumos superficiais e subterrâneos por tipo de consumo, bem como as percentagens utilizadas para cada parâmetro e considerações.

Assim como o total consumido nas regiões hidrográficas presentes na figura 25, a RH3 possui destaque como maior consumidor devido o elevado consumo agrícola na região sendo seguido pelas RH2 e RH1, respectivamente. O uso possível de ApR no que tange o meio agrícola representa 92,44%, 88,96% e 97,79% para as RH1, RH2 e RH3, respetivamente.

Ao analisar esses valores com o total consumido na região, considerando não somente o setor agrícola, industrial e turístico, mas também o energético, o urbano e outros, temos que a possibilidade de reutilização de águas residuais não ultrapassa os 5% do total consumidos em nenhuma das 3 regiões. A RH2 obteve maior valor, nomeadamente: 4,67%, enquanto que as RH1 e RH3 alcançaram 3,41% e 0,61%, respetivamente, todavia, grande parte desse consumo, como dito anteriormente, está na escala energética.

Em relação aos consumos industriais, agrícolas, pecuária e golfe, houve pequena perda em relação ao que é consumido e o que pode alterar seu consumo para ApR em função dos embargos realizados pelo Decreto-Lei 119/2019. A maior diferença encontrou-se na RH2 cujo valor foi de 3,02%, devendo-se ao facto da RH2 possuir maior consumo na escala industrial e essa não poder contar com industriais alimentares, o que representa 24% do volume consumido por indústrias (Silva *et al.*, 2002).

Embora os serviços em baixa apresentem alguma capacidade de reutilização de água residual é fundamental analisar o potencialidade dos serviços em alta, desse modo, a figura 28 apresenta novamente um mapa de localização dos concelhos da região norte, dividindo-os em relação as entidades em alta, bem como inserindo uma camada das regiões hidrográficas, o que gera uma complicação em relação às Águas do Norte, haja vista que a mesma se encontra em todas as regiões contempladas pelo presente trabalho, não podendo ser subdividida em pequenos pedaços para uma análise mais detalhada.

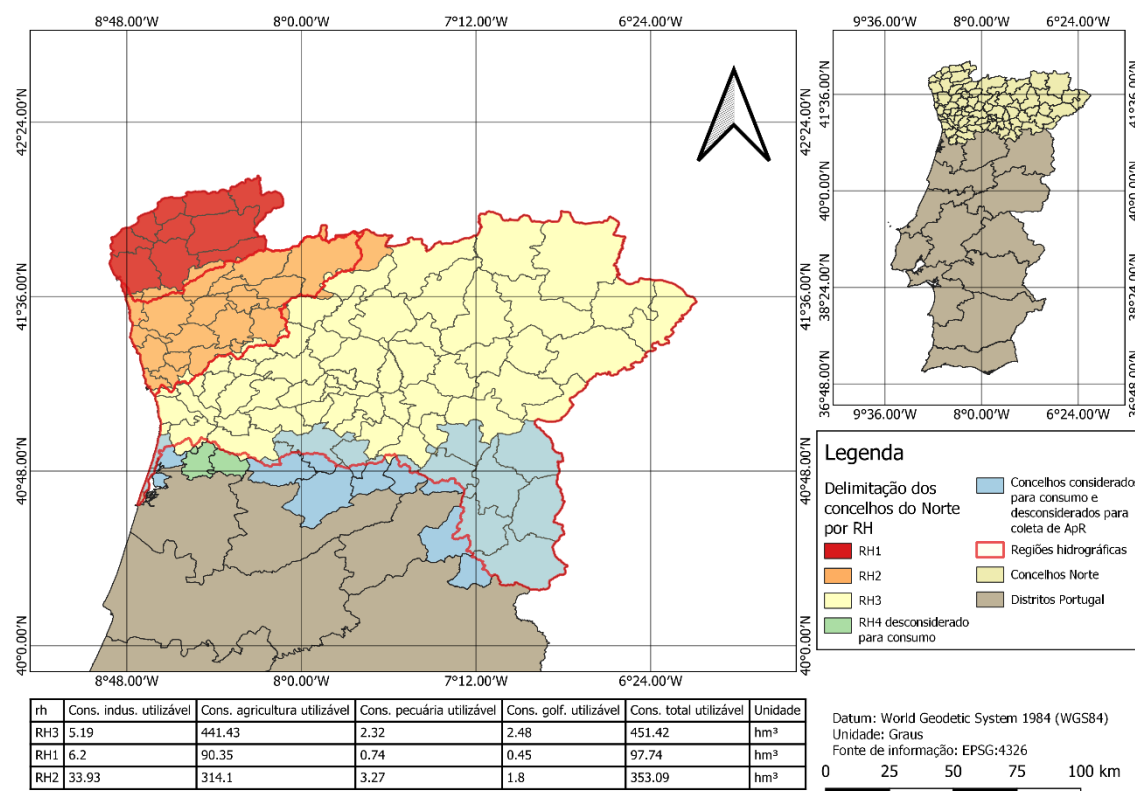


Figura 27: Mapa dos consumos utilizáveis por categoria por região hidrográfica na região norte.

Fonte: Autor (2022).

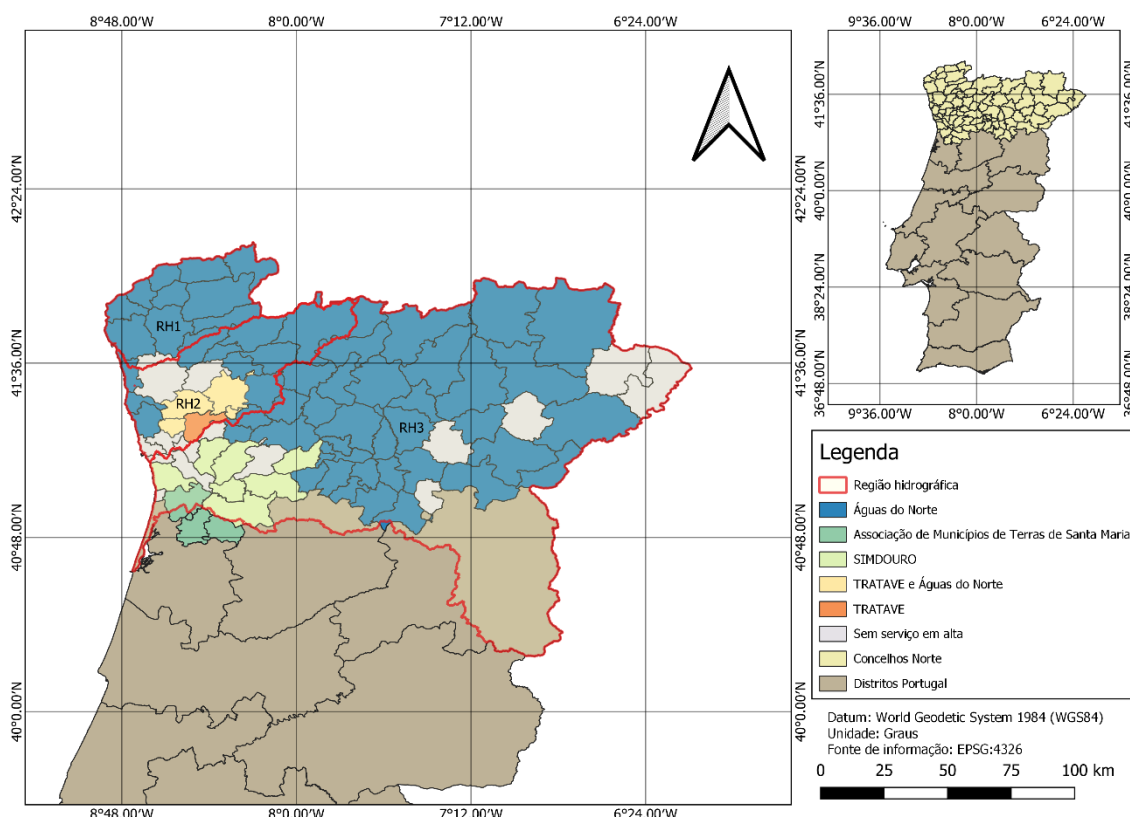


Figura 28: Mapa das entidades gestoras em alta por região hidrográfica na região norte. Fonte: Autor (2022).

