



NOVA

NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DE ENGENHARIA
DO AMBIENTE

TIAGO FILIPE LOURENÇO LEITÃO

Licenciado em Engenharia do Ambiente

A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA E O CONSUMO DE ENERGIA DE UMA ETA

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE, PERFIL DE SANITÁ-

Universidade NOVA de Lisboa
Dezembro, 2023



A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA E O CONSUMO DE ENERGIA DE UMA ETA

TIAGO FILIPE LOURENÇO LEITÃO

Licenciado em Engenharia do Ambiente

Orientadora: Professora Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa,
Professora Associada, Universidade NOVA de Lisboa

Coorientadores: Mestre Engenheira Sandra Duarte

Júri:

Presidente: Professora Doutora Leonor Amaral
Professora Associada, FCT-NOVA

Arguentes: Engenheiro José Manuel Leitão Sardinha
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Orientador: Professora Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa,
Professor Associado, FCT-NOVA

A Influência da Qualidade da Água Bruta e a Energia Consumida de uma ETA

Copyright © <Tiago Filipe Lourenço Leitão>, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

É importante começar por dizer que não conseguiria acabar esta dissertação sem a ajuda de todas as pessoas envolvidas., pelo qual desejo expressar o meu sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora Rita Maurício por me ter orientado. Agradeço por todo o apoio, disponibilidade, confiança, e conselhos que me forneceu. Mesmo nos momentos onde me senti mais nervoso, a Professora conseguiu-me acalmar, e motivou-me a continuar o meu trabalho.

Também expressei o meu agradecimento à Engenheira Sandra Duarte por ter ajudado na conclusão da dissertação, e por todas as reuniões que foram feitas e todas as dúvidas que foram tiradas. Além disso, consegui perceber o que é ser um ótimo engenheiro, ao observar a Engenheira Sandra.

Não posso deixar de mencionar a minha gratidão ao Professor António Pedro Mano e à Professora Leonor Amaral por todo o conhecimento que foi transmitido ao longo destes últimos anos.

Aos meus amigos, pela paciência e o companheirismo que tiveram comigo. Em especial, gostaria de agradecer à Margarida Costa e à Inês Silva, que me acompanharam desde o início do curso. O mestrado de Sanitária não seria o mesmo sem elas.

Por fim, agradeço à minha família, que foi o meu apoio principal. À minha mãe e ao meu pai agradeço por todos os valores que me transmitiram, por todo o apoio e todas os conselhos que me deram. À minha prima, por ter sido a minha parceira durante toda a vida, estando comigo em todas as etapas. Ao meu irmão, por todo o carinho que me deu. À minha avó, que me transmite sempre felicidade. E ao meu avô, que tenho a certeza que se iria orgulhar imenso por ter finalizado o curso.

"A persistência é o caminho do êxito." (Charles Chaplin).

RESUMO

Para que a água seja própria para consumo humano, é necessário que haja diversos processos que consomem consideráveis quantidades de energia, com o propósito de fornecer água segura e de qualidade à população (OMS, 2023). O consumo energético associado ao abastecimento de água é um dos aspectos mais críticos a serem geridos. As variações na qualidade da água afluyente à ETA podem exercer uma influência direta sobre o desempenho desta condicionando, por isso, o consumo de energia associado (Stang *et al.*, 2018).

O objetivo principal deste estudo foi detalhar e avaliar o consumo global de energia associado a uma ETA, estabelecendo correlações entre esse consumo com a qualidade da água bruta. Essa energia pode ser categorizada em duas componentes distintos: a energia direta, relacionada com operações e processos internos e a energia indireta, que abrange a produção e transporte de reagentes químicos, além da produção e transporte de lamas.

Para conduzir essa avaliação, selecionou-se um caso de estudo - ETA da Apartadura (ETAA), situada no concelho de Portalegre. Essa ETA capta a água na albufeira da Apartadura, localizada na ribeira de Reveladas, um afluyente pertencente à Bacia Hidrográfica do Tejo.

Para determinar a energia que a ETA consome teve-se em consideração a energia direta, que corresponde à eletricidade, e a energia indireta, relativa ao consumo associado aos reagentes químicos utilizados, bem como à produção e transporte de lamas. Posteriormente, foi feita uma avaliação da qualidade da água bruta, através de métodos estatísticos, mais concretamente através de uma análise de correlação de Pearson e regressão linear.

Ao analisar os resultados, e como já era esperado, verificou-se a existência de relações entre a energia e a qualidade da água. Estas relações são, essencialmente, devido ao uso de reagentes. No que respeita à energia total consumida, a ETA da Apartadura apresentou cerca de 54% de energia indireta e 46% da energia direta, o que demonstrou que grande parte da energia consumida foi devida à escolha e uso dos reagentes utilizados. Além desta análise de

resultados, também foi efetuada uma comparação com o estudo feito para outra ETA, com o intuito de verificar se existia, ou não, alguma correlação entre elas, e perceber quais os motivos do grande consumo de energia indireta.

Palavras-chave: Qualidade da água, Água, Eletricidade, Energia, Estação de Tratamento de Águas, Energia Direta, Energia Indireta

ABSTRACT

In order for water to be fit for human consumption, it is necessary to carry out various processes that consume considerable amounts of energy, with the aim to provide a safe, high-quality water supply to the population (WHO, 2023). The energy consumption associated with water supply is one of the most critical aspects to be managed. Variations in the quality of the water flowing into the WTP can have a direct influence on its performance, which conditions the associated energy consumption (Stang et al., 2018).

The main objective of this study was to detail and evaluate the overall energy consumption associated with a WTP, establishing correlations between this consumption and the quality of the raw water. This energy can be categorized into two distinct components: direct energy, related to internal operations and processes, and indirect energy, which covers the consumption and transport of chemical reagents, as well as the production and transport of solid waste.

To conduct this assessment, a case study was selected - Apartadura WTP, located in the municipality of Portalegre. This WTP collects water from the Apartadura reservoir, located on the Reveladas stream, a tributary of the Tagus River Basin.

To determine the energy consumed by the WTP, it was taken into account the direct energy, which corresponds to electricity, as well as indirect energy, relating to the consumption associated with the chemical reagents used, and the production and transportation of sludge. Subsequently, the quality of the raw water was assessed using statistical methods, specifically Pearson's correlation analysis and linear regression.

Analyzing the results, as expected, revealed a relationship between energy and water quality. These relationships are essentially due to the use of reagents. Regarding the total energy consumed, the Apartadura WTP had around 54% indirect energy and 46% direct energy, which showed that a large part of the energy consumed was due to the choice and use of the reagents used. In addition to this analysis of results, a comparison was also made with the

study carried out for another WTP, in order to see whether or not there was any correlation between them, and to understand the reasons for the high consumption of indirect energy.

Keywords: Water, Water quality, Electricity, Energy, Water Treatment Plant, Direct Energy, Indirect Energy

ÍNDICE

1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
2	OBJETIVOS.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	De Água Bruta para água de consumo humano	5
3.1.1	Qualidade da água.....	7
3.1.2	Doenças Relacionadas com a Qualidade da Água	9
3.1.3	Consumo de Água em Portugal.....	10
3.2	Tratamento de água	12
3.3	Energia	16
3.3.1	Energia em Portugal.....	17
3.3.2	Energia na ETA.....	20
3.3.3	Enquadramento Legal da Energia em Portugal.....	21
3.4	Nexus Água-Energia	23
3.4.1	Nexus Energia Água em Portugal	24
3.5	Gases com Efeito de Estufa (GEE)	26
3.5.1	Redução das Emissões de Carbono no Tratamento de Água	28
4	METODOLOGIA.....	30
4.1	ETA.....	30
4.1.1	Qualidade da Água Bruta	30
4.1.2	Energia.....	31

4.1.3	Relação entre a Energia Total e a Qualidade da Água.....	34
4.2	Caso de Estudo – ETA da Apartadura	36
4.2.1	Descrição	36
4.2.2	Fase Líquida	36
4.2.3	Fase Sólida	37
4.3	Reagentes	38
5	RESULTADOS.....	41
5.1	Qualidade da Água Bruta.....	41
5.2	Energia	45
5.2.1	Energia Direta	45
5.2.2	Energia Indireta.....	49
5.3	Energia Total Consumida.....	52
5.4	Emissões.....	54
5.5	Relação entre a Energia Consumida e a Qualidade da Água.....	55
5.6	Comparação entre a ETA da Apartadura e a ETA de Santa Águeda	58
6	CONCLUSÃO	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
8	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Volumes estimados de água doce líquida	5
Figura.3.3: emissões de carbono provenientes da eletricidade, de 1990 a 2021	17
Figura 3.4: consumo de energia primária nos anos 2000 e 2020	18
Figura 3.5: Consumo de energia por atividade, de 2000 a 2020	19
Figura 3.6: Evolução da dependência energética em Portugal	20
Figura 3.7: Ciclo de vida da energia e emissões de GEE	21
Figura 3.8: Consumo de energia no setor das águas em Portugal.....	25
Figura 3.9: Emissões globais de GEE	27
Figura 4.1: limites do estudo a nível da energia	32
Figura 4.2: esquema do estudo.....	34
Figura 4.3: Esquema de apoio a nível estatístico.....	36
Figura 4.4: Diagrama linear da eta da Apartadura.....	38
Figura 5.1: gráfico scree plot.....	42
Figura 5.2: energia consumida na Eta (em kwh) de 2017 a 2022.....	46
Figura 5.3: energia consumida em relação ao consumo específico.....	48
Figura 5.4: energia consumida pela lavagem dos filtros, de 2017 a 2022.....	49
Figura 5.5: Energia total consumida	53
Figura 5.6: Energia total indireta.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 Valores paramétricos estabelecidos para controlo de qualidade.....	9
Tabela 3.2: Nº de mortes derivadas das doenças relacionadas com a água.....	10
Tabela 3.3: Tipos de tratamento possíveis, reagente/ órgão utilizados e a origem da água....	14
Tabela 4.1: função e local dos diferentes reagentes.....	39
Tabela 5.1: parâmetros de qualidade estudados.....	41
Tabela 5.2: análise das componentes principais.....	43
Tabela 5.3: matriz de componentes.....	44
Tabela 5.4: consumo específico, de 2017 a 2022.....	47
Tabela 5.5: sistema da lavagem dos filtros.....	48
Tabela 5.6: processos de lavagem dos filtros.....	48
Tabela 5.7 energia indireta de todos os reagentes e lamas, de 2017 a 2022.....	51
Tabela 5.8: Energia total consumida, de 2017 a 2022.....	54
Tabela 5.9: Emissões totais de co2, de 2017 a 2022.....	55
Tabela 5.10: Valores de R e r2 das variáveis dependentes.....	55
Tabela 5.11: Resultados da Regressão Linear das variáveis dependentes.....	56

|

INTRODUÇÃO

A água distribuída à população através das redes de abastecimento de água deve satisfazer os mais elevados padrões de qualidade, razão pela qual é sujeita a tratamento. A eficácia do tratamento afeta a vida dos consumidores e é por isso que, à medida que a tecnologia se desenvolve nas instalações de tratamento de água e de águas residuais, são combinadas várias técnicas com o objetivo de aumentar a eficiência do tratamento (Cybulski et al., 2022)

A expansão urbana, devido ao aumento da população e da afluência, conduziu a um aumento das áreas residenciais e comerciais, a uma procura crescente de energia e água e, conseqüentemente, a um aumento das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Em resposta, algumas cidades procuraram minimizar a sua utilização de energia e a sua pegada de carbono através da adoção de políticas de mitigação do carbono e de estratégias e tecnologias eficientes em termos energéticos (Santana et al., 2014).

As estações de tratamento de água e de águas residuais consomem uma quantidade exorbitante de energia elétrica.(Gude, 2015). Além disso, mundialmente a energia elétrica representa atualmente 40% dos custos operacionais dos sistemas de água potável e prevê-se que aumente para 60% nos próximos 15 anos. Este consumo excessivo de energia representa um encargo financeiro para as empresas de abastecimento de água e de tratamento de águas residuais significativo, representando e agravando, por isso, uma situação de *stress* para cumprir os regulamentos de qualidade e uma procura por este recurso cada vez maior (Tata & Howard, 2023).

A energia pode ser dividida em dois grupos: energia direta e energia indireta (Reinders et al., 2003). A energia direta corresponde à energia elétrica que é consumida na ETA e pode ser quantificada facilmente, quando comparada com a energia indireta. Isso inclui, por exemplo, o consumo de eletricidade e combustível nas operações e processos de tratamento, bem como na elevação. A energia indireta corresponde à quantidade de

energia que é consumida para a produção dos reagentes químicos utilizados na ETA, bem como o transporte dos mesmos (Racoviceanu et al., 2007).

A otimização do nexus água-energia para satisfazer a procura crescente de água exige uma abordagem multidisciplinar equilibrada (Hasanzadeh Saray et al., 2022). A economia, as ciências sociais e a tomada de decisões, bem como a política local e nacional, por um lado, e a ciência e a tecnologia, por outro, estão entre as disciplinas com funções importantes a desempenhar na compreensão e otimização da ligação entre a água e a energia, a fim de proporcionar um maior acesso a cada uma delas (Hamiche et al., 2016). A tecnologia e a engenharia do nexus água-energia oferecem oportunidades para satisfazer as necessidades previstas de recursos (água e energia), limitando simultaneamente os impactos nos sistemas ambientais da Terra e até nos serviços dos ecossistemas. Ou seja, um dos principais objetivos que se deve ter em consideração é procurar oportunidades para proporcionar o acesso a ambos, minimizando o impacto ambiental (Rao et al., 2017).

Ao relacionar a qualidade da água com a energia consumida nas estações de tratamento poderia ajudar as partes interessadas a avaliar se o controlo da qualidade da água na origem ou mesmo a utilização de diferentes produtos químicos de tratamento ajudará a reduzir o custo, a energia incorporada e as emissões de carbono associadas à água potável (Santana et al., 2014).

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo foi estudar o consumo total de energia numa ETA e estabelecer a relação entre a qualidade da água bruta que chega à estação e o consumo de energia nos processos de tratamento. Para alcançar esse objetivo principal, foi essencial realizar o cálculo da energia direta, da energia indireta, da energia total consumida e das emissões de CO₂ relacionadas ao consumo energético. Com os resultados obtidos foi feita uma comparação entre a ETA estudada com outra ETA, para perceber também a relação entre ambas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 De Água Bruta para água de consumo humano

A água é o líquido mais abundante na Terra, mas a maior parte é salgada (Cabane & Vuilleumier, 2005). Ao longo dos anos, vários cientistas publicaram estimativas sobre o volume global de água doce, pelo que, se estima que o volume global de água doce líquida é de cerca de 10,6 milhões de km³, o que equivale a uma camada de água de 79 m (profundidade equivalente) sobre toda a área terrestre do globo, excluindo a Antártida (UNESCO, 2022). Aproximadamente 99% deste volume é constituído por águas subterrâneas, e apenas 1,4 milhões de km³ de águas subterrâneas armazenadas são "modernas", o que significa que entraram na subsuperfície há menos de 50 anos. O volume de água doce está irregularmente distribuído pelos continentes, o que se explica, em parte, pelas diferenças na dimensão dos continentes e, em parte, pelas diferenças no volume médio de água doce por unidade de superfície (UNESCO, 2022).

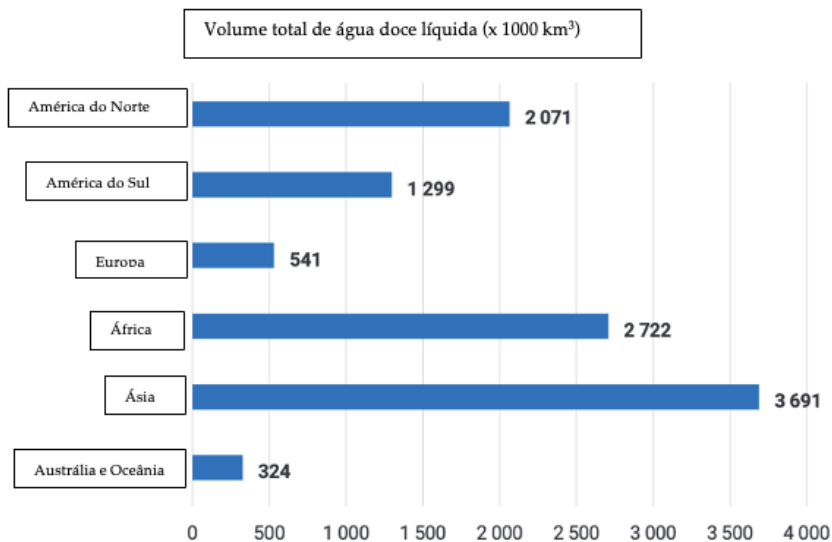


Figura 3.1: Volumes estimados de água doce líquida (Fonte: UNESCO, 2022)

Atualmente, é essencial que a água potável seja de qualidade, segura e suficiente para o bem-estar da sociedade e, principalmente, para garantir a saúde pública (UN, 2023). A água não é um produto comercial como qualquer outro. No entanto, é

importante do ponto de vista económico (Moran & Dann, 2008). Cada cidadão consome em média cerca de 150 litros de água potável por dia, e a captação total de água doce para fins de consumo potável na Europa é de cerca de 250 mil milhões de m³/ano (EEA, 2009). A atual infraestrutura de abastecimento de água potável constitui também uma vantagem comparativa que pode apoiar o crescimento económico a nível local. As deficiências no abastecimento de água potável, em termos de qualidade ou quantidade, provocam elevados custos sociais e económicos (Jury & Vaux, 2005). Para evitar esses custos, a preservação e a melhoria do abastecimento seguro de água potável é de importância vital, contribuindo para o seu desenvolvimento socioeconómico global (Commission, 2016).

Segundo a OMS, em 2020 cerca de 5,8 mil milhões de pessoas utilizaram serviços de água potável geridos com segurança - ou seja, utilizaram fontes de água melhoradas localizadas nas instalações, disponíveis quando necessário, e livres de contaminação. Os restantes 2 mil milhões de pessoas utilizaram água sem serviços geridos de forma seguras sendo que:

- Cerca de 1,2 milhões de pessoas têm acesso a serviços básicos, no entanto, possuem uma fonte de água aprimorada a uma distância de ida e volta de 30 minutos.
- Aproximadamente 282 milhões de pessoas têm acesso a serviços limitados, o que implica que utilizam uma fonte de água melhorada que requer mais de 30 minutos para ser adquirida.
- Cerca de 368 milhões de pessoas obtêm água de poços e nascentes desprotegidos.
- 122 milhões de pessoas coletam água superficial não tratada de lagos, lagoas, rios e riachos.
- Ainda existem desigualdades em termos geográficos e económicos. Essas disparidades não apenas existem entre áreas rurais e urbanas, mas também dentro das cidades e vilas. Nas áreas de baixo rendimento, informais ou ilegais, as pessoas geralmente têm menos acesso a fontes de água potável aprimoradas em comparação com outros residentes.

A água contaminada, bem como o saneamento deficiente estão ligados à transmissão de doenças tais como cólera, diarreia, disenteria, hepatite A, febre tifoide, entre outras. Quando os serviços de água e saneamento estão ausentes, são inadequados ou geridos de forma inadequada expõem os indivíduos a riscos sanitários evitáveis. Este é particularmente o caso nas instalações de cuidados de saúde onde tanto os pacientes

como o pessoal são colocados em risco adicional de infecção e doença quando falta água, saneamento e serviços de higiene. A nível mundial, 15% dos pacientes desenvolvem uma infecção durante uma estadia hospitalar, sendo a proporção muito maior nos países de baixos rendimentos (OMS, 2023).

Uma gestão inadequada das águas residuais urbanas, industriais e agrícolas significa que a água potável de centenas de milhões de pessoas está perigosamente contaminada ou quimicamente poluída. A presença natural de químicos, particularmente nas águas subterrâneas, também pode ter significado para a saúde, incluindo arsénico e fluoreto, enquanto outros produtos químicos, como o chumbo, podem ser elevados na água potável como resultado de lixiviação de componentes de abastecimento de água em contacto com a água potável (OMS, 2023).

3.1.1 Qualidade da água

A água é um componente crucial do ambiente, no entanto, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas tem vindo a deteriorar-se cada vez mais, devido a atividades naturais e humanas. Os fatores naturais que influenciam a qualidade da água são: fatores hidrológicos, atmosféricos, climáticos, topográficos e litológicos. Relativamente às atividades antropogénicas que afetam negativamente a qualidade da água são: a exploração mineira, a criação de gado, a produção e eliminação de resíduos (industriais, municipais e agrícolas), o aumento do escoamento de sedimentos ou a erosão do solo devido à alteração do uso do solo bem como a poluição por metais pesados (APA, 2023).

Nos últimos tempos, os países em desenvolvimento têm enfrentado problemas significativos na proteção da qualidade da água, e no melhoramento do seu abastecimento e do saneamento.

Mesmo as nações desenvolvidas têm lutado para manter ou melhorar o estado da sua qualidade da água face a problemas como o enriquecimento de nutrientes, a eutrofização dos recursos hídricos, e a prestação de serviços de água e águas residuais a populações cada vez maiores.

Esta gestão da água exige a recolha e análise de grandes conjuntos de dados sobre a qualidade da água, que podem ser difíceis de avaliar e sintetizar. Foi desenvolvida uma série de ferramentas para avaliar os dados sobre a qualidade da água; o modelo do Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma dessas ferramentas. Os modelos de IQA baseiam-se em funções de agregação que permitem a análise de grandes conjuntos de dados sobre a qualidade da água, que variam temporal e espacialmente, para produzir um valor único, ou seja, o índice de qualidade da água, que indica a qualidade da massa

de água. São atrativos para as agências de gestão/abastecimento de água, uma vez que são relativamente fáceis de utilizar e convertem conjuntos de dados complexos sobre a qualidade da água numa medida de valor único da qualidade da água que é fácil de compreender (Uddin et al., 2021).

As águas podem-se dividir em quatro setores:

- Águas superficiais (provenientes de rios, lagos e albufeiras);
- Águas subterrâneas
- Águas de mar
- Águas da chuva

De um modo geral, pode-se afirmar que as águas superficiais e as águas subterrâneas são as águas mais procuradas para o abastecimento público. Como é de esperar, ambas têm características muito diferentes. As águas de superfície apresentam uma maior quantidade de matéria em suspensão (que pode ser de natureza orgânica e, ou coloidal, como por exemplo algas que podem apresentar grandes variações quantitativas muito rapidamente), matéria orgânica dissolvida (natural ou de natureza antropogénica, podendo potenciar o aparecimento de cor), microrganismos patogénicos (vírus, bactérias, protozoários, etc.), e algumas substâncias particulares, associadas a fontes antropogénicas. Por outro lado, as águas subterrâneas são caracterizadas por baixas concentrações de matéria em suspensão, microrganismos patogénicos e matéria orgânica. Também é possível que haja alguma matéria orgânica natural, embora não de uma forma significativa. No entanto, contêm frequentemente compostos reduzidos de ferro e manganês. Também podem apresentar azoto amoniacal, alguns minerais tóxicos (As, Se, ...), dureza excessiva, ou ao contrário, sendo agressivas, salinidade excessiva, etc. (APA, 2023).

