



Sofia Alexandra de Campos Salvado

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

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

Orientadora: Professora Doutora Rita Maurício Rodrigues
Rosa, Professora Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente e arguente: Prof.^a Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Vogais: Prof.^a Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa

Eng.^o Pedro Miguel Fontes de Matos



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho, 2019



Sofia Alexandra de Campos Salvado

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

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

Orientadora: Professora Doutora Rita Maurício Rodrigues
Rosa, Professora Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente e arguente: Prof.^a Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Vogais: Prof.^a Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa

Eng.^o Pedro Miguel Fontes de Matos

Relação entre a qualidade da água bruta e a energia consumida numa ETA

© Copyright em nome de Sofia Alexandra de Campos Salvado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da 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

Esta dissertação é o resultado do contributo de várias pessoas a quem desejo expressar o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora Rita Maurício por me ter orientado, pelo apoio, disponibilidade, confiança, conhecimentos transmitidos e acima de tudo pelos conselhos e motivação.

Agradeço à Eng. Sónia Mexia e ao Eng. Pedro Fontes por terem demonstrado interesse no tema abordado e por terem fornecido os dados necessários para a elaboração deste estudo.

Deixo ainda um especial agradecimento à Professora Leonor Amaral e ao Professor António Pedro Mano pelo conhecimento e ensinamentos transmitidos nos últimos anos deste meu percurso académico.

A todos os meus amigos agradeço o companheirismo e paciência, em especial gostaria de agradecer à minha amiga Ana Silva por me ter acompanhado desde o primeiro dia deste percurso, pela amizade criada e partilha de momentos.

Ao meu namorado Fábio Inácio por fazer estes anos ainda mais especiais, por me acompanhar em todos os momentos, por todas as noitadas de estudo e trabalhos de grupo, por toda a força que me transmitiu e por me tornar mais confiante das minhas capacidades.

Finalmente, mas não menos importante, agradeço à minha família. Aos meus pais por todos os valores que me transmitiram, por me apoiarem e acreditarem em mim em todos os momentos. Ao meu irmão por ser um exemplo a seguir e por sempre me fazer sentir capaz de fazer qualquer coisa. Aos meus queridos avós, sem nunca esquecer a memória dos meus avós maternos que muito me ensinaram.

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água dependem de processos e operações altamente consumidores de energia para fornecer água com segurança e qualidade à população. A energia consumida para o fornecimento de água é dos aspetos mais relevantes na gestão e tratamento de água, principalmente quando se tem em consideração o desenvolvimento sustentável. Alterações da qualidade da água afluyente podem alterar o funcionamento de uma estação de tratamento de água (ETA) e conseqüentemente o consumo de energia. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar e avaliar a energia total consumida numa ETA e relacioná-la com a qualidade da água bruta. Essa energia pode ser dividida em energia direta (energia associada aos processos e operações) e energia indireta (energia associada aos reagentes e às lamas). Assim sendo, utilizou-se como caso de estudo a ETA de Santa Águeda (ETASA), localizada perto da cidade de Castelo Branco. A respetiva captação de água é realizada na albufeira de Santa Águeda situada no rio Ocreza, afluyente do rio Tejo.

No cálculo da energia total consumida teve-se em consideração o consumo de eletricidade, no caso da energia direta, e o consumo e transporte de reagentes e a produção e transporte de lamas, no caso da energia indireta. Para determinar a influência da qualidade da água bruta na energia total consumida na ETA utilizaram-se métodos estatísticos como a correlação de *Pearson*, a regressão linear e a importância relativa.

Os resultados mostraram que, no caso da ETASA, a energia indireta representou 44% da energia total consumida e a energia direta representou 56%. Embora a energia direta tenha apresentado uma percentagem superior, esta não representou uma contribuição tão significativa na energia total consumida quando comparada a outros estudos e locais. Verificou-se ainda que existe uma relação entre a qualidade da água bruta e a energia total consumida, principalmente devido a alterações nas dosagens dos reagentes. O método utilizado neste estudo pode ser aplicado a outras instalações, principalmente para determinar se a proteção da qualidade da água na origem e ou a alteração dos processos de tratamento podem minimizar significativamente a energia total consumida no tratamento de água.

Palavras-chave: água, energia, qualidade da água afluyente, sistema de abastecimento de água, sustentabilidade, eficiência

ABSTRACT

Water supply systems rely on energy intensive processes and operations to provide safe and high quality water to the population. The embodied energy associated with water supply is one of the most relevant aspects in the management and treatment of water, specially when considering the sustainable development of society. Any changes in the quality of the influent water can affect the operation of a water treatment plant (WTP) and consequently the associated energy consumption. Thus, the main purpose of this study was to analyse and evaluate the embodied energy in a WTP and its relation to the quality of the raw water. This energy can be divided into direct energy (energy associated with processes and operations) and indirect energy (energy associated with chemicals and sludge). Therefore, the case study is the Santa Agueda WTP, located near the city of Castelo Branco. The respective water catchment is carried out in the reservoir of Santa Águeda located in the river Ocreza, affluent of Tejo river.

In the calculations of the total consumed energy, the consumption of electricity was taken into account in the case of direct energy; while the consumption and transport of chemicals and the production and transport of sludge were taken into account in the case of indirect energy. In order to determine the influence of the raw water quality on the total energy consumed in the WTP, statistical methods such as Pearson's correlation, linear regression and relative importance were applied.

Results showed that for Santa Agueda WTP, indirect energy accounted for 44% of the total energy consumed and whilst the direct energy accounted for 56%. Although the direct energy presented a higher percentage, it did not represent such a significant contribution in the total energy consumed when compared to other studies and locations. It was also verified that there is a relation between the quality of the raw water and the total energy consumed, mainly due to changes in the dosages of the chemicals. The method used in this study, although it can be improved, can be applied to other facilities, mainly to determine if the protection of the quality of the water source and / or the alteration of the treatment processes can significantly minimize the total energy consumed in the treatment of water.

Key words: water, energy, influent water quality, water supply system, sustainability, efficiency

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	Introdução	1
2.	Objetivo	3
3.	Estrutura da dissertação	5
4.	Revisão Bibliográfica.....	7
4.1.	Água para Consumo Humano.....	7
4.1.1.	Introdução.....	7
4.1.2.	Qualidade da Água.....	8
4.1.3.	Doenças Associadas à Água.....	10
4.1.4.	Enquadramento Legal em Portugal.....	11
4.2.	Tratamento de Água para Consumo Humano	12
4.2.1.	Introdução.....	12
4.2.2.	Principais Etapas de Tratamento	13
4.3.	Energia	15
4.3.1.	Introdução.....	15
4.3.2.	Noções Gerais	16
4.3.3.	Caracterização Energética Nacional	17
4.3.4.	Enquadramento Legal	20
4.4.	Nexus Água - Energia	21
4.4.1.	Introdução.....	21
4.4.2.	Panorama Energético do Setor das Águas em Portugal	22
4.4.3.	Energia Consumida num Sistema de Abastecimento de Água	23
4.4.4.	Fatores que Contribuem para o Consumo de Energia	27
4.4.5.	Gases com Efeito de Estufa (GEE).....	29
4.4.6.	Principais Passos para a Redução de Carbono.....	30
4.5.	Qualidade da Água e a Energia Consumida na ETA.....	33
5.	Metodologia.....	35
5.1.	Dados e Métodos	35
5.1.1.	Etapas.....	35
5.1.2.	Nomenclatura	35

5.1.3.	ETA.....	36
5.1.4.	Qualidade da Água Bruta	36
5.1.5.	Energia Total Consumida	36
5.1.6.	Relação entre a Qualidade da Água e a Energia Total Consumida	38
5.2.	Caso de Estudo – ETA de Santa Águeda	40
5.2.1.	Enquadramento	40
5.2.2.	Descrição.....	40
5.2.3.	Reagentes	42
6.	Resultados e Discussão.....	43
6.1.	Qualidade da Água Bruta	43
6.2.	Energia	47
6.2.1.	Energia Direta.....	47
6.2.2.	Energia Indireta	50
6.2.3.	Energia Total Consumida	52
6.3.	Emissões	53
6.4.	Relação entre Qualidade da Água e a Energia Consumida na ETA	54
7.	Conclusões.....	59
8.	Desenvolvimentos Futuros.....	61
	Referências Bibliográficas	63
	Anexos.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Evolução do consumo total de energia primária por tipo de fonte	18
Figura 4.2 Evolução do consumo total de energia final por tipo de fonte	18
Figura 4.3 Distribuição do consumo de energia final por setor em 2017	19
Figura 4.4 Dependência energética nacional	19
Figura 4.5 Nexus água – energia	21
Figura 4.6 Distribuição da energia necessária numa estação de tratamento de água convencional.	26
Figura 4.7 Distribuição da energia total consumida numa estação de tratamento de água	27
Figura 4.8 Emissões por setor de atividade	29
Figura 5.1 Limites do estudo	37
Figura 5.2 Etapas do estudo.....	38
Figura 5.3 Esquema de apoio à decisão	39
Figura 5.4 Diagrama linear simplificado da ETA de Santa Águeda	41
Figura 6.1 Scree plot	44
Figura 6.2 Distribuição da energia direta consumida da ETA St ^a Águeda no ano de 2015.....	47
Figura 6.3 Consumo de eletricidade ao longo dos meses, da ETA de Santa Águeda, dos anos de 2015 a Junho de 2018.....	48
Figura 6.4 Energia direta total consumida nos anos 2015, 2016, 2017 e 2018 de Janeiro a Julho .	49
Figura 6.5 Número de lavagens dos filtros nos anos 2015, 2016, 2017 e 2018.....	50
Figura 6.6 Percentagem de energia direta e indireta	52
Figura 6.7 Variação da energia total consumida ao longo dos meses, da ETA de Santa Águeda, dos anos de 2015 a Junho de 2018.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 Parâmetros de qualidade da água presentes no D.L. n.º 306/2007, de 27 de Agosto	9
Tabela 4.2 / Estratégias de intervenção relativas ao combate aos vários tipos de doenças	11
Tabela 4.3 Operações e processos unitários e suas respectivas funções.	13
Tabela 4.4 Energia consumida consoante diferentes origens de água.....	24
Tabela 4.5 Energia consumida em dois sistemas de abastecimento de água, um com origem de água subterrânea e outro com origem de água superficial.....	25
Tabela 4.6 Fatores que afetam o consumo de energia em sistemas de abastecimento de água	28
Tabela 5.1 Nomenclatura de apoio	35
Tabela 5.2 Reagentes utilizados na ETA de Santa Águeda.....	42
Tabela 6.1 Parâmetros iniciais e finais da qualidade da água	43
Tabela 6.2 Variância total acumulada explicada por cada componente	44
Tabela 6.3 Matriz de componentes.....	45
Tabela 6.4 Eletricidade consumida por caudal de água tratada nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018	48
Tabela 6.5 Características dos grupos de bombagem de água e ar.....	49
Tabela 6.6 Processo de lavagem dos filtros e respetivo tempo	49
Tabela 6.7 Energia indireta associada a cada reagente e lamas e energia indireta total, nos anos 2015, 2016, 2017 e 2018.....	51
Tabela 6.8 Energia total consumida	53
Tabela 6.9 Emissões de GEE associadas à energia direta, direta e total consumida na ETA de Santa Águeda	54
Tabela 6.10 Resultados da regressão linear com os parâmetros de qualidade e os parâmetros de tratamento como variáveis independentes e cada parâmetro de energia como variável dependente.	54
Tabela 6.11 Resultados da regressão linear, importância relativa e correlação de <i>Pearson</i> após eliminação de variáveis supressoras	55

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ACV	Análise de Ciclo de Vida
AdP	Águas de Portugal
ACP	Análise em Componentes Principais
CAP	Carvão Ativado em Pó
CO ₂	Dióxido de Carbono
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COT	Carbono Orgânico Total
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
D.L.	Decreto-Lei
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETASA	Estação de Tratamento de Santa Águeda
GEE	Gases com Efeito de Estufa
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PNEC	Plano Nacional integrado Energia e Clima
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
THM	Trihalometanos
VMA	Valor Máximo Admissível
VMR	Valor Máximo Recomendado
WHO	<i>World Health Organization</i>

1. Introdução

Fornecer água com qualidade adequada e em quantidade suficiente é um desafio em várias localizações do mundo (Baykal, Tanik e Gonenc, 2003). A água antes de chegar à torneira passa por um sistema de abastecimento de água constituído por captação, tratamento, adução e distribuição. Estes sistemas de abastecimento de água necessitam de energia para fornecer água com a qualidade e quantidade necessárias para o consumo (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014).

A energia consumida numa estação de tratamento de água pode ser dividida em energia direta e indireta. A energia direta refere-se à energia consumida e mensurável na ETA, como por exemplo, a eletricidade e o combustível consumidos pelas operações e processos de tratamento e pela bombagem. A energia indireta é a energia consumida fora da ETA, embora em processos e operações necessários ao funcionamento da mesma, mais concretamente a energia associada à produção e transporte de reagentes, materiais e subprodutos (Racoviceanu *et al.*, 2007; Mo *et al.*, 2011).

Independentemente do tipo de tratamento utilizado na produção de água para abastecimento público, a eficiência e adequação da estação de tratamento de água é fortemente dependente da qualidade do recurso hídrico onde é captada (Baykal, Tanik e Gonenc, 2003). Assim, uma vez que a qualidade da água afluenta a uma ETA pode variar, podem ocorrer alterações nos processos e operações e consequentemente no consumo de energia associada (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014). Segundo Mo *et al.* (2011) a energia envolvida no sistema de abastecimento é um dos aspetos mais relevantes na gestão da água, sendo um dos grandes desafios a otimização da eficiência operacional. Assim, é emergente a tentativa de encontrar um equilíbrio entre a adoção de práticas mais sustentáveis nos sistemas de tratamento de água e a minimização dos custos associados à energia consumida numa ETA, mantendo a quantidade e qualidade necessárias (Giustolisi, Berardi e Laucelli, 2014).