Houve concelhos em que não foram encontrados serviços em alta e por esse motivo encontram-se em cinza na figura 28, para além disso, a entidade TRATAVE compartilha quase a sua totalidade de concelhos com as Águas do Norte, uma vez que Guimarães, Vila Nova de Famalicão, Vizela e Trofa constam como em ambas as entidades pelo site da ERSAR, somente Santo Tirso se encontra unicamente na entidade TRATAVE.

Embora a entidade SIMDOURO se encontre maioritariamente na RH4, a mesma foi considerada como pertencente à RH3 por motivos de simplificação e de modo a perceber as possibilidades que a sua água residual tem de ser convertida em um recurso para a região.

4.3. Discussão

Em função do consumo de água por região hidrográfica, em aliança com a quantidade de água residual produzida pelos concelhos das RH é possível vislumbrar o quanto é possível reutilizar em termos quantitativos. Embora os termos qualitativos sejam igualmente importantes, a fonte de dados obtidos não foi satisfatória pela

SNIAmb, como dito anteriormente, os dados não eram compatíveis com os provenientes da ERSAR, desse modo a única forma de medir qualitativamente as questões referentes as águas residuais foi pela sua população equivalente que permite realizar cálculos para obtenção de parâmetros de qualidade de águas residuais estimados.

A região hidrográfica 1, referente ao Minho e Lima, possui a menor capacidade de volume utilizável perante o consumo utilizável dentre as RH analisadas. Embora o consumo da região seja o menor, o caudal tratado não é capaz de contemplar nem 1% dos consumo relativos à agricultura, à indústria e ao turismo da região, sendo essa tríade nomeada de consumo total para as próximas três tabelas. Por sua vez, o caudal recolhido não atinge os 10% do consumo utilizável da região, para além da coleta não ser suficiente, o seu efluente não é universalmente tratado, como pode-se ver no quadro 6 em que somente 0,59 hm³ são tratados pelos serviços em baixa num espectro de 10,71 hm³ recolhido, fator esse que torna a utilização de ApR mais difícil. De facto, ao ser um recurso que resulta do tratamento efetuado por outra entidade gestora, pode haver dificuldade na comunicação e acordo entre diferentes entidades quando não há políticas públicas eficientes, para a produção de água de reutilização com qualidade suficiente para os usos a que se destina e para a sua comercialização.

Como dito anteriormente, a falta de dados mais detalhados torna dificultosa a análise. Uma vez que há dados referentes a qual entidade gestora em baixa coletou e exportou, bem como quanto uma entidade gestora em alta importou, todavia, não é claro qual entidade em baixa exportou para qual entidade em alta. Desse modo, não é claro qual região hidrográfica possui maior tratamento, uma vez que há margem para adução de água residual coletada de uma região hidrográfica para outra devido a cooperação dos serviços em alta e em baixa.

Do mesmo modo que o caudal tratado em baixa não é capaz de contemplar o consumo total, o mesmo ocorre com o consumo utilizável como era expectável, haja vista que grande parte do consumo total poderia ser agraciado com ApR. Nota-se que mesmo se a agricultura fosse desconsiderada para efeitos de reaproveitamento, o caudal tratado em baixa não seria suficiente para abranger todo o consumo restante, desse modo, a RH1 não possui um potencial notório para reutilização de águas residuais pelas entidades em baixa.

RH1 - Minho e Lima			
Volume (hm³)			
Caudal recolhido em baixa	Caudal tratado em baixa	Consumo total	Consumo utilizável total
10,71	0,59	99,75	97,74
Caudal tratado em baixa /consumo total			0,59%
Caudal tratado em baixa /consumo utilizável total			0,60%
Caudal tratado em baixa /consumo utilizável - sem agricultura			7,98%

Quadro 6: Oferta, recolhida e tratada, e demanda, total e utilizável, na RH1 pelos serviços em baixa.

Fonte: Autor (2022).

Por seu turno, a região hidrográfica do Cávado, Ave e Leça (RH2) obteve a maior relação do seu efluente recolhido abrangido por tratamento, atingindo um patamar de 36,18% de efluente tratando em cima do recolhido, consideravelmente diferente da RH1 que conquistou somente 5,51% para o mesmo parâmetro. Embora a RH2 tenha a maior diferença entre o seu consumo total e o consumo utilizável, não se notou grande diferença entre a relação caudal tratado/consumo total e caudal tratado/consumo utilizável como se pode ver no quadro 7 em que essa diferença encontra-se nos 0,40%.

O caudal tratado da RH2 tem capacidade de substituir, em termos quantitativos, cerca de 13,00% do consumo de água da região por ApR se considerarmos os usos da agricultura, golfe e indústrias. Se a agricultura for desconsiderada para ApR, o total de água residual tratada será volumetricamente superior ao consumo das demais categorias, uma vez que terá 117,68% da relação em questão. Desse modo, se esse efluente não tiver qualidade suficiente para usos mais nobres ainda será capaz de contemplar a totalidade dos demais usos, factor esse que confere destaque para a região.

Vale evidenciar que dentre as 10 cidades com maior produção de água residual tratada, 4 estão na RH2, nomeadamente: Matosinhos, Braga, Maia e Barcelos, contudo, Maia possui baixo índice de conhecimento de infraestrutura o que pode significar em problemas de análise, enquanto que Barcelos possui somente 25% das suas estações com licença de descarga válida, o que pode reduzir os usos dados a esse recurso devido a qualidade indevida. Entre Braga e Matosinhos, o último destaca-se como principal potencial da região em função do seu índice de conhecimento de infraestrutura com valor máximo, além de possui maior população equivalente para sua estação de

tratamento que não atingiu 50% da utilização máxima e já possui o maior caudal tratado da RH2.

RH2 - Cávado, Ave e Leça			
Volume (hm³)			
Caudal recolhido em baixa	Caudal tratado em baixa	Consumo total	Consumo utilizável total
126,83	45,89	364,08	353,09
Caudal tratado em baixa /consumo total			12,60%
Caudal tratado em baixa /consumo utilizável			13,00%
Caudal tratado em baixa /consumo utilizável - sem agricultura			117,68%

Quadro 7: Oferta, recolhida e tratada, e demanda, total e utilizável, na RH2 pelos serviços em baixa.

Fonte: Autor (2022).

Por fim, a região hidrográfica do Douro destacou-se por ser aquela com maior potencial de reutilização se o consumo utilizável desconsiderar a agricultura, essa fator deve-se ao fato de possuir baixos consumos industriais se comparada com RH2 e ter um caudal recolhido e tratado superior ao das demais regiões. Esse caudal tratado representou 535,52% do valor de consumo para indústria e golfe como pode ser visto no quadro 8. Apesar de ser elevado, é evidente que o baixo consumo na indústria e no golfe é baixo e poderá crescer fazendo uso desse recurso se houver planeamento adequado.

Assim como a RH2, a RH3 possuiu pouca variação entre o caudal tratado/consumo total e caudal tratado/consumo utilizável, sendo essa variação aproximadamente de 0,05%, sendo inferior ao da RH2.

Cerca de 31,83% de todo o caudal recolhido é tratado na RH em questão, é notório que o valor demonstra algum potencial, contudo, ainda muito deve ser feito para que essa região possa tratar tudo que recolhe. É importante frisar que a RH3 é a maior dentre as RH da região norte, factor esse que torna mais difícil que todos os concelhos tenham sistemas semelhantes e capazes de elevado tratamento, visto que suas demografias são difusas no espaço.

A RH3 conta com 53 concelhos, sendo não somente a maior em extensão, mas também a maior em número de concelhos. Dentre esses, 6 das 10 cidades que mais produzem águas residuais tratadas encontram-se na região, sendo a maior produtora de todas as 86 cidades contida na região norte, são elas da maior para a menor

produtora: Porto, Valongo, Gondomar, Paços de Ferreira, Santa Maria da Feira e Marco de Canaveses.

Todos os concelhos em questão possuem índice de conhecimento de suas infraestruturas iguais ou superiores à média nacional, contudo, Santa Maria da Feira perde potencial ao possuir somente 30,93% de sua água residual coletada tratada, fator que ocorre em Gondomar com 69,37% para o mesmo padrão. Porto e Valongo embora possuam a maior produção desse recurso têm as suas populações equivalentes de dimensionamento superadas, o que pode vir a ser um problema no futuro.

RH3 – Douro			
Volume (hm ³)			
Caudal recolhido em baixa	Caudal tratado em baixa	Consumo total	Consumo utilizável total
167,54	53,38	453,27	451,42
Caudal tratado em baixa /consumo total			11,78%
Caudal tratado em baixa /consumo utilizável			11,82%
Caudal tratado em baixa /consumo utilizável - sem agricultura			534,52%

Quadro 8: Oferta, recolhida e tratada, e demanda, total e utilizável, na RH3 pelos serviços em baixa.