De acordo com o Decreto-Lei n236/98, a água destinada ao consumo humano deve ser salubre, limpa e desejavelmente equilibrada, não pode conter nenhum microrganismo, parasita ou substância em quantidade ou concentração que possa constituir um perigo potencial para a saúde humana; tem de cumprir as normas da qualidade fixadas no Anexo I do referido decreto, e não pode ser agressiva, nem incrustante ao longo do sistema de abastecimento. Na tabela seguinte estão demonstrados os valores paramétricos estabelecidos para efeitos de controlo da qualidade destinada ao consumo humano.

Tabela 3.1 Valores paramétricos estabelecidos para controlo de qualidade no D.L. nº 306/2007, de 27 de agosto

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade
Alumínio	200	µg/l Al
Amónio	0,50	mg/l NH ₄
Cálcio	-	mg/l Ca
Cloretos	250	mg/l Cl
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)	0	N/100 ml
Cor	20	mg/l PtCo
Condutividade	2 500	µS/cm a 20°C
Dureza total	-	mg/l CaCO ₃
pH	≥ 6,5 e ≤ 9	unidades de pH
Ferro	200	µg/l Fe
Magnésio	-	mg/l Mg
Manganês	50	µg/l Mn
Microcistinas — LR total	1	µg/l
Cheiro, a 25°C	3	Factor de diluição
Oxidabilidade	5	mg/l O ₂
Sulfatos	250	mg/l SO ₄
Sódio	200	mg/l Na
Sabor, a 25°C	3	Factor de diluição
Número de colónias	Sem alteração anormal	N/ml a 22°C
Número de colónias	Sem alteração anormal	N/ml a 37°C
Bactérias coliformes	0	N/100 ml
Carbono orgânico total (COT)	Sem alteração anormal	mg/l C
Turvação	4	UNT
α-total	0,5	Bq/l
β-total	1	Bq/l
Tritio	100	Bq/l
Dose indicativa total	0,10	mSv/ano
Desinfectante residual	-	mg/l

3.1.2 Doenças Relacionadas com a Qualidade da Água

Um dos grandes problemas mundiais tem a ver com a qualidade da água. Quando esta qualidade é comprometida, diversas doenças podem surgir, representando uma ameaça tanto para os seres humanos, como para a biodiversidade. Sendo assim, as doenças relacionadas com a água podem-se dividir em três grandes grupos (World Health Organization, 2019); (EPA, 2023b).

1. Doenças transmitidas pela água contaminada: A contaminação microbiológica da água por bactérias, vírus e protozoários patogénicos é uma das principais causas de doenças relacionadas com a água. Doenças como cólera, disenteria, hepatite A e gastroenterite estão entre as mais comuns. Esses patógenos podem ser ingeridos pela água contaminada, levando a infeções gastrointestinais agudas e, em casos graves, até à morte. A falta de saneamento adequado e a má gestão de resíduos contribuem para a disseminação dessas doenças.
2. Doenças associadas a produtos químicos tóxicos: A presença de produtos químicos tóxicos na água, como metais pesados, pesticidas e produtos farmacêuticos, pode levar ao aparecimento de doenças crónicas e agudas. Por exemplo, a exposição ao chumbo na água pode causar danos neurológicos, especialmente em

crianças. Substâncias químicas provenientes de atividades industriais e agrícolas podem infiltrar-se nas fontes de água, afetando a qualidade e representando um risco para a saúde humana e para os ecossistemas aquáticos.

3. Doenças relacionadas com a água estagnada: A água estagnada, como aquela encontrada em poços, reservatórios abandonados ou águas paradas, pode ser um ponto crucial no aparecimento de parasitas, como mosquitos. A malária, a dengue e a febre amarela são exemplos de doenças provenientes de mosquitos que se reproduzem quando a água está parada. A gestão inadequada desses locais propícios à proliferação de vetores pode resultar em surtos epidémicos.

A Tabela 3.2. apresenta o número de mortes em 2016, causado pelas várias doenças relacionadas com a qualidade da água:

Tabela 3.2: Nº de mortes derivadas das doenças relacionadas com a água (Fonte: WHO, 2019)

Disease	Deaths	DALYs (thousands)	Population-attributable fraction
Diarrhoeal diseases	828 651	49 774	0.60
Soil-transmitted helminthiasis	6 248	3 431	1
Acute respiratory infections	370 370	17 308	0.13
Malnutrition ^a	28 194	2 996	0.16
Trachoma	< 10	244	1
Schistosomiasis	10 405	1 096	0.43
Lymphatic filariasis	< 10	782	0.67
<i>Subtotal drinking-water, sanitation and hygiene</i>	<i>1 243 869</i>	<i>75 630</i>	<i>NA</i>
Malaria	354 924	29 708	0.80
Dengue	38 315	2 936	0.95
Onchocerciasis	< 10	96	0.10
<i>Subtotal water resource management</i>	<i>393 239</i>	<i>32 740</i>	<i>NA</i>
Drownings	233 890	14 723	0.73 (0.74 for LMIC, 0.54 for HIC)
<i>Subtotal safety of water environments</i>	<i>233 890</i>	<i>14 723</i>	<i>NA</i>
Total inadequate water, sanitation and hygiene	1 870 998	123 094	NA

3.1.3 Consumo de Água em Portugal

As origens de água superficial continuam a ser as mais utilizadas para a produção de água destinada ao consumo humano. A percentagem total de água subterrânea utilizada foi de 29,60 % (30,59 % em 2020) e a de água superficial de 70,40 % (69,41 % em 2020), confirmando-se que um pouco mais de dois terços da água que os portugueses bebem é de origem superficial, tendência que se tem mantido constante ao longo dos últimos anos (ERSAR, 2022).

Nos últimos anos, o setor de abastecimento público de água em Portugal tem passado por uma transformação notável, especialmente em relação à qualidade da água que chega às torneiras dos consumidores. Atualmente, podemos afirmar que 99% da água monitorizada atende aos padrões de alta qualidade (água segura). Isso representa uma melhoria significativa em comparação com a situação em 1993, quando apenas 50% da água atingia esses elevados padrões de qualidade (ERSAR, 2022).

O indicador: água segura em Portugal continental situou-se em 2021 no valor de 98,96 % (98,85 % em 2020), confirmando a tendência pelo sétimo ano consecutivo da manutenção deste indicador no valor de 99 %, ou seja, de excelência na qualidade da água para consumo humano. O valor deste indicador reflete o cumprimento dos requisitos da qualidade da água (valores paramétricos), bem como a realização do número mínimo de análises regulamentares (ERSAR, 2022).

Relativamente à legislação da água em Portugal, o **Decreto-Lei nº236/98 de 1 de Agosto** é o documento que mais informações tem sobre o assunto, que tem o objetivo de proteger a saúde pública, criar uma gestão integrada dos recursos hídricos e preservar o ambiente. No documento estão presentes os requisitos necessários para a utilização das águas para consumo humano, estando divididos em três secções:

Secção I - Águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano

As águas de superfície, destinadas ao abastecimento de água potável, são categorizadas como A1, A2 e A3 com base na sua qualidade, conforme estabelecido nas diretrizes do anexo I. A categoria (A1, A2 ou A3) que a qualidade da água recebe determinará um padrão específico de tratamento. Os procedimentos de tratamento correspondentes às classes A1, A2 e A3 das águas de superfície são os seguintes:

- Classe A1- tratamento físico e desinfeção;
- Classe A2- tratamento físico e químico e desinfeção;
- Classe A3- tratamento físico, químico de afinação e desinfeção.

Secção II – Águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano:

As águas subterrâneas são aceitáveis como fonte de abastecimento de água potável, desde que sua qualidade seja igual ou superior à categoria A1 das águas de superfície de origem doce destinadas ao consumo humano. Nesses casos, o tratamento recomendado para essa categoria de águas será aplicado, com as devidas modificações necessárias.

Secção III – Água para consumo humano

As disposições desta secção transpõem para o âmbito nacional a Diretiva n.º 80/778/CEE do Conselho, datada de 15 de julho, que aborda a qualidade das águas destinadas ao consumo humano. Define-se como águas de abastecimento para consumo humano qualquer água utilizada para esse fim em seu estado original ou após tratamento, independentemente da sua origem, abrangendo:

- a) Água destinada ao consumo humano;
- b) Água usada na indústria alimentar para fabricação, tratamento ou conservação de produtos ou substâncias destinadas ao consumo humano e que possa afetar a segurança do produto alimentar final;
- c) Água utilizada na produção de gelo;
- d) Água envasada em recipientes, embalagens ou tanques que, em circunstâncias excepcionais, possa ser disponibilizada diretamente ao consumidor para consumo humano;
- e) Água embalada disponibilizada em circuitos comerciais.

3.2 Tratamento de água

Os processos de tratamento de água funcionam como uma linha de defesa entre o consumidor e a água bruta, bem como as suas possíveis doenças. A sequência de processos de tratamento conhecida como cloração, consiste num único processo de tratamento, a desinfecção da água. O processo de tratamento conhecido como filtração implica a cloração seguida de filtração através de areia ou carvão, que remove as partículas da água e reduz a turvação. Relativamente à coagulação, esta altera o estado físico e químico dos sólidos dissolvidos e em suspensão e facilita a sua remoção por filtração (El-taweel et al., 2023). Também é usado na maior parte das estações de tratamento de água a fase da floculação antes da filtração, o que aumenta a aglomeração de partículas e melhora ainda mais a eficiência de remoção. No que toca à desinfecção, é reforçada pela adição de cloro (ou de um desinfetante alternativo, como o dióxido de cloro ou o ozono) tanto no início como no fim do processo (Gerba & Pepper, 2019).

O processo de tratamento mais comum para o abastecimento de águas superficiais, conhecido como tratamento convencional, consiste em coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (Gerba, 2009). Como já foi referido, a coagulação envolve a adição de produtos químicos para facilitar a remoção de sólidos dissolvidos e suspensos por sedimentação e filtração. Os coagulantes primários mais comuns são os

sais metálicos hidrolisantes, nomeadamente o Sulfato de Alumínio [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$], o sulfato férrico [$Fe_2(SO_4)_3$] e o cloreto férrico ($FeCl_3$) (Barrera-Díaz et al., 2018).

A coagulação pode também remover compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos. Os sais metálicos hidrolisantes adicionados à água podem reagir com a matéria orgânica, formando um precipitado, ou podem formar partículas de flocos de hidróxido de alumínio ou de hidróxido férrico, nos quais as moléculas orgânicas se adsorvem. Sendo assim, as substâncias orgânicas são removidas por sedimentação e filtração, ou apenas por filtração. A adsorção e a precipitação também removem substâncias inorgânicas (Bassin et al., 2021).

A floculação é um processo físico e químico no qual a água tratada é suavemente agitada para aumentar as colisões entre partículas, promovendo assim a formação de partículas grandes (Baraniak & Waleriańczyk, 2003). Após uma floculação adequada, a maior parte dos agregados deposita-se durante as 1-2 h de sedimentação. Os microrganismos são aprisionados ou adsorvidos nas partículas em suspensão e removidos durante a sedimentação. A sedimentação (ou decantação) é outro processo puramente físico, envolvendo a sedimentação gravitacional de partículas suspensas que são mais densas do que a água. O efluente resultante é então sujeito a uma filtração rápida para separar os sólidos que ainda estão suspensos na água (Gerba & Pepper, 2019).

A filtração é um dos processos fundamentais no tratamento de água. A sua principal finalidade consiste em remover sólidos em suspensão, predominantemente por ação física, à medida que a suspensão flui através de um leito constituído por meios granulares. Quando se adiciona um coagulante, a filtração também pode eliminar coloides ao mesmo tempo, ampliando a gama de partículas retidas. Este processo é particularmente eficaz na remoção de turbidez, cor, microrganismos e partículas, quer estejam presentes na água ou sejam formadas durante o pré-tratamento (Cescon & Jiang, 2020).

A filtração ocorre em duas fases: uma fase de transporte, que aproxima as partículas do meio filtrante, e uma fase de fixação, que depende das interações entre as partículas e a superfície do meio filtrante. Importa salientar que estas fases não são totalmente distintas, uma vez que os mecanismos de fixação podem desviar as partículas em direção à superfície dos grãos. Adicionalmente, podem agregar-se, formando aglomerados que são mais facilmente transportados e depositados no meio (Jegatheesan & Vigneswaran, 2005).

Em conjunto, a coagulação, a floculação, a sedimentação e a filtração removem eficazmente muitos contaminantes. Igualmente importante é o facto de reduzirem a

turvação, produzindo água de boa limpidez e, conseqüentemente, uma maior eficiência de desinfecção (Gerba & Pepper, 2019).

A desinfecção da água é fundamental como medida de saúde pública, uma vez que o seu objetivo principal é reduzir a propagação de doenças. Existem várias tecnologias de desinfecção disponíveis para atender às necessidades de inativação de agentes patogênicos na água. No entanto, é importante salientar que muitos destes desinfetantes químicos, quando usados em excesso ou de maneira inadequada, podem reagir com compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água, resultando na formação de subprodutos de desinfecção (SPD) que podem ser prejudiciais para a saúde (Collivignarelli et al., 2017).

As tecnologias convencionais são as mais comuns para a desinfecção da água e podem ser agrupadas em processos químicos, como o uso de cloro, dióxido de cloro, ozono e ácido peracético. Além dos desinfetantes químicos, a radiação ultravioleta (UV) tem sido amplamente empregue ao longo dos anos para a desinfecção, especialmente no tratamento de águas residuais (Collivignarelli et al., 2017).

A Tabela 3.3 mostra os tipos de tratamento da ETA, bem como cada reagente/órgão, relacionando-os com o tipo de origem da água a tratar.

Tabela 3.3: Tipos de tratamento possíveis, reagente/ órgão utilizados e a origem da água (Fonte: Mano, A., 2022)

Tipo de Tratamento	Reagente/ órgão	Tipo de origem		
		Subterrânea	Superficial	Mistura
Pré-oxidação	Cloro gasoso		✓	
	Dióxido de cloro		✓	
	Hipoclorito de sódio	✓	✓	✓
	Ozono		✓	
	Permanganato de potássio		✓	
Coagulação/Floculação	Carvão ativado	✓	✓	
	Sais de ferro	✓	✓	
	Hidróxido de cálcio	✓	✓	
	Polieletrólito	✓	✓	✓
	Sais de alumínio	✓	✓	✓
Correção da dureza	Carbonato de sódio		✓	
	Hidróxido de cálcio	✓	✓	

Tipo de Tratamento	Reagente/ órgão	Tipo de origem		
		Subterrânea	Superficial	Mistura
Correção da agressividade	Carbonato de sódio	✓	✓	
	Dióxido de carbono		✓	
	Hidróxido de cálcio	✓	✓	✓
	Hidróxido de sódio		✓	
Correção do pH	Ácido sulfúrico		✓	
	Carbonato de sódio	✓	✓	
	Dióxido de carbono	✓	✓	
	Hidróxido de cálcio	✓	✓	
	Hidróxido de sódio	✓	✓	✓
Remoção de ferro e manganês	Arejamento	✓	✓	✓
	Oxidação química	✓	✓	
Decantação	Decantador convencional	✓	✓	✓
	Decantador de manto de lamas		✓	
	Decantador lamelar		✓	
Filtração	Filtro rápido de areia	✓	✓	✓
	Filtro lento de areia	✓	✓	
	Filtro rápido de dupla camada (areia-antracite)	✓	✓	
	Filtro lento de dupla camada (areia-antracite)	✓		
	Filtro rápido de carvão ativado		✓	
Desinfecção	Cloro gasoso	✓	✓	
	Dióxido de cloro	✓	✓	
	Hipoclorito de sódio	✓	✓	✓
	Ozono		✓	
	Radiação UV	✓	✓	

3.3 Energia

A maioria das fontes de energia para a realização de trabalhos são fontes de energia não renováveis, tais como o petróleo, gás natural, carvão, energia nuclear. Estas fontes de energia são chamadas não renováveis, pois, a sua abundância está limitada à quantidade que podemos extrair da terra. Carvão, gás natural e petróleo formaram-se ao longo de milhares de anos a partir de restos enterrados de antigas plantas e animais marinhos que viveram há milhões de anos. É por isso que também se chamam a essas fontes de energia combustíveis fósseis (EIA, 2023).

No entanto, a utilização de energia renovável começou a aumentar em grande parte devido a incentivos à sua utilização, especialmente para a produção de eletricidade. Muitos países estão a trabalhar para aumentar a utilização de energias renováveis como forma de ajudar a reduzir e evitar as emissões de dióxido de carbono (EIA, 2023).

Os combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, mantêm sua posição como a principal fonte de energia. No entanto, a utilização dessas fontes resulta na emissão de gases de efeito estufa (GEE), incluindo o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso.

Em 2021, houve um grande aumento na utilização de todos os combustíveis fósseis para ajudar a satisfazer o crescimento da procura de eletricidade. As emissões de CO₂ do sector aproximaram-se dos 14,6 Gt, o seu nível mais elevado de sempre e cerca de 500 Mt mais elevado do que em 2019. Apesar deste aumento das emissões de carbono, a produção baseada em energias renováveis atingiu um máximo, excedendo 8 000 TWh em 2021, um recorde de 500 TWh acima do nível em 2020. Se não tivesse ocorrido este aumento nas energias renováveis e energia nuclear, as emissões globais de CO₂ em 2021 teriam sido 220 Mt mais altas (Energy Agency, 2021).

Mundialmente, a quota de eletricidade final no consumo de energia é de 20%. Os maiores consumidores de eletricidade são a China, os Estados Unidos e Europa; que em conjunto, representam mais de 60% da procura global de eletricidade. A Figura 3.2 representa as emissões totais provenientes da eletricidade, desde 1990 a 2021.

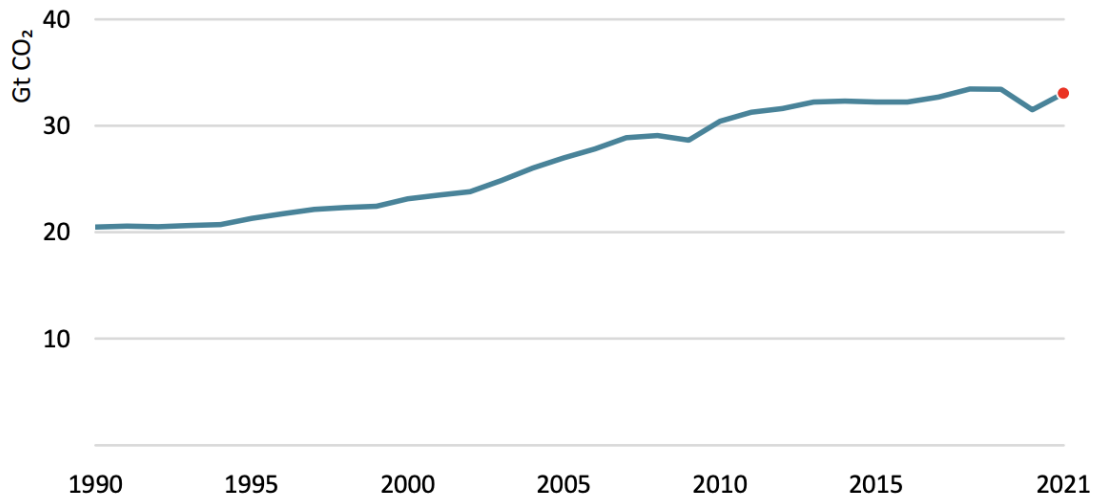


Figura.3.2: emissões de carbono provenientes da eletricidade, de 1990 a 2021 (Fonte: Energy Agency, 2021)

Relativamente a Portugal, comparando as emissões totais de GEE por habitante ao nível dos países da UE-28 em 2019, verificou-se que Portugal apresentou um dos valores mais baixos (6,2 ton CO₂e/habitante), cerca de 22% abaixo do valor médio registado na UE-28 (7,9 ton CO₂e/habitante). Relativamente à utilização de energias renováveis, em 2019 Portugal atingiu 30% na incorporação de renováveis no consumo final bruto de energia (Observatório Da Energia, 2021).

3.3.1 Energia em Portugal

No que concerne ao consumo total de energia primária, em 2020, verificou-se que o petróleo foi a principal fonte de energia, com cerca de 41% da energia total, seguido das energias renováveis, com quase 30%, e de seguida o gás natural. Ao comparar a energia consumida no ano de 2000, com a energia no ano de 2020, foi possível observar que houve uma descida de cerca de 20% do consumo do petróleo, e uma subida das renováveis e do gás natural. Na Figura 3.3 mostra-se o consumo total de energia primária em 2000 e 2020 (ADENE, 2022).

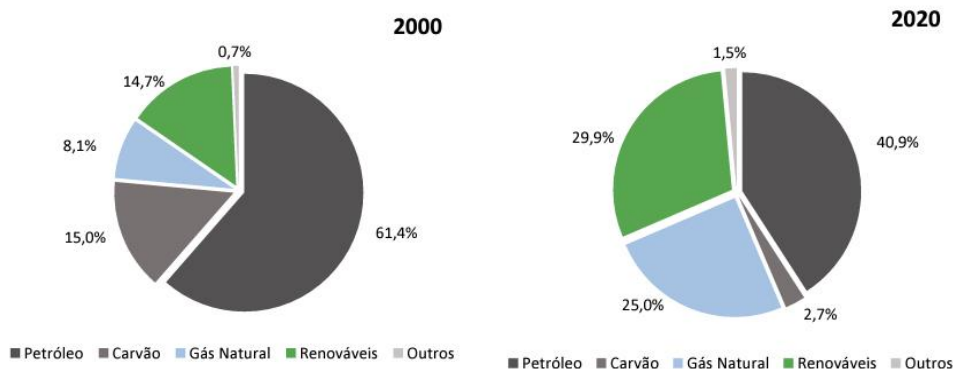


Figura 3.3: consumo de energia primária nos anos 2000 e 2020 (Fonte: Adene, 2022)

Relativamente ao consumo de energia elétrica em relação ao setor de atividade, também foi possível observar várias diferenças ao longo dos anos. Em 2020, o setor dos transportes continuou a ser o principal consumidor de energia (32,6%), seguido da indústria (31,2%), doméstico (19,5%), serviços (13,4%) e agricultura e pescas (3,3%). Nos últimos 20 anos, houve um aumento de 3,3 pontos percentuais no peso do consumo energético no setor de serviços, enquanto na indústria houve uma redução de 2,9 pontos percentuais. É importante destacar que, no período de 2000 a 2020, a indústria apresentou uma Taxa de Crescimento Médio Anual (TCMA) de -1,0%, enquanto o setor de serviços registou uma TCMA de +0,7%. A partir de 2014, começou a ser possível contabilizar a contribuição de fontes de energia renovável no aquecimento por meio de bombas de calor, o que resultou num aumento de 19% no consumo no setor de serviços e 9% no setor doméstico (ADENE, 2022).