Os sistemas de abastecimento de água tendem cada vez mais a adotar práticas mais sustentáveis de maneira a minimizar os potenciais impactos futuros na qualidade da água e minimizar a sua contribuição nas alterações climáticas (Stang *et al.*, 2018). São diversos os governos e as organizações que procuram medidas para a redução das emissões de carbono e consequente redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) (Kennedy *et al.*, 2009). Ao adotarem esta abordagem de redução de emissões, contribuem para uma mudança de mentalidade, não só na gestão da água, mas também ao incentivar todos os outros serviços através da consciencialização dos riscos e da urgência em agir para evitar impactos acrescidos, provocados pelas alterações climáticas. Os serviços da água estão entre os principais serviços a serem afetados, nomeadamente no que diz respeito à escassez da água, inundações e deterioração da qualidade da água (Roadmap, 2018).

O estudo da energia consumida nos sistemas de abastecimento de água pode ajudar a perceber quais as principais fontes de maior consumo de energia e de que forma é possível minimizá-las, e assim possibilitar a redução de custos e de emissões de carbono e consequentemente dos GEE. Para além desta perceção, a relação entre qualidade da água bruta e a energia consumida no processo da ETA, permite avaliar se o controlo da qualidade da água na sua origem ou o uso de diferentes reagentes podem, ou não, ser formas de minimizar o consumo de energia (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014).

2. Objetivo

O presente trabalho tem como principal objetivo estudar a energia total consumida numa ETA e verificar qual a relação entre a qualidade da água afluyente e a energia consumida nos processos de tratamento. Para atingir o principal objetivo é necessário calcular a energia direta, a energia indireta, a energia total consumida e as emissões de CO₂ associadas à energia consumida.

3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em oito capítulos.

No primeiro capítulo foca-se a problemática que serviu de base para o desenvolvimento deste estudo.

No segundo capítulo identificam-se os principais objetivos.

No quarto capítulo é apresentado o enquadramento teórico que serve como suporte para o desenvolvimento deste estudo.

No quinto capítulo descrevem-se a metodologia adotada e o caso de estudo.

Os resultados e respetiva discussão encontram-se no capítulo sexto e as conclusões referentes ao trabalho efetuado no capítulo sétimo.

Por último, no oitavo capítulo apresentam-se os desenvolvimentos futuros e os próximos passos no aprofundamento do conhecimento desta temática.

Os anexos apresentados servem de suporte à informação apresentada ao longo dos diferentes capítulos.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Água para Consumo Humano

4.1.1. Introdução

As águas de abastecimento para consumo humano são todas aquelas que são utilizadas para esse fim, no seu estado original ou após tratamento, qualquer que seja a sua origem (D.L. n.º 236/98, de 1 de Agosto).

A segurança e a qualidade da água são fundamentais para o desenvolvimento e bem-estar humano. O acesso a água potável e prontamente disponível é uma das formas mais eficazes de promover saúde e reduzir a pobreza, quer seja usada para beber, uso doméstico, produção de alimentos ou fins recreativos. Um melhor sistema de abastecimento de água e saneamento e uma melhor gestão dos recursos hídricos podem impulsionar o crescimento económico dos países (WHO, 2018).

A Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2010, reconheceu explicitamente o direito humano à água e ao saneamento, ou seja, todos têm o direito a água suficiente, contínua, segura, aceitável, fisicamente acessível e acessível para uso pessoal e doméstico. No entanto, ainda existem muitas localidades no mundo onde esta situação não se verifica (WHO, 2018).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), em 2015, 71% da população mundial usou um serviço de água potável, disponível quando necessário e livre de contaminação. Aproximadamente 89% da população utilizou pelo menos um serviço básico. Um serviço básico é uma fonte melhorada de água potável em que para recolher água é necessária uma viagem de ida e volta de cerca de 30 minutos. Por outro lado, aproximadamente 844 milhões de pessoas não têm sequer um serviço básico de água potável, incluindo 159 milhões de pessoas que dependem da água de superfície. Globalmente, pelo menos 2 000 milhões de pessoas recorrem a uma fonte de água potável contaminada com fezes. A água contaminada pode transmitir doenças, como diarreia, cólera, disenteria, febre tifoide e poliomielite. Calcula-se que a água potável contaminada cause cerca de 500 000 mortes todos os anos, provocadas por diarreia (WHO, 2018).

As alterações climáticas, a crescente escassez de água, o crescimento populacional, as mudanças demográficas e a urbanização representam desafios para os sistemas de abastecimento de água. Até 2025, metade da população mundial viverá em áreas com falta de água. A reutilização de águas residuais, para recuperar água e nutrientes, está a tornar-se uma estratégia importante (WHO, 2018).

O setor do abastecimento público de água em Portugal tem evoluído significativamente nos últimos anos, em especial nos níveis da qualidade da água fornecida, em que 99% da água controlada é de boa qualidade, enquanto que em 1993 era de 50% (ERSAR, 2017).

4.1.2. Qualidade da Água

A água presente na Terra encontra-se em três reservatórios principais, nomeadamente oceanos, continentes e atmosfera (Mendes e Oliveira, 2004). Nos continentes a água situa-se nos lagos de água doce, lagos de água salgada e mares interiores, rios, humidade do solo, águas subterrâneas, gelos polares e glaciares. Cerca de 97,4% da água é salgada o que significa que o remanescente é água doce (UNESCO, 2003). No entanto, cerca de 90% da água doce encontra-se nas calotes polares e apenas 10% nos rios, lagos e lençóis freáticos (Alves, 2010; Mano, 2016).

A captação de águas superficiais em lagos e albufeiras tem vantagens em relação à captação em rios, uma vez que as águas dos rios têm valores de turvação elevados, podem conter microrganismos patogénicos e sofrer de contaminações orgânicas e inorgânicas devido às escorrências provenientes, por exemplo, da agricultura e de atividades industriais (McGrawa-Hill, 1990). No caso dos lagos e albufeiras, estes funcionam como tanques de decantação e a sua qualidade varia lentamente ao longo do ano. Assim, estas águas apresentam valores de turvação baixos e níveis de microrganismos patogénicos também baixos (Alves, 2010).

As águas subterrâneas apresentam características constantes e regulares ao longo do tempo, com valores de turvação baixos e os níveis de microrganismos patogénicos baixos ou praticamente nulos. No entanto, podem apresentar níveis elevados de ferro e manganésio, que são precisos ter em consideração na fase de tratamento (Alves, 2010).

A água tem a capacidade de dissolver substâncias e de transportar matérias em suspensão e por este motivo e nessa perspetiva, a água pura, é quase nula na natureza (Mendes e Oliveira, 2004). A qualidade da água foi avaliada qualitativamente apenas pelo senso comum até ao início do século XX. A água deveria ser límpida, agradável ao paladar e sem cheiro, isto é, o que estaria em causa seriam apenas parâmetros organoléticos (McGrawa-Hill, 1990). Atualmente, existem normas de qualidade, o que significa que a água destinada ao consumo humano deve respeitar determinados valores paramétricos (D.L. 306/07 de 27 de Agosto). Estes valores paramétricos são definidos tendo em consideração que a água não pode conter microrganismos patogénicos nem substâncias em concentrações ou quantidades que possam constituir perigo para a saúde humana; deve apresentar-se límpida, incolor, inodora, fresca, de sabor agradável; não deve apresentar propriedades que provoquem a deterioração do sistema de abastecimento (Alves, 2010).

Os parâmetros de qualidade da água podem dividir-se em três grupos: microbiológicos, químicos e indicadores. Os parâmetros microbiológicos são indentificadores de contaminação microbiológica, enquanto que os parâmetros químicos indicam a presença de substâncias de elevada toxicidade e os parâmetros indicadores refletem o funcionamento do sistema de tratamento de água (D.L. n.º 306/2007, de 27 de Agosto).

Na tabela seguinte, **Tabela 4.1**, mostram-se os parâmetros de qualidade da água enquadrados nos respetivos grupos (microbiológicos, químicos e indicadores) que vêm referidos no Anexo I do D.L. n.º 306/2007, de 27 de Agosto.

Tabela 4.1 | Parâmetros de qualidade da água presentes no D.L. n.º 306/2007, de 27 de Agosto

Parâmetros de qualidade da água
Parâmetros microbiológicos
Escherichia coli (E. coli)
Enterococos
Parâmetros químicos
Acrilamida
Antimónio
Arsénio
Benzeno
Benzo(a)pireno
Boro
Bromatos
Cádmio
Crómio
Cobre
Cianetos
1,2-Dicloroetano
Epicloridrina
Fluoretos
Chumbo
Mercúrio
Níquel
Nitratos
Nitritos
Pesticida individual
Pesticidas - total
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)
Selénio
Tetracloroetano e tricloroetano
Trihalometanos - total (THM)
Cloreto de vinilo
Parâmetros indicadores
Alumínio
Amónio
Cálcio
Cloretos
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)
Cor
Condutividade
Dureza total
pH
Ferro
Magnésio
Manganésio
Microcistinas - LR total
Cheiro, a 25°C
Oxidabilidade
Sulfatos
Sódio
Sabor, a 25°C
Número de colónias
Número de colónias
Bactérias coliformes
Carbono orgânico total (COT)
Turvação
α -total
β -total
Trítio
Dose indicativa total
Desinfetante residual

4.1.3. Doenças Associadas à Água

As doenças relacionadas com a água podem classificar-se em quatro grupos com base em considerações epidemiológicas (Eisenberg, Bartram e Hunter, 2001; Mano, 2016):

- Doenças causadas pela ingestão de água contaminada, funcionando a água como meio de transporte passivo do agente químico ou infeccioso (designadas por *waterborne diseases*). A cólera, a febre tifóide, a hepatite e as diarreias são doenças que tipicamente se incluem neste grupo. Na generalidade das situações, as doenças são causadas por bactérias patogénicas (responsáveis por exemplo pela transmissão da cólera, febre tifóide e gastroenterites), vírus (responsáveis por exemplo por doenças respiratórias, hepatite, gastroenterites), protozoários (responsáveis por exemplo por gastroenterites) ou helmintes (responsáveis por exemplo pela teníase e pela ascaridíase), sendo transmitidas através da via fecal-oral, de humanos para humanos ou de animais para humanos, sendo a água de beber uma das possíveis causas de infeção;
- Doenças que se disseminam pela falta de água para higiene individual, eventualmente associada à falta de qualidade (designadas por *waterwashed diseases*), estando normalmente relacionadas com baixos níveis de higiene e saneamento. A indisponibilidade de água em quantidade e em qualidade quer para a higiene individual, quer para a preparação de alimentos e lavagem de utensílios, contribui para a transmissão de doenças pela via fecal-oral, nomeadamente doenças que afetam os olhos e a pele. A tracoma e a sarna são doenças típicas deste grupo;
- Doenças causadas por parasitas que habitam na água uma parte significativa do seu ciclo de vida ou que estão dependentes de organismos aquáticos para completar o seu ciclo de vida (designadas por *waterbased diseases*), como por exemplo a bilharzia ou schistosomiasis e o verme da Guiné. A propagação deste tipo de doenças está associada a águas estagnadas, incluindo albufeiras, represas ou canais, bem como à ausência de saneamento e de água para abastecimento com qualidade;
- Doenças transmitidas por insetos que se reproduzem perto da água normalmente estagnada, isto é, a água serve como habitat ao vetor que transmite a doença (designadas por *watervectored diseases*), como por exemplo a malária, o dengue ou a febre-amarela.

Na **Tabela 4.2** mostram-se algumas das estratégias de intervenção relativas ao combate aos vários tipos de doenças.

Tabela 4.2 / Estratégias de intervenção relativas ao combate aos vários tipos de doenças. Fonte: Mano (2016)

Tipo de doença	Estratégia de intervenção
<i>Waterborne diseases</i> Ausência de qualidade	Melhorar a qualidade do tratamento da água Limitar a utilização de captações de água não protegidas
<i>Waterwashed diseases</i> Falta de água em quantidade	Aumentar a quantidade de água disponível Garantir a acessibilidade Promover hábitos de higiene
<i>Waterbased diseases</i>	Reduzir a necessidade de contatar com água eventualmente infetada Controlar a população de aranhas Promover a redução da contaminação das águas superficiais
<i>Watervectored diseases</i>	Melhorar a gestão das águas superficiais Destruição dos locais onde os insetos vivem Limitar o acesso a esses locais

4.1.4. Enquadramento Legal em Portugal

A legislação portuguesa relativa ao estabelecimento de normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos encontra-se no **Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto**. Este diploma revogou o Decreto-Lei n.º 74/90, transpondo para o direito nacional a Diretiva 80/778/CEE, de 15 de julho. Neste diploma, no capítulo II, encontram-se os requisitos a observar na utilização das águas para consumo humano. Este capítulo encontra-se dividido em 3 secções:

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

As águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, consoante a sua qualidade, são classificadas nas categorias A1, A2 e A3, de acordo com as normas fixadas no anexo I. A categoria (A1, A2 ou A3) que classifica a qualidade da água, vai ditar um esquema tipo de tratamento. Os esquemas tipo de tratamento referentes às classes A1, A2 e A3 das águas superficiais são:

- 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 consideradas aptas para serem utilizadas como origem de água para a produção de água para consumo humano desde que apresentem qualidade superior ou igual à da categoria A1 das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, correspondendo-lhes o esquema de tratamento indicado para aquela categoria de águas, com as devidas adaptações.