Fonte: Autor (2022).

Embora as RH2 e RH3 possuam alguma capacidade de reutilização de água residual, mesmo que não a totalidade do seu uso, é importante lembrar que infraestruturas são necessárias para que isso ocorra. Sistemas de adução são facilitados em regiões com poucas estações de tratamento, de maneira a canalizar o recurso ApR mais diretamente ao seu destino. Sistemas que utilizem caminhões pipas podem ser interessantes se existirem diversas estações e se os utilizadores forem demasiado espaçados. Contudo, é primordial estudar a viabilidade deste último sistema, haja vista que o consumo de combustível é um fator preponderante, além de tornar o sistema menos sustentável se o caminhão pipa consumir combustíveis não renováveis.

O quadro 9 ilustra os consumos da região hidrográfica 2, Cávado, Ave e Leça, bem como a água residual produzida pela entidade TRATAVE e Águas do Norte, ambas em serviços em alta, considerando que essa última forneceria todo seu recurso para essa bacia.

RH2 - Cávado, Ave e Leça					
Volume (hm³)					
TRATAVE		Águas do Norte		Consumo total	Consumo utilizável total
Caudal recolhido em alta	Caudal tratado em alta	Caudal recolhido em alta	Caudal tratado em alta		
35,63	41,69	58,10	55,54	364,08	353,09
Caudal tratado/consumo total		26,70%	Caudal tratado TRATAVE/consumo total		11,45%
Caudal tratado/consumo utilizável		27,53%	Caudal tratado TRATAVE/consumo utilizável		11,81%
Caudal tratado/consumo utilizável - sem agricultura		249,33%	Caudal tratado TRATAVE/consumo utilizável - sem agricultura		106,91%

Quadro 9: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável na RH2 pelos serviços em alta.

Fonte: Autor (2022).

É evidente que o volume de água residual tratada pelos serviços em alta é superior aos serviços em baixa para a RH2 se compararmos os quadro 9 e 7, somente a entidade TRATAVE possui numericamente quase a plenitude do produzido pelos serviços em baixa na região hidrográfica em questão. Dessa modo, para essa RH é notório um destaque para os serviços em alta, fator esse que não exclui a possibilidade de reutilização do recurso para ambas os serviços de maneira a adquirir um maior volume deste.

Como explanado anteriormente, a diferença do consumo que pode fazer uso de ApR e o consumo geral de agricultura, turismo e indústrias é diminuto o que torna as relações de caudal tratado/consumo total e caudal tratado/consumo utilizável muito semelhantes. Para o quadro 9 é nítida importância do caudal proveniente da TRATAVE para a região uma vez que mesmo sendo espacialmente menor que as Águas do Norte é capaz de tratar 48,88% do caudal total presente nessa RH, tornando a entidade um destaque juntamente com as Águas do Norte.

Apesar da região possuir um caudal expressivo e que certamente poderia ser utilizado ao analisarmos exclusivamente o seu valor numérico, ele ainda não é capaz de contemplar todo o consumo utilizável da região. O mesmo é capaz de abranger 27,53% do total o que é significativo para uma economia circular, mas não é totalitário, não tornaria o ciclo urbano da água autosustentável. Da mesma forma que os serviços em

baixa, as entidades em alta na região são perfeitamente capazes de contemplar todo o consumo, caso a agricultura seja descartada como um dos usos de ApR, contudo, considerar essa possibilidade requer aceitar consequências, a exemplo de épocas de seca em que a agricultura e a pecuária são consideravelmente prejudicadas o que, por sua vez, acarreta no aumento dos preços dos produtos agrícolas para o consumidor final.

Desse modo, ao idealizar sistemas de reutilização de águas residuais em trabalhos futuros é fundamental ponderar os impactos que uma destinação específica do recurso pode causar e não somente analisar quanti e qualitativamente a água residual presente. Cogitar os modos de transporte, os destinos finais, quem utilizará desse recurso, se o *yunk factor* causará problemas, se aquele sistema não será oneroso e por isso inviável, se aquela região necessita daquela adaptação da sua rede primeiro que outra e o motivo que rege essa decisão. Trabalhos são necessários para que engenheiros, políticos, administradores, comerciantes, industriais, empresários entre outros sejam capazes de tomar as melhores decisões para que não ocorra escassez de água num futuro a pequeno, médio e longo prazo.

Do mesmo modo que a RH2, a RH3 também utilizou da simplificação perante a Águas do Norte, considerando que toda a sua produção de água residual seja encaminhada para a região. No Quadro 10 constam os dados referentes aos caudais coletados e tratados pelas entidades: SIMDOURO, AMTSM e Águas do Norte, bem como suas comparações com o consumo total e utilizável na região hidrográfica 3.

RH3 - Douro							
Volume (hm³)							
SIMDOURO		AMTSM		Águas do Norte		Consumo total	Consumo utilizável total
Caudal recolhido em alta	Caudal tratado em alta	Caudal recolhido em alta	Caudal tratado em alta	Caudal recolhido em alta	Caudal tratado em alta		
24,68	23,98	6,91	6,91	58,10	55,54	453,27	451,42
Caudal tratado/consumo total		19,07%	Caudal tratado SIMDOURO/consumo total		5,29%	Caudal tratado AMTSM/consumo total	1,52%
Caudal tratado/consumo utilizável		19,15%	Caudal tratado SIMDOURO/consumo utilizável		5,31%	Caudal tratado AMTSM/consumo utilizável	1,53%
Caudal tratado/consumo utilizável - sem agricultura		865,44%	Caudal tratado SIMDOURO/consumo utilizável - sem agricultura		240,17%	Caudal tratado AMTSM/consumo utilizável - sem agricultura	69,15%

Quadro 10: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável na RH3 pelos serviços em alta.

Fonte: Autor (2022).

Embora a RH2 tenha apresentado duas entidades com capacidades superiores aos serviços em baixa, o mesmo não pode ser dito para a RH3 em que tanto a SIMDOURO, 23,98 hm³/ano, quanto a AMTSM, 6,91 hm³/ano não possuem caudais superiores aos serviços em baixa, 52,31 hm³/ano, mesmo em conjunto como pode ser conferido ao vislumbrar os quadros 10 e 8. Ambas as entidades em alta em questão não atingiram o patamar de 10% do consumo utilizável da região, seja analisadas sozinhas ou em grupo. A entidade AMTSM não possui capacidade de contemplar o consumo utilizável mesmo se o consumo agrícola, o maior consumidor, for desconsiderado.

Ao atrelar as Águas do Norte com as demais duas entidades, é possível perceber que há algum potencial na região, contudo, a análise é frágil devido o fato de não ser clara onde as Águas do Norte mais produzem águas residuais tratadas, desse modo é possível que grande parte de sua produção seja em outra RH o que tornaria o transporte desse recurso mais oneroso para a RH3.

Para além dessas dificuldades, vale frisar que a RH3 é a maior dentre as regiões analisadas, o que torna toda a sua logística mais dificultosa. No entanto, também é a região detentora das principais produtoras de águas residuais no norte do país, como referido nos serviços em baixa. A RH3 deve ser considerada para futuros projetos de reutilização, mas é mais interessante investir no serviço em baixa na região.

Por fim o quadro 11 apresenta o resultado perante a RH1. Ao analisar esta região nota-se que contou somente com a entidade Águas do Norte que possui o maior de entre os caudais estudados para os serviços em alta. Se todo esse montante fosse encaminhado para a RH1 mais de 50% do seu consumo utilizável seria contemplado por ApR, sendo nitidamente a região com maior potencial. Como dito anteriormente, a impossibilidade de averiguar onde se concentram as estações da entidade torna a análise abstrata e que requer futuros estudos que foquem em perceber onde as Águas do Norte poderiam investir para que instalar um projeto piloto de forma mais eficiente em função da sua rede e de utilizadores.

RH1 - Minho e Lima			
Volume (hm ³)			
Águas do Norte		Consumo total	Consumo utilizável total
Caudal recolhido em alta	Caudal tratado em alta		
58,10	55,54	99,75	97,74
Caudal tratado/consumo total			55,67%
Caudal tratado/consumo utilizável total			56,82%
Caudal tratado/consumo utilizável - sem agricultura			751,58%

Quadro 11: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável na RH1 pelos serviços em alta.