A Figura 3.4 mostra o consumo de energia por setor de atividade ao longo dos anos.

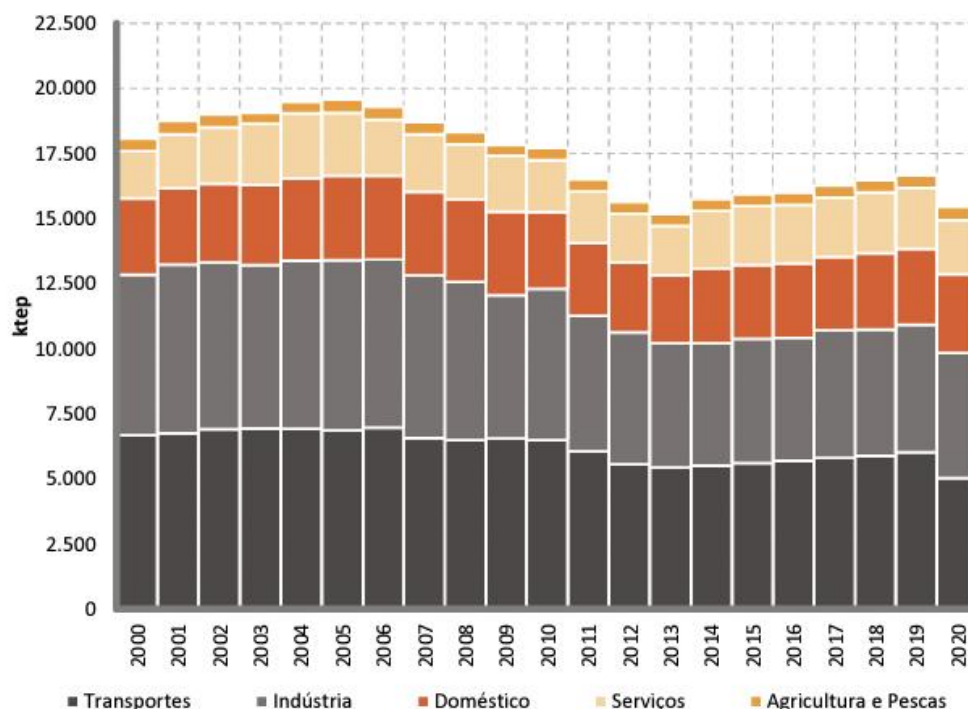


Figura 3.4: Consumo de energia por atividade, de 2000 a 2020 (Fonte: Adene, 2022)

A dependência energética é uma situação na qual um país tem a necessidade de importar fontes de energia para suprir as suas demandas internas. Dado que os consumos de energia desempenham um papel crucial na base produtiva de qualquer nação, essa dependência pode originar conflitos de interesses em âmbito internacional (Golde-nergy, 2023).

Constatou-se que Portugal é um país que está dependente de outros também no que concerne à energia. No entanto, tem havido uma diminuição desta dependência energética. Portugal está menos dependente do exterior, tendo-se verificado que em 2020 a **dependência energética** se situou nos 65,8%, e em 2010 o valor era de 76,1%. A meta estabelecida no Plano Nacional Energia Clima (PNEC) em 2030 será de de 65%. Na União Europeia, Portugal foi o 11º país com a maior dependência energética e 7,8 p.p. acima da média UE-27, que foi de 57,5% (ADENE, 2022b). A Figura 3.5 mostra a dependência energética de Portugal ao longo dos anos.

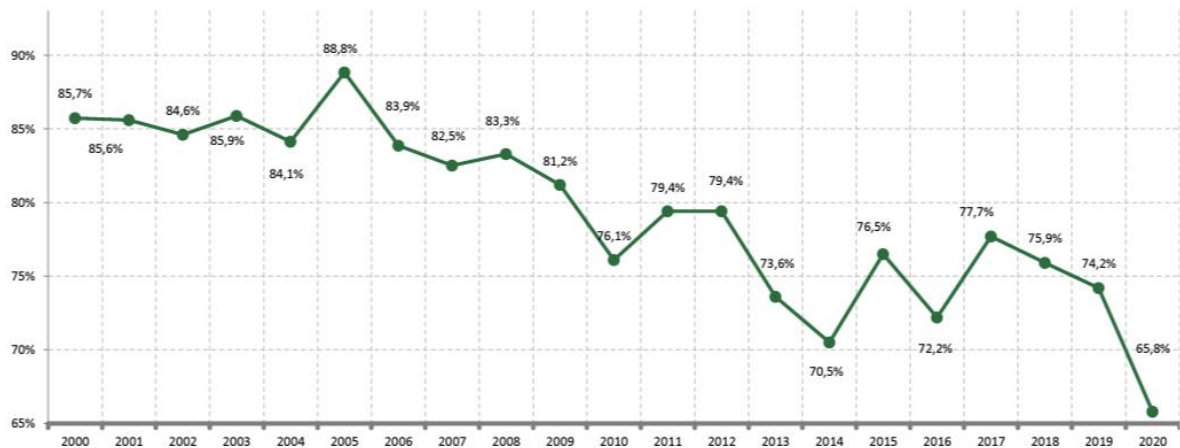


Figura 3.5: Evolução da dependência energética em Portugal (Fonte: Adene, 2022)

3.3.2 Energia na ETA

A utilização de energia pela ETA representa uma grande percentagem no ponto de vista municipal (Nakkasunchi et al., 2021). Uma quantidade significativa desta energia municipal ocorre em instalações de tratamento de água e águas residuais. Com bombas, motores e outros equipamentos em funcionamento 24 horas por dia, sete dias por semana, as instalações de água e águas residuais podem estar entre os maiores consumidores de energia numa comunidade e, portanto, entre os maiores contribuidores para o total de emissões de GEE da comunidade (Presura & Robescu, 2017). Nos Estados Unidos da América, a energia utilizada pela água e pelas águas residuais representam 35% dos orçamentos típicos de energia municipais dos EUA. A utilização de eletricidade representa 25-40 por cento dos orçamentos de funcionamento para e aproximadamente 80 por cento de custos de processamento e distribuição de água potável (EPA, 2013). Os sistemas de abastecimento de água potável e águas residuais emitem, nos Estados Unidos, mais de 45 milhões de toneladas de GEE por ano (EPA, 2013).

Os sistemas de infraestruturas urbanas de água requerem quantidades significativas de energia para o funcionamento adequado dos principais processos, sendo estes os sistemas de captação, transporte, tratamento e distribuição de água, de forma a fornecer aos clientes uma água potável segura e de alta qualidade (Loureiro et al., 2020). A análise do ciclo de vida (LCA) é frequentemente utilizada para quantificar o consumo de energia em cada fase, medido por parâmetros de referência de energia, tais como quilowatt-hora de eletricidade consumida por unidade de volume de água tratada (Motuzienė et al., 2022). Consequentemente, a utilização predominante de eletricidade está diretamente associada à bombagem (por exemplo, bombas de baixa pressão e/ou alta

pressão), que está ligada às exigências de pressão e às características operacionais das redes de distribuição de água (Vadasarukkai & Gagnon, 2017).

Os sistemas de água potável apresentam processos de separação que dependem de eletricidade e produtos químicos. As avaliações do ciclo de vida (LCAs) dos sistemas de água potável têm demonstrado que a maioria dos impactos associados ao tratamento da água ocorre como um resultado do consumo de eletricidade e produtos químicos durante o funcionamento das instalações. Estes impactos incluem emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e outros poluentes atmosféricos como NO_x, SO₂, e partículas em suspensão provenientes da produção de eletricidade e da indústria química. Estas emissões indiretas de GEE produzidos ao longo do ciclo de vida do tratamento da água impõem danos para a saúde, ambiente e clima (Gingerich & Mauter, 2017).

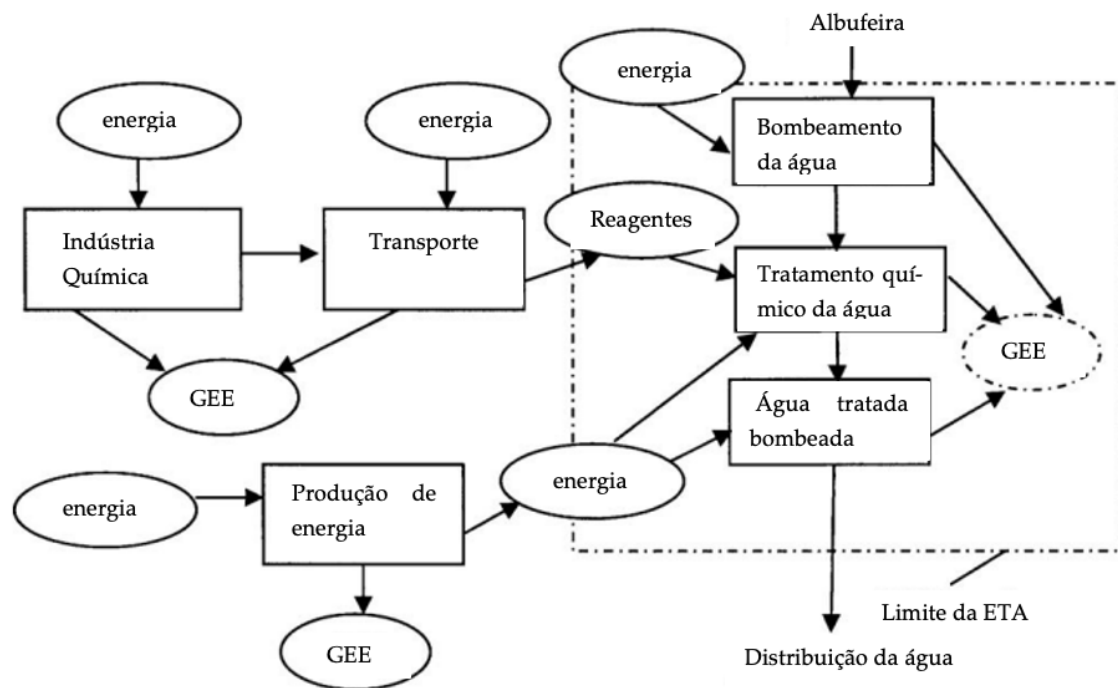


Figura 3.6: Ciclo de vida da energia e emissões de GEE (Fonte: Racoviceanu et al., 2007)

3.3.3 Enquadramento Legal da Energia em Portugal

A União Europeia enfrenta uma crise energética sem precedentes devido à invasão da Ucrânia pela Rússia. O estabelecimento de objetivos comuns de poupança de energia ajuda os agregados familiares e as empresas da UE a enfrentar estes tempos de incerteza (European Commission, 2023).

A redução da procura de energia faz com que haja uma redução dos preços e das importações e a UE torna-se menos vulnerável às alterações globais e torna-se mais “amiga” do ambiente. Deste modo, para diminuir o consumo de eletricidade, os estados-membros aceitaram reduzir o consumo em 10% (European Commission, 2023). Além disso, Portugal tem implementado o Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) que é o documento que estabelece o mecanismo de política energética e climática para a década de 2021 a 2030, orientando o caminho em direção a um futuro neutro em carbono. Este regulamento estipula que todos os Estados-membros devem elaborar e submeter à Comissão Europeia os seus planos integrados abrangendo a energia e o clima (APA,2023).

Conforme estabelecido pelo Plano Nacional de Energia e Clima, datado de 28 de janeiro de 2019, Portugal alcançou uma significativa redução de emissões de gases de efeito estufa, com uma diminuição de 22% desde 2005. Paralelamente, observou-se uma redução no consumo de energia. Nesse mesmo período, a integração de fontes de energia renovável na produção de eletricidade aumentou substancialmente, registando um crescimento de 26% e alcançando a notável marca de 54% em 2017. Um marco significativo foi alcançado em março de 2018, quando a produção de energia a partir de fontes renováveis ultrapassou os 100%.

É importante destacar que Portugal assumiu um compromisso crucial em 2016, visando atingir a neutralidade carbónica até 2050. Isso implica alcançar um equilíbrio entre as emissões de gases de efeito estufa e o sequestro de carbono. Para concretizar esse objetivo ambicioso, Portugal precisa de realizar uma redução de emissões superior a 85% em relação aos níveis de 2005, além de expandir sua capacidade de sequestro de carbono para 12 milhões de toneladas, um aumento substancial em relação à capacidade atual.(APA, 2023)

Assim, o Plano tem certas metas essenciais que necessita de alcançar até 2030, sendo estas:

- Reduzir entre 45 % e 55 % as emissões de gases com efeito de estufa, por referência às emissões registadas no ano de 2005;
- Incorporar 47 % de energia de fontes renováveis no consumo final bruto de energia;
- Reduzir 35 % do consumo de energia primária com vista a uma melhor eficiência energética;
- Atingir 15 % interligações de eletricidade.

Sendo assim, é necessário ter em conta a quantidade de energia que uma ETA utiliza, de forma a quantificar toda a energia consumida, identificar ineficiências, e encontrar as melhores formas de reduzir essa energia, para alcançar as metas do Plano.

3.4 Nexus Água-Energia

A água e a energia são conceitos que, apesar de serem muito diferentes, devem ser estudados em conjunto. Deve-se reconhecer que a disponibilidade de um recurso está intrinsecamente ligada à disponibilidade do outro, ou seja, as decisões e ações relacionados com o uso da água e da energia devem ser efetuadas de forma integrada, tendo sempre em conta os impactos de uma dada atividade em ambos os recursos (Märker & Venghaus, 2022).

No mundo globalizado de hoje, o aumento populacional bem como o crescimento económico coloca importantes desafios na obtenção de água suficiente, energia, e alimentos para satisfazer a procura. As políticas relacionadas com o Nexus Water-Energy-Food, a nível regional e nacional têm vários desafios interligados, incluindo o acesso a recursos, impactos ambientais e a segurança (de Amorim et al., 2018). A interligação dos subsistemas de água, energia e alimentos tornou-se cada vez mais evidente. Com o aumento da oferta de produtos e serviços a serem comercializados através das fronteiras económicas e dos ecossistemas, é necessária uma avaliação integrada quantificando os recursos comercializados (e as pressões ambientais associadas) dos três subsistemas, a fim de melhor compreender a complexidade deste Nexus e adotar uma abordagem de gestão abrangente (White et al., 2018).

Mesmo num cenário otimista, prevê-se que as necessidades energéticas globais continuarão a expandir-se em 30% até 2040, que é o equivalente a acrescentar as necessidades energéticas da China e da Índia à procura global atual. No que toca à água, cerca de 75% da população mundial pode enfrentar a falta de água doce disponível até 2050. Isto faz com que as emissões de carbono libertadas pela combustão de combustíveis fósseis no fornecimento de energia e água limpa causem grandes efeitos nas alterações climáticas (Chen et al., 2019). O que o torna ainda mais desafiante é que a energia e a água são frequentemente ligadas nas redes de sistemas económicos a todas as escalas. Cerca de 90% da produção de energia no mundo requer grandes quantidades de água. Em contrapartida, o abastecimento de água e o tratamento de águas residuais requerem uma grande quantidade de energia incluindo eletricidade, o que resulta numa quantidade considerável de emissões de carbono (Chen et al., 2019).

A Agência Internacional de Energia (AIE), como resposta ao aumento do consumo de água devido ao crescimento da população mundial e a necessidade de combater o uso excessivo de energia, propõe algumas abordagens distintas:(IEA, 2017)

- Localização de infraestruturas de água e energia: A identificação e localização de infraestruturas e consumidores de ambos os recursos possibilitam a redução dos custos relacionados com subprodutos e o transporte.
- Utilização de fontes alternativas de água para energia: Dada a crescente escassez de água doce, é essencial considerar outras fontes de água para a produção de energia. Muitas vezes, a água utilizada não precisa atender aos padrões de qualidade para consumo humano. Dependendo da finalidade, é necessário avaliar os requisitos energéticos para o tratamento e transporte dessas águas.
- Economia de água e energia: Processos otimizados de gestão da água podem resultar em economias significativas de energia, podendo chegar a uma redução de até 13% em comparação com os processos convencionais. Ferramentas como auditorias e benchmarking são fundamentais para identificar lacunas nos processos que envolvem água e energia. A partir dessas informações, as entidades gestoras e os órgãos governamentais podem adaptar a legislação e regulamentos para cumprir as metas estabelecidas.

3.4.1 Nexus Energia Água em Portugal

Em todas as fases do ciclo urbano da água, desde a produção e distribuição até à elevação e recolha e tratamento de águas residuais, está presente o consumo de energia elétrica (García-Sánchez & Güereca, 2019).

Sendo assim, o consumo de energia elétrica é indispensável na atividade das empresas fornecedoras de água. O melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, quer seja pelo aumento da eficiência na sua utilização, quer seja pela produção de energia através de origens renováveis, assume-se como uma medida indispensável para a redução da dependência energética externa e das emissões poluentes, com uma importância relevante para o combate às alterações climáticas (ADENE, 2018).

O sector público da água refere elevados custos energéticos associados à extração, distribuição e saneamento da água, conduzindo assim ao preço da água. Isto alinha-se com relatórios a nível europeu, que observam que o sector da água é responsável por 2,6% do consumo total de eletricidade e representa em média 30-40% das contas municipais de energia. Tais custos podem ser reduzidos com as energias renováveis, pelo que

também se ajuda na luta contra as alterações climáticas. A promoção da utilização de energias renováveis no sector das águas faz assim parte do objetivo da política energética nacional de alcançar a neutralidade de carbono até 2050 que está incorporado no plano de Ação Verde da União Europeia para tornar a economia sustentável e a Europa a primeira economia do mundo sem emissões (Neves et al., 2021).

Em Portugal, assim como em todo o mundo, tem havido um aumento significativo no consumo de energia no setor de abastecimento de água, contribuindo com a emissão de mais de 470 mil toneladas de CO₂ (ADENE, 2018). Durante 5 anos, de 2011 a 2015, o consumo de energia aumentou de 925 GWh para 1016 GWh. Esse aumento no consumo aplica-se tanto ao abastecimento de água quanto ao tratamento de águas residuais. Em Portugal, esses consumos estão distribuídos, com 62% destinados ao abastecimento de água e 38% ao tratamento de águas residuais, identificados na Figura 3.7 (ADENE, 2018).

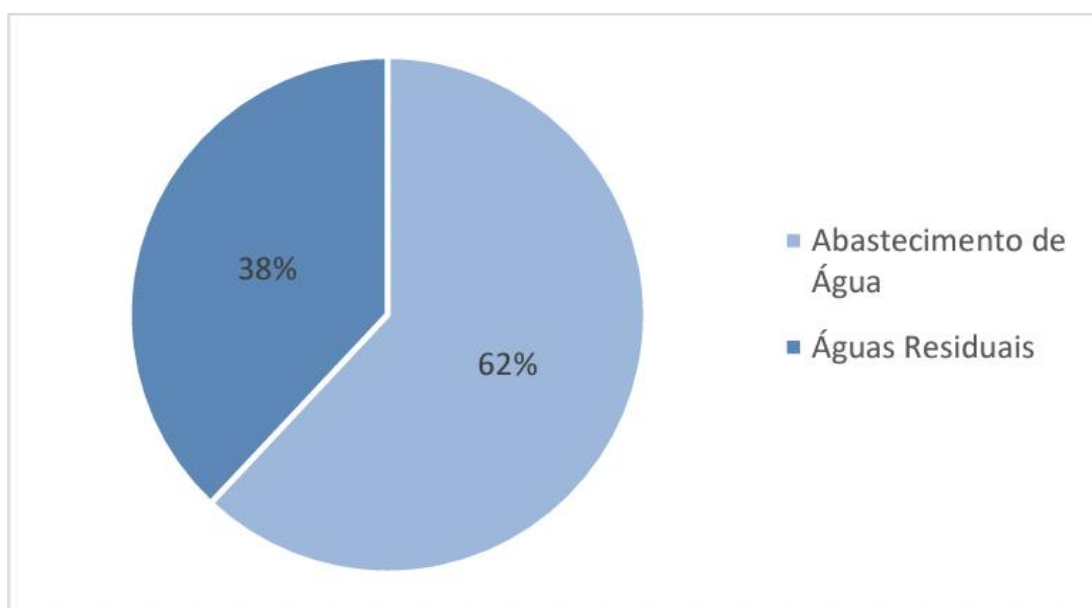


Figura 3.7: Consumo de energia no setor das águas em Portugal (Fonte: Adene, 2018)

Em 2021, o consumo elétrico apenas no Grupo AdP (Águas de Portugal) foi de 742,0 GWh. Destes, 715,7 GWh foram consumidos a partir da rede elétrica (RESP), o que corresponde a um decréscimo de 0,8% face a 2020, e 26,3 GWh a partir de autoconsumo gerado de fontes endógenas e renováveis (+6,2% do que em 2020). O consumo da RESP do Grupo AdP em 2021 por nível de tensão: 22,0% em alta tensão (AT), 68,0% do consumo é em média tensão (MT), 3,8% em baixa tensão especial (BTE) e 6,2% em baixa

tensão normal (BTN). A maior contribuição no consumo de energia elétrica está associada ao abastecimento de água, tal como foi dito anteriormente.

Esforços globais para abordar o papel da água e recursos energéticos de uma forma coordenada através da investigação e da política para o desenvolvimento sustentável aumentaram constantemente com a aplicação do quadro Water-Energy Nexus. Isto estreita a interligação intrínseca entre a produção, consumo e gestão da água e recursos energéticos comumente referidos como o Nexus Água-Energia foi discutido na Conferência de Bona de 2011 Conferência Water-Energy-Food Nexus, como um quadro para abordar o complexo global da água e necessidades energéticas, interações, sinergias, conflitos e trade-offs, que eram tradicionalmente considerados independentemente na sua utilização, governação, e formulação de políticas (Macharia et al., 2020).

A procura de energia para os serviços de água está fixada em aumentar. Dados sobre a utilização de energia na extração, produção, tratamento e fornecimento de água permanecem limitados. Isto deve-se principalmente a grandes variações na intensidade energética da entrega de água devido a diferenças nas fontes do recurso (tais como águas subterrâneas ou água doce de superfície), qualidade da água (alta salinidade de água do mar é a mais consumidora de energia para tratar e utilização) e a eficiência dos sistemas de distribuição. No entanto, algumas estimativas nacionais e regionais existem: nos Estados Unidos, por exemplo, a utilização de energia relacionada com a água representa 13% do total consumo anual de energia (IRENA, 2015).

3.5 Gases com Efeito de Estufa (GEE)

Apesar da desaceleração na taxa de crescimento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), incluindo o uso da terra, na última década em comparação com a década anterior, as emissões médias de GEE nos últimos dez anos atingiram níveis históricos recordes. Entre 2010 e 2019, a taxa média de crescimento anual foi de 1,1%, contrastando com os 2,6% anuais registados entre 2000 e 2009. Essa redução de ritmo ao longo da década deve-se a uma série de fatores, tais como a diminuição global das novas capacidades de produção de carvão, especialmente notável na China. Adicionalmente, os setores energéticos dos países desenvolvidos têm gradualmente substituído o carvão por gás, e a implantação crescente de fontes de energia renovável em todo o mundo tem contribuído para essa tendência. Isto suscita a questão sobre o facto das emissões globais de GEE se estarem a estagnar ou se a taxa mais lenta de crescimento continuará nos próximos anos (UNEP, 2022).