Secção III - Água para consumo humano:

A legislação relativa às águas de abastecimento para consumo humano foi revogada pelo DL n.º 243/2001, de 8 de Setembro e pelo **Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto**, transpondo para ordem jurídica interna a Diretiva nº98/83/CE de 3 de Novembro. Assim, a água destinada a consumo humano tem de cumprir o intervalo de valores paramétricos presentes Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto nas partes I, II e III (parâmetros microbiológicos, parâmetros químicos e parâmetros indicadores, respetivamente) do Anexo I”.

A entidade reguladora da água em Portugal é a Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), que tem como objetivo regulamentar e supervisionar diferentes setores: abastecimento público de água, saneamento de águas residuais e gestão de resíduos sólidos urbanos (ERSAR, 2019). A ERSAR é a autoridade competente que coordena e fiscaliza o regime da qualidade da água para consumo humano, especificamente através da realização de ações de inspeção, fiscalização e auditoria. Assim, procura realizar uma correta proteção dos utilizadores dos serviços, através, por um lado, da garantia e controlo da qualidade dos serviços públicos prestados e, por outro, através da supervisão e do controlo dos preços praticados. Tem ainda a obrigação de assegurar as condições de igualdade e transparência no acesso e no exercício da atividade de serviços de águas e resíduos e nas respetivas relações contratuais, bem como consolidar um efetivo direito à informação geral sobre o setor e sobre cada uma das entidades gestoras (ERSAR, 2019).

4.2. Tratamento de Água para Consumo Humano

4.2.1. Introdução

A água antes de chegar à torneira passa por um sistema de abastecimento de água constituído por captação, tratamento, adução e distribuição. Uma estação de tratamento de água destinada ao consumo humano consiste num esquema de tratamento constituído por várias operações e processos unitários que têm como objetivo a melhoria da qualidade da água bruta e o abastecimento de água com uma qualidade adequada às populações.

As operações unitárias assentam em princípios físicos enquanto que os processos unitários assentam em princípios químicos ou biológicos. A escolha do esquema de tratamento depende da qualidade da água bruta e dos objetivos de qualidade final a atingir (Alves, 2010).

As principais operações e processos unitários, e suas respectivas funções, encontram-se resumidos na **Tabela 4.3**.

Tabela 4.3 | Operações e processos unitários e suas respectivas funções. Fonte: Mano (2016)

Operação/Processo	Função
Microtamização	Remoção de partículas em suspensão
Arejamento	Remoção de compostos voláteis e precipitação do ferro
Estabilização	Equilíbrio calco-carbónico
Adsorção	Remoção de substâncias dissolvidas
Coagulação	Desestabilização de partículas coloidais
Floculação	Agregação de partículas coloidais
Sedimentação	Remoção de partículas em suspensão
Filtração	Remoção de partículas em suspensão
Desinfecção	Remoção de microrganismos patogénicos
Espessamento	Concentração de matéria em suspensão
Condicionamento	Aumento do rendimento do processo de desidratação
Desidratação	Redução do volume de lamas através da sua concentração

4.2.2. Principais Etapas de Tratamento

As funções de algumas das principais etapas do tratamento de água apresentam-se mais detalhadamente de seguida (McGrawa-Hill, 1990; Alves, 2010; Davis, 2010; Cristtenden *et al.*, 2012):

Coagulação-Floculação

A coagulação é um processo que tem como objetivo a desestabilização de partículas coloidais através de uma mistura rápida e dispersão de produtos químicos. A floculação é uma operação que promove o contacto das partículas desestabilizadas através de uma mistura lenta, de modo a favorecer a agregação de partículas.

As águas contêm partículas coloidais, estas partículas são muito pequenas para serem removidas apenas por sedimentação ou filtração. Assim, o objetivo da coagulação e subsequente floculação é transformar estas partículas em flocos (partículas maiores) que são posteriormente removidos com maior facilidade.

A coagulação implica a adição de um ou mais reagentes (coagulantes). A seleção e dose do coagulante é efetuada em função das características do mesmo (como por exemplo o preço), da concentração e

do tipo de partículas, das características da matéria orgânica e em função de outros constituintes da água bruta, como a alcalinidade e o fósforo. Os ensaios de jar-test desempenham um papel importante no processo de seleção do coagulante.

A utilização de floculantes auxilia a floculação, estes podem ser polímeros sem carga ou com carga negativa e a sua função é auxiliar na formação e coesão de flocos a partir de partículas mais pequenas. Os floculantes são adicionados depois dos coagulantes e depois das partículas já estarem desestabilizadas.

A eficiência da coagulação e da floculação está relacionada com a mistura rápida do coagulante com a água bruta e a mistura lenta que promove o contacto entre as partículas. Os principais equipamentos utilizados na coagulação e floculação são electroagitadores e bombas doseadoras de reagentes.

Sedimentação

A sedimentação é uma operação que visa a remoção de partículas em suspensão por ação da gravidade. As partículas descem lentamente até se acumularem no fundo e formarem lamas. Existem quatro tipos de sedimentação: sedimentação de partículas discretas, sedimentação de partículas floculantes, sedimentação “em manto” e sedimentação em compressão.

Os principais equipamentos associados à sedimentação são: pontes raspadoras, descarregadores, defletores, distribuidores de alimentação, tremonha de flutuantes, lamelas e dispositivos de limpeza de caleiras.

Filtração

A filtração é uma operação que consiste na remoção de partículas em suspensão através de um meio poroso. A sua finalidade é eliminar a matéria suspensa que não tenha sido removida anteriormente. A filtração também possibilita a redução do número de microrganismos e ainda pode remover cheiro, sabor e cor dependendo do tipo de filtração utilizada. Existem três tipos de filtração: lenta, rápida e sob pressão. Os mecanismos da filtração podem ser variados, podendo ocorrer filtração através de separação mecânica, sedimentação, impacto, intercepção, adesão e atividade biológica.

Desinfeção

A desinfeção é responsável pela eliminação de microrganismos patogénicos presentes na água, o que não implica a destruição de todos os organismos vivos. A desinfeção deve destruir os microrganismos patogénicos como é o caso das bactérias e vírus. Todas as águas de abastecimento devem ser desinfetadas, mesmo que a maior parte dos microrganismos possa ser removida com o esquema convencional de tratamento de água, a sua eliminação só é garantida com a desinfeção.

A desinfecção pode ser realizada através de agentes físicos (calor, luz solar, radiação ultravioleta, radiações ionizantes e ultra-sons) e agentes químicos (cloro, iodo, ozono, permanganato de potássio e prata). O cloro é o desinfetante químico mais utilizado.

No caso da desinfecção através de agentes químicos, os principais equipamentos utilizados são bombas doseadoras. No caso da desinfecção através de agentes físicos, os principais equipamentos são as unidades de desinfecção associadas a cada tipo de desinfecção. Por exemplo, no caso da desinfecção ser realizada através de radiação ultravioleta será necessária uma unidade de desinfecção por radiação ultravioleta equipada com lâmpadas de alta intensidade e baixa pressão.

Espessamento

O espessamento é a primeira etapa do tratamento da fase sólida e consiste na eliminação da maioria da água presente nas lamas e, deste modo, auxilia o desempenho dos tratamentos subsequentes. O espessamento pode ser realizado por sedimentação ou flotação. A adição de um polímero melhora significativamente o desempenho do espessamento.

Desidratação

A desidratação pode ocorrer por meios mecânicos ou não mecânicos. A desidratação mecânica recorre a um equipamento para forçar a saída da água das lamas, como por exemplo filtros banda, filtros prensa, filtros saco, centrífugas, prensas de parafuso e prensas rotativas. No caso da desidratação não mecânica, as lamas são depositadas de maneira a que ocorra drenagem e evaporação da água.

4.3. Energia

4.3.1. Introdução

A energia, na sua maioria, é derivada de uma fonte tradicional de combustível fóssil, como carvão, petróleo ou gás natural (Wolfson, 2008; U.S. Department of Energy, 2018). A produção de energia, através dessas fontes tradicionais de combustíveis fósseis, emite GEE como é o caso do dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (IPCC, 2014). A energia pode ainda ser gerada através de uma fonte renovável, por exemplo, a partir da recuperação de biomassa ou do calor das águas residuais. A energia renovável também pode ser produzida a partir de turbinas hidráulicas, turbinas eólicas e painéis solares (U.S. Department of Energy, 2018).

Os processos presentes nas estações de tratamento de água dependem da energia para fornecer água com a qualidade necessária para consumo (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014). Estas instalações de tratamento de água são intensivas em energia (Molinos-Senante e Sala-Garrido, 2017). O tratamento e a bombagem são usualmente os maiores consumidores de energia no setor da água potável (Yonkin, Clubine e O'Connor, 2008).

Uma vez que os sistemas de abastecimento de água tendem a ter práticas cada vez mais sustentáveis, os impactos futuros na qualidade da água e as alterações climáticas são uma grande preocupação (Stang *et al.*, 2018). As alterações climáticas são uma preocupação para o setor da água uma vez que podem provocar fenómenos meteorológicos extremos, alterações nos padrões de pluviosidade como é o caso das chuvas torrenciais. Estes fenómenos estão a tornar-se cada vez mais frequentes, dando origem a inundações, à diminuição da qualidade da água e à redução da disponibilidade de recursos hídricos em algumas regiões (APA, 2019; EEA, 2019).

As consequências das alterações climáticas geraram uma onda de iniciativas de forma a poder-se alterar comportamentos em todo o mundo. O principal objetivo centra-se na mitigação das emissões de gases com efeito de estufa, tal como o Acordo de Paris e iniciativas locais, regionais e nacionais destinadas a reduzir as emissões em todos os setores (Roadmap, 2018).

A mudança de mentalidade no setor das águas urbanas para a redução de carbono começou recentemente, iniciando assim políticas de redução de emissões de GEE (Roadmap, 2018). Como tal, é importante perceber que a gestão da água está intrinsecamente ligada ao consumo e à produção de energia e consequentemente às emissões de gases com efeito de estufa e por isso é necessário reduzi-las (Racoviceanu *et al.*, 2007; ADENE, 2018; Roadmap, 2018). O setor da água apresenta várias possibilidades de contribuir para a redução das emissões globais de GEE (Roadmap, 2018). Pode parecer uma pequena contribuição quando comparada com as emissões globais, no entanto, se o setor da água se tornasse neutro em carbono poderia contribuir com o equivalente a 20% da soma de reduções determinadas por todos os países no Acordo de Paris (Roadmap, 2018). Para além deste aspeto, e uma vez que a água está ligada a todos os setores urbanos, podem ser implementadas muitas medidas em parceria com outros setores, o que pode impulsionar uma mudança de mentalidade e consequente levar a uma redução de emissão carbono em todos os setores (Roadmap, 2018).

4.3.2. Noções Gerais

Existem dois tipos de fontes de energia, as renováveis e as não renováveis (EIA, 2018). As fontes de energia renováveis são provenientes diretamente da natureza e renovam-se a partir dos ciclos naturais inesgotáveis, como a água, a biomassa, a geotermia, as marés, as ondas, a radiação solar ou o vento (EIA, 2018; CINERGIA, 2019a). As fontes de energia não renováveis são recursos limitados, que se esgotam à medida que são utilizados e que são dependentes dos recursos existentes no planeta ou da sua taxa de renovação, como os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) (EIA, 2018; CINERGIA, 2019a).

A energia pode manifestar-se de diferentes formas, das quais a energia cinética, elétrica, mecânica, nuclear, potencial, química, térmica, entre outras (Wolfson, 2008). Tendo em conta os processos de transformação da energia, esta pode-se classificar em energia primária, secundária ou final (EIA, 2018; CINERGIA, 2019a).

A energia primária é a energia disponível na natureza antes de ser convertida ou transformada. Este tipo de energia pode ser utilizada diretamente ou estar sujeita a transformações (e.g. carvão, petróleo, gás natural, radiação solar, água e vento) (EIA, 2018; CINERGIA, 2019a).

A energia secundária resulta de processos de transformação da energia primária em formas de energia adequadas às diferentes utilizações práticas sofrendo naturalmente perdas inerentes a esses processos. O petróleo é um exemplo de uma fonte de energia primária, que é transformado nas refinarias em fontes de energia secundária, como a gasolina, o gasóleo ou o gás de petróleo liquefeito. Outro exemplo de energia secundária é a eletricidade de alta tensão produzida nas centrais (EIA, 2018; CINERGIA, 2019a).

A energia final é a energia tal como é recebida e utilizada diretamente pelo consumidor (e.g. gasóleo ou gasolina para encher o depósito dos automóveis e a eletricidade de baixa tensão que chega aos eletrodomésticos). Por vezes, a energia primária é convertida diretamente em energia final. Por exemplo, a radiação solar é convertida, mediante painéis solares, em energia térmica, uma energia final utilizada no aquecimento de água. Os resíduos florestais são convertidos por combustão numa lareira, em energia térmica final (EIA, 2018; CINERGIA, 2019a).

Antes de chegar ao consumidor final, a energia passa por diversas fases que incluem a exploração do recurso na fonte respetiva, a produção, o transporte, a distribuição e pode ainda incluir o armazenamento (CINERGIA, 2019b)

Portugal dispõe de diversas fontes de energia de origem renovável, nomeadamente o sol, o vento, a água, as ondas, a geotérmica e a biomassa. Para além destas, recorre ainda a recursos fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, para garantir a satisfação das necessidades energéticas da população. No entanto, o país não possui estes recursos no seu território nacional, necessitando por isso de importar todos os combustíveis fósseis que consome. Em contrapartida exporta produtos de petróleo (gasolina, gasóleos, etc.), eletricidade de origem renovável e alguma biomassa e biocombustível. O petróleo consumido é importado maioritariamente de Angola e da Rússia, o gás natural da Argélia e da Nigéria, e o carvão da Colômbia (CINERGIA, 2019b).