Fonte: Autor (2022).

A presença de diferentes entidades gestoras que possuem metodologias próprias de análise de dados, promoção de serviços, técnicas tornam o cenário português complexo. Entidades gestoras em alta com elevada capacidade de abrangência de rede e tratamento são de difícil comparação a entidades em baixa que atuam em um único concelho de baixa densidade demográfica.

Essa disparidade corrobora para transações de compra e venda de águas residuais devido a falta de capacidade de entidades o que torna a rede mais complexa do que já é. Todavia, a falta de dados acessíveis acerca das transações entre entidades torna o estudo mais simplificado haja vista que simplificações devem ser tomadas. É necessário que num futuro não somente a entidade reguladora como a ERSAR, a provedora de informação como a SNIAmb se integrem e promovam parâmetros de avaliação equivalentes, mas também que as entidades em baixa e em alta sejam capazes

de providenciar tais informações em suas respectivas escalas e deixar claro as suas capacidades.

De forma geral, o quadro 12 resume as produções de águas residuais tratadas nos serviços em baixa e em alta para a região norte, bem como os consumos das regiões hidrográficas 1 2 e 3.

Água residual tratada em hm³/ano							
Serviços em baixa			Serviços em alta				Total na região Norte
RH1	RH2	RH3	Águas do Norte	TRATAVE	SIMDOURO	AMTSM	
0,59	45,89	53,38	55,54	41,69	23,98	6,91	227,97
Consumo de água que pode ser substituído por ApR por região hidrográfica em hm³/ano							
RH1		RH2		RH3		Consumo utilizável total	
97,74		353,09		451,42		902,25	
Relação produção total de água residual perante o consumo total da região norte							25,27%

Quadro 12: Oferta de água residual tratada e demanda total e utilizável em totas as regiões pelos serviços em baixa e em alta.

Fonte: Autor (2022).

Em função do quadro 12 é possível afirmar que, numa situação hipotética em que custos de transporte, adução, manutenção, entre outros fatores, não fossem considerados e que toda a água residual transitasse livremente pela região norte, esta seria capaz de substituir cerca de 25,27% do consumo de água na região. Um quarto de redução do consumo pode significar uma menor dependência em épocas secas, principalmente se for acoplada com medidas de consumo mais conscientes nos diversos setores que compreendem o espectro da região norte.

5. CONCLUSÃO

A região norte possui capacidade de alterar o seu consumo de água para reutilização de água residual, um quarto de todo o seu consumo pode ser transformado em um recurso e, assim, deixar de ser um problema residual. Infelizmente ainda não se pode eliminar a captação de água para abastecimento e ser capaz de fechar o ciclo urbano da água sem que haja perdas. Entretanto é fundamental que medidas sejam tomadas para que esse ideal que hoje é utópico se torna o mais próximo possível de uma realidade.

É notório que existem concelhos que se destacam em detrimento de outros e isso deve-se não somente à urbanização, estruturas e políticas, mas também à geografia, ao relevo, à economia, às culturas agrícolas, e hábitos locais entre outros. Os municípios entre o Porto e Braga ganham destaque por serem zonas mais povoadas, com maior quantidade de serviços, indústrias e produções que requerem um maior consumo de água e por isso, maior produção de água residual.

A distinção entre concelhos pode-se traduzir no índice de conhecimento de suas infraestruturas, mais de um terço da área de estudo ultrapassou a média nacional de consumo de água, o que já ilustra alguma rede em condições de idealizar sistemas de ApR. Todavia, também significa que muito precisa ser feito para que os demais dois terços atinjam um patamar mais elevado ao promover a proteção do meio ambiente e saúde pública.

As entidades em alta se sobressaíram pelo reaproveitamento em comparação com as em baixa, contudo, é fundamental salientar as disparidades entre as entidades e a falta de informação entre suas transações acerca de águas residuais. Essa ausência de informação corrobora para uma sobreposição das entidades em alta em detrimento das em baixa, por outro lado, é lógico que entidades com maiores dimensões, estruturas e tecnologias tenham melhores resultados. No entanto, é possível teorizar que mesmo com dados sobre transações, as entidades em alta teriam maior destaque.

A complexidade dos serviços de águas residuais prestados por entidades em alta e em baixa é elevado, já que somente na região norte existem 86 concelhos, todos eles com serviços em baixa e a grande maioria em alta. Existem concelhos que não possuem tratamento em baixa, mas o possuem em alta, municípios que possuem maior quantidade de água residual tratada que coletada pela rede de drenagem, o que se

expressa em exportações e importações de águas residuais. Todas essas trocas limitam-se em análises na região norte, o que não impede que o mesmo ocorra entre regiões dentro de Portugal.

Concluiu-se que grande parte do consumo de água da região norte se dá pelo meio agrícola, que também é o que tem maiores restrições pela legislação acerca de ApR. Ou seja, a maior parte da água para reutilização poderá requerer tratamento mais rigoroso ou a inclusão de barreiras, a depender do contacto direto ou indireto com os trabalhadores e consumidores finais.

Por outro lado, os serviços em alta são capazes de modificar todo o consumo de água de abastecimento para ApR no que tange o consumo industrial e agrícola, o mesmo também se vê para as RH2 e RH3 nos serviços em baixa. Este é um resultado interessante para o investimento na expansão industrial portuguesa, não somente por ter a possibilidade utilizar um resíduo como recurso, mas também em promover uma rede industrial mais ecológica, o que torna o produto final mais valorizado no cenário comercial mundial.

Os parâmetros económicos estão atrelados a diferentes fatores, entre eles quem está produzindo a água residual e suas condições qualitativas e quantitativas, bem como quem utilizará deste recurso seja para rega com contato direto humano, pecuário ou para refrigeração de uma caldeira, entre outras possibilidades. Em conjunto com a fonte e o destino, o meio de transporte deste recurso é de fundamental análise, uma vez que pode não ser interessante preparar uma extensa rede de adutoras para um pequeno uso de uma fazenda, talvez transporte por camiões pipas seja preferível ou, ainda, que não seja viável e que o abastecimento seja a melhor opção.

Para além do meio de adução ou de transporte é interessante que sejam melhor detalhados os utilizadores. O presente trabalho utilizou de simplificações para avaliar a oferta e a demanda de uma região extensa, com o intuito de guiar novos trabalhos que visem detalhar melhor os concelhos, dando bases comparativas, além de indicar locais em que talvez seja mais interessante analisar concelhos pequenos e distantes. Esse fator deve ser considerado ao passo que a região norte não é uniforme em densidade demográfica, costumes, consumos, serviços e culturas.

5.1. Recomendações

Em análises futuras espera-se que as bases de dados disponíveis publicamente possuam correlação entre os departamentos do governo de forma que se utilize em consonância dados do INE, ERSAR e SNIAmb, sendo esses últimos dois fundamentais para uma análise quantitativa e espacial no primeiro e qualitativa pontual no segundo. O uso dessas ferramentas em um futuro próximo poderá tornar trabalhos mais ricos e ideias para tomada de decisão de câmaras municipais e distritos, fator que deve ser enaltecido nos próximos anos a evitar os prejuízos causados por mudanças climáticas, aparecimento de ocorrências epidemiológicas e problemas económicos no cenário local, regional, nacional, da união europeia e do mundo.

Também é importante que as simplificações realizadas para o consumo sejam minimizadas a fim de que os consumos dos concelhos ganhem destaque em consonância com a produção de águas residuais. Essa união poderá permitir investimentos em concelhos que têm elevada produção e consumo, ou ainda, investir em conjuntos de concelhos que realizem transações de águas residuais.