Ao longo do período de 2010 a 2019, as emissões totais globais de GEE apresentaram uma média de 54,4 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e). Relativamente aos valores de 2020, as medidas de confinamento implementadas em resposta à pandemia de COVID-19 tiveram um impacto significativo na redução da atividade econômica, social e global, resultando numa diminuição das emissões de CO₂. Durante o auge do confinamento, as emissões sofreram uma redução média de um quarto (26%). As emissões diárias globais de CO₂ provenientes de fontes fósseis diminuíram 17% no pico do confinamento em abril de 2020 (em comparação com 2019), com as emissões diárias caindo até 75% na aviação, 50% no transporte rodoviário e 35% na indústria. Quase metade da diminuição anual total das emissões de CO₂ fóssil em 2020 foi atribuída à redução da atividade de transporte. Essa acentuada diminuição da atividade econômica e das emissões globais resultou em redução das quantidades de aerossóis (particularmente no sul e no leste da Ásia) e aumento nos níveis de radiação térmica da superfície. No entanto, aparentemente, essa influência nas emissões e atividades não teve um efeito global nas temperaturas da superfície terrestre ou na temperatura global (Jackson et al., 2022).

A Figura 3.8 apresenta as emissões de gases com efeito de estufa desde 1990 até 2020.

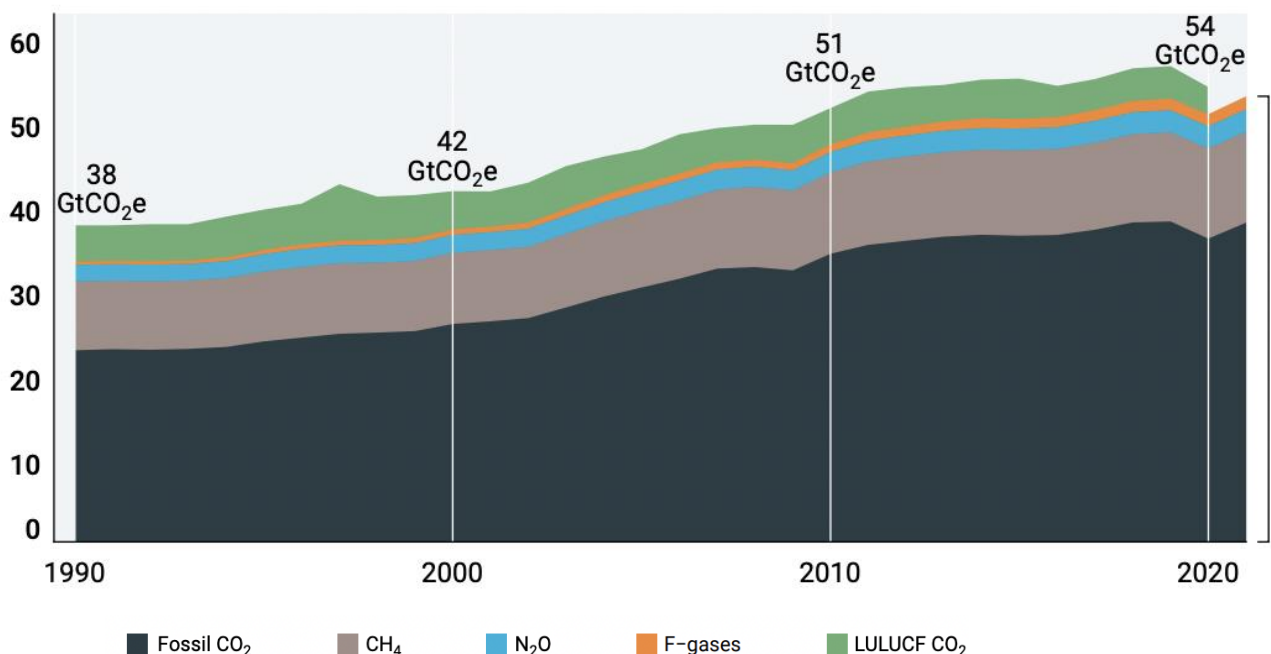


Figura 3.8: Emissões globais de GEE (Fonte: UNEP, 2022)

As alterações climáticas exercem um impacto direto na disponibilidade e qualidade do abastecimento de água, acarretando um crescente fardo para as cidades assegurarem sua segurança hídrica. Os sistemas de fornecimento de água enfrentam os primeiros impactos das alterações climáticas, que resultam em escassez hídrica, questões relacionadas à qualidade da água e desafios de inundação. No entanto, também desempenham um papel nas emissões globais decorrentes do consumo de energia, contribuindo para as emissões de carbono. Esses serviços de abastecimento de água coletivamente influenciam até 12% do consumo total regional de energia primária (Roadmap, 2018).

A maior parte desse consumo energético está associada aos usuários de água, especialmente no contexto do aquecimento da água. Além disso, cerca de 17% as emissões de gases com efeito de estufa regionais são provenientes da gestão dos recursos hídricos (Roadmap, 2018).

3.5.1 Redução das Emissões de Carbono no Tratamento de Água

Os sistemas de abastecimento de água enfrentam uma série de desafios abrangentes, que incluem o envelhecimento das infraestruturas, o aumento das ameaças às bacias hidrográficas e aos aquíferos, as mudanças nas normas de conformidade e saúde pública, as flutuações na população (tanto crescimento como declínio) e as crescentes expectativas dos clientes. Um elemento crucial na abordagem a esses desafios é a eficiência energética, que desempenha um papel fundamental na reestruturação de recursos e custos operacionais. Isso implica direcionar investimentos das despesas de energia de operação e manutenção (O&M) para a modernização das infraestruturas, iniciativas de proteção das fontes de água, avanços na tecnologia de tratamento e programas de conscientização comunitária (Epa et al., 2013).

É importante salientar que existem formas de reduzir as emissões de carbono, tanto relativamente às emissões diretas, como as emissões indiretas (Wu et al., 2021).

Relativamente às emissões diretas, a avaliação do desempenho energético das instalações de tratamento de água é fundamental para fornecer água potável de uma forma eficiente e sustentável. O controlo do consumo de energia durante o processo de tratamento da água pode levar a custos de produção mais baixos e a níveis mais baixos de emissões de gases com efeito de estufa, melhorando assim o desempenho económico e ambiental das empresas de água (Molinos-Senante & Maziotis, 2022b).

Outros fatores que podem afetar o desempenho energético do processo de tratamento de água potável são o tipo de qualidade e o tipo de tecnologia utilizada. A tecnologia referente à coagulação-floculação pode ser mais eficiente em termos

energéticos do que outros tipos de tecnologias que combinam processos químicos e filtros de pressão. No entanto, de forma que estes processos sejam mais eficientes, é necessário monitorizar as instalações, bem como renová-las, visto que quanto maior o uso, menos eficiente é o órgão (Molinos-Senante & Maziotis, 2022b).

Do ponto de vista político, também se devem fazer alterações. A baixa eficiência energética das ETA sugere que os gestores precisam de agir. Uma poupança considerável na utilização de energia poderia conduzir a um melhor desempenho económico e ambiental, a custos de produção mais baixos e a níveis mais baixos de emissões de gases com efeito de estufa libertados para a atmosfera (Molinos-Senante & Maziotis, 2022b).

Além disso, para alcançar a descarbonização nas ETA e ETAR, tanto a montante como a jusante, as emissões indiretas devem ser reduzidas. As emissões de GEE das instalações estão principalmente relacionadas com a utilização de agentes químicos e com o transporte de subprodutos (areia e lamas) (Maktabifard et al., 2023).

Sendo assim, as duas principais estratégias de mitigação relacionadas com as emissões indiretas são:

Redução do Consumo de energia utilizada na produção dos reagentes- Os produtos químicos são utilizados em diferentes fases do tratamento das águas residuais e da gestão das lamas. Para minimizar a sua contribuição para o aumento das emissões de GEE, podem ser implementados não só cortes no consumo, mas também alguns critérios de sustentabilidade introduzidos no processo de compra podem resultar na redução das emissões indiretas de GEE.

Transporte de Reagentes - As atividades e os serviços de transporte, como o transporte a montante de agentes químicos e o transporte a jusante de subprodutos (areia, peneiras e lamas), contribuem para as emissões indiretas das ETA e ETAR. É muitas vezes difícil aplicar um plano de redução das emissões relacionadas com os transportes baseado na mudança para meios de transporte mais respeitadores do ambiente, como o transporte ferroviário, ou na redução da distância de transporte. Por conseguinte, são procurados cenários de redução mais avançados. No entanto, não se devem descartar as hipóteses e deve-se ter em conta todas as opções que podem ser tomadas. (ref XX)

4 METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido foi dividido em cinco fases, nomeadamente:

- Fase 1 – Seleção de uma ETA e realização de um estudo geral sobre o seu funcionamento, e consecutivamente, obtenção dos dados relativos à mesma.
- Fase 2 – Tratamento dos dados da qualidade da água bruta bem como a seleção dos parâmetros de maior relevância.
- Fase 3 – Cálculo da energia total relativa à ETA, tanto direta como indireta.
- Fase 4 – Tratamento dos dados a nível estatístico, relacionando a qualidade da água bruta e a energia total. A análise estatística foi realizada recorrendo ao software Jamovi.
- Fase 5 – Comparação dos resultados obtidos com os resultados de uma ETA anteriormente estudada.

4.1 ETA

Para a prossecução do trabalho foi selecionada uma ETA cuja origem fosse superficial e que pudesse estar ou vir a estar influenciada a curto prazo pelas alterações climáticas. Assim, foram recolhidos os valores da qualidade da água desde a captação da água bruta, até à distribuição, bem como o transporte de lamas até ao seu destino final.

Para uma avaliação mais detalhada foram recolhidos todos os dados referentes à qualidade da água bruta (antes de ser tratada), ao caudal da água tratada, a dosagem utilizada para os diferentes reagentes ao longo do sistema, a energia consumida bem como a energia utilizada nos diferentes processos, a quantidade de lamas produzida, e as informações relativas aos reagentes utilizados na ETA.

4.1.1 Qualidade da Água Bruta

Relativamente à qualidade da água bruta, os dados avaliados estão em intervalos de tempo diferentes, pelo que, de forma que estes pudessem ser utilizados, foi necessário recorrer a uma normalização dos parâmetros. Foram adotados valores mensais. Após a referida normalização, foi necessária a redução do número de parâmetros, uma vez que a complexidade de os avaliar a todos ao mesmo tempo inviabilizaria o estudo. Para além disso essa simplificação é corroborada quer a nível estatístico quer através de uma

análise física e química entre parâmetros. Essa diminuição considerou uma ampla gama de valores. Nesse sentido, foram escolhidos os parâmetros mais significativos e sua relação foi analisada por meio de uma Análise em Componentes Principais (ACP). A análise de componentes principais é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis com a mesma dimensão denominadas de componentes principais. A análise de componentes principais é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação (Alberto & Varella, 2008).

4.1.2 Energia

A energia total consumida foi calculada através da soma da energia direta com a energia indireta. A energia direta corresponde aquela que é utilizada para o funcionamento e a manutenção do sistema de água, ao longo da linha de tratamento como a eletricidade para elevar a água. A energia indireta corresponde à energia utilizada para fabricar e fornecer fatores de produção não energéticos utilizados para o funcionamento ou a manutenção, como os produtos químicos de tratamento (Mo et al., 2010).

Tal como para os valores paramétricos da qualidade da água bruta, para os valores de energia realizou-se uma normalização dos dados, de forma que estes passassem a ser valores mensais. Para o cálculo das energias consideraram-se as horas de funcionamento, bem como a potência de todos os equipamentos que necessitam de energia elétrica para o seu funcionamento. Relativamente ao cálculo da energia indireta teve-se em consideração as dosagens de reagentes, distâncias de transporte de reagentes e respetiva produção e transporte de lamas a destino final.

É de notar que este estudo não abrangeu a fase de construção, as manutenções e as reparações na ETA, que são etapas que também são consumidoras de energia. A Figura 4.1 mostra o que foi estudado a nível energético.

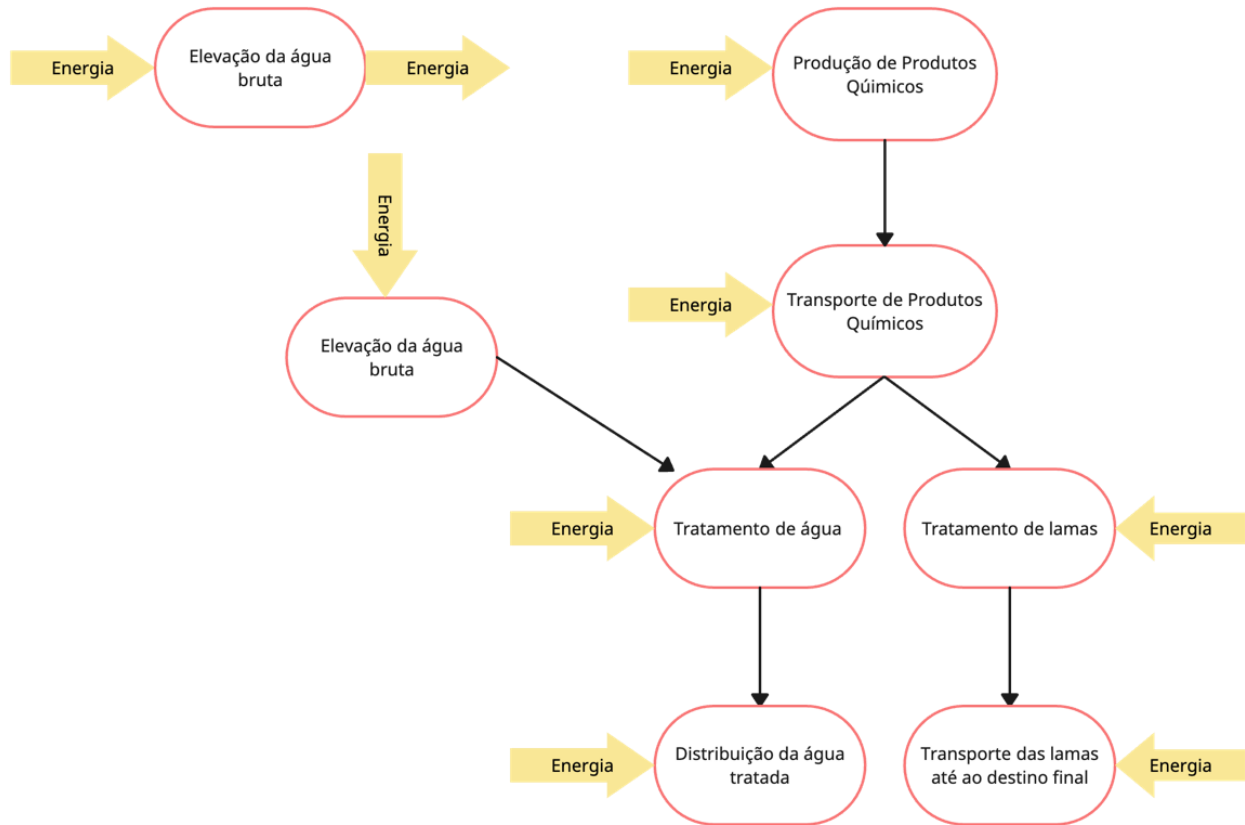


Figura 4.1: limites do estudo a nível da energia

A Energia Total Consumida (ET, MJ/m³) corresponde à soma das energias direta e indireta utilizadas exclusivamente durante a fase de exploração. Como foi referido anteriormente, a energia direta refere-se à energia utilizada (eletricidade, combustível, etc.) na instalação, enquanto a energia indireta inclui a energia utilizada para produzir e transportar produtos químicos de tratamento e materiais para o processo de tratamento de águas (sulfato ferroso, ácido sulfúrico, soda cáustica, cal, oxigénio líquido, etc.).

A equação 1 foi utilizada para calcular a energia direta mensal (ED, MJ/m³). A energia utilizada na produção de eletricidade e de combustível ($\varepsilon_{\text{Eletricidade}}$, MJ/kWh) foi multiplicada pelos valores mensais de eletricidade (E_e).

$$E_D = \sum E_e \times \varepsilon_{\text{eletricidade}} \quad (1)$$

A energia indireta (E_i , MJ/m³) foi determinada usando a equação (2), que corresponde à soma da energia necessária para a produção e transporte de cada reagente, além da energia para o transporte das lamas até ao destino final. Esses valores de energia

foram calculados multiplicando a dosagem mensal (D , kg/m^3) pelo fator de energia correspondente (ϵ , MJ/kg).

$$E_I = \sum(E_{\text{produção}} + E_{\text{transporte}})_{\text{reagentes}} + \sum(E_{\text{transporte}})_{\text{lamas}} = \sum[(\epsilon_{\text{transporte}} \times D)]_{\text{reagentes}} + (\epsilon_{\text{transporte}} \times D)_{\text{lamas}} \quad (2)$$

Na equação 2, a EP (MJ/kg) corresponde à energia incorporada na produção de produtos químicos, definida como a energia utilizada para a extração das matérias-primas e para a produção de produtos químicos; a ET (MJ/kg) é a energia utilizada para o transporte de uma quantidade de produtos químicos do local do seu fabrico para a instalação (para a ETA, neste caso). Relativamente às lamas, apenas a ET foi considerada para contabilizar o seu transporte desde a ETA até à instalação de processamento de lamas. Estes valores são somados de forma a obter o fator de energia (ϵ , MJ/kg). A Energia de produção foi obtida a partir de uma base de dados **Ecoinvent** que calcula a energia através da realização de uma análise energética de ciclo de vida (LCEA) que inclui a extração dos materiais necessários para a produção de produtos químicos.

Para o cálculo da Energia de Transporte foi utilizada a seguinte equação:

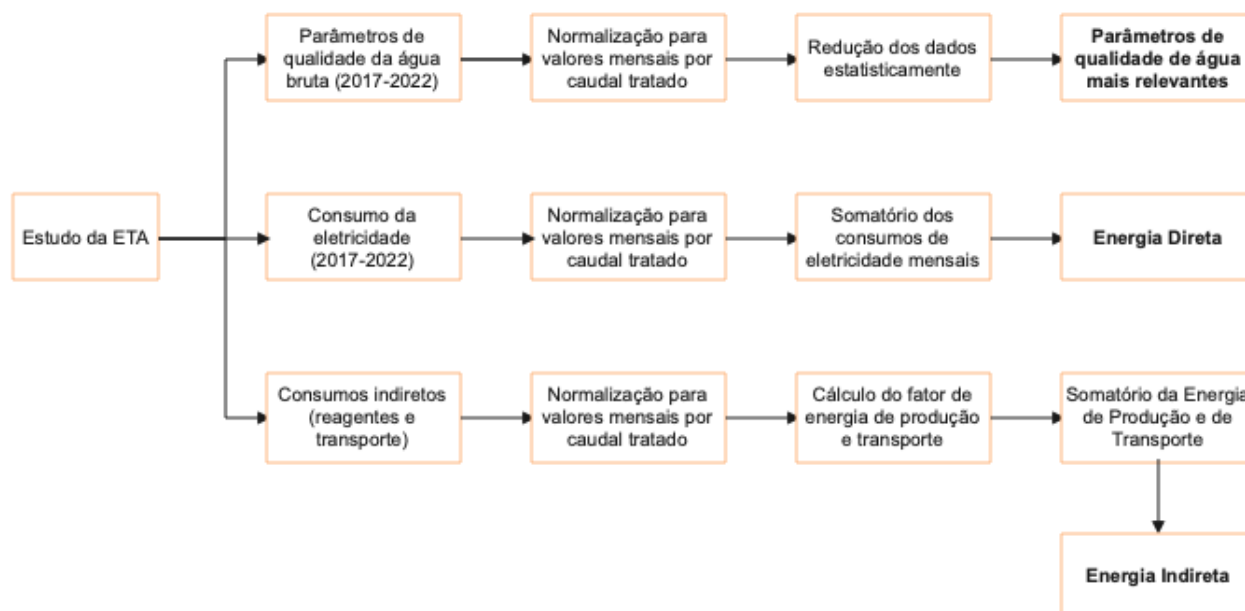
$$\epsilon_{\text{transporte}} = \frac{\epsilon \times \text{Distância} \times \text{Viagens}}{\text{Quantidade transportada}} \quad (3)$$

Sendo que:

- ϵ (MJ/km) - representa a energia consumida por quilómetro percorrido por um camião transportador.
- Distância (km) - indica a distância em quilómetros percorrida desde o local de produção de cada reagente até à ETA.
- Viagens - refere-se ao número de viagens realizadas no transporte de cada reagente ou lamas.
- Quantidade transportada (kg) – representa a quantidade de reagente ou lamas transportadas em quilogramas.

A Figura 4.2 representa o esquema relativo ao estudo, com todas as fases conseguidas.

Figura 4.2: esquema do estudo



4.1.3 Relação entre a Energia Total e a Qualidade da Água

Na etapa final deste procedimento, procedeu-se à examinação da relação entre os diferentes parâmetros de qualidade e cada um dos parâmetros de tratamento, utilizando regressões lineares com o método Backward. Neste processo, os parâmetros de qualidade e os parâmetros de tratamento foram introduzidos como variáveis independentes, enquanto cada parâmetro de energia foi considerado como variável dependente. Em cada análise de regressão linear, avaliou-se o valor de R^2 para determinar a percentagem de variância explicada pela regressão.

Para avaliar o impacto de cada variável independente sobre a variável dependente, utilizou-se a importância relativa de cada uma delas. Nesse processo, identificaram-se as variáveis com influência limitada na variável independente e procedeu-se a uma nova regressão linear, excluindo essas variáveis supressoras. É de notar que os valores de R^2 tendem a diminuir com a remoção de variáveis que têm pouca relevância estatística.

Um dos produtos que as regressões lineares fornecem é o Teste ANOVA, que disponibiliza duas ferramentas importantes: as estimativas e o *p-value*. As estimativas servem para demonstrar as relações que as diferentes componentes têm com as variáveis

independentes. Ou seja, se o número da estimativa for negativo, essa componente terá uma relação negativa com a variável. Se o número da estimativa for positivo, têm uma relação positiva (se a componente aumenta, a variável independente aumenta também). Por outro lado, o *p-value* verifica se existe ou não relevância entre as variáveis. Se o valor de *p* for inferior a $\alpha = .05$, rejeitamos a hipótese nula da ANOVA e concluímos que existe uma diferença estatisticamente significativa. No entanto, caso o valor de *p* estiver entre 0,05 e 0,1 pode assumir-se uma relação marginalmente significativa.

A relação entre os parâmetros de qualidade e o consumo total de energia foi analisada utilizando diversos métodos, incluindo regressão linear, importância relativa e correlação de Pearson.