Existem dois grandes ciclos de fornecimento de energia ao consumidor em Portugal, sendo estes o ciclo da eletricidade e o ciclo do gás natural (CINERGIA, 2019b).

As elevadas necessidades energéticas da sociedade têm contribuído para uma exploração excessiva dos recursos do planeta, resultando num aumento das emissões de gases poluentes que provocam graves consequências ambientais (Wolfson, 2008; CINERGIA, 2019b).

4.3.3. Caracterização Energética Nacional

A evolução do consumo total de energia primária por tipo de fonte pode ser observada na **Figura 4.1**. O petróleo e derivados são a principal fonte de energia primária, seguido das energias renováveis, gás natural e carvão. De salientar que o peso do petróleo e produtos do petróleo tem vindo a decrescer nos últimos anos (DGEG, 2018b).

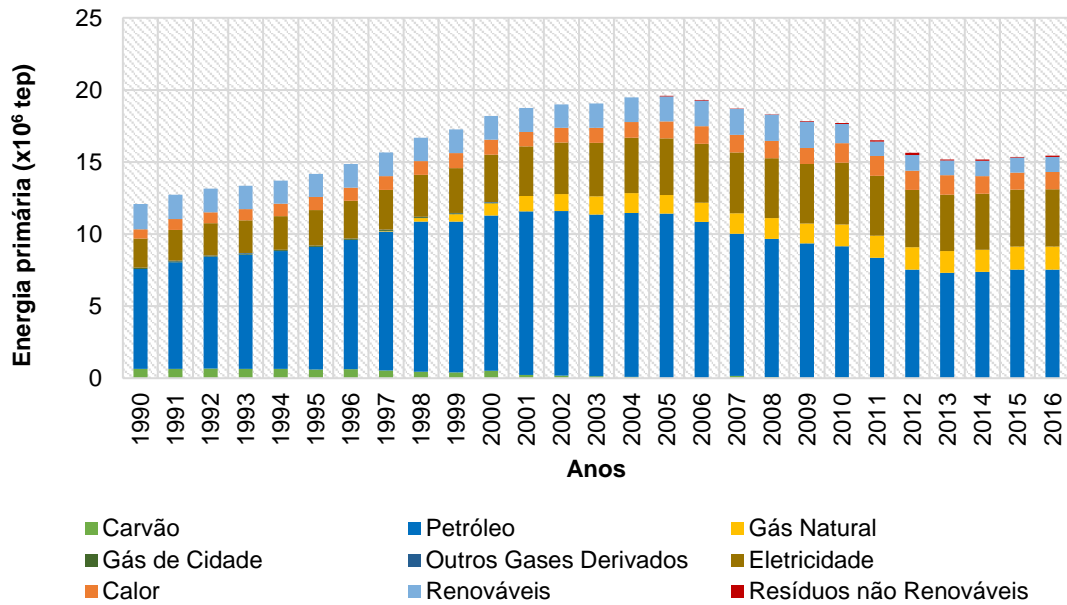


Figura 4.1 | Evolução do consumo total de energia primária por tipo de fonte. Fonte: adaptado de DGE (2018b)

A evolução do consumo total de energia final por tipo de fonte pode ser observada na **Figura 4.2**. O petróleo e produtos do petróleo continuam a ser a principal fonte de energia, apesar das energias renováveis apresentarem um crescimento ao longo dos anos, exceto no ano de 2015 (DGE, 2018a).

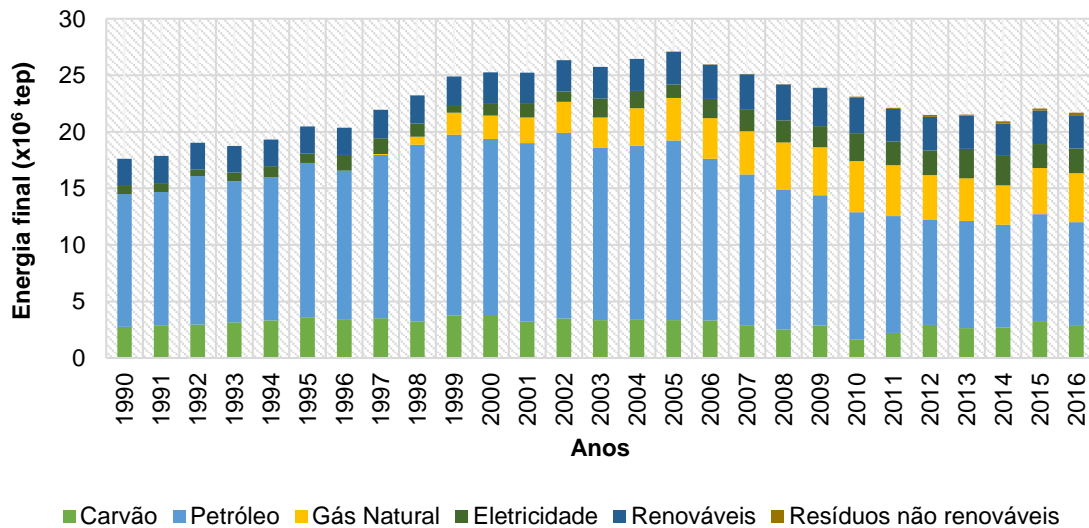


Figura 4.2 | Evolução do consumo total de energia final por tipo de fonte. Fonte: adaptado de DGE (2018a)

A distribuição do consumo de energia final por setor, em 2017, pode ser observada na **Figura 4.3**. Os transportes e a indústria são, juntamente com o setor electroprodutor, os setores de atividade com maior peso no consumo final de energia. O setor dos transportes (37%) foi o principal consumidor de energia, seguido da indústria (31%), doméstico (17%), serviços (12%) e agricultura e pescas (3%) (DGE, 2019).

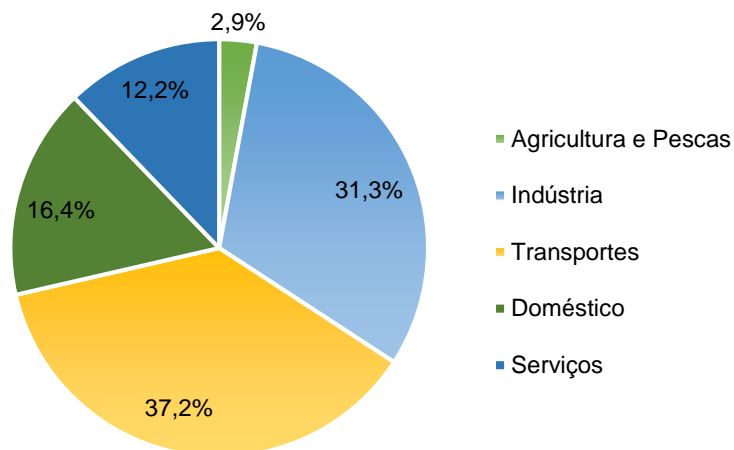


Figura 4.3 | Distribuição do consumo de energia final por setor em 2017. Fonte: DGEG (2019)

A dependência energética consiste na proporção de energia que uma economia deve importar em relação ao seu consumo. Esta dependência mostra até que ponto uma economia depende das importações para dar resposta às suas necessidades energéticas (EC, 2013). A taxa de dependência energética nacional, no período de 2012 a 2017, pode ser observada na **Figura 4.4**. Assim, a dependência energética em Portugal nesse período foi de aproximadamente 75%. Em 2017 a taxa de dependência energética foi de 79,7% o que representou uma subida de 5,7% em relação a 2016. Isto deveu-se ao decréscimo da produção de eletricidade de origem renovável em 2017, em particular a hídrica e a eólica, o que levou a um aumento do consumo de carvão e gás natural, o que se repercutiu no aumento das importações (DGEG, 2019).

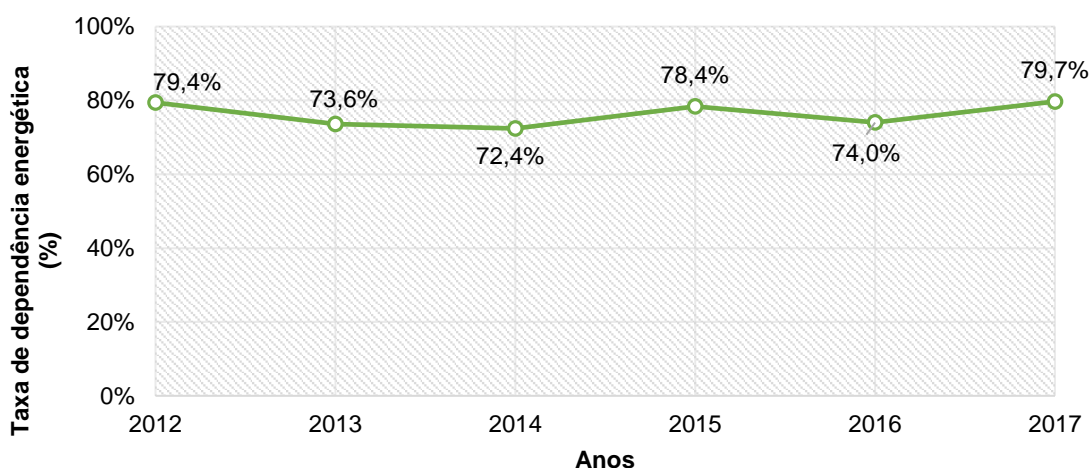


Figura 4.4 | Dependência energética nacional. Fonte: DGEG (2019)

4.3.4. Enquadramento Legal

De forma a combater e minimizar as alterações climáticas que se têm registado ao longo dos anos, e que resultam em grande parte dos comportamentos da sociedade, a comunidade internacional assinou, em 2015 o Acordo de Paris. Este Acordo pretende responder de forma eficaz à necessidade urgente de travar o aumento da temperatura média global e resolver os desafios ligados às alterações climáticas (United Nations Climate Change, 2019).

De modo a cumprir os compromissos assumidos no Acordo de Paris, liderar a transição energética que o mundo está a atravessar e oferecer condições favoráveis ao consumidor, a União Europeia tem reforçado o papel da eficiência energética.

Portugal tem vindo a investir cada vez mais no setor energético, promovendo a sua inovação e o desenvolvimento sustentável. Muitos destes investimentos dizem respeito à aplicação de medidas de eficiência energética em edifícios, como por exemplo a instalação de sistemas de iluminação LED ou de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, os quais permitem reduzir a fatura energética e as emissões de gases com efeito de estufa. Numa outra perspetiva, existem ainda sistemas de gestão de energia que permitem controlar o consumo das instalações, possibilitando aos consumidores adaptar os seus comportamentos energéticos.

O Plano Nacional integrado Energia e Clima (PNEC) enquadra-se nas obrigações decorrentes do Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, relativo à Governança da União da Energia e da Ação Climática (ADENE, 2019). O PNEC define os contributos nacionais e principais linhas de atuação planeadas para o cumprimento dos diferentes compromissos globais da União, incluindo em termos de redução de emissões de gases com efeito de estufa, energias renováveis, eficiência energética e interligações (ADENE, 2019).

De acordo com o Plano Nacional Energia e Clima, 28 de Janeiro de 2019, Portugal reduziu as emissões em 22% desde 2005 e reduziu o consumo de energia. A incorporação de renováveis na produção de eletricidade aumentou 26% neste período, atingindo os 54% em 2017. Em março de 2018, a produção renovável superou os 100%. Portugal assumiu em 2016 o compromisso de atingir a neutralidade carbónica até 2050, ou seja, o de alcançar um balanço neutro entre as emissões de gases com efeito de estufa e o sequestro de carbono. Atingir a neutralidade carbónica em 2050 exige em Portugal uma redução de emissões superior a 85% em relação às emissões de 2005 e uma capacidade de sequestro de carbono de 12 milhões de toneladas, a qual é superior à atual capacidade (PNEC, 2019).

Em complemento foram também estabelecidas novas metas de redução de emissões, de incorporação de renováveis e de eficiência energética para 2030. As principais metas do PNEC 2030 em Portugal são (PNEC, 2019):

- 45% e 55% de redução de emissões de gases com efeito de estufa em relação a 2005;
- 35% de eficiência energética;
- 47% de incorporação de renováveis no consumo final de energia;
- 20% de incorporação de renováveis nos transportes;
- 15% de reforço da capacidade das interligações elétricas.

Assim, os principais objetivos energia e clima para Portugal no horizonte 2030 são (PNEC, 2019):

- Descarbonizar a economia nacional;
- Dar Prioridade à eficiência energética;
- Reforçar a aposta das energias renováveis e reduzir a dependência energética do país;
- Garantir a segurança de abastecimento;
- Promover a mobilidade sustentável;
- Promover uma agricultura sustentável e potenciar o sequestro de carbono;
- Desenvolver uma indústria inovadora e competitiva;
- Garantir uma transição justa, democrática e coesa.

4.4. Nexus Água - Energia

4.4.1. Introdução

A água e a energia são fundamentais e não devem ser consideradas em separado (Hamiche, Stambouli e Flazi, 2016). A água consome energia e a produção de energia também consome água. A exigência de eletricidade necessária para a distribuição de água potável é enorme. Segundo Megdal *et al.* (2010), algumas estimativas realizadas apontam para que aproximadamente 80% do custo do fornecimento de água esteja ligado à energia. A energia é necessária em todas as fases: captação, transporte, tratamento, distribuição, utilização, recolha de águas residuais, tratamento e reutilização ou descarga. O transporte e armazenamento de energia envolve também utilização e consumo de água, que nem sempre tem retorno. Na maioria dos processos de conversão de recursos em energia útil, os consumos de água são bastante elevados, nomeadamente na conversão do petróleo em combustíveis (gasolina e diesel) ou na conversão de carvão e urânio em eletricidade (Megdal *et al.*, 2010). Assim, a captação, o tratamento e o transporte de água podem exigir muita energia, e produzir energia, por vezes, requer a utilização de uma grande quantidade de água. Esta interligação de recursos é denominada de nexus água-energia (Olsson, 2015), que se encontra resumido na **Figura 4.5**.