Em trabalhos futuros aconselha-se que as demais regiões portuguesas, bem como as autônomas, tenham seus potenciais analisados visando uma união de todos esses dados e, assim, uma análise de Portugal como país e sem perder os detalhes das regiões, distritos e concelhos. Essa análise se torna importante para que decisões sejam tomadas em pequenas, médias e macro escalas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2012). *PROGRAMA NACIONAL PARA O USO EFICIENTE DA ÁGUA*.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). *PENSAAR 2020* (Vol. 2). Abril.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (Junho de 2015). *PLANO NACIONAL DA ÁGUA*. Obtido em 24 de Novembro de 2020, de https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Água/PlaneamentoGestao/PNA/2015/PNA2015.pdf
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2016). Plano de Gestão de Região Hidrográfica – Parte 2 – Caracterização e Diagnóstico. *Planos de Gestão de Região Hidrográfica 2º ciclo - 2016-2021*. Obtido em 6 de Novembro de 2020, de <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=848>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *GUIA PARA A REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA, USOS NÃO POTÁVEIS*. Obtido de https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Água/Licenciamento/ApR/APA_Guia_Reutilizacao_v1.pdf
- Al-Jasser, A. O. (January de 2011). Saudi wastewater reuse standards for agricultural irrigation: Riyadh treatment plants effluent compliance. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 23(1), pp. 1-8. doi:10.1016/j.jksues.2009.06.001
- Balcik-Canbolat, C., Sengezer, C., Sakar, H., Karagunduz, A., & Keskinler, B. (30 de December de 2017). Recovery of real dye bath wastewater using integrated membrane process: considering water recovery, membrane fouling and reuse potential of membranes. *Environmental Technology*, 38(21), pp. 2668-2676. doi:<https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1272641>
- Beck, S. (2009). *Between Disgust and Trust: State of Social Science Research on the Implementation and Acceptance of Water and Wastewater Reclamation and Re-use (WWT&R)*.
- CCDR-N, C. D. (2020). *CCDR-: Região Norte*. Obtido em 19 de Novembro de 2021, de <https://www.ccdr-n.pt/pagina/regiao-norte/apresentacao>
- CEBDS, C. E. (2018). *Guia sobre economia circular de água*. Rio de Janeiro.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2011). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*. Madrid: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.
- Chernicharo, C. A. (2016). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias* (2nd. ed., Vol. v. 5). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

- Comissão Europeia. (2006). *Water reuse system management manual*. Bruxelas: EU publications. Obtido em 24 de Novembro de 2020, de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b1912e31-3945-45a9-a01e-b29bfd058949>
- Comissão Europeia. (2017). *Report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions*. Brussels. Obtido em 19 de November de 2020, de https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/implementation_report.pdf
- DRE. (19 de Junho de 1997). Decreto-Lei nº 152/1997.
- DRE. (1 de Agosto de 1998). Decreto-Lei nº 236/1998.
- DRE. (21 de Agosto de 2019). Decreto-Lei nº 119/2019.
- Entidade reguladora dos serviços de água e resíduos. (2019). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal* (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos ed., Vol. Volume 2). Obtido em 19 de November de 2020, de <http://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx>
- ERSAR, E. e. (2022). *CARACTERIZAÇÃO*. Obtido em 25 de March de 2022, de <https://www.ersar.pt/pt/setor/caracterizacao>
- European Environment Agency. (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*. (E. R. 12/2012, Ed.) Copenhagen: Office for Official Publications of the European Union. doi:10.2800/66071
- Fawell, J., Le Corre, K., & Jeffrey, P. (10 de Fevereiro de 2016). Common or independent? The debate over regulations and standards for water reuse in Europe. *International Journal of Water Resources Development*, 32(4), pp. 559-572. doi:10.1080/07900627.2016.1138399
- Francés, G. E., Quevauviller, P., González, E. S., & Amelin, E. V. (March de 2017). Climate change policy and water resources in the EU and Spain. A closer look into the Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy*, 67, pp. 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.006>
- Frijns, J., Smith, H. M., Brouwer, S., Garnett, K., Elelman, R., & Jeffrey, P. (20 de Dezembro de 2016). How Governance Regimes Shape the Implementation of Water Reuse Schemes. *Water*, 8(605). doi:10.3390/w8120605
- Ghernaout, D. (março de 2018). Increasing Trends Towards Drinking Water Reclamation. *World Journal of Applied Chemistry*, pp. 1-9. doi:10.11648/j.wjac.20180301.11
- Gomes, S. F., & Lima, M. M. (2011). Análise da Viabilidade Económica da Reutilização de Águas Residuais Tratadas O caso da ETAR do Ave. (*Master Dissertation*).

- Hai, F. I., Riley, T., Shawkat, S., Magram, S. F., & Yamamoto, K. (2014). Removal of Pathogens by Membrane Bioreactors: A Review of the Mechanisms, Influencing Factors and Reduction in Chemical Disinfectant Dosing. *Water*(6), pp. 3603-3630. doi:10.3390/w6123603
- Haroon, H., Waseem, A., & Mahmood, Q. (February de 2013). Treatment and Reuse of Wastewater from Beverage Industry. *JOURNAL OF THE CHEMICAL SOCIETY OF PAKISTAN*, 35, pp. 5-10.
- Hering, J. G., Waite, T. D., Luthy, R. G., Drewes, J. E., & Sedlak, D. L. (8 de May de 2013). A Changing Framework for Urban Water Systems. *Environmental Science & Technology*, pp. 10721-10726. doi:10.1021/es4007096
- Huertas, E., Salgot, M., Hollender, J., Weber, S., Dott, W., Khan, S., . . . Chikurel, H. (5 de Janeiro de 2008). Key objectives for water reuse concepts. *Desalination*, 218, pp. 120-131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.032>
- INE, I. (2017). *Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas*. Lisboa: INE.
- INE, Instituto Nacional de Estatística. (2018). *Anuário Estatístico da Região Norte - 2018*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- Instituto de meteorologia. (2009). *Análise Climatológica da Década 2000-2009*.
- IPMA, I. (2022). *SITUAÇÃO DE SECA METEOROLÓGICA 15 de Março de 2022*. IPMA. Obtido em 2022 de March de 23, de https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/documentos/2022/Boletim_seca_IPM_A_15mar2022.pdf
- IPMA, I. P. (27 de Janeiro de 2022). *SECA METEOROLÓGICA EM PORTUGAL*. Obtido de https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/news.detail.jsp?f=/pt/media/noticias/textos/Evolucao_seca_meteorologica_2021_2022.html
- IWA, T. I. (2016). *Water Utility Pathways in a Circular Economy*. International Water Association.
- Jhansi, S. C., & Mishra, S. K. (2013). Wastewater Treatment and Reuse: Sustainability Options. *Consilience*(10), pp. 1-15. doi:10.2307/26476137
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., & Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, pp. 686-692.
- Kossar, M. J., Amaral, K. J., & Erbe, M. C. (September de 2013). Proposal for water reuse in the Kraft pulp and paper industry. *Water Practice & Technolog*, 8, pp. 359-374. doi:10.2166/wpt.2013.036
- Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *REVISTA ARGENTINA DE MICROBIOLOGÍA*, 46(1), pp. 1-2.

- Obtido em 19 de November de 2020, de
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=213030865001>
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., . . . Oki, T. (22 de June de 2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*(5), pp. 545-559. doi:10.1002/2016EF000518
- Lopes, M., Monteiro, A. C., Ribeiro, I., Sá, E., Martins, H., Coutinho, M., & Borrego, C. (2012). Alterações Climáticas e Gestão da Água em Portugal. *Revista Brasileira de Geografia Física*(6), pp. 1333-1357.
- Lorek, E., & Lorek, A. (2018). Circular economy in sustainable water management – theory and practice. *EKONOMIA I ŚRODOWISKO*, 4(67), 50-59. Obtido em 24 de Novembro de 2020, de
file:///C:/Users/danil/Downloads/Lorek_circular_4_18.pdf
- Maryam, B., & Büyükgüngör, H. (August de 2019). Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and. *Journal of Water Process Engineering*, 30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.10.001>
- Metcalf, & Eddy. (2016). *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos* (5th ed.). (D. W. Nowaczyk, Ed., I. Hespanhol, & J. C. Mierzwa, Trads.) Porto Alegre: AMGH.
- NWRI. (2012). *Ultraviolet Disinfection. Guidelines for Drinking Water and Water Reuse* (3rd ed.). Fountain Valley: National Water Research Institute and nd Water Research Foundation. Obtido em 26 de Setembro de 2021, de
https://7d22a3c6-d58b-4636-8cac-3260dc7d6552.filesusr.com/ugd/632dc3_c8ab78b05021452c8a520c3b6dba48ca.pdf?index=true
- Organização Mundial da Saúde. (14 de June de 2019). *Drinking-water*. Obtido de WHO web site: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pedrero, F., Grattan, S. R., Ben-Gal, A., & Vivaldi, G. A. (1 de November de 2020). Opportunities for expanding the use of wastewaters for irrigation of olives. *Agricultural Water Management*, 241. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106333>
- Pereira, C. L., & dos Santos, R. J. (2017). Avaliação da escassez de água e sua utilização para a modelação da Taxa de Recursos Hídricos. (*Master Dissertation*).
- Pinto, A. C. (2012). Tese de doutorado. *Emprego de lagoas seriadas após reatores RAC-UASB para tratamento de águas residuárias de suinocultura*. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Roccaro, P., & Verlicchi, P. (2018). Wastewater and reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, pp. 61-63.