A Figura 4.3 representa um esquema de apoio às decisões que foram tomadas a nível estatístico.

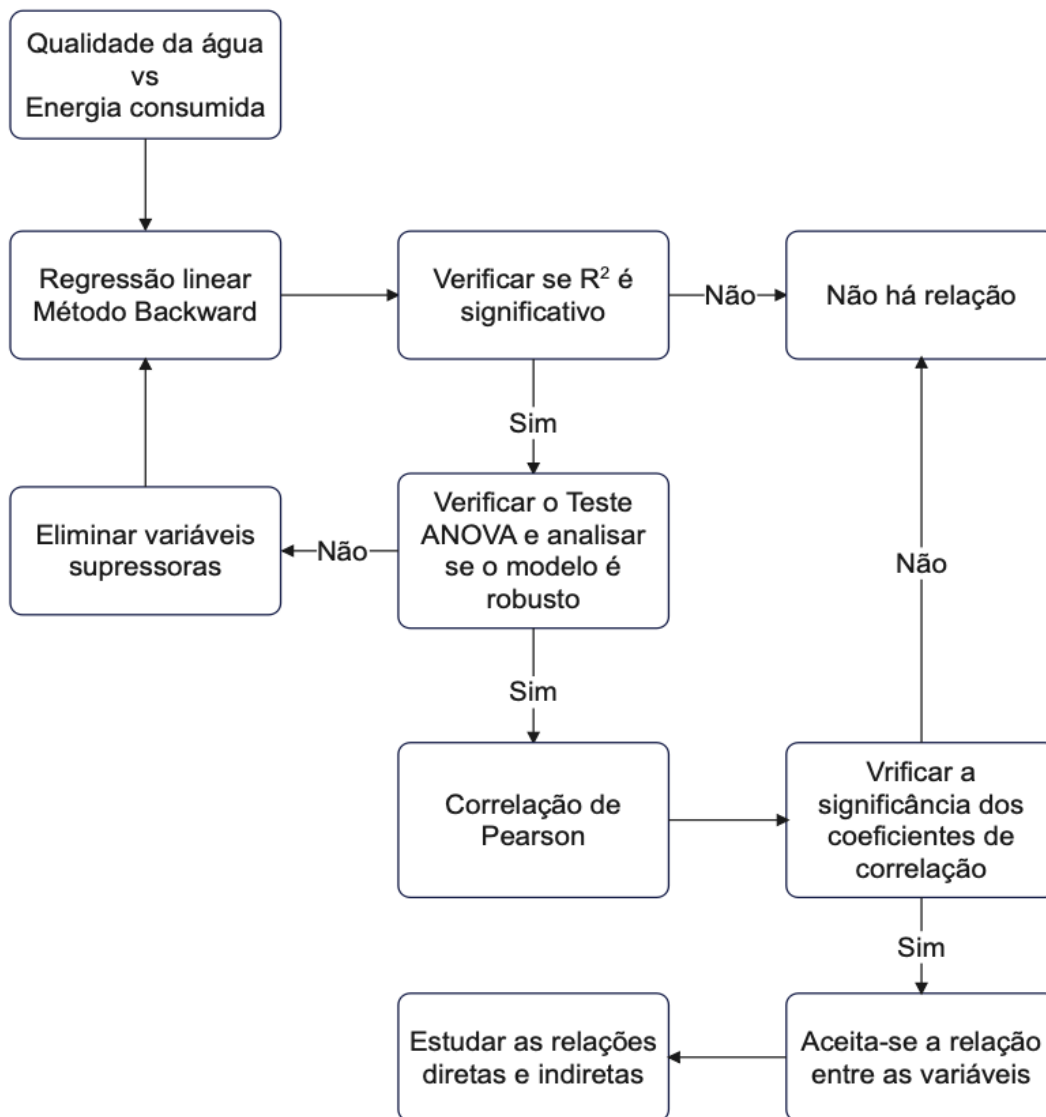


Figura 4.3: Esquema de apoio a nível estatístico

4.2 Caso de Estudo – ETA da Apartadura

A ETA da Apartadura pertence ao sistema multimunicipal das Águas do Norte Alentejano, que está integrada no sistema multimunicipal das Águas do Vale do Tejo e da EPAL- Empresa Portuguesa das Águas Livres. A Águas do Vale do Tejo e a EPAL, para além da Águas do Norte Alentejano, também tem as seguintes empresas interligadas: Águas do Zêzere e Côa (AA+SAR), Água do Centro (AA+SAR), Águas do Norte Alentejano (AA+SAR) e Águas do Centro Alentejo (AA+SAR).

Este sistema abrange os municípios de Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre e Sousel.

4.2.1 Descrição

A captação da água é feita na Albufeira da Apartadura, e depois encaminhada por uma adutora gravítica com um diâmetro de 600 mm até à ETA. A estação permite uma produção máxima de água de 680 m³/h para o abastecimento dos concelhos de Portalegre, Marvão e Castelo de Vide, correspondendo a cerca de 35.000 habitantes. Apresenta duas linhas de tratamento em paralelo, com o intuito de satisfazer as necessidades de abastecimento, tanto em época alta como em época baixa. No que respeita à distribuição da água, esta é feita graviticamente em Marvão e Castelo de Vide, sendo que até Portalegre a água é elevada através de quatro grupos eletrobomba.

4.2.2 Fase Líquida

Tal como foi referido anteriormente, a captação da água é feita na Albufeira da Apartadura através de uma torre localizada na margem direita, onde de seguida é transportada até à ETA graviticamente. A fase líquida inicia-se com uma pré-oxidação através da adição de ozono, permitindo oxidar os contaminantes presentes na água bruta, nomeadamente algas, metais, ferro e manganês. Também é adicionado carvão ativado em pó para a adsorção de contaminantes específicos, como compostos orgânicos responsáveis pelo cheiro e sabor. De seguida dá-se a remineralização para corrigir o teor de minerais característico da água bruta. Nesta etapa é doseada uma suspensão de leite de cal juntamente com dióxido de carbono.

Na etapa da coagulação/floculação ocorre a aglomeração das várias partículas indesejáveis existentes na água. A aglomeração é conseguida à base da adição de reagentes químicos, designados coagulantes e floculantes, que são selecionados para o tipo de água a tratar que, por ação de processos mecânicos de mistura rápida originam a formação de pequenos coágulos. Estes coágulos, por sua vez, são sujeitos a processos de mistura lenta, agrupam-se, dando origem a flocos de maiores dimensões(ETA Apartadura, EPAL).De seguida, ocorre a operação de decantação, que no caso da ETA da Apartadura foram adotados decantadores de leito fluidizado. Nestes órgãos a água move-se no sentido ascendente promovendo, na passagem pelo manto de lamas existente no decantador, a retenção das partículas presentes na água. Desta forma é promovida a separação da fase líquida (água), da fase sólida (lamas)(ETA Apartadura, EPAL) . A fase líquida termina com a etapa da filtração e a desinfecção final e ajuste de pH, sendo adicionado cloro para a desinfecção da água, e leite de cal para repor o pH a valores legalmente exigidos.

4.2.3 Fase Sólida

A fase sólida inicia-se com uma etapa de espessamento, através do espessador gravítico de lamas, onde são concentradas as lamas provenientes dos decantadores, com o intuito de se conseguir separar eficientemente as fases sólida-líquida. De seguida, dá-se o processo da desidratação mecânica por centrífuga. Antes das lamas serem encaminhadas a este equipamento de desidratação mecânica é adicionado um floculante (polieletrólito) para otimizar o processo de centrifugação. Por fim, as lamas desidratadas são contentorizadas e encaminhadas a destino final adequado (ETA Apartadura, EPAL). A Figura 4.4 apresenta o esquema da ETA da Apartadura, tanto da fase líquida como da fase sólida.

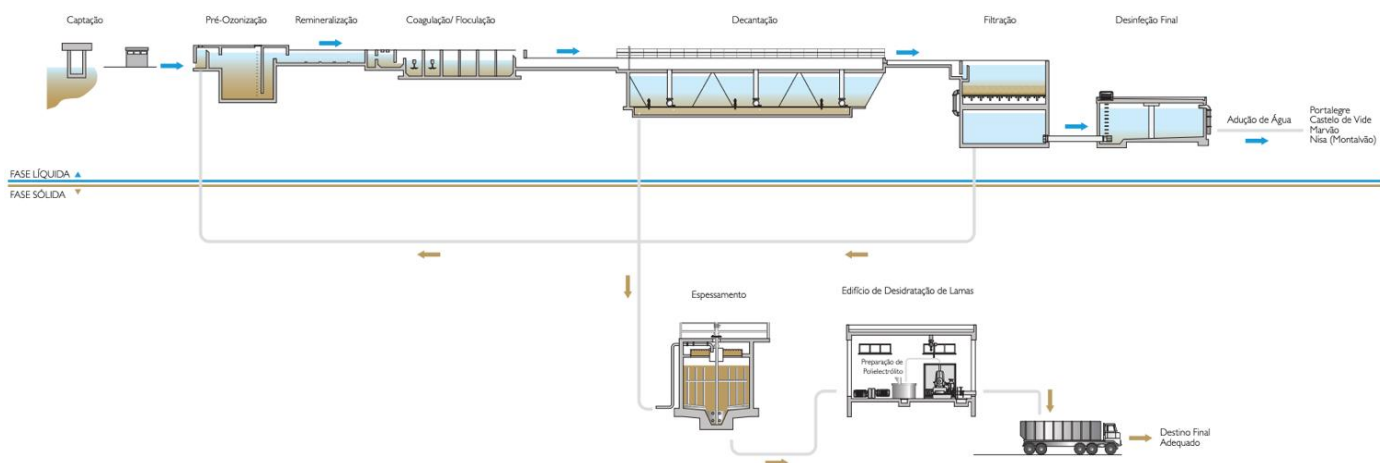


Figura 4.4: Diagrama linear da eta da Apartadura

4.3 Reagentes

A Tabela 4.1 mostra as características fundamentais e os propósitos primordiais dos reagentes empregados na Estação de Tratamento de Água (ETA).

Tabela 4.1: função e local dos diferentes reagentes

Reagente	Função	Local
Ozono (Oxigénio Líquido)	Reduzir a quantidade de matéria orgânica na água de origem, oxidar o ferro, manganês e amônia, eliminar sabores e odores indesejados, controlar a presença de algas e outros microrganismos no processo de tratamento, e melhorar as condições de coagulação, floculação, decantação e filtração.	Câmara de contacto de ozono
Leite de cal (hidróxido de cálcio)	Remineralização	Tubagem
Dióxido de Carbono	Correção do pH	Tubagem
Coagulante (WAC AB)	Tem o objetivo de destabilizar a matéria em suspensão presente na água, para de seguida ser mais fácil a sua sedimentação	Câmara de mistura rápida
Polímero SN910 SEP	Floculante que ajuda a formar flocos de maiores dimensões, fazendo com que haja uma mais fácil remoção	Câmara de mistura lenta
Carvão ativado em pó	Regulação de substâncias adsorvíveis, possibilitando também o controlo do sabor e odor.	Câmara de mistura
Cal Hidratada	Correção do pH	Caleira de adição de reagentes
Cloro Líquido	Desinfecção da água tratada	Tubagem de alimentação ao Reservatório de água tratada
Polieletrólito (Espessamento)	Aumentar a retenção de sólidos e a concentração das lamas espessadas	
Polieletrólito (Desidratação)	Aumentar a retenção de sólidos e a concentração das lamas espessadas	

5 RESULTADOS

5.1 Qualidade da Água Bruta

Para a avaliação da qualidade da água da Albufeira da Apartadura, foram utilizados os parâmetros de qualidade da água existentes. O conjunto inicial era constituído por 16 parâmetros, número esse elevado para ser possível a sua interpretação conjunta. Sendo assim, de forma a reduzir este conjunto, foi feita uma análise de componentes principais (ACP), reduzindo os parâmetros de qualidade para sete (7) componentes. Foram utilizados apenas sete, visto que representam uma percentagem acumulada de variância superior a 75%.

Tabela 5.1: parâmetros de qualidade estudados

Parâmetros iniciais
Absorvância a 254 nm
Alcalinidade
Azoto total
Fitoplâncton - Total
Carbono orgânico total
Carência química em oxigénio
Coliformes totais
Condutividade
Cor
Ferro
Índice de saturação
Manganês
Oxigénio dissolvido (%saturação)
pH

Temperatura da água
Turvação

Tal como seria de esperar, a Análise de componentes principais realizada gerou 16 componentes, o mesmo número das variáveis iniciais. No entanto, foram selecionadas as primeiras 7 componentes, pois são estas que explicam a maior parte da variabilidade dos dados. Conseguiu-se perceber qual o número de componentes a utilizar a partir de duas ferramentas estatísticas: o gráfico do *scree plot* e a variância explicada por cada componente.

O gráfico do *scree plot* é um gráfico que demonstra os valores próprios de cada componente principal. Apresenta os valores no eixo y e as componentes no eixo x. A curva do gráfico é sempre descendente, visto que são os primeiros componentes com maior variância, e os componentes seguintes explicam uma quantidade moderada. No entanto, a partir do momento em que a curva se começa a achatar, significa que são componentes que explicam uma baixa variabilidade. Ou seja, o objetivo do *scree plot* é procurar o "elbow" da curva e selecionar todas as componentes imediatamente antes desse "elbow" antes da curva se tornar plana. (Mangale S., 2020)

A Figura 5.1 representa o gráfico dos valores próprios relacionados com as componentes dos parâmetros.

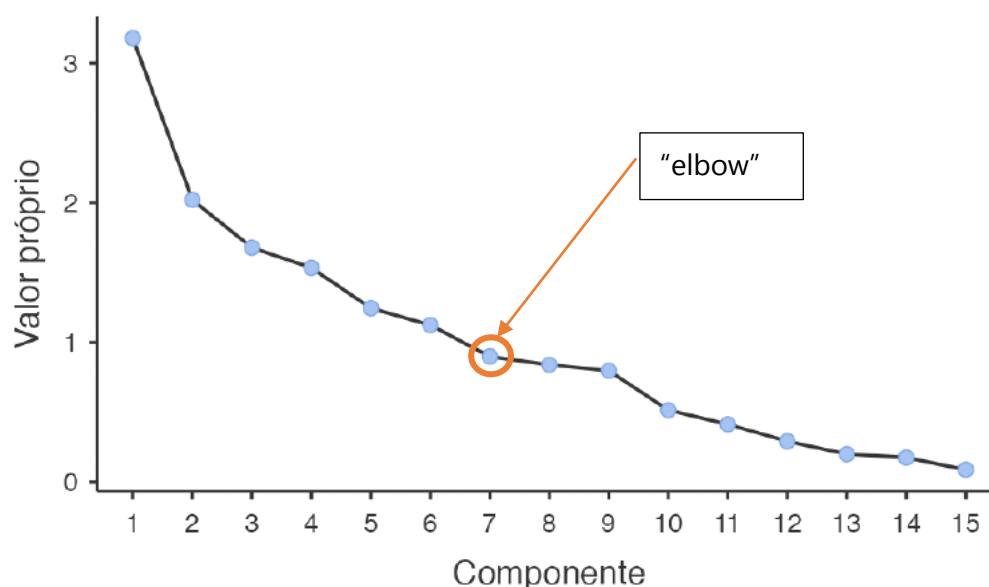


Figura 5.1: gráfico scree plot

Como este critério é subjetivo, foi necessária a análise da variância explicada por cada componente, sendo que, para que a ACP forneça dados concretos, é necessário que o número

de componentes tenha uma percentagem acumulada de pelo menos 75%, e se se pretender ser ainda mais restritivo, superior a 80%.

Tabela 5.2: Análise das componentes principais

Valores próprios iniciais

Componente	Valor próprio	% de Variância total	% acumulada
1	3.2037	20.023	20.0
2	2.0221	12.638	32.7
3	1.7882	11.176	43.8
4	1.5661	9.788	53.6
5	1.4091	8.807	62.4
6	1.1657	7.286	69.7
7	0.9049	5.656	75.4
8	0.8800	5.500	80.9
9	0.8054	5.033	85.9
10	0.6763	4.227	90.1
11	0.5144	3.215	93.3
12	0.4042	2.526	95.9
13	0.2309	1.443	97.3
14	0.1774	1.109	98.4
15	0.1727	1.079	99.5
16	0.0789	0.493	100.0

Tal como se pode verificar, no gráfico de scree plot o "elbow" corresponde à componente 7, no entanto, na variância total explicada é só a partir da componente 8 que a variância acumulada é superior a 80%. No entanto, como até à componente 7 explica-se 75% da variância total, escolheu-se as primeiras 7 componentes. Ao selecionar, analisou-se qual parâmetro de qualidade estava mais fortemente associado a cada componente. Para este propósito, utilizou-se a matriz de componentes gerada no software Jamovi, que inclui as correlações entre as variáveis e as componentes principais. É importante notar que a rotação "varimax" foi aplicada. Na Tabela 5.3, apresentam-se as relações mais significativas.

Tabela 5.3: matriz de componentes

	Componente							Singularidade
	1	2	3	4	5	6	7	
Absorvância Específica a 254 nm (L,mg ⁻¹ ,m ⁻¹)	0.931							0.107
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	0.908							0.113
/Fitoplâncton - Total/(Nº Cél./mL) (mm ³ /L)							0.890	0.171
Carbono orgânico total (mg C/L)		0.596			0.510			0.283
Carência química em oxigênio (mg O ₂ /L)			0.698			0.500		0.212
Coliformes totais (NMP/100 mL)			0.816					0.302
Condutividade (µS/cm 20°C)						0.911		0.153
Cor (mg/L Pt)		0.731						0.222
Ferro (µg/L)		0.517	0.343	0.469		-0.418		0.151
Índice de saturação	0.528							0.517
Manganês (µg/L)				0.784				0.325
Oxigênio dissolvido (%saturação)				-0.566	-0.615			0.156
pH (E,Sörensen)	-0.321	-0.319	0.517	-0.476			-0.309	0.162
Temperatura da água (°C)					0.874			0.133
Turvação (UNT)		0.729		-0.343				0.315

A partir da Tabela 5.3, é possível observar uma variação dos diferentes parâmetros entre as várias componentes. Na análise da ACP, quanto mais próximo o parâmetro estiver perto de 1 ou -1, mais significativo é relativamente à componente. Ou seja, na componente 1, os parâmetros: Absorvância, Alcalinidade, Índice de Saturação e pH são parâmetros relevantes, sendo que o mais relevante de todos é a Absorvância, visto que é o que se encontra mais próximo de 1. Sendo assim, como cada componente agrupa diferentes parâmetros, foram estudadas as suas correlações. Em alguns casos, existem parâmetros que têm valores muito idênticos, como a Alcalinidade e a Absorvância. Nestes casos, consideraram-se os dois para a mesma componente, visto que são ambos muito relevantes.

Sendo assim, como foi dito anteriormente, a componente 1 é explicada maioritariamente pela Absorvância e a Alcalinidade. A absorvância está relacionada com a concentração de uma substância específica na solução e é medida utilizando-se um espectrofotómetro. Esse aparelho mede a quantidade de luz que é absorvida pela solução relativamente a um comprimento de onda específico. Quanto maior a concentração da substância, maior será a absorvância da solução. A Alcalinidade é um parâmetro relevante na determinação do poder tampão da água, ou seja, a sua resistência a mudanças no pH. Quanto maior a alcalinidade, maior será a capacidade de a solução resistir a variações no pH.

A componente 2 está relacionada maioritariamente com a cor e a turvação. A cor da água refere-se à sua tonalidade aparente, que pode variar de incolor a várias tonalidades. A cor é causada pela presença de várias substâncias dissolvidas, como o ferro (que também tem uma relação significativa nesta componente), matéria orgânica, entre outros. Por outro lado, a turvação refere-se à presença de partículas sólidas em suspensão na água, como sedimentos ou até mesmo matéria orgânica. Apesar de serem parâmetros distintos, a cor e a turvação facilmente se relacionam como é possível comprovar com a componente 2.

Os coliformes totais é o parâmetro mais significativo da componente 3. A presença dos coliformes na água demonstra que a mesma está contaminada, provavelmente devido a descarga de águas residuais. Para além dos coliformes, a carência química de oxigénio (CQO) também tem relevância. Estes dois parâmetros podem-se relacionar, de forma indireta, visto que a matéria orgânica presente na água, incluindo a matéria fecal, pode contribuir para o aumento da CQO. Ou seja, a presença de coliformes pode indicar a presença de matéria orgânica que é quantificada pelo parâmetro da CQO.

A componente 4 tem como parâmetro principal o Manganês. O manganês é um elemento químico que pode estar presente na água em concentrações variadas. No caso da ETA da Apartadura este elemento encontra-se em concentrações elevadas.

A componente 5 é explicada maioritariamente pela temperatura da água. A temperatura pode variar devido às condições climáticas, bem como devido a certas descargas. É um parâmetro relevante porque está relacionado com a maior parte dos outros. No caso da componente 5, observa-se uma relação inversa entre a temperatura e a percentagem do oxigénio dissolvido. Ou seja, com o aumento da temperatura, a solubilidade do oxigénio diminui e por isso, a percentagem de oxigénio dissolvido será menor.

A componente 6 é explicada pela condutividade. Este parâmetro fornece informações sobre a quantidade de iões dissolvidos na água, que se relaciona com a presença de substâncias dissolvidas, tais como sais minerais, ácidos e bases. Por fim, a componente 7 tem como parâmetro principal o Fitoplâncton.

5.2 Energia

5.2.1 Energia Direta

A Figura 5.2 mostra as flutuações no consumo de energia elétrica ao longo dos meses, abrangendo o período de 2017 a 2022. Observou-se que, nos anos analisados, os padrões de consumo de energia exibiram uma notável consistência ao longo dos diferentes meses do ano.

Além disso, destaca-se que os meses de elevado consumo coincidiram predominantemente com os meses de verão, sendo Agosto o mês de pico em termos de consumo de energia elétrica em todos os anos. Esse padrão sazonal de variação está, primariamente, associado ao aumento na procura por água durante os meses de verão, resultando numa maior necessidade de energia para atender a essa procura. O aumento na procura de água nos meses mais quentes é consequência do incremento das temperaturas, que por sua vez, impulsiona as necessidades hídricas. Além disso, é durante esse período que frequentemente ocorre um aumento nas atividades de irrigação.