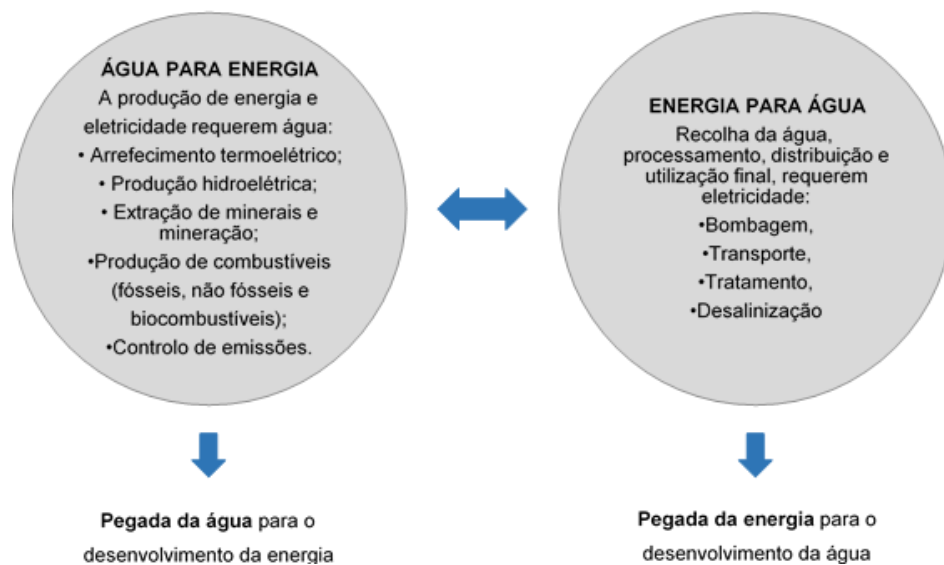


Figura 4.5 | Nexus água – energia. Fonte: APA (2012)

Este conceito é expandido ao nexus água-energia-carbono, adicionando à equação os GEE emitidos a partir da maneira como a água é gerida. Este nexus destaca ainda as oportunidades de reduzir as emissões de GEE globais e os seus efeitos nas alterações climáticas, através da redução do consumo, da produção de energia renovável, da redução de emissões e da compensação de emissões através da valorização dos subprodutos das águas residuais (Roadmap, 2018).

4.4.2. Panorama Energético do Setor das Águas em Portugal

O relatório de sustentabilidade consiste num balanço consolidado de toda a atividade do grupo Águas de Portugal e reporta o desempenho de sustentabilidade, permitindo assim conhecer o panorama energético de todo o grupo. Este engloba a gestão integrada do ciclo urbano da água, compreendendo todas as suas fases, desde a captação, o tratamento e a distribuição de água para consumo público, à recolha, transporte, tratamento e rejeição de águas residuais urbanas, incluindo a sua reciclagem e reutilização (AdP, 2018).

Em 2017 foram consumidos 728 GW/h de energia sob a forma de eletricidade, mais 6% que em 2016. Atualmente, existem 59 instalações consumidoras intensivas de energia (AdP, 2018). O aproveitamento dos ativos de recursos endógenos permite a produção de energias alternativas, contribuindo para a descentralização da produção de energia elétrica, utilizando fontes de energia não fósseis. Os painéis solares fotovoltaicos minis e microprodução, microhídricas e o aproveitamento de biogás, produziram, em 2017, cerca 23 GW/h de energia sob a forma de eletricidade, registando-se uma autossuficiência idêntica a 2016 de 3%. Estes têm como objetivo reduzir a dependência energética do exterior e atingir a meta de aumentar para 5% o rácio energia produzida/energia consumida. Do valor de eletricidade produzida em 2017, 39% foi vendida à rede e 61% foi consumida (AdP, 2018).

Atualmente, 88% das empresas do grupo AdP têm instalados sistemas solares térmicos e unidades fotovoltaicas nos quais foram produzidos 3,5 GWh. A produção de energia, sob a forma de eletricidade, resultante da cogeração de biogás obtido nos digestores anaeróbios de lamas resultantes do tratamento de águas residuais existentes em 70% das empresas operacionais (com atividade de saneamento), foi de 19 GWh em 2017 (AdP, 2018).

O consumo de combustíveis no Grupo AdP divide-se entre a frota automóvel de serviço e as instalações operacionais e administrativa. Existem ainda nas empresas consumos de outros combustíveis, tais como GPL, gás natural e propano. Em 2007 foram consumidos 41 m³ em gasolina, 2 944 m³ em gasóleo, 8 269 m³ em GPL, 409 milhares de m³ em gás natural e 3,6 kg de propano (AdP, 2018).

Assim, em 2017, as empresas do Grupo AdP emitiram 184 928 mil toneladas de CO₂ provenientes do consumo de eletricidade da rede e do autoconsumo de parte da energia produzida, bem como dos combustíveis. A eletricidade consumida (rede e autoconsumo) foi responsável por 89% das emissões de carbono e o consumo de combustíveis (gasolina, gasóleo, GPL, propano, gás natural) por 11% (AdP, 2018).

O Grupo AdP definiu ainda uma estratégia de sustentabilidade, no período de 2016-2020, com objetivos e metas que consistem em contribuir para o combate às alterações climáticas, garantir a ecoeficiência do grupo, avaliar o impacto das alterações climáticas no ciclo urbano da água, garantir a eficiência das instalações, avaliar a pegada de carbono e reduzir a dependência energética do exterior (AdP, 2018).

Em Portugal, o setor das águas é responsável por um consumo de energia elétrica superior a 1000 GWh/ano, valor correspondente a mais de 2% do consumo total de energia elétrica. A este consumo está associada a emissão de mais de 470 mil toneladas de CO₂ (AdP, 2018).

O Grupo Águas de Portugal por ser responsável pelos serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais, em alta, de cerca de 4/5 da população portuguesa, é um dos cinco principais consumidores empresariais de eletricidade do país. O setor das águas, a nível nacional, encontra-se entre os principais setores de atividade, consumidores de energia, registados no Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

A energia do setor das águas pode ser resumida em grandes números (ADENE, 2018):

- O peso do setor das águas no consumo de eletricidade no planeta é de 4%;
- O peso dos custos de energia elétrica, no setor das águas, face aos custos energéticos totais suportados pelos municípios a nível mundial é de 30%-50%;
- O peso dos custos de energia elétrica nos custos operacionais, excluindo salários e amortizações, no setor das águas, em alta, em Portugal, é de 50%-60%;
- A estimativa das emissões anuais de CO₂ em Portugal associadas ao setor das águas é de 470 000 toneladas.

Em termos de abastecimento de água, o consumo anual de energia entre 2011 e 2015 sofreu um aumento gradual de 591 GWh para 634 GWh. Verificou-se que a bombagem de água tem um peso muito significativo no consumo global (ADENE, 2018).

4.4.3. Energia Consumida num Sistema de Abastecimento de Água

A energia consumida num sistema de abastecimento pode ser dividida em dois tipos, direta ou indireta. A energia utilizada para construção, operação e manutenção é designada como energia direta. A energia associada ao uso de material e outros serviços administrativos é referida como energia indireta (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014). Segundo Mo *et al* (2011), existem estudos anteriores que sugerem que a energia indireta é idêntica e por vezes até maior que a energia direta. A energia incorporada num sistema de abastecimento, direta e indireta, aumenta com o crescimento do consumo de água.

A performance ou eficiência da estação de tratamento de água é dependente da qualidade e quantidade da água afluyente (Baykal, Tanik e Gonenc, 2003). Torna-se assim fundamental entender as diferenças dos consumos de energia consoante as diferentes origens da água.

Na **Tabela 4.4** mostra-se a energia consumida tendo em conta diferentes origens de água.

Tabela 4.4 | Energia consumida consoante diferentes origens de água. Adaptado de Mo *et al.* (2011)

Origem da água	Energia Consumida (MJ/m ³)	Detalhes	Fonte
Água importada	18	575 km	Stokes e Horvath (2009)
	5	261 km	Lyons <i>et al.</i> (2009) citado por Mo <i>et al.</i> (2011)
Água dessalinizada	42	Osmose inversa com pré-tratamento convencional	Stokes e Horvath (2009)
	41	Osmose inversa com pré-tratamento de membranas	Stokes e Horvath (2009)
	27	Águas subterrâneas salgadas	Stokes e Horvath (2009)
	24	Osmose inversa	Lyons <i>et al.</i> (2009) citado por Mo <i>et al.</i> (2011)
Água reciclada	17	S.I.*	Stokes e Horvath (2009)
	3	S.I.*	Lyons <i>et al.</i> (2009) citado por Mo <i>et al.</i> (2011)
Água superficial	3	Apenas considerada a fase de operação do tratamento	Racoviceanu <i>et al.</i> (2007)
	2	Operação e construção	Friedrich (2002) citado por Mo <i>et al.</i> (2011)
	11	Captação, tratamento convencional com pré-ozonização e filtros de CAP	Mo <i>et al.</i> (2011)
	7	S.I.*	Santana, Zhang e Mihelcic (2014)
Água subterrânea	10	Captação e desinfecção	Mo <i>et al.</i> (2011)

*S.I. – Sem Informação

Segundo Mo *et al.* (2011), embora se tenha verificado alguma variação nos resultados anteriores, a dessalinização aparece consistentemente como a opção de produção de água que consome mais energia. Além disso, a energia consumida quando as origens de água são superficiais e subterrâneas é comparável com a energia consumida nas opções de origem da água reciclada e importada. Além destes resultados, são necessários mais estudos com maior detalhe sobre a qualidade da água bruta e um conhecimento mais aprofundado acerca dos processos de tratamento, com o objetivo de avaliar adequadamente a energia e o uso de material dessas opções (Mo *et al.*, 2011).

Na **Tabela 4.5** mostra-se a energia consumida em dois sistemas de abastecimento com origem de água subterrânea e superficial.

Tabela 4.5 | Energia consumida em dois sistemas de abastecimento de água, um com origem de água subterrânea e outro com origem de água superficial. Fonte: Mo *et al.* (2011)

Origem da água	Energia Direta (MJ/m ³)			Energia Indireta (MJ/m ³)			Energia Total Consumida (MJ/m ³)		
	O&M	Construção	Total	O&M	Construção	Total	O&M	Construção	Total
Água subterrânea	6,1	0,2	6,3	3,7	0,3	4,0	9,8	0,5	10,3
Água superficial	4,8	0,2	5,0	5,5	0,3	5,8	10,3	0,5	10,8

O&M – Operação e Manutenção

Os resultados deste estudo mostraram que, em termos de energia direta, o sistema de abastecimento que recorre a água subterrânea (sistema de abastecimento que só inclui desinfecção sem tratamento adicional) consumiu mais energia do que o sistema de abastecimento que recorre a água superficial. Isto deveu-se a maiores exigências de bombagem. No entanto, em relação à energia indireta, o sistema de abastecimento de água de superfície consumiu mais energia, devido a maiores exigências de material (Mo *et al.*, 2011).

Segundo Mo *et al.* (2011), a energia associada a um sistema de abastecimento de água com fonte de água subterrânea é de aproximadamente 27% superior a um sistema de abastecimento com fonte de água superficial. Isto, deve-se principalmente a uma necessidade de bombagem superior no caso da origem da água ser subterrânea. Por outro lado, em relação à energia indireta, a energia consumida pelo sistema de água com origem subterrânea foi inferior (menos 31% que o sistema de água com origem de água superficial). Isto deve-se principalmente a uma menor utilização de reagentes no tratamento da água (Mo *et al.*, 2011).

O processo de tratamento de água convencional (via coagulação, floculação, sedimentação e filtração) envolve usualmente um consumo de energia entre 0,25 e 1,0 kWh/m³. Este intervalo de valores teve em consideração exemplos de consumos de energia de sistemas de abastecimento de água que contabilizam diferentes etapas (captação da água do rio e de fontes de água subterrânea, bombagem, transporte e distribuição) (Gude, 2015).

Mostra-se na **Figura 4.6** a distribuição de energia numa estação de tratamento de água convencional.

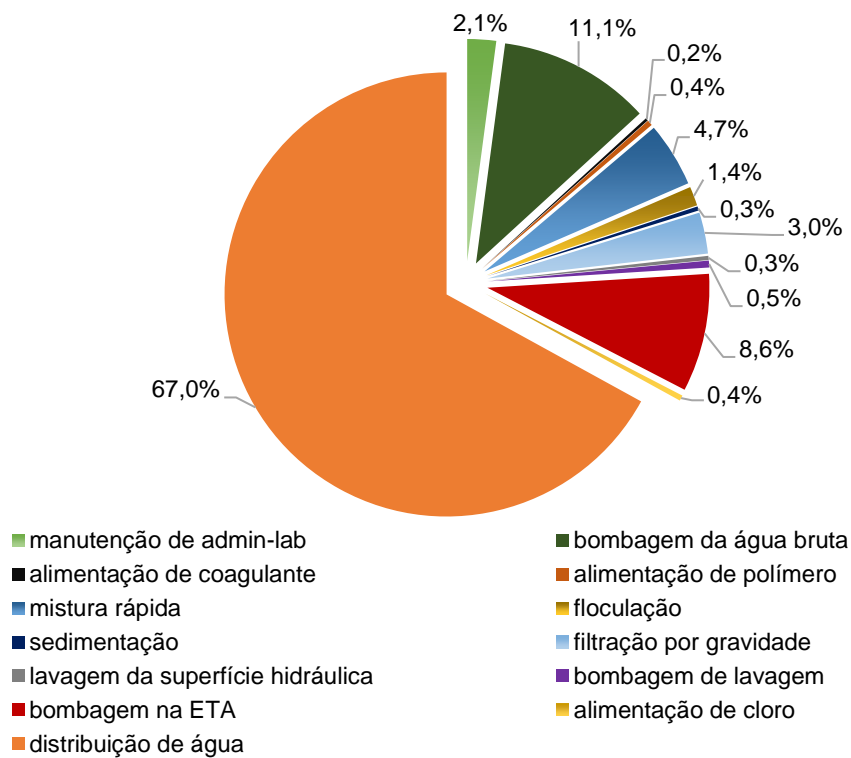


Figura 4.6 | Distribuição da energia necessária numa estação de tratamento de água convencional. Adaptado de Gude, 2015)

Segundo Gude (2015), a distribuição de água (67%) é a principal etapa consumidora de energia numa estação de tratamento de água, seguida da etapa de bombagem de água bruta (11%) e da bombagem dentro da ETA. Contrariamente, as bombagens de alimentação dos reagentes são as menos consumidoras de energia, sendo que a menos consumidora é a bombagem de alimentação de coagulante (0,2%).