- Rosemarin, A., Macura, B., Carolus, J., Barquet, K., Ek, F., Järnberg, L., . . . Okruszko, T. (August de 2020). Circular nutrient solutions for agriculture and wastewater – a review of technologies and practices. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 45, pp. 78-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.09.007>
- Santos, A. B. (2019). *Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos habitacionais*. Fortaleza, Ceará, Brasil: Imprece.
- Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Maniñas, B. J., & Mayes, A. M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452, 301-310.
- Silva, A. M., Baptista, J. M., Almeida, M. d., Vieira, P., & Ribeiro, R. (2002). Uso eficiente da para fins industriais. *6º Congresso da água*, 82-83. Obtido de <https://www.aprh.pt/congressoagua2002/pdf/p36.pdf>
- Silva, C. (2019). REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS PELA INDÚSTRIA: UM ESTUDO DE CASO DO AQUAPOLO AMBIENTAL. (*Master Dissertation*).
- Toze, S. (24 de Fevereiro de 2006). Reuse of effluent water - benefits and risks. *AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT*, 80, pp. 147-159. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.010
- União Europeia . (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council. L 312/3. Official Journal of the European Union. Obtido em 19 de November de 2020, de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:en:PDF>
- União Europeia. (2020). REGULATION (EU) 2020/741 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union*, 32-55. Obtido em 2022 de Março de 23, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741>
- van Haandel, A. C., & van der Lubbe, J. G. (2012). *Handbook of Biological Wastewater Treatment* (2nd ed.). London, United Kingdom: IWA publishing.
- Von Sperling, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (4th ed., Vol. 1). Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: Editora UFMG.
- WBCSD, W. (2017). *Business guide to circular water management: spotlight on reduce, reuse and recycle*.

Anexo A

Tabela A.1: Dados provenientes da ERSAR por concelho da região norte de Portugal.

Concelho	Distrito	Entidade Gestora em alta	Entidade Gestora em baixa	ERSAR											
				População Equivalente	População Equivalente com tratamento	População Equivalente com tratamento satisfatório	Utilização da ETAR	Nº ETAR	Nº ETAR com licença de descarga	Relação de ETAR com licença	Índice de conhecimento de infraestruturas	Nº de Alojamentos com serviço efetivo	Caudal coletado no ano	Caudal tratado no ano	Quanto do caudal é tratado
				e.p.	e.p.	e.p.	%	un.	un.	%	-	un.	m³/ano	m³/ano	
Alfândega da Fé	Bragança	Águas do Norte	CM Alfândega da Fé	4558	1052	1008	22,11496	32	8	25,00	172	3462	298611,80	77928	26,09676
Alijó	Vila Real	Águas do Norte	CM de Alijó	3838	-2	-2	-2	10	0	0,00	0	3963	565042,60	3838	0,679241
Amarante	Porto	Águas do Norte	Águas do Norte	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
Amares	Braga	Águas do Norte	CM de Amares	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	88	4115	898788	-1	-1
Arcos de Valdevez	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM Arcos de Valdevez	3850	589	586	15,22078	6	4	66,67	112	4762	726013,1	150695,1	20,75653
Armamar	Viseu	Águas do Norte	CM de Armamar	5850	0	0	0	4	0	0,00	78	3138	311553,4	4939	1,585282
Arouca	Aveiro	SIMDOURO	Águas do Norte	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
Baião	Porto	SIMDOURO	Águas do Norte	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
Barcelos	Braga	-	Águas de Barcelos	143535	132744	113765	79,25941	8	2	25,00	173	25617	8031919	7939218	98,84584
Boticas	Vila Real	Águas do Norte	Boticas	11650	1800	1800	15,45064	33	1	3,03	119	2829	232331,6	232331,6	100
Braga	Braga	-	Agere	340165	302377	207693	61,05655	15	15	100,00	142	78560	13723322,3	13723322	100
Bragança	Bragança	Águas do Norte	Bragança	14236	3650	2100	14,75133	39	21	53,85	139	21733	3040802	535247	17,60217
Cabeceiras de Bastos	Braga	Águas do Norte	CM de Cabeceira de Bastos	8653	-2	-2	-2	12	0	0,00	148	3010	640763	619376	96,66226
Caminha	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM de Caminha	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	62	9858	1226564	0	0
Carraceda de Ansiães	Bragança	-	Águas de Carraceda	8551	1168	1168	13,65922	1	9	900,00	108	3865	199244	42961,5	21,56226

Castelo de paiva	Aveiro	SIMDOURO	CM de Castelo de Paiva	569	-2	-2	-2	0	0	0,00	31	1350	162161,1	-2	-2
Celorico de Basto	Braga	Águas do Norte	Águas do Norte	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
Chaves	Vila Real	Águas do Norte	CM de Chaves	15814	10963	8486	53,66131	48	49	102,08	167	20967	3917227,8	392552	10,02117
Cinfães	Viseu	SIMDOURO	CM de Cinfães	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
Espinho	Aveiro	-	Cm de Espinho	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	78	12899	2418995	-1	-1
Esposende	Braga	Águas do Norte	Esposende Ambiente	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	127	13825	2464287	-2	-2
Fafe	Braga	Águas do Norte	Águas do Norte	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
Felgueiras	Porto	Águas do Norte	CM de Felgueiras	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	95	7267	953417	0	0
Freixo de Espada à Cinta	Bragança	Águas do Norte	CM de Freixo de Espada à Cinta	-3	-2	-2	-3	0	0	0,00	0	2300	-1	-1	-1
Gondomar	Porto	-	Águas de Gondomar	153673	102369	102259	66,54324	5	7	140,00	200	62613	9047900,7	6276372	69,36826
Guimarães	Braga	TRATAVE / Águas do norte	VIMÁGUA	723	-2	-2	-0,27663	0	0	0,00	151	55519	10889094	-2	-2
Lamego	Viseu	Águas do Norte	CM de Lamego	10900	-2	-2	-2	21	0	0,00	99	10392	1601684	-3	-3
Lousada	Porto	Águas do Norte	CM de Lousada	136	-2	-2	-2	1	0	0,00	44	10902	1432192	4964	0,346602
Macedo de Cavaleiros	Bragança	Águas do Norte	CM de Macedo de Cavaleiros	13950	-2	-2	-2	51	0	0,00	160	8824	1258636	588384	46,74775
Maia	Porto	-	SMEAS de Maia	233600	106670	106670	45,66353	3	3	100,00	25	51498	8742120	9455114	108,1558
Marco de Canaveses	Porto	-	Águas de Marco	39819	22102	20669	51,90738	16	15	93,75	125	8372	1536040	1536040	100
Matosinhos	Porto	-	Indaqua de Matosinhos	490890	213881	213881	43,57005	1	1	100,00	200	74590	12730876	13999483	109,9648
Melgaço	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM de Melgaço	6587	6387	5832	88,53803	17	16	94,12	163	4789	299072	181514	60,69241
Mesão Frio	Vila Real	Águas do Norte	Mesão Frio	781	275	43	5,505762	3	2	66,67	41	1311	264600,4	43121,4	16,2968
Mirada do Douro	Bragança	-	CM Mirando do Douro	9922	3800	3589	36,17214	36	2	5,56	90	5403	357997	351865	98,28714
Mirandela	Bragança	Águas do Norte	CM de Mirandela	12965	-2	-2	-2	59	0	0,00	100	13807	-3	517694,1	-3
Mogadouro	Bragança	Águas do Norte	CM de Mogadouro	22116	21668	21395	96,73992	23	75	326,09	99	6153	688884	372922	54,13422