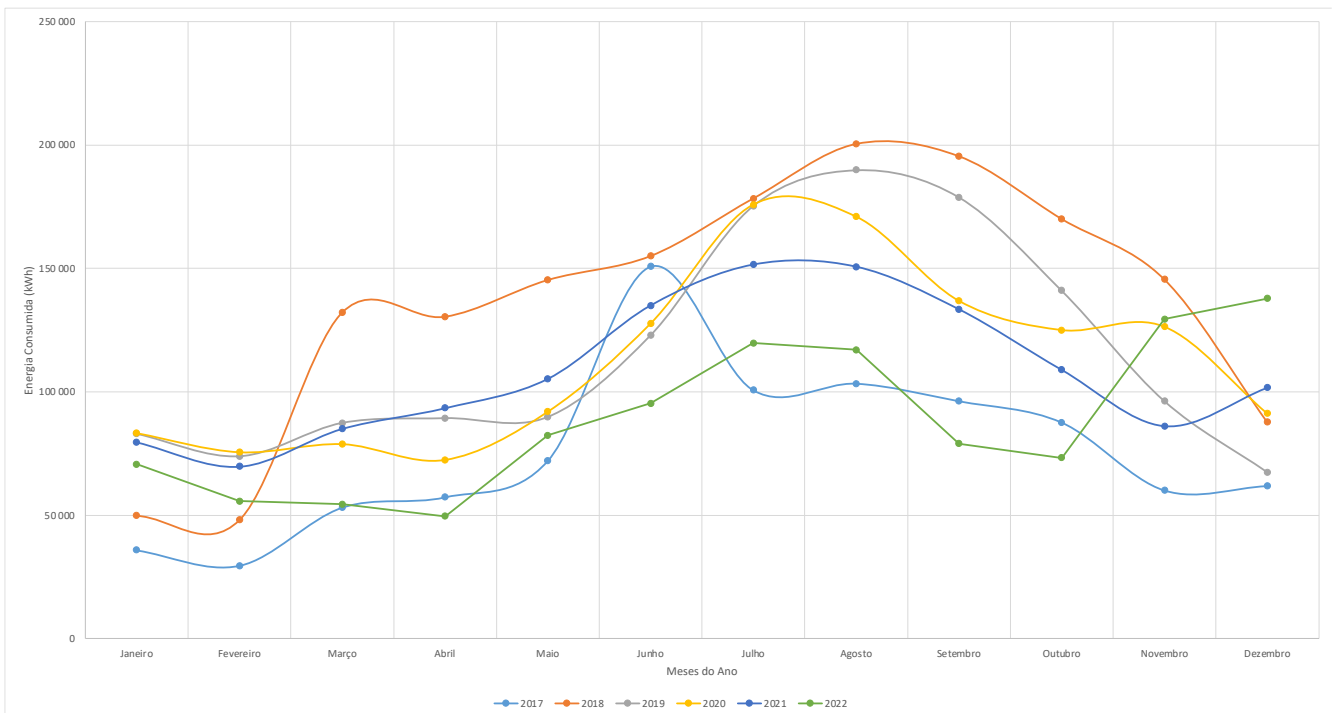


Figura 5.2: energia consumida na Eta (em kwh) de 2017 a 2022

Uma das formas de visualizar o consumo de energia, é compará-lo com o caudal tratado na ETA. Ao comparar-se estes dois fatores, obtém-se uma melhor percepção da quantidade de energia que foi consumida para que a água fosse tratada. Relativamente à ETA da Apartadura, a Tabela 5.4 apresenta a energia consumida por volume de água tratada anual (kWh/m³).

Como era de esperar, o consumo de energia por volume de água tratado varia com os diferentes tipos de tratamento da água, bem como a sua captação. Geralmente, águas provenientes de aquíferos têm consumos de energia maiores quando comparados com águas provenientes de albufeiras, visto que em aquíferos é necessário elevar mais a água do que em albufeiras. Segundo Plappally (2012), este consumo varia quando comparado com o tratamento das águas de vários países. Por exemplo, a Espanha e o Canadá apresentam os maiores consumos de energia por volume de água tratada, com um valor máximo de 1,5 kWh/ m³ e

1,44 kWh/m³, respetivamente. Em contrapartida, a Austrália e Taiwan são os países com menores valores (0,2 kWh/m³ no caso da Austrália, e 0,25 kWh/m³ no caso de Taiwan) (Plappally & Lienhard, 2012).

No caso da Apartadura, o consumo específico médio foi de 0,45 kWh/m³.

Tabela 5.4: consumo específico, de 2017 a 2022

Ano	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Consumo específico (kWh/m ³)	0,41	0,49	0,46	0,46	0,44	0,41

A figura 5.3 mostra a energia desde 2017 a 2022, bem como a energia consumida por m³ de água tratada. É possível observar que o ano 2018 foi o ano onde se obteve um maior consumo de energia e também um maior consumo específico, assim como o ano onde teve um menor consumo de energia, teve um menor consumo específico (2017). No entanto, em 2022 observou-se um consumo específico abaixo do consumo de energia, o que demonstra que não foi necessária tanta energia para retirar quantidades semelhantes de caudal, quando comparado com os outros anos.

Um dos fatores que justificam o ano 2018 ser o que tem maior consumo de energia é o nível de albufeira. Como o nível da albufeira estava mais baixo, foi necessária mais energia para elevar a água. O nível baixo da albufeira tem tendência a ocorrer cada vez mais devido às alterações climáticas, e consequentemente ao aumento da seca.

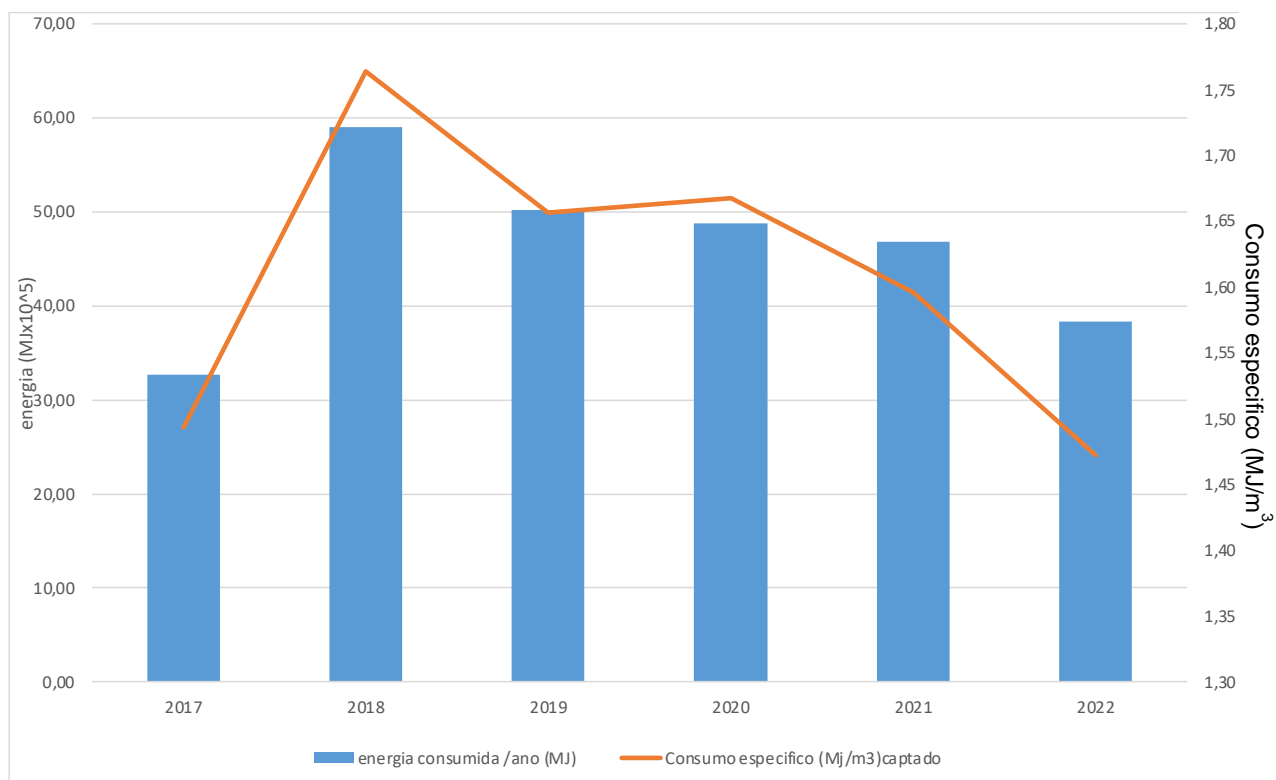


Figura 5.3: energia consumida em relação ao consumo específico

Uma das operações que apresenta um grande consumo de energia é a lavagem dos filtros. Como são lavados pelo menos dois filtros todos os dias, faz com que haja um consumo considerável de energia. O sistema de lavagem dos filtros da ETA da Apartadura inclui grupos de bombagem de água e de ar cujas características se mostram na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: sistema da lavagem dos filtros

Sistema	Potência (kWh)
Bomba de lavagem 1	18,5
Bomba de lavagem 2	18,5
Compressor de ar de lavagem	30

O procedimento de limpeza dos filtros na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Apartadura envolve distintas etapas, cada uma com sua própria duração. Os detalhes das fases do processo de limpeza dos filtros e seus tempos correspondentes estão listados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: processos de lavagem dos filtros

PROCESSO DE LAVAGEM	TEMPO (SEG)	TEMPO (MIN)
AR	300	5
AR E ÁGUA	600	10
ÁGUA	900	15

A frequência da lavagem dos filtros está diretamente ligada ao seu nível de colmatção dos filtros e às horas de operação. A evolução do número de lavagens dos filtros na ETA ao longo dos anos analisados mostra-se na Figura 5.4. É de notar que o ano de 2017 foi o ano onde houve um menor número de lavagem dos filtros, e também foi o ano com menor consumo de eletricidade. No entanto, 2020 foi o ano com maior número de lavagem de filtros, mas não foi o ano com maior consumo de energia.

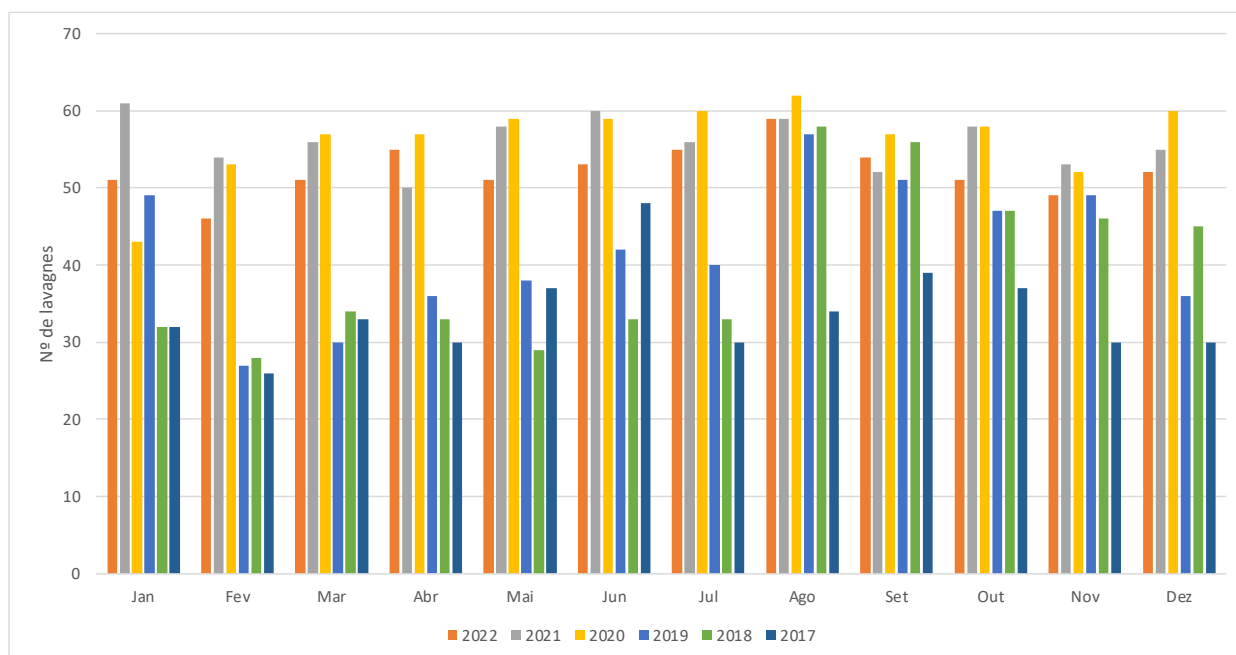


Figura 5.4: energia consumida pela lavagem dos filtros, de 2017 a 2022

5.2.2 Energia Indireta

Tal como foi referido anteriormente, a energia indireta corresponde à energia que é utilizada para produzir e transportar produtos químicos ou materiais para ou de o processo do tratamento da água (ou seja, incluiu todos os reagentes utilizados na ETA). Para além dos reagentes, o transporte de lamas para destino final também está associado a esta componente de energia.

O Anexo I apresenta as doses de cada reagente e a produção de lamas por volume de água tratada durante anos em análise (2017 a 2022), divididos pelos meses do ano. As figuras detalhadas no Anexo I revelam que não houve uma tendência sazonal clara na variação das dosagens e na produção de lamas. A variação ao longo dos meses não foi consistente nos diversos anos estudados, destacando-se picos de doses de reagentes e produção de lamas em anos específicos.

A Tabela 5.7 apresenta todos os valores relacionados com a energia indireta, energia de transporte e energia de produção, desde 2017 até 2022, bem como as doses médias utilizadas em cada reagente. A energia de produção dos reagentes é em todos os casos, a energia que tem maior relevância, representando cerca de 94% da energia indireta, enquanto a energia de transporte dos reagentes corresponde a 6%. O reagente com maior consumo de energia foi o Hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), com um consumo de $0,87 \text{ MJ/m}^3$, e uma dosagem média de $87,8 \text{ g/m}^3$. Apesar do dióxido de carbono (CO_2) apresentar uma dosagem maior ($118,2 \text{ g/m}^3$), tem um menor consumo de energia do que o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($0,65 \text{ Mj/m}^3$). Isto justifica-se com a conversão de energia de CO_2 . Para se produzir 1 kg de CO_2 a granel, gasta-se $0,736 \text{ kg}$ de CO_2 ; no caso do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gasta-se $1,2 \text{ kg}$ de CO_2 , o que explica o maior consumo. O reagente com menor consumo de energia foi o polieletrólito utilizado no espessamento e na desidratação de lamas. O polieletrólito foi o reagente com menor dosagem, $0,15 \text{ g/m}^3$.

Tabela 5.7 energia indireta de todos os reagentes e lamas, de 2017 a 2022

	Ano	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Dose média (g/m ³)
Oxigênio Líquido granel	Produção	0,233	0,161	0,199	0,182	0,176	0,185	50,94
	Transporte	3,14E-05	1,55E-05	2,33E-05	2,23E-05	2,05E-05	1,77E-05	
	Total	0,233	0,161	0,199	0,182	0,176	0,185	
Dióxido de Carbono Granel	Produção	0,687	0,609	0,75	0,626	0,589	0,644	119,45
	Transporte	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	
	Total	0,687	0,6	0,75	0,626	0,589	0,644	
Carvão ativado em pó SACO 25kg	Produção	0,054	0,029	0,119	0,097	0,094	0,153	1,43
	Transporte	4,71E-06	2,56E-06	1,04E-05	8,45E-06	8,22E-06	1,27E-05	
	Total	0,054	0,029	0,119	0,097	0,094	0,153	
Hidróxido de cálcio sólido granel	Produção	0,725	0,684	0,788	0,773	0,776	0,875	86,82
	Transporte	0,098	0,093	0,107	0,105	0,105	0,118	
	Total	0,823	0,776	0,895	0,877	0,881	0,993	
Coagulante WAC AB granel	Produção	0,079	0,056	0,106	0,166	0,155	0,248	39,71
	Transporte	1,07E-05	7,51E-06	1,87E-05	2,23E-05	2,09E-05	3,02E-05	
	Total	0,079	0,056	0,106	0,166	0,155	0,246	
Polímero PÓ AN910 SEP/NA	Produção	0,0013	0,001	0	0,002	0,001	0,001	0,37
	Transporte	2,14E-06	1,22E-06	0	1,95E-06	2,48E-06	1,84E-06	
	Total	0,00936	0,005	0	0,016	0,01	0,008	
Cloro Líquido GAR-RAFA 65KG	Produção	0,007	0,007	0,008	0,008	0,007	0,007	1,67
	Transporte	1,32E-05	4,91E-06	5,36E-06	7,51E-06	7,19E-06	1,26E-05	
	Total	0,007	0,007	0,008	0,008	0,007	0,007	
Polímero Rifloc 6025	Produção	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,15
	Transporte	0	0	8,41E-07	1,12E-06	5,60E-07	5,60E-07	
	Total	0,004	0,003	0,004	0,005	0,002	0,005	

Transporte de lamas a destino final	Produção	-	-	-	-	-	-	1,53
	Transporte	-	-	-	-	-	-	
	Total	6,26E-06	3,85E-06	6,03E-06	1,09E-05	1,35E-05	1,22E-05	

5.3 Energia Total Consumida

A partir da Figura 5.5 é possível observar que a energia indireta (54%) representa uma percentagem de energia maior do que a energia direta (46%), existindo uma diferença de 8% entre os dois tipos de energia. Em estudos anteriores, foi observado que a proporção de energia direta pode variar, havendo casos em que esta supera a energia indireta, e outros onde é inferior, com uma diferença geralmente de cerca de 10%.(Santana et al., 2014)

Como é a energia indireta que representa a maior contribuição de energia consumida, pode-se concluir que o Ca(OH)_2 (Hidróxido de Cálcio) é o principal fator de consumo de energia, ou seja, teve maior impacto no consumo de energia indireta (43%), seguindo-se o dióxido de carbono (31%). Por outro lado, a energia consumida que teve menor percentagem foi a energia referente ao transporte de lamas a destino final. A Figura 5.5 e 5.6 mostram a Energia Total Consumida, bem como a energia indireta total, respetivamente.

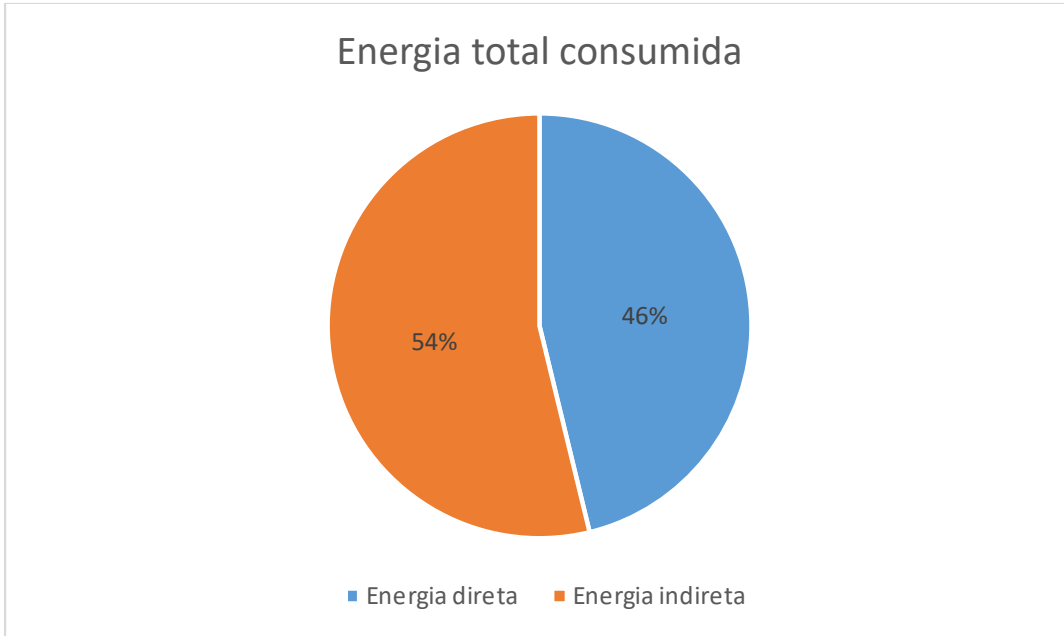


Figura 5.5: Energia total consumida

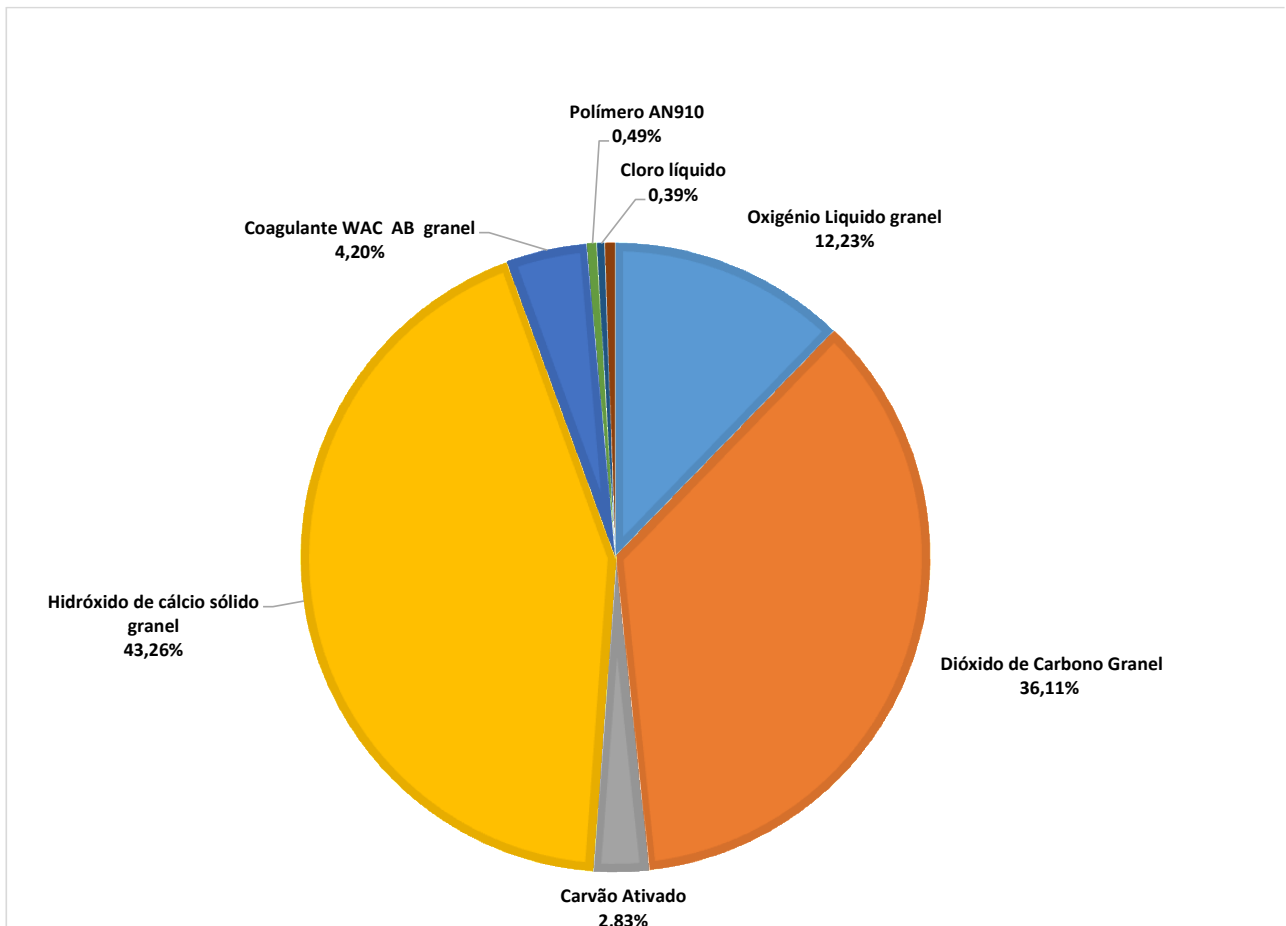


Figura 5.6: Energia total indireta

De forma a detalhar os valores da energia consumida em cada ano do estudo, calculou-se a energia direta, indireta, e a total desde o ano de 2017 até 2022, (Tabela 5.8). Assim, foi possível observar que a média da energia total consumida foi de 3,65 MJ/m³.