Mostra-se na **Figura 4.7** a distribuição de energia direta e indireta num sistema de abastecimento de água.

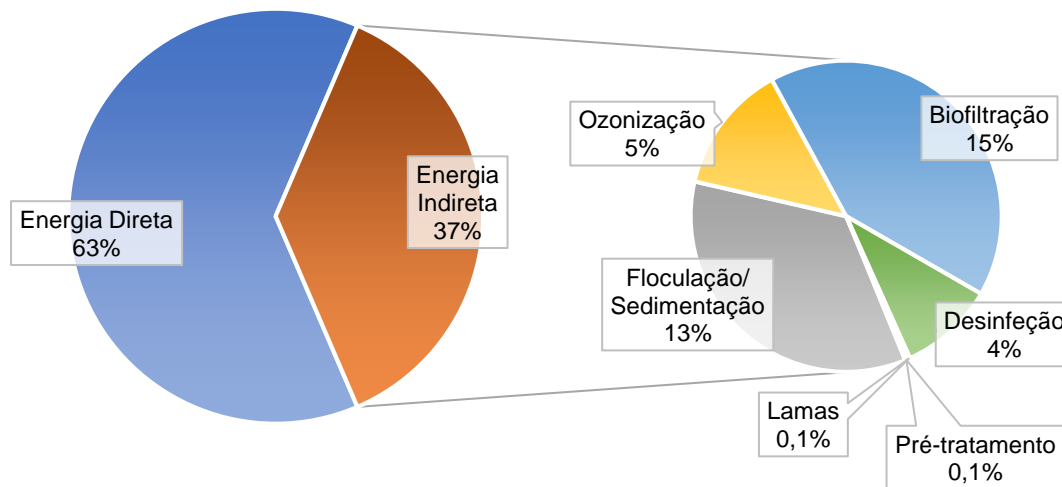


Figura 4.7 | Distribuição da energia total consumida numa estação de tratamento de água. Fonte: Santana, Zhang e Mihelcic (2014)

A **Figura 4.7** mostra que, segundo Santana, Zhang e Mihelcic (2014), 62,9% da energia total consumida diz respeito à energia direta. Esta percentagem deveu-se principalmente ao uso de bombas de alta capacidade para o transporte de água tratada através do sistema de distribuição. Os restantes 37,1% dizem respeito à energia indireta associada aos reagentes utilizados no tratamento. Os reagentes utilizados na fase de floculação/sedimentação e biofiltração foram responsáveis por 76% da energia indireta total.

4.4.4. Fatores que Contribuem para o Consumo de Energia

Segundo Goldstein e Smith (2002), os fatores que podem contribuir para um aumento do consumo de energia das unidades de abastecimento público e do seu tratamento resumem-se em três pontos principais: (i) na idade do sistema de distribuição de água, uma vez que à medida que os sistemas envelhecem o atrito na tubagem aumenta e a eficiência dos sistemas de bombagem diminuem; (ii) na implementação de restrições voluntárias ou obrigatórias ao consumo de água, uma vez que os programas de conservação da água devem reduzir a quantidade total de eletricidade necessária, (sendo que podem resultar num aumento do consumo de eletricidade da unidade, já que economias de escala podem ser perdidas ou sistemas começarem a operar abaixo dos níveis ideais); (iii) nos requisitos para melhoria do tratamento, uma vez que à medida que os padrões e requisitos para a qualidade da água potável aumentam, será necessário um tratamento mais rigoroso e, normalmente, um tratamento mais rigoroso resulta em maiores requisitos de energia.

Molinos-Senante e Guzmán (2018) verificaram que não só a idade das ETA afeta significativamente a sua eficiência energética como também a gestão da ETA por parte da entidade gestora.

Na **Tabela 4.6** sistematizam-se os fatores que afetam o consumo de energia em sistemas de abastecimento de água.

Tabela 4.6 | Fatores que afetam o consumo de energia em sistemas de abastecimento de água. Fonte: Melody *et al.* (2010)

Categoria	Fatores
Requisitos técnicos	Requisitos de bombagem pré ETA Critérios de projeto baseados no tamanho da ETA, capacidade e pico de produção Requisitos de bombagem na fábrica
Fonte de água	Número e tipo: subterrânea e/ou água superficial Profundidade do lençol freático para fontes de águas subterrâneas Confiabilidade da fonte (aquífero) Distância e elevação da fonte de água até à ETA
População servida	Número e tipos de clientes comerciais e industriais Número e tipos de clientes residenciais / institucionais Número de campos de golfe, piscinas, entre outros
Tratamento de água	Qualidade da água afluyente (total de sólidos dissolvidos, orgânicos, etc) Padrões de qualidade de água potável Grau de remoção de sólidos e adição de reagentes Método de desinfecção
Armazenamento de água potável	Número, capacidade e localização das instalações de armazenamento Distância e elevação da ETA ao armazenamento Requisitos de bombagem desde a ETA até ao armazenamento
Sistema de distribuição	Número, tamanho e localização das estações elevatórias Idade, tamanho e configuração das condutas de água Requisitos de bombagem de armazenamento para cliente Requisitos de pressão
Fonte de eletricidade	Fonte de combustível (carvão, gás, etc) Custo da eletricidade (por kilowatt-hora) Estrutura da fatura de pagamento (por exemplo, tempo de uso)

Os reagentes utilizados no próprio tratamento também são responsáveis pelo consumo de energia. A energia associada aos reagentes começa desde as matérias primas necessárias para a sua produção até ao transporte dos mesmos desde a fábrica que o produz até à ETA (Mo *et al.*, 2011; Alvarez-gaitan *et al.*, 2013; Santana, Zhang e Mihelcic, 2014). A contribuição dos reagentes para os impactos ambientais do abastecimento de água é normalmente estimada através da avaliação do ciclo de vida (ACV) (Alvarez-gaitan *et al.*, 2013). A ACV é definida como uma ferramenta que tem como objetivo avaliar vários aspetos relacionados com o desenvolvimento de um produto ou serviço e o seu potencial impacte ambiental ao longo do seu ciclo de vida, tornando-se possível avaliar os impactes que um

determinado produto ou serviço tem associado. Um dos passos fundamentais numa análise de ciclo de vida é o estabelecimento de limites do estudo (Ahmadi *et al.*, 2016).

4.4.5. Gases com Efeito de Estufa (GEE)

O CO₂ é o principal gás com efeito de estufa produzido pela atividade humana, sendo responsável por 63% do aquecimento mundial. Atualmente, a sua concentração na atmosfera é 40% mais elevada do que no início da era industrial (IPCC, 2014). Outros gases com efeito de estufa são emitidos em quantidades mais baixas, mas retêm mais o calor do que o CO₂ (em alguns casos cem vezes mais). O metano e o óxido nítrico são responsáveis, respetivamente, por 19% e 6% do aquecimento antropogénico (IPCC, 2014).

Relativamente às emissões de gases com efeito de estufa, estima-se que em 2016 tenha sido atingido um total de cerca de 68 milhões de toneladas de CO₂ equivalente de emissões de GEE, excluindo o uso do solo, alterações de uso do solo e florestas, o que representa um aumento de 13,1% face a 1990 e um decréscimo de 2,6% face a 2015 (REA, 2018).

Como é possível observar pela **Figura 4.8**, em termos das emissões por setor de atividade, e à semelhança dos anos anteriores, o setor da energia foi o que mais contribuiu para este total em 2016 (70%), sendo a produção e transformação de energia e os transportes os subsectores com maior relevância (26% e 25% do total, respetivamente) (REA, 2018).

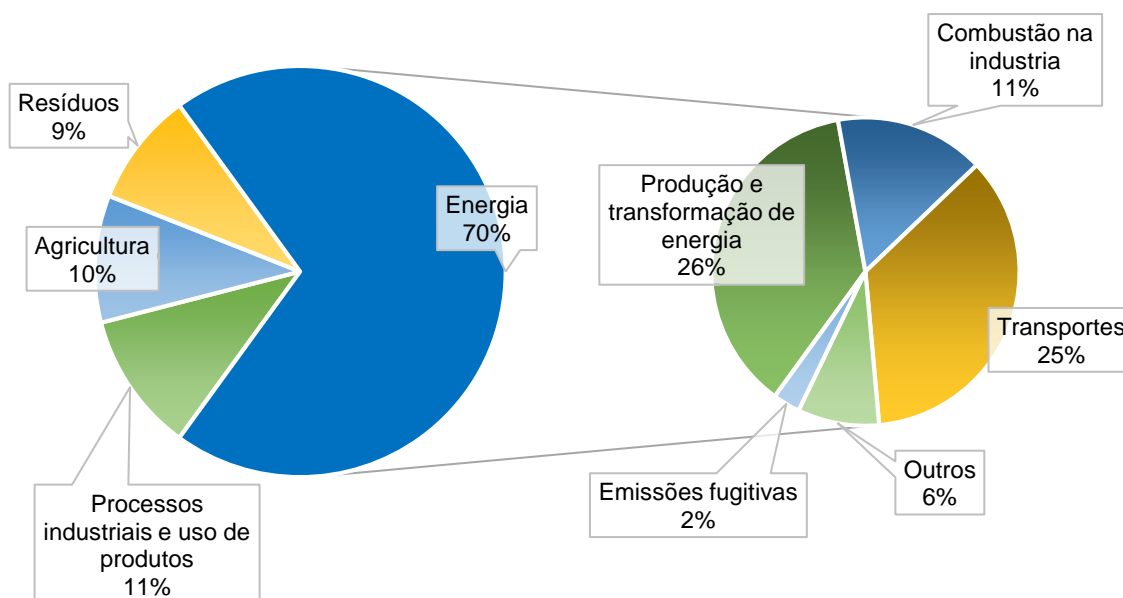


Figura 4.8 | Emissões por setor de atividade. Adaptado de REA (2018)

Desde a revolução industrial até ao final do século passado registou-se um crescimento económico assente num consumo elevado de recursos naturais. Este padrão de consumo levou ao aparecimento

de fenômenos climáticos extremos e a alterações da capacidade de renovação dos ecossistemas, consequência das alterações climáticas (IPCC, 2018).

Os problemas associados à água, energia e gases com efeito de estufa estão interligados e são difíceis de resolver isoladamente. O fornecimento de água potável é uma operação complexa que envolve um consumo energético significativo que resulta em emissões de gases com efeito estufa (Ananda, 2018).

As preocupações com a gestão da água não incluem apenas o aumento das necessidades e a disponibilidade limitada de recursos hídricos, mas também a emissão de gases de efeito estufa que são diretamente atribuídas às operações do sistema de água (Racoviceanu *et al.*, 2007). Os sistemas hídricos urbanos, incluindo as diferentes fases do tratamento de água, têm impactos significativos para o ambiente decorrentes de emissões de GEE associadas à energia (Roadmap, 2018).

Para as 20 regiões e 4 países estudados por Lee *et al.* (2017) incluindo regiões com riscos hídricos baixos e elevados localizados na África, Áustria, Ásia, Europa e América do Norte, verificou-se a existência de uma relação positiva entre a intensidade energética e os riscos hídricos. Observou-se que as regiões com maiores riscos hídricos tinham consumos energéticos relativamente altos e GEE associados ao sistema de abastecimento de água. Isto refletiu principalmente a grande influência da acessibilidade da água, particularmente para regiões que necessitam de energia importada, fontes de água subterrâneas ou dessalinização. Assim, a acessibilidade da fonte de água foi identificada como o fator chave para o maior consumo de energia, bem como potenciais GEE (Lee *et al.*, 2017).

4.4.6. Principais Passos para a Redução de Carbono

Existem inúmeras oportunidades dentro da indústria de abastecimento de água potável para reduzir o consumo de energia, mantendo a qualidade e mantendo ou mesmo aumentando a produção. A quantidade de energia e o local onde pode ser economizada varia porque todas as instalações funcionam dentro de diferentes restrições (Melody *et al.*, 2010).

Segundo o Roadmap to a low-carbon urban water utility (2018), existem cinco principais passos para a redução de carbono. O primeiro é motivar ações, este passo consiste em identificar objetivos; o segundo é avaliar o sistema; o terceiro é identificar oportunidades; o quarto é implementar medidas e o quinto é monitorizar o impacto.

A ERSAR realizou um guia técnico para o uso eficiente de energia no setor de águas, o qual tem presente diversas boas práticas de gestão de energia apresentadas de seguida (ADENE, 2018).

Medidas de eficiência energética (motores):

- Substituir os motores elétricos convencionais avariados, ou em fim de vida, por motores mais eficientes;
- Avaliar o potencial de utilização de variadores eletrónicos de velocidade (VEV) para ajustar a velocidade do motor de acordo com a carga;
- Utilizar arrancadores suaves para evitar picos de corrente durante o arranque;
- Garantir a manutenção adequada dos motores;

- Evitar o sobredimensionamento dos motores e desligar os mesmos quando não estão a ser utilizados.