Moimenta da Beira	Viseu	Águas do Norte	CM de Moimenta da Beira	8891	-2	-2	-2	11	0	0,00	51	5357	711462	100027	14,05936
Monção	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM de Monção	1000	1000	740	74	2	2	100,00	99	3700	533732	19355	3,626352
Mondim de Basto	Vila Real	Águas do Norte	CM de Mondim de Basto	-2	2263	1660	-2	1	1	100,00	82	930	161345	77045	47,75171
Montalegre	Vila Real	Águas do Norte	CM de Montalegre	15750	-2	-2	-2	2	0	0,00	44	4248	390624	18116	4,637708
Murça	Vila Real	Águas do Norte	CM de Murça	5000	-2	-2	-2	10	0	0,00	17	2860	416660,7	218819,7	52,51748
Oliveira de Azeméis	Aveiro	AMTSM	Indaqua Oliveira de Azeméis	32010	190	190	0,593565	4	2	50,00	162	9594	1769203	70106,8	3,96262
Paços de Ferreira	Porto	-	Água de Paços de Ferreira	48482	-2	-2	-2	1	0	0,00	152	14996	3619497	3619497	100
Paredes	Porto	SIMDOURO	Águas de Paredes	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	186	17892	1259558	-2	-2
Paredes de Coura	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM de Paredes de Coura	5008	1038	993	19,82827	13	5	38,46	147	2072	247354	27136	10,97051
Penafiel	Porto	SIMDOURO	Penafiel verde	19800	8592	8592	43,39394	7	7	100,00	100	14469	2167756	604860	27,90259
Penedono	Viseu	-	CM de Penedono	6776	906	328	4,840614	7	4	57,14	31	2223	143767,8	149354,2	103,8857
Peso da Régua	Vila Real	Águas do Norte	CM de Peso da Régua	1014	-2	-2	-2	7	0	0,00	50	6497	770808	22250,4	2,886633
Ponte da Barca	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM de Ponte da Barca	2177	-1	-1	-1	0	0	0,00	154	3462	338295,4	0	0
Ponte de Lima	Braga	Águas do Norte	CM de Ponte de Lima	4518	0	0	0	2	0	0,00	143	7220	1187324	153227	12,90524
Porto	Porto	-	Águas do Porto	370000	498067	498067	134,6127	2	2	100,00	184	125193	18311547	21083076	115,1354
Póvoa de Lanhoso	Braga	Águas do Norte	CM de Póvoa de Lanhoso	300	-2	-2	-2	4	0	0,00	151	4669	975950	8280	0,848404
Póvoa de Varzim	Porto	Águas do Norte	CM de Póvoa de Varzim	3700	0	0	0	1	0	0,00	70	31296	2846146	89755	3,153563
Resende	Viseu	Águas do Norte	CM de Resende	3637	-3	-3	-3	20	9	45,00	28	2792	222099	-3	-3
Ribeira de Pena	Vila Real	Águas do Norte	CM de Ribeira de Pena	4475	3500	3292	73,56425	14	11	78,57	108	2656	245805	-3	-3
Sabrosa	Vila Real	Águas do Norte	CM de Sabrosa	6035	-2	-2	-2	39	0	0,00	66	3273	346955,7	225422,7	64,97161
Santa Maria da Feira	Aveiro	AMTSM	Indaqua da Feira	80819	17588	17589	21,76345	8	8	100,00	186	42263	7766201	2402485	30,93514

Santa Maria de Penaguião	Vila Real	Águas do Norte	CM de Santa Maria de Penaguião	486	-2	-2	-2	5	0	0,00	96	2899	409412	16231,9	3,964686
Santo Tirso	Porto	TRATAVE	Águas do Norte	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
São João da Madeira	Aveiro	AMTSM	Águas de São João	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	132	10328	2591188	-2	-2
São João da Pesqueira	Viseu	Águas do Norte	CM de São João da Pesqueira	5056	115	68	1,344937	14	4	28,57	80	4331	550243,9	187141,5	34,01065
Sernancelhe	Viseu	Águas do Norte	CM de Sernancelhe	3475	2875	2689	77,38129	11	10	90,91	41	2980	456281,4	31194,9	6,836768
Tabuaço	Viseu	Águas do Norte	CM de Tabuaço	6990	-2	-2	-2	13	0	0,00	0	4196	398543	197100	49,45514
Tarouca	Viseu	Águas do Norte	CM de Tarouca	5538	4538	2779	50,18057	11	11	100,00	83	4048	493785,7	147991,5	29,9708
Terras de Bouro	Braga	Águas do Norte	CM de Terras de Bouro	-2	-2	-2	-2	0	0	0,00	57	1465	271521	0	0
Torre de Moncorvo	Bragança	Águas do Norte	CM de Torres de Moncorvo	5753	-2	-2	-2	3	0	0,00	71	5382	413497,5	-1	-1
Trofa	Porto	TRATAVE / Águas do norte	Águas do Norte	7982	840	811	10,16036	16	4	25,00	119	54909	13594554,5	213444	1,57007
Vale de Cambra	Aveiro	AMTSM	CM de Vale de Cambra	640	130	36	5,625	3	1	33,33	179	5706	490265,3	4220,3	0,86082
Valença	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM de Valença	898	0	0	0	1	0	0,00	120	4800	785510	56575	7,202327
Valongo	Porto	-	Águas de Valongo	114617	126862	126862	110,6834	3	3	100,00	195	37796	10470371	10470371	100
Valpaços	Vila Real	Águas do Norte	CM de Valpaços	22985	0	0	0	11	0	0,00	84	12777	841932	-2	-2
Viana do Castelo	Viana do Castelo	Águas do Norte	SMSB Viana do Castelo	125	125	108	86,4	1	1	100,00	163	32498	4777745	1523	0,031877
Vieira do Minho	Braga	Águas do Norte	CM de Vieira do Minho	-3	-1	-1	-3	0	0	0,00	67	2000	486371	0	0
Vila do Conde	Porto	Águas do Norte	Indaqua de Vila do Conde	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	195	29022	3528073	-2	-2
Vila Flor	Bragança	Águas do Norte	CM de Vila Flor	12400	-2	-2	-2	29	19	65,52	116	4984	204518,7	120303	58,82249
Vila Nova de Cerveira	Viana do Castelo	Águas do Norte	CM de Vila Nova de Cerveira	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	86	2919	589538	-2	-2
Vila Nova de Famalicão	Braga	TRATAVE / Águas do norte	CM de Vila Nova de Famalicão	610	-2	-2	-2	3	0	0,00	153	46072	7314970	15244	0,208395
Vila Nova de Foz Côa	Guarda	Águas do Norte	CM de Vila Nova de Foz de Côa	-3	-2	-2	-3	2	0	0,00	47	5999	711984,2	54890,5	7,709511

Vila Nova de Gaia	Porto	SIMDOURO	Águas de Gaia	-2	-2	-2	-2	0	-2	0,00	191	123314	15621258	-2	-2
Vila Pouca de Aguiar	Vila Real	Águas do Norte	CM de Vila Pouca de Aguiar	-3	-3	-3	-3	47	-3	-3,00	112	7767	-3	-3	-3
Vila Real	Vila Real	Águas do Norte	EMAR de Vila Real	6777	5577	2784	41,08012	7	7	100,00	155	18004	2853003	144968	5,081242
Vila Verde	Braga	Águas do Norte	CM de Vila Verde	0	-2	-2	-2	0	-1	0,00	66	8125	1861300	-2	-2
Vimioso	Bragança	-	CM Vimioso	9721	9721	9721	100	28	28	100,00	108	3984	513844	513844	100
Vinhais	Bragança	Águas do Norte	CM de Vinhais	7500	-2	-2	-2	34	34	100,00	69	4874	561410,4	323770	57,67082
Vizela	Braga	TRATAVE / Águas do norte	VIMÁGUA	723	-2	-2	-0,27663	0	0	0,00	151	55519	10889094	-2	-2

-1: Não disponível

-2: Não aplicável

-3: Não respondeu

Tabela A.2: Dados provenientes da SNIAmb e Planos de Gestão de Região Hidrográfica

Concelho	Distrito	SNIAmb											PGRH 1, 2 e 3	
		Número de estações de tratamento de águas residuais					Número de rejeição em solo						Regiões hidrográficas	Região hidrográfica considerada para cálculos
		Preliminar	Primário	Secundário	Avançado	Total	Ausência	Preliminar	Primário	Secundário	Avançado	Total		
		un.	un.	un.	un.	un.	un.	un.	un.	un.	un.	un.		
Alfândega da Fé	Bragança	0	0	27	0	27	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Alijó	Vila Real	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Amarante	Porto	0	0	6	1	7	0	0	1	0	0	1	RH3	RH3
Amares	Braga	0	0	8	1	9	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2
Arcos de Valdevez	Viana do Castelo	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Armamar	Viseu	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Arouca	Aveiro	0	0	8	1	9	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Baião	Porto	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Barcelos	Braga	0	0	9	0	9	0	0	1	0	0	1	RH2/RH1	RH2
Boticas	Vila Real	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH3
Braga	Braga	0	0	7	8	15	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2