Tabela 5.8: Energia total consumida, de 2017 a 2022

Energia total consumida (MJ/m³)			
Ano	Energia direta	Energia indireta	Energia total consumida
2017	1,66	1,90	3,56
2018	1,83	1,65	3,47
2019	1,76	2,08	3,83
2020	1,74	1,99	3,73
2021	1,64	1,92	3,57
2022	1,49	2,25	3,74
Média	1,69	1,96	3,65

Comparando os valores da energia total consumida, para a ETA da Apartadura chegou-se a um valor médio de 3,65 MJ/m³, tal como foi referido anteriormente. Na literatura científica consultada, constatou-se que tanto existem valores acima mediada ETA da Apartadura, como 9,2 MJ/m³, no caso da cidade de Kalamazoo, no estado de Michigan (Mo et al., 2010), como existem valores mais baixos, como é o caso do estudo de Toronto, com um valor de 2.6MJ/m³ (Racoviceanu et al., 2007).

5.4 Emissões

As emissões de CO₂ associadas à energia direta e indireta mostram-se na Tabela 5.9, de 2017 até 2022. É de notar que as emissões diretas foram calculadas com base no consumo de eletricidade, e as emissões indiretas foram calculadas com base no fator de produção referentes a cada reagente, provenientes do programa *Ecoinvent*, apresentadas no Anexo II. Como se pode observar, as emissões relativas à energia indireta são relativamente superiores às da energia direta. Esta relação é plausível, visto que houve um maior consumo de energia relativamente à energia indireta.

As emissões diretas foram obtidas a partir dos consumos mensais de energia da ETA da Apartadura.

Tabela 5.9: Emissões totais de CO₂, de 2017 a 2022

Emissões de CO ₂ (ton)		
Ano	Indireta	Direta
2017	521,9	247,4
2018	713,0	451,5
2019	863,9	350,8
2020	718,2	329,1
2021	759,7	347,6
2022	809,9	264,9

5.5 Relação entre a Energia Consumida e a Qualidade da Água

Inicialmente, foi realizada uma regressão linear com todas as componentes de qualidade da água identificadas como variáveis independentes e cada parâmetro de energia como variável dependente.

Tabela 5.10: Valores de R e R² das variáveis dependentes

Variável Dependente	R	R ²
E. Oxigênio	0,467	0,218
E. Dióxido de Carbono	0,261	0,068
E. Cal	0,375	0,141
E. CAP	0,184	0,034
E. WAC	0,494	0,244
E. Polímero	0,360	0,129
E. Cloro	0,348	0,121

É de notar que, por norma, o R² é um pouco superior aos resultados obtidos. A razão destes valores não serem os esperados está relacionada com a falta de variáveis que influenciam as variáveis dependentes. Ou seja, provavelmente existem ainda mais variáveis que não foram apresentadas no presente estudo. Além disso, existem variáveis que não são tão robustas, nomeadamente a E. CO₂ e a E. CAP, o que significa que não têm relevância quando comparadas com as componentes relativas à Qualidade da Água Bruta. No que toca às outras

variáveis dependentes, apesar do R2 não ser tão elevado como seria desejável, existe relevância, ou seja, os resultados podem ser analisados.

Na Tabela 5.11, apresentam-se os resultados da regressão linear, importância relativa e correlação de Pearson após a exclusão das variáveis supressoras. Os parâmetros de qualidade e os parâmetros de tratamento são considerados como variáveis independentes, enquanto cada parâmetro de energia é tratado como variável dependente.

Tabela 5.11: Resultados da Regressão Linear das variáveis dependentes

Variável Dependente	Componente	Estimativas	Erro-padrão	t	p
E. Oxigênio	Intercepto	50,89	2,05	24,84	<0,01
	Componente 1	3,33	2,06	0,61	0,11
	Componente 3	3,94	2,06	1,91	0,06
	Componente 4	-5,01	2,06	-2,43	0,02
	Componente 5	-4,83	2,06	-2,34	0,02
E. Cal	Intercepto	85,9	5,4	15,9	<0,01
	Componente 1	13,7	5,44	2,52	0,01
	Componente 3	11,2	5,44	2,07	0,04
E. WAC	Intercepto	38,52	3,26	11,82	<0,01
	Componente 3	11,99	3,28	3,65	0,01
	Componente 4	6,50	3,28	1,98	0,05
	Componente 6	-6,08	3,28	-1,85	0,07
E. Polímero	Intercepto	0,35	0,035	9,93	<0,01
	Componente 2	0,09	0,04	2,76	0,008
	Componente 5	0,05	0,04	1,43	0,16
E. Cloro	Intercepto	1,66	0,00	19,07	<0,01
	Componente 2	0,23	0,00	2,55	0,01
E. Direta	Intercepto	0,44	0,005	94,74	<0,01
	Componente 2	0,014	0,005	3,19	0,002
	Componente 3	-0,02	0,005	-3,4	0,001
	Componente 5	0,01	0,005	2,22	0,03
	Componente 6	0,01	0,005	1,46	0,15

Sendo assim, a energia indireta associada ao **Oxigênio Líquido** teve uma maior relação com as componentes 3, 4 e 5. Tal como foi referido no capítulo da qualidade da água bruta, a

componente 3 refere-se aos coliformes totais, a componente 4 ao manganês e a componente 5 a temperatura da água. Ou seja, a componente 4 e a componente 5 são as componentes mais significativas, seguida da componente 3, devido ao seu p-value. Tanto a componente 4 como a componente 5 tem uma relação negativa com o doseamento de oxigênio, como se pode ver a partir das estimativas, o que significa que o uso do oxigênio (ou ozono) causa uma diminuição no manganês, pois como o ozono é um agente de oxidação forte, pode oxidar facilmente o manganês dissolvido, transformando-o em partículas sólidas que são de seguida removidas durante os processos de tratamento subsequentes, como a decantação e a filtração. Por outro lado, a componente 5, associada à temperatura da água também tem uma relação negativa com o doseamento de ozono. A solubilidade do ozono diminuiu com o aumento da temperatura, o que significa que em temperaturas mais altas, o ozono não se solubiliza tanto, podendo influenciar a eficácia da operação de oxidação. Ou seja, quando a temperatura da água aumenta, o doseamento de ozono também deve aumentar para que a operação de oxidação não fique comprometida.

A energia indireta associada ao hidróxido de cal teve uma relação mais significativa com as componentes 1 e 3. A componente 1 é explicada maioritariamente pela absorvância e alcalinidade. Neste caso, a relação do hidróxido de cálcio justifica-se pela alcalinidade, visto que o doseamento de leite de cal é frequentemente usado para aumentar a alcalinidade (os carbonatos e hidrocarbonatos) na água, tornando-a menos ácida e, ou agressiva. Isto é especialmente importante, porque ao aumentar a alcalinidade, o pH estabiliza-se mais rapidamente, prevenindo assim variações abruptas do pH. No que toca a componente 3, esta é explicada pelos coliformes totais. Neste caso, a relação que estas variáveis têm é uma relação mais indireta, visto que o doseamento de cal aumenta o pH e conseqüentemente a alcalinidade. Este aumento do pH pode criar um ambiente menos propício para o crescimento e a proliferação de algumas bactérias, incluindo os coliformes totais. Ou seja, o crescimento do pH inibe o crescimento destes organismos.

A energia indireta associada ao WAC AB (coagulante pré- polimerizado de alumínio) teve uma maior relação com as componentes associadas ao manganês e os coliformes totais. Como o WAC AB é um coagulante utilizado na coagulação floculação, ajuda a aglomerar as partículas na água, formando flocos maiores, facilitando a sua remoção. Ou seja, com o doseamento do coagulante, há uma maior formação dessas partículas, que podem incluir o manganês e os coliformes totais, que serão removidas nas etapas seguintes.

A energia indireta relativa ao Polímero AN910 SEP/NA apresenta uma relação significativa com a componente 2, referente à cor e à turvação. Como se sabe, o polímero AN910

SEP/NA é um agente de floculação, ou seja, é utilizado para promover a aglomeração de partículas finas e coloidais presentes na água. Assim, relaciona-se com a cor, visto que a cor da água é causada pela presença de matéria orgânica dissolvida, compostos orgânicos e minerais. Com o Polímero, estas substâncias são mais facilmente removidas, reduzindo a cor. No caso da turvação, o conceito é idêntico: como a turvação se refere à presença de partículas em suspensão na água, com o polímero, promove-se a sua agregação em partículas maiores e, por isso, de mais fácil remoção nas etapas de decantação e filtração.

A energia indireta associada ao doseamento de cloro também teve uma maior relação com a componente 2, o que significa que tem uma relação indireta com esta componente, visto que como o cloro tem a capacidade de inativar microrganismos que poderiam causar o crescimento de algas ou outras partículas em suspensão, a turvação e a cor também diminuem com o doseamento deste desinfetante.

5.6 Comparação entre a ETA da Apartadura e a ETA de Santa Águeda

Através da análise dos resultados, conseguiu-se obter várias informações que podem vir a melhorar o funcionamento da instalação, e também reduzir os custos da mesma. Além disso, uma das melhores formas de analisar os resultados é compará-los com outros estudos idênticos. Neste caso, o objetivo foi comparar a ETA da Apartadura com a ETA de Santa Águeda, estudada anteriormente pela Mestre Sofia Salvado, que concluiu a tese na Nova-FCT (Salvado, 2019).

Começando com os caudais de cada instalação, a ETA de Santa Águeda abastece uma maior população, tendo um caudal de 3000 m³/h, sendo que a ETA da Apartadura apresenta um caudal bem inferior, de cerca de 680 m³/h. Relativamente aos parâmetros de qualidade, os parâmetros cuja variância explica melhor a qualidade da água afluente à ETA de Santa Águeda são: a dureza total, temperatura, microrganismos a 22°C, E. coli, manganês, alcalinidade, turvação e coliformes totais, no caso da ETA de Santa Águeda, enquanto a da Apartadura são: alcalinidade, absorvância, cor, turvação, coliformes totais, condutividade e temperatura da água.

Tendo em consideração a energia direta, esta é em média 1,3 MJ/m³ no caso de Santa Águeda, e 1,69 MJ/m³ no caso da Apartadura. No caso da energia indireta, que está associada ao transporte de lamas a destino final e ao transporte e produção de reagente, representa em média 1 MJ/m³ na ETA de Santa Águeda, sendo que 73% da energia corresponde à produção

de reagentes e 27% corresponde ao transporte. No caso da Apartadura este valor é quase o dobro (1,96 MJ/m³). Para além do referido, existe uma grande discrepância entre a produção de reagentes e o transporte: 94% corresponde à produção de reagentes e 6% ao transporte. É de notar que no caso de Santa Águeda o reagente que mais contribuiu para o consumo de energia direta foi o dióxido de carbono, enquanto no caso da Apartadura é o Hidróxido de cálcio.

Por fim, em relação à energia total consumida, na ETA de Santa Águeda 44% corresponde à energia indireta, e 56% corresponde à energia direta. Contrariamente, no caso da ETA da Apartadura a energia indireta tem maior relevância, correspondendo a 54% e a energia direta 46%.

6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos e analisados, foi possível concluir que:

- Dos 16 parâmetros de qualidade que tínhamos, conseguiu-se obter 7 componentes que apresentaram uma variância total acumulada de mais de 75%, ou seja, são os que melhor explicam a variância, sendo estas componentes explicadas pelos seguintes parâmetros: a componente 1 é explicada pela absorvância e a alcalinidade; a componente 2 pela cor e a turvação; a componente 3 pelos coliformes totais; a componente 4 pelo manganês; a componente 5 pela temperatura da água; a componente 6 pela condutividade e a componente 7 explicada pelo fitoplâncton total;
- A energia direta consumida na ETA da Apartadura, considerando apenas a energia elétrica utilizada, é, em média, de 1,69 MJ/m³ de água tratada;
- No que respeita à energia indireta, associada à produção de reagentes e transporte de lamas e reagentes, calculou-se uma energia consumida (valor médio) de 1,96 MJ/m³ de água tratada. Além disso, a energia de produção representa a maior parte da energia indireta (cerca de 94%);
- Os reagentes que mais consumiram indiretamente energia foram o Hidróxido de Cálcio (43,3%), seguido do Dióxido de Carbono (36,1%);
- A ETA da Apartadura apresenta uma energia indireta maior do que a direta, representando cerca de 54% da energia total consumida, com uma energia total consumida, em média, de 3,65 MJ/m³;
- As emissões totais de carbono foram de 1063 ton CO₂/ano;
- Através da relação entre a qualidade da água bruta e a energia consumida conseguiu-se perceber que a energia indireta proveniente do Hidróxido de Cálcio e o Dióxido de Carbono é muito elevada. Isto justifica-se pelo facto destes reagentes estarem a ser utilizados em excesso, e estatisticamente não serem tão relevantes como se esperaria. Ou seja, existe uma ineficiência na Remineralização da água. Uma solução que poderia combater esta ineficiência seria a instalação de uma câmara de contacto com injeção de CO₂. A existência de uma câmara de CO₂ iria melhorar a eficiência da etapa da Remineralização, e conseqüentemente diminuir a quantidade de CO₂ consumida. Com esta redução, não seria necessário dosear tanto Hidróxido de Cálcio para alcançar aumentar a eficiência da etapa seguinte (coagulação/floculação).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE. (2018). *USO EFICIENTE DE ENERGIA NOS SERVIÇOS DE ÁGUAS*.
- ADENE. (2022a). *Energia em números*.
- ADENE. (2022b). *O anuário de Energia em Números*. <https://www.adene.pt/adenenews/o-anuario-energia-em-numeros-os-grandes-numeros-da-energia-em-portugal/>
- Alberto, C., & Varella, A. (2008). *Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias Análise de Componentes Principais*.
- APA. (n.d.). *Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) | Agência Portuguesa do Ambiente*. Retrieved September 6, 2023, from <https://apambiente.pt/clima/plano-nacional-de-energia-e-clima-pnec>
- APA. (2023). *Água | Relatório do Estado do Ambiente*. https://rea.apambiente.pt/dominio_ambiental/agua
- Baraniak, B. M., & Waleriańczyk, E. (2003). FLOCCULATION. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 2531–2535). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00485-5>
- Barrera-Díaz, C. E., Balderas-Hernández, P., & Bilyeu, B. (2018). Electrocoagulation: Fundamentals and Prospectives. In *Electrochemical Water and Wastewater Treatment* (pp. 61–76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813160-2.00003-1>
- Bassin, J. P., Castro, F. D., Valério, R. R., Santiago, E. P., Lemos, F. R., & Bassin, I. D. (2021). The impact of wastewater treatment plants on global climate change. In *Water Conservation in the Era of Global Climate Change* (pp. 367–410). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00001-4>
- Cabane, B., & Vuilleumier, R. (2005). The physics of liquid water. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(1–2), 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.09.018>
- Cescon, A., & Jiang, J.-Q. (2020). Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment. *Water*, 12(12), 3377. <https://doi.org/10.3390/w12123377>
- Chen, S., Tan, Y., & Liu, Z. (2019). Direct and embodied energy-water-carbon nexus at an inter-regional scale. *Applied Energy*, 251, 113401. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113401>
- Collivignarelli, M., Abbà, A., Benigna, I., Sorlini, S., & Torretta, V. (2017). Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. *Sustainability*, 10(2), 86. <https://doi.org/10.3390/su10010086>

- Commission, E. (2016). *Study supporting the revision of the EU Drinking Water Directive*. <https://doi.org/10.2779/650074>
- Cybulski, J., Witczak, A., & Pokorska-Niewiada, K. (2022). Influence of Water Treatment and Wastewater Treatment on the Changes in Residues of Important Elements in Drinking Water. *Molecules*, *27*(3), 972. <https://doi.org/10.3390/molecules27030972>
- de Amorim, W. S., Valduga, I. B., Ribeiro, J. M. P., Guazzelli Williamson, V., Krauser, G. E., Magtoto, M. K., & de Andrade Guerra, J. B. S. O. (2018). The nexus between water, energy, and food in the context of the global risks: An analysis of the interactions between food, water, and energy security. *Environmental Impact Assessment Review*, *72*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.002>
- EEA. (2009). *Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought*.
- El-taweel, R. M., Mohamed, N., Alrefaey, K. A., Husien, S., Abdel-Aziz, A. B., Salim, A. I., Mostafa, N. G., Said, L. A., Fahim, I. S., & Radwan, A. G. (2023). A review of coagulation explaining its definition, mechanism, coagulant types, and optimization models; RSM, and ANN. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *6*, 100358. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2023.100358>
- Energy Agency, I. (2021). *Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021 Global emissions rebound sharply to highest ever level*. www.iea.org/t&c/
- EPA. (2013). Energy Efficiency in Water and Wastewater Facilities. In *U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*.
- EPA. (2023a). *STRATEGIES FOR SAVING ENERGY AT PUBLIC WATER SYSTEMS*.
- EPA. (2023b). *Drinking Water | US EPA*. <https://www.epa.gov/report-environment/drinking-water>
- EPAL. (2021). *ETA Apartadura*.
- ERSAR. (2022). *CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO*. www.ersar.pt.
- European Commission. (2023). *The EU's plan to reduce energy consumption*. ECCEU. <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/energy-consumption-reduction/>
- García-Sánchez, M., & Güereca, L. P. (2019). Environmental and social life cycle assessment of urban water systems: The case of Mexico City. *Science of The Total Environment*, *693*, 133464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.270>
- Gerba, C. P. (2009). Drinking Water Treatment. In *Environmental Microbiology* (pp. 531–538). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370519-8.00025-0>

- Gerba, C. P., & Pepper, I. L. (2019). Drinking Water Treatment. In *Environmental and Pollution Science* (pp. 435–454). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00024-0>
- Gingerich, D. B., & Mauter, M. S. (2017). Air Emissions Damages from Municipal Drinking Water Treatment Under Current and Proposed Regulatory Standards. *Environmental Science & Technology*, *51*(18), 10299–10306. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03461>
- Goal 6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all — SDG Indicators. (2023). UN. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2018/goal-06/>
- Goldenergy. (2023). *O que é a Dependência energética | Glossário | Goldenergy*. <https://goldenergy.pt/glossario/dependencia-energetica/>
- Gude, V. G. (2015). Energy and water autarky of wastewater treatment and power generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.055>
- Hamiche, A. M., Stambouli, A. B., & Flazi, S. (2016). A review of the water-energy nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *65*, 319–331. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.020>
- Hasanzadeh Saray, M., Baubekova, A., Gohari, A., Eslamian, S. S., Klove, B., & Torabi Haghghi, A. (2022). Optimization of Water-Energy-Food Nexus considering CO₂ emissions from cropland: A case study in northwest Iran. *Applied Energy*, *307*, 118236. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118236>
- International Energy Agency (IEA). (2017). *Special Report: Energy Access Outlook*. www.iea.org/t&c/
- IRENA. (2015). *Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus*. www.irena.org
- Jackson, R. B., Friedlingstein, P., Le Quéré, C., Abernethy, S., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Ciais, P., Davis, S. J., Deng, Z., Liu, Z., Korsbakken, J. I., & Peters, G. P. (2022). Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels. *Environmental Research Letters*, *17*(3), 031001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AC55B6>
- Jegatheesan, V., & Vigneswaran, S. (2005). Deep Bed Filtration: Mathematical Models and Observations. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *35*(6), 515–569. <https://doi.org/10.1080/10643380500326432>
- Jury, W. A., & Vaux, H. (2005). The role of science in solving the world's emerging water problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(44), 15715–15720. <https://doi.org/10.1073/pnas.0506467102>
- Loureiro, D., Silva, C., Cardoso, M. A., Mamade, A., Alegre, H., & Rosa, M. J. (2020). The Development of a Framework for Assessing the Energy Efficiency in Urban Water Systems and

- Its Demonstration in the Portuguese Water Sector. *Water*, 12(1), 134. <https://doi.org/10.3390/w12010134>
- Macharia, P., Kreuzinger, N., & Kitaka, N. (2020). Applying the water-energy nexus for water supply-A diagnostic review on energy use for water provision in Africa. In *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w12092560>
- Maktabifard, M., Al-Hazmi, H. E., Szulc, P., Mousavizadegan, M., Xu, X., Zaborowska, E., Li, X., & Małkinia, J. (2023). Net-zero carbon condition in wastewater treatment plants: A systematic review of mitigation strategies and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 185, 113638. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113638>
- Mangale, S. (2020). *Scree Plot. Principal Component Analysis (PCA)*. <https://sanchitamangale12.medium.com/scree-plot-733ed72c8608>
- Märker, C., & Venghaus, S. (2022). The food–energy–water nexus approach. In *Assessing Progress Towards Sustainability* (pp. 57–72). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85851-9.00007-9>
- Mo, W., Nasiri, F., Eckelman, M. J., Zhang, Q., & Zimmerman, J. B. (2010). Measuring the embodied energy in drinking water supply systems: A case study in the Great Lakes region. *Environmental Science and Technology*, 44(24), 9516–9521. <https://doi.org/10.1021/es1015845>
- Molinos-Senante, M., & Maziotis, A. (2022a). Evaluation of energy efficiency of wastewater treatment plants: The influence of the technology and aging factors. *Applied Energy*, 310, 118535. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118535>
- Molinos-Senante, M., & Maziotis, A. (2022b). Influence of environmental variables on the energy efficiency of drinking water treatment plants. *Science of The Total Environment*, 833, 155246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155246>
- Moran, D., & Dann, S. (2008). The economic value of water use: Implications for implementing the Water Framework Directive in Scotland. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 484–496. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.043>
- Motuzienė, V., Čiuprinskas, K., Rogoža, A., & Lapinskienė, V. (2022). A Review of the Life Cycle Analysis Results for Different Energy Conversion Technologies. *Energies*, 15(22), 8488. <https://doi.org/10.3390/en15228488>
- Nakkasunchi, S., Hewitt, N. J., Zoppi, C., & Brandoni, C. (2021). A review of energy optimization modelling tools for the decarbonisation of wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123811. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123811>