Medidas de eficiência energética (grupos de bombagem):

- Instalar variadores de velocidade para melhor adequar o funcionamento do motor às variações do consumo;
- Substituir os motores elétricos convencionais, ou em fim de vida, por motores de classe mais eficiente;
- Analisar e avaliar os sistemas de bombagem com o intuito de identificar aqueles que estão a operar fora do ponto de funcionamento ótimo, para posterior correção;
- Desligar bombas desnecessárias ou usar sensores de pressão de modo a controlar o número de bombas em funcionamento;
- Substituir ou modificar as bombas sobredimensionadas;
- Usar uma pequena bomba auxiliar de aumento de pressão que proporcione um escoamento de alta pressão para um determinado utilizador e que permita ao resto do sistema funcionar a uma pressão mais baixa e a uma potência reduzida;
- Reparar fugas de válvulas deficientes (ou substituir estas por válvulas mais eficientes) e eventualmente conservar ou modificar os impulsores das bombas;
- Aplicar revestimentos nas bombas, particularmente nas volutas, para redução das perdas por atrito;
- Verificar e ajustar o controlador de motor para regular a tensão da correia e o alinhamento do acoplamento;
- Instalar um sistema de gestão de energia que permita monitorizar o funcionamento do sistema de bombagem;
- Implementar um sistema de manutenção preventiva e corretiva;
- Eliminar perdas de carga desnecessárias do sistema (válvulas desnecessárias ou parcialmente obstruídas);
- Alterar a estratégia de operação, privilegiando o funcionamento de um maior número de bombas em operação simultânea, em velocidades mais baixas, para o mesmo caudal.

Medidas de eficiência energética (iluminação):

- Dar prioridade à iluminação natural, mantendo limpas as áreas de entrada de luz;
- Dimensionar corretamente os níveis de iluminação necessários para os diferentes postos de trabalho;
- Optar pelo tipo de iluminação mais adequada para cada local e para as tarefas a executar;
- Utilizar sempre equipamentos de rendimento elevado (lâmpadas, luminárias e acessórios);
- Utilizar sistemas de controlo e comando automático nas instalações de iluminação;
- Utilizar, sempre que possível, luminárias que permitam uma integração com o ar condicionado;
- Proceder a operações de limpeza regulares e manutenção das instalações, de acordo com um plano estabelecido;

- Definir corretamente os períodos de substituição das lâmpadas e optar sempre pela substituição em grupos;
- Substituir balastos ferromagnéticos por eletrônicos;
- Instalar interruptores/controladores horários, no caso de a iluminação ser do tipo descarga, como lâmpadas de mercúrio, vapor de sódio ou iodetos metálicos;
- Desligar a iluminação quando a instalação não se encontra em uso;
- Sensibilizar os operadores para a correta utilização da iluminação, evitando desperdícios.

Medidas de eficiência energética (ar comprimido):

- Reduzir fugas de ar comprimido;
- Substituir motores convencionais por motores de alto rendimento (melhoria dos acionamentos);
- Utilizar variadores eletrônicos de velocidade;
- Substituir ou melhorar os compressores;
- Utilizar sistemas de controlo adequados e precisos;
- Instalar sistemas de recuperação de calor para outras utilizações;
- Melhorar o sistema de arrefecimento, secagem e filtragem;
- Reduzir perdas de carga;
- Otimizar os equipamentos utilizadores finais de ar comprimido;
- Implementar um programa periódico de substituição de filtros.

Medidas de eficiência energética (energia térmica):

- Água quente sanitária e aquecimento ambiente;
- Isolar termicamente a tubagem de distribuição de água quente, para redução das perdas de calor;
- Colocar válvulas termostáticas em radiadores e termostatos programáveis;
- Optar por bombas de circulação de baixa potência (e que só funcionem com a pressão da abertura de uma torneira) se a sua instalação for equipada com um anel de recirculação, que permite programar a circulação de água quente na canalização;
- Optar por torneiras misturadoras nos pontos de consumo de água quente;
- Tratamento de lamas e aquecimento de digestores anaeróbios;
- Regular os parâmetros de queima;
- Instalar economizadores;
- Isolar os órgãos e as tubagens.

Otimização dos sistemas de abastecimento de água:

- Otimização dos equipamentos – adequada seleção dos equipamentos a instalar assegurando que estes operem nos pontos de máxima eficiência e manutenção adequada;
- Otimização da estratégia de operação – considera as necessidades de abastecimento de água às populações, o armazenamento e elevação em horários com tarifas mais favoráveis e escolha da combinação mais eficiente dos grupos de bombagem em operação para que a

elevação e o transporte de água sejam efetuados, gerando a menor perda de carga possível nestes sistemas;

- Otimização da configuração dos sistemas - numa primeira fase, caracterização do sistema e das necessidades de atendimento do mesmo. De seguida, o sistema deverá ser monitorizado, preferencialmente com recurso a sistemas de monitorização e controlo, automáticos. Para além disso, a gestão dos sistemas deverá ser auxiliada por metodologias de previsão do consumo, simulação hidráulica dos sistemas e estratégias de otimização de operação, face às necessidades de consumo do sistema. Desta forma, a operação pode ser ajustada para ser executada com menores consumos específicos de energia. A modelação computacional será, assim, uma importante ferramenta auxiliar para estes modelos mais complexos. Por fim, a otimização da configuração dos sistemas aproveita ao máximo o potencial gravítico das redes, operando a pressões mais baixas e/ou dividindo o sistema em zonas hidraulicamente independentes com estratégias de operação específicas que mitiguem perdas de carga desnecessárias.

Das medidas de carácter preventivo que contribuem para a resiliência dos sistemas e para o aumento da eficiência energética com base no nexus água-energia destacam-se:

- Redução das perdas de água;
- Promoção da reutilização de água tratada;
- Planeamento e a gestão integrada entre várias entidades gestoras;
- Gestão da água no lado da procura.

Por último, como boas práticas de carácter transversal destacam-se:

- Manutenção dos sistemas e equipamentos;
- Sistemas de monitorização e controlo.

Outros fatores que podem diminuir o consumo de energia das unidades de tratamento de abastecimento público incluem (Goldstein e Smith, 2002):

- Economias de escala: uma tendência para sistemas maiores de sistemas menores proporcionará economias de escala de operação, resultando em redução do consumo de eletricidade por unidade;
- Substituição de equipamentos mais antigos por bombas, acionamentos e equipamentos de processamento de água mais eficientes no consumo de energia.

4.5. Qualidade da Água e a Energia Consumida na ETA

A qualidade da água afluente a uma ETA sofre alterações, o que pode fazer variar as operações e processos de tratamento e conseqüentemente o consumo de energia associado (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014).

A gestão dos recursos hídricos é um aspeto integrante da gestão preventiva da qualidade da água. A prevenção da contaminação microbiana e química da origem da água é a primeira barreira contra a contaminação da saúde pública pela ingestão de água. A gestão dos recursos hídricos e a atividade humana potencialmente poluidora na bacia influenciam a qualidade da água a jusante e nos aquíferos. Isso terá um impacto nas etapas de tratamento necessárias para garantir a segurança da água, e a ação preventiva pode ser preferível à melhoria do tratamento (WHO, 2017).

Segundo os resultados obtidos por Santana, Zhang e Mihelcic (2014), a qualidade da água bruta é responsável por 14,5% da energia incorporada nos processos de tratamento de água da ETA responsável por produzir água para a cidade de Tampa na Florida, maioritariamente devido às diferenças nas dosagens de reagentes. Neste estudo, os parâmetros de qualidade da água mais representativos foram a condutividade, o carbono orgânico total (COT), a turvação e o odor. Destes parâmetros, a turvação e o carbono orgânico total foram os parâmetros com uma influência mais significativa nos consumos da energia da ETA em estudo. Assim, através deste estudo verificou-se que a qualidade da água tem uma influência significativa na energia consumida e que a gestão da qualidade da água da bacia hidrográfica deve ser uma prioridade na minimização de custos, energia e emissões de carbono. Os dois constituintes que tiveram maior impacto neste estudo, COT e condutividade, são parâmetros usuais na água e deve-se ter em atenção que as alterações climáticas podem influenciar a sua concentração na água bruta. No caso do tratamento de água na cidade de Tampa, embora a maior parte da energia seja direta, a qualidade da água bruta tem uma influência notável na energia total através da energia indireta.

No estudo de Stang *et al.* (2018) comparou-se os efeitos das alterações climáticas na energia total consumida em duas regiões diferentes do EUA e concluiu-se que os impactos potenciais do clima e da variação da qualidade da água na energia incorporada no abastecimento de água variavam consoante as condições locais. A energia total incorporada em ambas as ETA teve picos ao mesmo tempo dos picos de consumo de energia regional. Isso mostrou que a energia necessária para o tratamento da água poderia competir com outros tipos de uso de energia. Para minimizar estes aspetos, poderiam estabelecer-se medidas de conservação e gestão de água, de forma a reduzir o consumo de energia durante os meses de “pico”. Como a poluição e a escassez nas origens de água têm vindo a aumentar, poderão ter de ser utilizadas fontes de água de menor qualidade. As implicações energéticas de tais mudanças podem ser significativas. Segundo o mesmo estudo, as duas ETA demonstram tendências opostas de uso de energia sob projeções climáticas previstas, isto é, com uma energia consumida reduzida numa e um aumento da energia consumida noutra. Estas diferenças mostraram que os efeitos das alterações climáticas no tratamento têm uma influencia variável dependendo da localização espacial da água captada e esses efeitos precisam ser estudados caso a caso (Stang *et al.*, 2018).

5. Metodologia

5.1. Dados e Métodos

5.1.1. Etapas

O plano de trabalho consistiu em quatro etapas.

- Etapa 1 – Seleção de uma ETA e realização de um estudo geral sobre o seu funcionamento.
- Etapa 2 – Tratamento dos dados da qualidade da água afluyente à ETA e seleção dos parâmetros representativos.
- Etapa 3 – Cálculo da energia total consumida na ETA.
- Etapa 4 – Tratamento estatístico da relação entre a qualidade da água afluyente e a energia consumida. A análise estatística foi realizada recorrendo ao software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).

5.1.2. Nomenclatura

Na **Tabela 5.1** mostra-se um resumo das variáveis em estudo, com as variáveis agrupadas em três grupos para melhor compreensão da análise efetuada.

Tabela 5.1 | Nomenclatura de apoio

Grupos	Descrição	Parâmetros
Parâmetros de qualidade	Parâmetros de qualidade da água bruta após análise em componentes principais (ACP)	Dureza total Temperatura Microrganismos a 22°C Escherichia coli Manganês Alcalinidade Turvação Coliformes totais
Parâmetros de tratamento	Parâmetros para o cálculo da energia, doses de cada reagente e produção de lamas	Dose ozono Dose CO ₂ Dose leite de cal Dose WAC Dose CAP Dose desinfetante Dose polieletrólito Produção lamas
Parâmetros de energia	Parâmetros de energia indireta e direta e energia total consumida	E. Indireta ozono E. Indireta CO ₂ E. Indireta leite de cal E. Indireta WAC E. Indireta CAP E. Indireta desinfetante E. Indireta polieletrólito E. Indireta lamas E. Indireta total E. Direta total E. Total consumida

5.1.3. ETA

Selecionou-se uma ETA e efetuou-se um estudo geral sobre o seu funcionamento, desde a captação da água bruta até à distribuição de água tratada e ao transporte de lamas a destino final. Nesta primeira fase foram recolhidos os dados necessários para todo o estudo nomeadamente: dados da qualidade da água bruta, caudal de água bruta afluente, caudal de água tratada, energia consumida, distribuição da energia pelos diferentes processos da ETA, dosagem de reagentes, quantidade de lamas, folha de registo de entrada de reagentes e folha de registo de saída de lamas.

5.1.4. Qualidade da Água Bruta

Os dados da qualidade da água bruta foram fornecidos em diferentes intervalos de tempo. Desta forma, houve a necessidade prévia de se proceder a uma normalização de todos os parâmetros de qualidade de modo a obter todos os dados na mesma unidade, neste caso, valores mensais. Posteriormente, os parâmetros de qualidade, já normalizados, foram reduzidos de modo a diminuir a quantidade de dados, tendo em consideração a maior variação de valores possível. Como tal, começou-se por seleccionar quais os parâmetros de qualidade mais representativos e como é que estes se podem relacionar entre si através de uma análise em componentes principais (ACP). Uma ACP consiste em identificar padrões nos dados a analisar, reduzir a sua quantidade através da remoção da ruído e redundância e identificar variáveis correlacionadas (Institute for Digital Research & Education, 2019).

5.1.5. Energia Total Consumida

A energia total consumida é definida pelo total da energia direta e indireta. A energia direta consiste na energia utilizada na linha de tratamento, isto é, energia gasta em cada fase do tratamento e bombagens necessárias na linha de tratamento. A energia indireta consiste na energia utilizada na produção e transporte de reagentes e materiais necessários para o tratamento da água bruta (Mo *et al.*, 2011; Santana, Zhang e Mihelcic, 2014).

Para o cálculo destas energias, teve-se em consideração dados como potência e horas de funcionamento dos equipamentos, faturas de electricidade, dosagens de reagentes, distâncias de transporte de reagentes, produção de lamas e distâncias de transporte de lamas a destino final.

Uma vez que os dados se encontravam em diferentes intervalos de tempo, procedeu-se à normalização para valores mensais. Pela mesma razão, as diferentes energias foram também normalizadas ao serem divididas pelo volume mensal de água tratada.