Bragança	Bragança	0	0	35	0	35	0	0	4	0	0	4	RH3	RH3
Cabeceiras de Bastos	Braga	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH3
Caminha	Viana do Castelo	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Carraceda de Ansiães	Bragança	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	RH3	RH3
Castelo de paiva	Aveiro	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Celorico de Basto	Braga	0	3	4	0	7	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH3
Chaves	Vila Real	0	0	27	2	29	0	0	1	0	0	1	RH3	RH3
Cinfães	Viseu	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Espinho	Aveiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Esposende	Braga	0	0	8	1	9	0	0	0	0	0	0	RH2/RH1	RH2
Fafe	Braga	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH2
Felgueiras	Porto	0	1	5	0	6	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH3
Freixo de Espada à Cinta	Bragança	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Gondomar	Porto	0	0	3	0	3	0	0	6	0	0	6	RH3	RH3
Guimarães	Braga	0	0	1	3	4	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2
Lamego	Viseu	0	0	10	2	12	0	0	0	1	0	1	RH3	RH3
Lousada	Porto	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH3
Macedo de Cavaleiros	Bragança	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Maia	Porto	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH2
Marco de Canaveses	Porto	0	0	9	1	10	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Matosinhos	Porto	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH2
Melgaço	Viana do Castelo	0	0	17	2	19	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Mesão Frio	Vila Real	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Mirada do Douro	Bragança	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Mirandela	Bragança	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Mogadouro	Bragança	0	0	34	0	34	0	0	39	0	0	39	RH3	RH3
Moimenta da Beira	Viseu	0	1	5	0	6	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Monção	Viana do Castelo	0	0	3	1	4	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Mondim de Basto	Vila Real	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Montalegre	Vila Real	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2/RH1	RH2
Murça	Vila Real	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3

Oliveira de Azeméis	Aveiro	0	2	5	0	7	0	0	3	0	0	3	RH4	RH4
Paços de Ferreira	Porto	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH3
Paredes	Porto	0	0	6	0	6	0	0	2	0	0	2	RH3	RH3
Paredes de Coura	Viana do Castelo	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Penafiel	Porto	0	0	12	0	12	0	0	2	0	0	2	RH3	RH3
Penedono	Viseu	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Peso da Régua	Vila Real	0	0	10	1	11	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Ponte da Barca	Viana do Castelo	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Ponte de Lima	Braga	0	0	9	1	10	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Porto	Porto	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH3
Póvoa de Lanhoso	Braga	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2
Póvoa de Varzim	Porto	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2
Resende	Viseu	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Ribeira de Pena	Vila Real	0	0	14	0	14	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Sabrosa	Vila Real	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Santa Maria da Feira	Aveiro	0	0	7	0	7	0	0	2	0	0	2	RH3	RH3
Santa Maria de Penaguião	Vila Real	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Santo Tirso	Porto	0	0	2	2	4	0	0	0	0	0	0	RH3/RH2	RH2
São João da Madeira	Aveiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RH4	RH4
São João da Pesqueira	Viseu	0	0	14	0	14	0	0	0	2	0	2	RH3	RH3
Sernancelhe	Viseu	0	0	5	0	5	0	0	3	0	0	3	RH3	RH3
Tabuaço	Viseu	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Tarouca	Viseu	0	0	16	0	16	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Terras de Bouro	Braga	0	0	7	1	8	0	0	0	0	0	0	RH2/RH1	RH2
Torre de Moncorvo	Bragança	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Trofa	Porto	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2
Vale de Cambra	Aveiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RH4	RH4
Valença	Viana do Castelo	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Valongo	Porto	0	0	2	0	2	0	0	1	0	0	1	RH3	RH3
Valpaços	Vila Real	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Viana do Castelo	Viana do Castelo	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1

Vieira do Minho	Braga	0	0	9	0	9	0	0	1	0	0	1	RH3/RH2	RH2
Vila do Conde	Porto	0	0	3	1	4	0	0	1	0	0	1	RH2	RH2
Vila Flor	Bragança	0	0	31	0	31	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Vila Nova de Cerveira	Viana do Castelo	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	RH1	RH1
Vila Nova de Famalicão	Braga	0	0	2	1	3	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2
Vila Nova de Foz Côa	Guarda	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Vila Nova de Gaia	Porto	0	0	4	1	5	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Vila Pouca de Aguiar	Vila Real	0	0	4	1	5	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Vila Real	Vila Real	0	0	6	1	7	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Vila Verde	Braga	0	0	9	1	10	0	0	0	0	0	0	RH2/RH1	RH2
Vimioso	Bragança	0	0	26	0	26	0	0	0	0	0	0	RH3	RH3
Vinhais	Bragança	0	0	24	3	27	0	0	2	0	0	2	RH3	RH3
Vizela	Braga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	RH2	RH2

-1: Não disponível

-2: Não aplicável

-3: Não respondeu

ANEXO B

Tabela B.1: Dados provenientes dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica

Setor		RH1 - Minho e Lima			RH2 - Cávado, Ave e Leça			RH3 - Douro		
		Volume (hm ³)			Volume (hm ³)			Volume (hm ³)		
		Superficial	Subterrâneo	Total	Superficial	Subterrâneo	Total	Superficial	Subterrâneo	Total
Urbano	Abastecimento Público	10,62	8,24	18,86	58,13	0,85	58,98	141,23	10,06	151,29
	Consumo Particular	-	7,33	7,33	0	1,88	1,88	-	9,64	9,64
Industrial	PCIP	7,88	-	7,88	9,63	-	9,63	0,13	-	0,13
	Não PCIP	0	0,28	0,28	19,41	15,6	35,01	1,09	5,61	6,7
Agrícola	Agricultura	35,22	55,13	90,35	124,84	189,26	314,1	160,09	281,34	441,43
	pecuária	0,1	0,69	0,79	0,33	3,17	3,5	0,27	2,21	2,48
Turismo	Golfe	0	0,45	0,45	0	1,8	1,8	0,45	2,03	2,48
	Hotelaria	-	-	-	-	0,04	0,04	0,01	0,04	0,05
Energia	Termoelétrica	-	-	-	-	-	0	251,83	-	251,83
	hidroelétrica <10m	-	-	-	3055,98	0	3055,98	369,99	-	369,99
	hidroelétrica >10m	2740,69	-	2740,69	4073,2	-	4073,2	72744,49	-	72744,49
Outros		-	0,05	0,05	-	0,09	0,09	-	0,27	0,27
Total		2794,51	72,17	2866,68	7341,52	212,69	7554,21	73669,58	311,2	73980,78

Tabela B.2: Dados provenientes dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica e suas porcentagens utilizadas para as cateogiras consideradas para efeito de cálculos de consumo.

Setor		RH1 - Minho e Lima			RH2 - Cávado, Ave e Leça			RH3 - Douro		
		Volume (hm ³)			Volume (hm ³)			Volume (hm ³)		
		Consumo Total	Consumo utilizável	% utilizada	Consumo Total	Consumo utilizável	% utilizada	Consumo Total	Consumo utilizável	% utilizada
Industrial	PCIP	7,88	5,99	76% do total	9,63	7,32	76% do total	0,13	0,10	76% do total
	Não PCIP	0,28	0,21	86% do total	35,01	26,61	86% do total	6,70	5,09	86% do total

Turismo	Golfe	0,45	0,45	100% do total	1,80	1,80	100% do total	2,48	2,48	100% do total
	Hotelaria	0,00	0,00	0% do total	0,04	0,00	0% do total	0,05	0,00	0% do total
Agrícola	Agricultura	90,35	90,35	100% do total	314,10	314,10	100% do total	441,43	441,43	100% do total
	pecuária	0,79	0,74	93,37% total	3,50	3,27	93,37% total	2,48	2,32	93,37% total

Tabela B.2: Dados provenientes do INE para cabeças bovinas e restrições dadas pela APA para ApR.

Pecuária admitindo que todos tem pastos regados e que a região Norte tem agricultura homogênea						
Região	Espécie	Nº de cabeças	Utilizável perante ApR	Relação do tipo pelo total	Utilizável perante ApR em relação ao todo	Porcentagem aplicável para a pecuária para ApR
Norte no IIEA 2016	Bovina	365	100%	37%	37,24%	93,37%
	Ovina	434	100%	44%	44,29%	
	Suína	65	0%	7%	0,00%	
	Caprinos	116	100%	12%	11,84%	