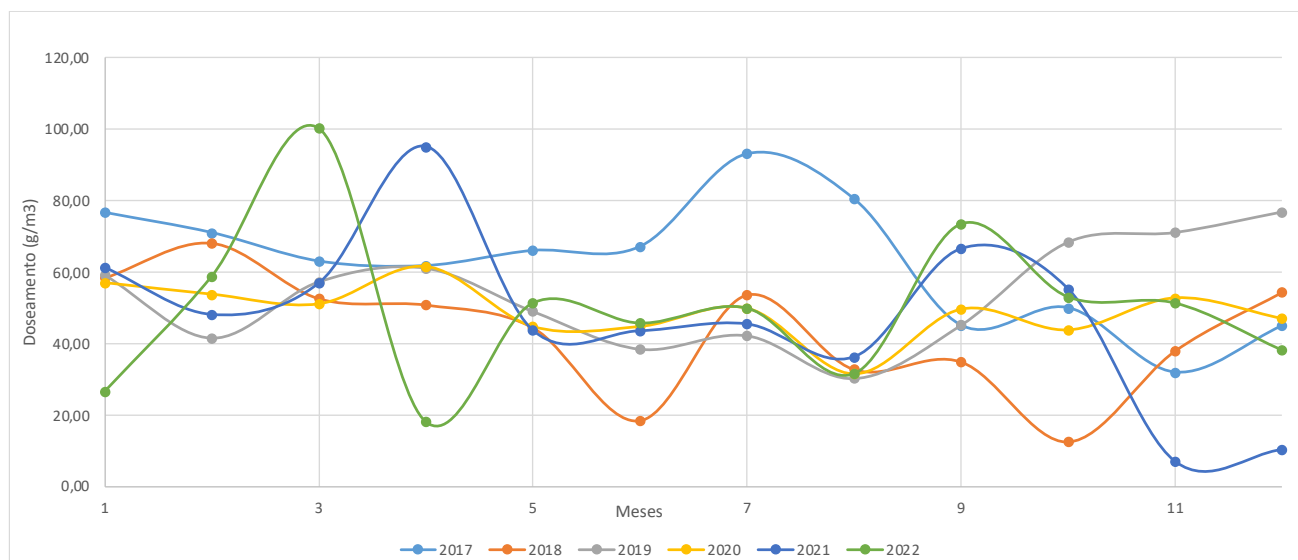
- Neves, M. C., Malmgren, K., & Neves, R. M. (2021). Climate-driven variability in the context of the water-energy nexus: A case study in southern Portugal. *Journal of Cleaner Production*, *320*, 128828. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128828>
- Observatório Da Energia, A. (n.d.). *Ficha Técnica Título Energia em Números-Edição 2021*.
- OMS. (2023). *Drinking-water*. OMS. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Plappally, A. K., & Lienhard, J. H. (2012). *Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.022>
- Presura, E., & Robescu, L. D. (2017). Energy use and carbon footprint for potable water and wastewater treatment. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, *11*(1), 191–198. <https://doi.org/10.1515/picbe-2017-0020>
- Racoviceanu, A. I., Karney, B. W., Kennedy, C. A., & Colombo, A. F. (2007). Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems. *Journal of Infrastructure Systems*, *13*(4), 261–270. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2007\)13:4\(261\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:4(261))
- Rao, P., Kosteki, R., Dale, L., & Gadgil, A. (2017). Technology and Engineering of the Water-Energy Nexus. *Annual Review of Environment and Resources*, *42*(1), 407–437. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060959>
- Reinders, A. H. M. E., Vringer, K., & Blok, K. (2003). The direct and indirect energy requirement of households in the European Union. *Energy Policy*, *31*(2), 139–153. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00019-8](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00019-8)
- Salvado, S. (2019). *Relação entre a qualidade da água bruta e a energia consumida numa ETA Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária*.
- Santana, M. V. E., Zhang, Q., & Mihelcic, J. R. (2014). Influence of Water Quality on the Embodied Energy of Drinking Water Treatment. *Environmental Science & Technology*, *48*(5), 3084–3091. <https://doi.org/10.1021/es404300y>
- Sources of energy - U.S. Energy Information Administration (EIA)*. (2023). <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/sources-of-energy.php>
- Stang, S., Wang, H., Gardner, K. H., & Mo, W. (2018). Influences of water quality and climate on the water-energy nexus: A spatial comparison of two water systems. *Journal of Environmental Management*, *218*, 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.095>

- The Importance of Energy Efficiency in Water and Wastewater Treatment. (2023). *Tata & Howard*. <https://tataandhoward.com/importance-energy-efficiency-water-wastewater-treatment-case-studies/>
- The United Nations World Water Development Report 2022*. (2022). www.unwater.org.
- to a Low-Carbon Urban Water Utility The Roadmap*. (n.d.). <https://doi.org/10.2166/9781780409924>
- Uddin, Md. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, *122*, 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- UNEP. (2022). *The Closing Window Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>
- Vadasarukkai, Y. S., & Gagnon, G. A. (2017). Influence of the Mixing Energy Consumption Affecting Coagulation and Floc Aggregation. *Environmental Science & Technology*, *51*(6), 3480–3489. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06281>
- White, D. J., Hubacek, K., Feng, K., Sun, L., & Meng, B. (2018). The Water-Energy-Food Nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis. *Applied Energy*, *210*, 550–567. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.159>
- World Health Organization. (2019). *Safer Water, Better Health*.
- Wu, X., Pan, A., & She, Q. (2021). Direct and indirect effects of climate aid on carbon emissions in recipient countries. *Journal of Cleaner Production*, *290*, 125204. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125204>

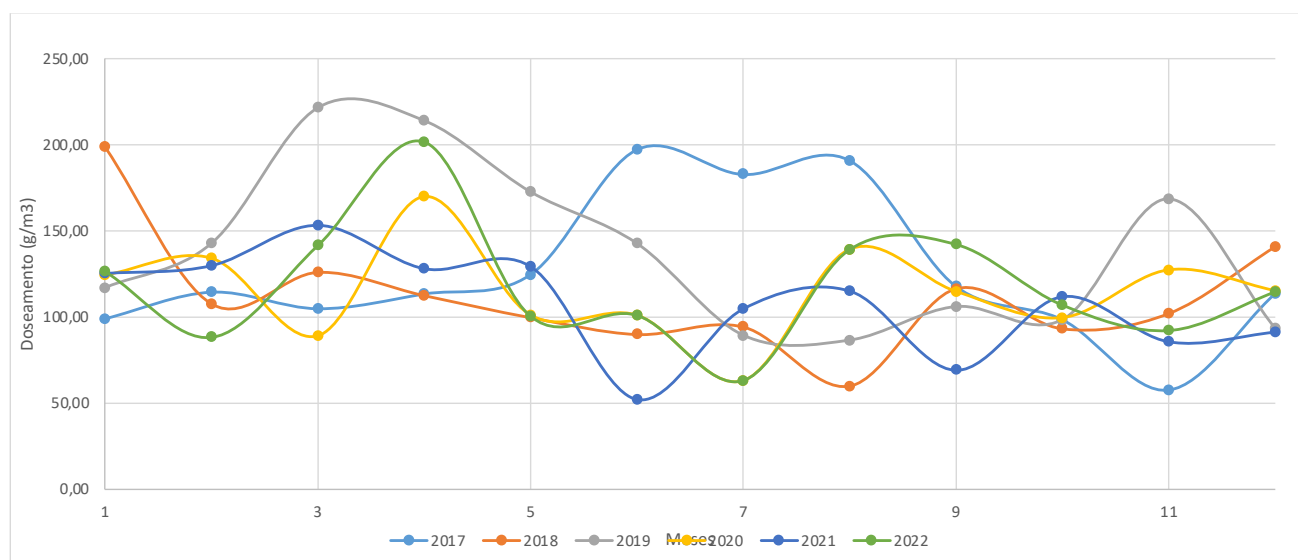
8 ANEXOS

Anexo I

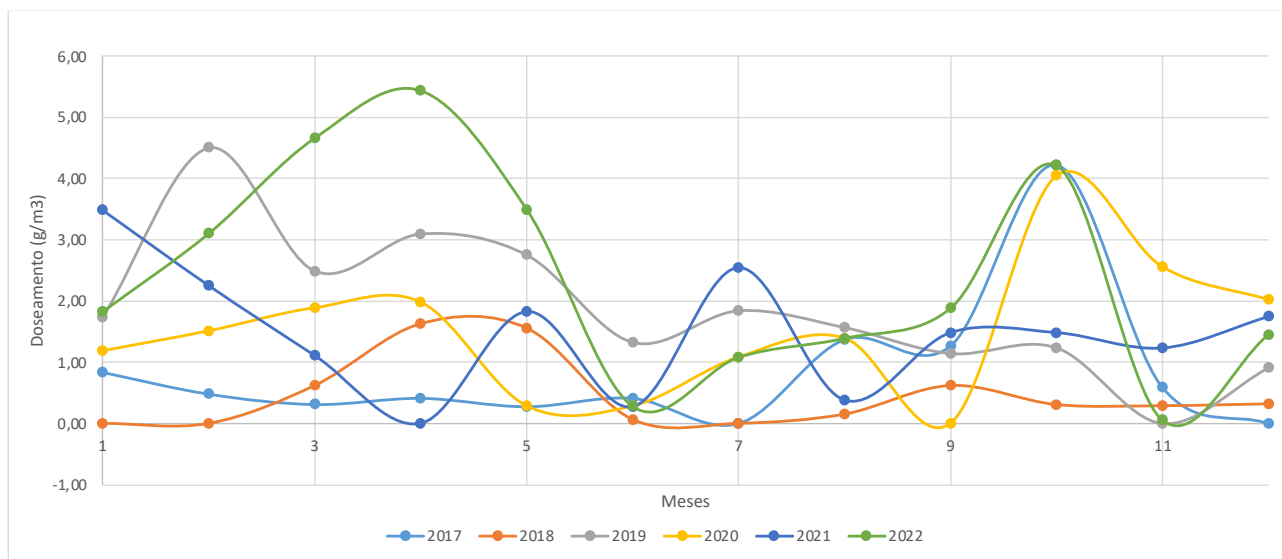
Dose media de Oxigénio Líquido, em gramas por metro cúbico de água tratada, desde 2017 a 2022.



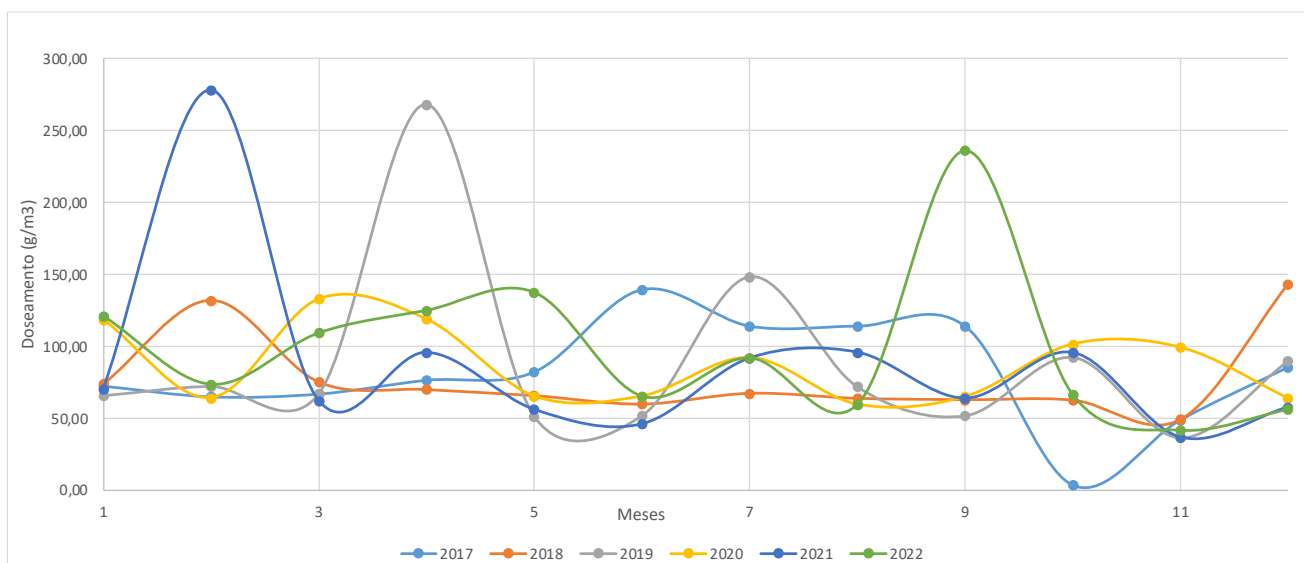
Dose media de Dióxido de Carbono, em gramas por metro cúbico de água tratada, desde 2017 a 2022.



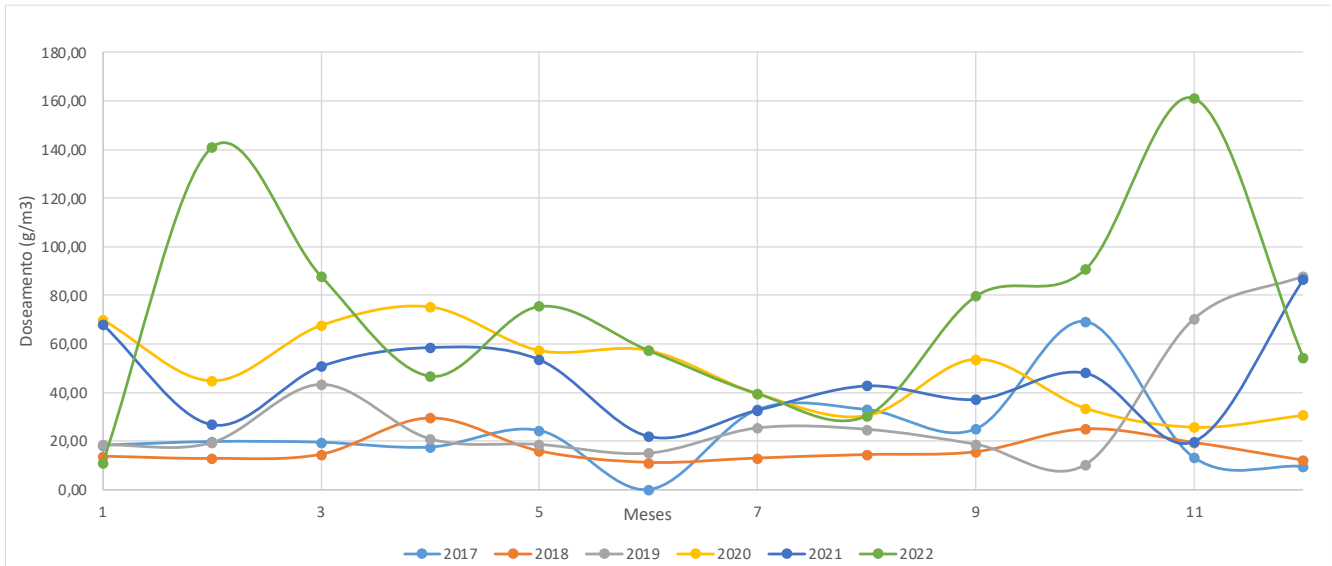
Dose media de Carvão Ativado em Pó, em gramas por metro cúbico de água tratada, desde 2017 a 2022.



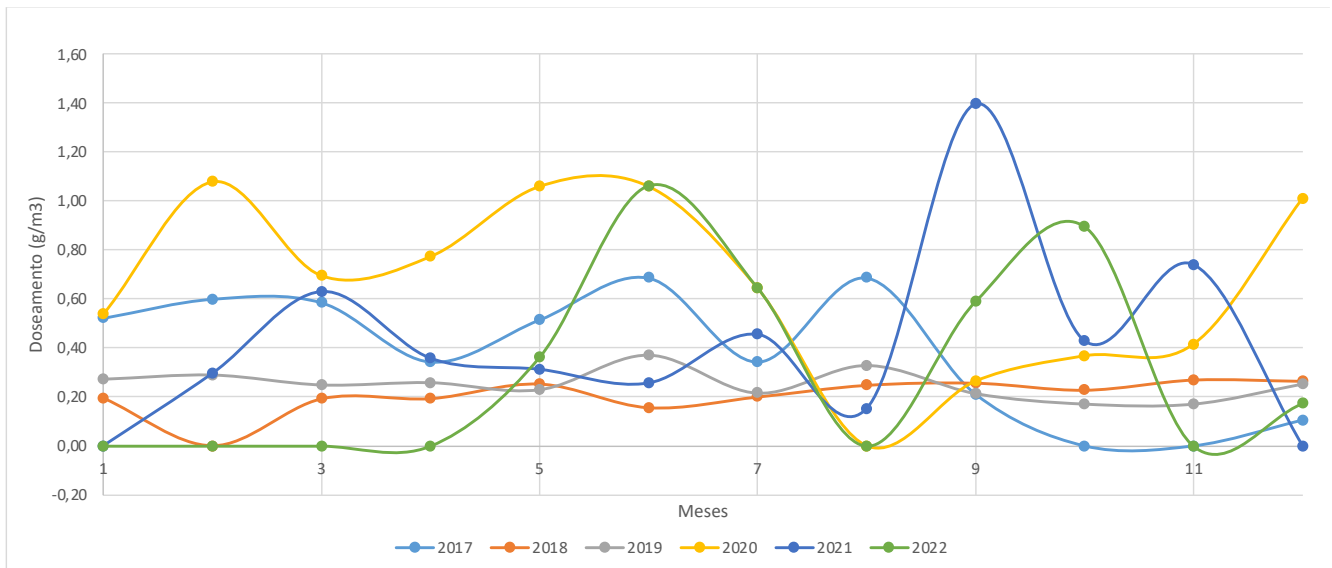
Dose media de Cal Hidratada, em gramas por metro cúbico de água tratada, desde 2017 a 2022.



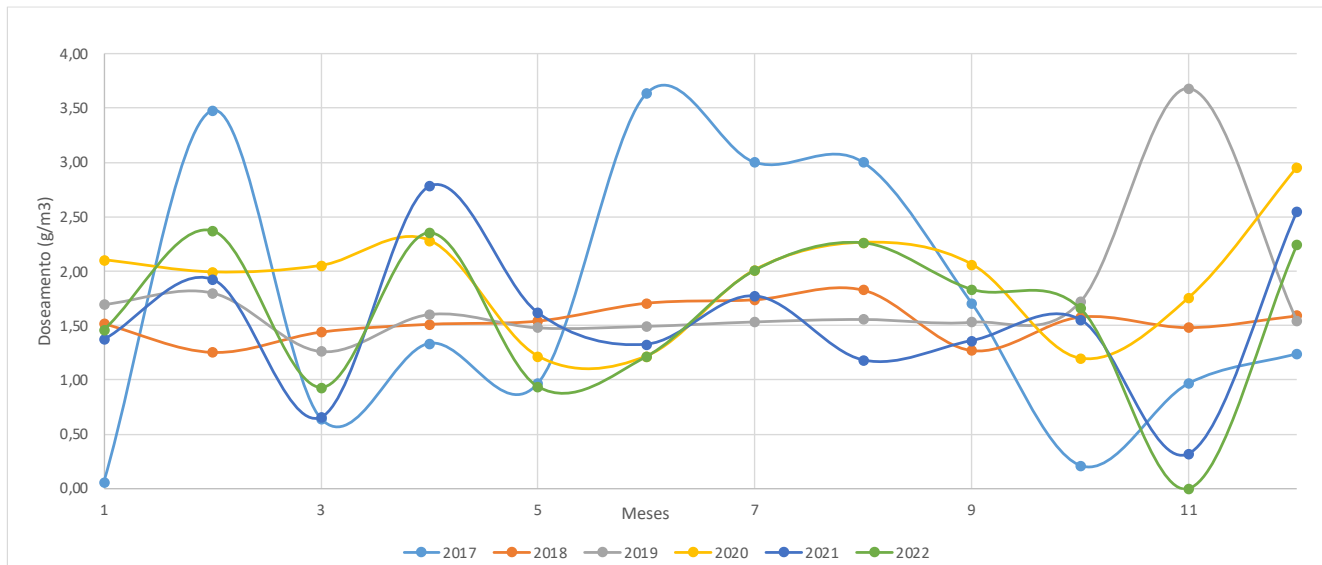
Dose media de Coagulante WAC, em gramas por metro cúbico de água tratada, desde 2017 a 2022.



Dose media de Polímero SN910, em gramas por metro cúbico de água tratada, desde 2017 a 2022.



Dose media de Cloro, em gramas por metro cúbico de água tratada, desde 2017 a 2022.



Anexo II

O Anexo II refere-se ao número de viagens que os camiões percorreram para transportar os reagentes, bem como as quantidades, o número de viagens (de 2017 a 2022), a energia consumida por quilómetro percorrido por um camião transportador, e o fator de produção de cada reagente.

Oxigénio Líquido			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	139637	18	5 544
2018	152347	14	4 312
2019	142770	16	4 928
2020	136882	16	4 928
2021	126077	14	4 312
2022	175005	16	4 928

Dióxido de Carbono			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	262424	72	30110
2018	422545	70	29274
2019	493502	82	34292
2020	328276	54	22583
2021	343801	58	24256
2022	319410	104	43493

Carvão Ativado em Pó			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	1000	2	616
2018	2000	4	1232
2019	6020	12	3696
2020	5000	10	3080
2021	4000	8	2464
2022	7400	14	4312

Cal hidratada			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	190080	30	4650
2018	229459	38	5890
2019	275940	46	7130
2020	262244	44	6820
2021	270600	46	7130
2022	288704	62	9610

Coagulante WAC			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	36000	4	1303
2018	54000	6	1954
2019	82125	12	3908
2020	71900	8	2606
2021	161497	18	5863

2022	139183	14	4560
------	--------	----	------

Polímero AN910			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	1000	2	621
2018	1000	2	657
2019	0	0	0
2020	2000	4	657
2021	1000	2	657
2022	1000	2	657

Cloro líquido			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	2925	10	2529
2018	7150	10	2529
2019	7424	10	2529
2020	5850	10	2529
2021	4875	10	2529
2022	4080	14	3541

Polímero Ricfloc 6025			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	0	0	0
2018	0	0	0
2019	1000	2	621

2020	2000	4	1242
2021	1000	2	621
2022	2000	2	621

Lamas			
	Quantidade (kg)	Nº de viagens	Quilómetros percorrido (km)
2017	45220	12	1520,4
2018	112380	32	1426,6
2019	63560	16	2027,2
2020	142220	28	3547,6
2021	176620	40	4400,0
2022	149380	32	3520,0

	ϵ Transporte	Unidade
camião de 12 toneladas	0,012628	Mj/km
camião de 18 toneladas	0,00902	Mj/km

Energia de produção dos reagentes.

Reagente	ϵ produção (kgCO₂e/kg)
Oxigénio Líquido	0,503
Dióxido de carbono	1,51335
Carvão ativado em pó	0,00556
Cal hidratada	1,200
Coagulante WAC	0,460
Polímero AN910	3,310

Cloro líquido	1,21150
Polímero Rifloc 6025	3,310



<ano>

ANTÓNIO MOTA

UM TÍTULO DE TFSF IMPRESSIONANTE COM UMA MUDANÇA DE LINHA FOR-