Este estudo centrou-se apenas na linha de tratamento líquida e sólida, transporte e produção de reagentes e transporte de lamas a destino final. Por outro lado, não se considerou a bombagem de água bruta, a fase de construção, manutenções e reparações. A **Figura 5.1** mostra os limites deste estudo, sendo que o que está no interior da linha a tracejado foi considerado.

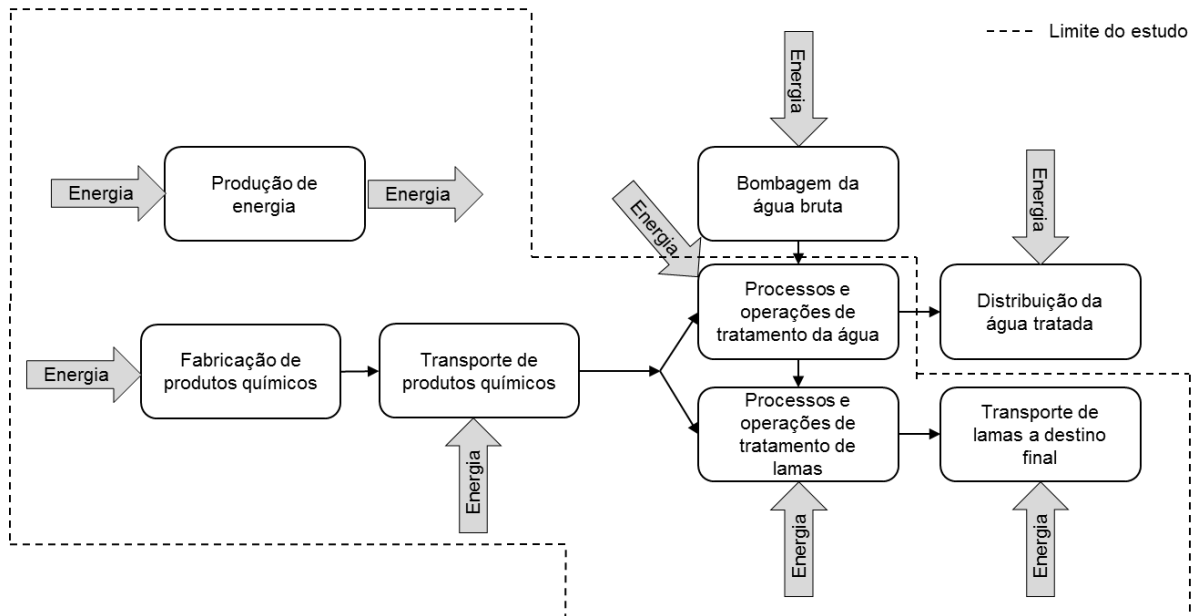


Figura 5.1 | Limites do estudo

A energia total consumida (E_T , MJ/m³) correspondeu à soma das energias direta e indireta.

A equação (1) foi utilizada para o cálculo da energia direta (E_D) que consiste na soma dos consumos de eletricidade (E_e) mensais, multiplicada pela energia utilizada para a produção da eletricidade ($\epsilon_{\text{Eletricidade}}$, MJ/kWh).

$$E_D = \sum E_e \times \epsilon_{\text{Eletricidade}} \quad (1)$$

A energia indireta (E_I , MJ/m³) foi calculada através equação (2), que consiste no somatório da energia de produção e transporte de cada reagente somada à energia de transporte de lamas a destino final. Estas energias são estimadas através da multiplicação de um fator de energia (ϵ , MJ/kg) pela dosagem mensal (D , kg/m³).

$$E_I = \sum (E_{\text{Produção}} + E_{\text{Transporte}})_{\text{reagentes}} + (E_{\text{transporte}})_{\text{lamas}}$$

$$= \sum [(\epsilon_{\text{Produção}} \times D) + (\epsilon_{\text{Transporte}} \times D)]_{\text{reagentes}} + (\epsilon_{\text{Transporte}} \times D)_{\text{lamas}} \quad (2)$$

O fator de energia de produção ($\epsilon_{\text{Produção}}$, MJ/kg) representa a energia consumida na produção do reagente, desde a extração das matérias primas necessárias até à sua formação. O fator de energia de transporte ($\epsilon_{\text{Transporte}}$, MJ/kg) representa a energia consumida no transporte do reagente até à ETA ou a energia consumida no transporte das lamas a destino final. Os valores de $\epsilon_{\text{Produção}}$ foram obtidos através de uma base de dados *Ecoinvent* que estima a energia utilizada em diversos processos através de uma análise de ciclo de vida de energia.

Os valores de $\epsilon_{\text{Transporte}}$ foram obtidos através da equação (3):

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

Em que:

ϵ (MJ/km) - energia consumida por quilómetro percorrido por um camião transportador com a capacidade de transportar mais de 16 toneladas, valor obtido através base de dados Y, referida anteriormente;

Distância (km) - quilómetros percorridos desde o local de produção de cada reagente até à ETA ou desta ETA até ao destino final das lamas, recorreu-se ao *google maps*;

Viagens - número de viagens realizadas no transporte de cada reagente ou lamas, recorreu-se à folha de entradas de reagentes da ETA e saída de lamas;

Quantidade transportada (kg) – quantidade de reagente transportando ou lamas transportadas.

Para uma melhor perceção do que se apresenta descrito dos pontos 5.1.2 ao 5.1.4, mostra-se um esquema das primeiras etapas do trabalho realizado (**Figura 5.2**). Estas etapas tiveram como objetivo obter os parâmetros de qualidade da água representativos, a energia direta e a energia indireta.



Figura 5.2 | Etapas do estudo

5.1.6. Relação entre a Qualidade da Água e a Energia Total Consumida

Nesta última etapa, testou-se a relação entre os diferentes parâmetros de qualidade e cada um dos parâmetros de tratamento a partir de regressões lineares segundo o método *Backward*. Assim, os parâmetros de qualidade e os parâmetros de tratamento foram introduzidos como variáveis

independentes e cada parâmetro de energia como variável dependente. Para cada regressão linear o R^2 foi analisado de modo a perceber qual a variância explicada pela regressão. Foram apenas consideradas como significativas as regressões cujo R^2 foi superior a 0,5 (50%).

Para determinar a influência que cada variável independente tinha sobre a variável dependente recorreu-se à importância relativa de cada variável. Assim, encontraram-se as variáveis supressoras (com pouca influência na variável independente) e recalculou-se a regressão linear sem essas variáveis. É importante salientar que os valores de R^2 diminuem com a eliminação de variáveis insignificantes. Por este motivo, regressões inicialmente significativas não foram excluídas quando o R^2 recalculado foi inferior a 0,5.

De modo a verificar se as variáveis independentes também partilhavam de uma correlação significativa com as variáveis dependentes, recorreu-se a uma correlação de *Pearson* onde os coeficientes de correlação obtidos foram comparados com a importância relativa de cada variável correspondente. Assim, a congruência entre os resultados da correlação de *Pearson* e a análise da importância relativa demonstrou se a regressão era aceitável ou não.

O estudo das relações foi realizado considerando tanto as relações diretas como as relações indiretas. Por exemplo, uma concentração elevada de carbono orgânico total requer uma dose mais elevada de coagulante. Se o coagulante for um ácido fraco, a dosagem de ácido usada para a alteração do pH de modo a garantir uma floculação eficaz também será afetada. Portanto, o COT influencia diretamente a dosagem do coagulante e indiretamente afeta a dosagem do ácido.

Para uma melhor percepção, a **Figura 5.3** mostra um esquema de apoio à decisão.

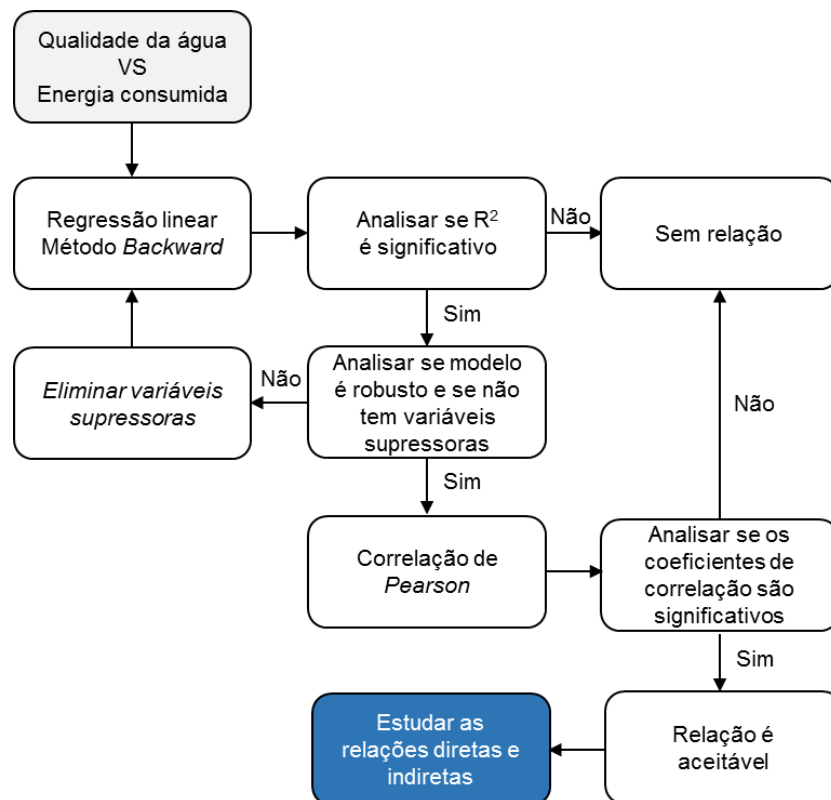


Figura 5.3 | Esquema de apoio à decisão

5.2. Caso de Estudo – ETA de Santa Águeda

5.2.1. Enquadramento

A ETA de Santa Águeda (ETASA) pertence ao sistema multimunicipal Águas do Vale do Tejo (AdVT) que compreende na vertente de abastecimento de água mais de 1400 infraestruturas e 3890 km de condutas adutoras. A AdVT conta com a EPAL e com várias empresas agregadas (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)), na gestão de serviços de água. A Águas do Centro, S.A., é responsável pela ETASA e detém a concessão da Gestão e Exploração do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais de Raia, Zêzere e Nabão.

Este sistema abrange os municípios de Alvaiázere, Castanheira de Pêra, Castelo Branco, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Figueiró dos Vinhos, Idanha-a-Nova, Mação, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Proença-a-Nova, Sardoal, Sertã, Tomar, Vila Nova da Barquinha e Vila Velha de Ródão.

5.2.2. Descrição

ETA de Santa Águeda

A estação de tratamento de água de Santa Águeda fica a jusante da barragem de St^a Águeda, situada próximo da cidade de Castelo Branco. Encontra-se em funcionamento desde 1989. Esta tem a capacidade de tratar um caudal de 3 000 m³/h e serve atualmente as populações do concelho de Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Fundão e Vila Velha de Ródão. Inicialmente foi dimensionada para tratar um caudal de 800 m³/h e posteriormente sofreu diversas melhorias e adaptações com o objetivo de acompanhar o desenvolvimento da população servida e as alterações da qualidade da água bruta (Degrémont Ibéria, sem data a).

Fase Líquida

A linha de tratamento da fase líquida começa na torre de captação da barragem de Santa Águeda situada no rio Ocreza, um afluente do rio Tejo, onde se localiza uma importante captação do sistema multimunicipal de Lisboa e Vale do Tejo. Posteriormente, a água captada é conduzida até à ETA, onde ocorrem diversas operações e processos de tratamento (AdP, 2016)

O tratamento começa com um sistema de oxidação de ferro e manganês através de uma torre de arejamento, segue-se uma câmara de contacto com ozono de modo a oxidar o que ainda não foi oxidado anteriormente.

Após a ozonização há uma correção do pH recorrendo ao doseamento de CO₂ e leite de cal num tanque de mistura, isto de modo a atingir um maior rendimento do coagulante utilizado na etapa seguinte que é a coagulação. A coagulação ocorre numa câmara de mistura rápida, onde se promove a

destabilização das partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração, mediante a injeção e dispersão rápida do coagulante.

Ainda na câmara de mistura rápida é adicionado um floculante que tem como objetivo favorecer o contacto entre as partículas destabilizadas. Estas partículas vão agregar-se formando um floco que pode ser facilmente removido através da sedimentação que ocorre na etapa seguinte nos decantadores lamelares. Na câmara de mistura rápida é ainda adicionado carvão ativado em pó (CAP), com vista à adsorção de COV (compostos orgânicos voláteis, que consistem em pesticidas e substâncias que contribuem para o aparecimento de gosto e de odores).

Posteriormente à decantação, a água é conduzida para a etapa de filtração em areia que tem como objetivo a remoção das partículas em suspensão. Por fim, é adicionada água de cal para correção do pH e a água é desinfetada através do doseamento de cloro.

Fase Sólida

A linha de tratamento da fase sólida começa com uma junção e equalização das lamas provenientes dos decantadores e da água de lavagem dos filtros de areia. As lamas resultantes são encaminhadas para um processo de espessamento realizado através de um decantador metálico lamelar, onde ocorre a adição de polieletrólito que tem como objetivo o aumento da eficiência do processo (Degrémont Ibéria, sem data b).

Após a etapa de espessamento de lamas, estas são misturadas aos insolúveis de cal e conduzidas para a etapa de desidratação (centrífuga), onde também é adicionado polieletrólito para uma melhor eficiência do processo. Nesta etapa, o principal objetivo é concentrar as lamas que serão posteriormente enviadas a destino final (Degrémont Ibéria, sem data b).

Na figura seguinte (**Figura 5.4**) mostra-se um diagrama linear da ETA de Santa Águeda, onde é possível ter uma noção geral do processo de tratamento da fase líquida e da fase sólida.

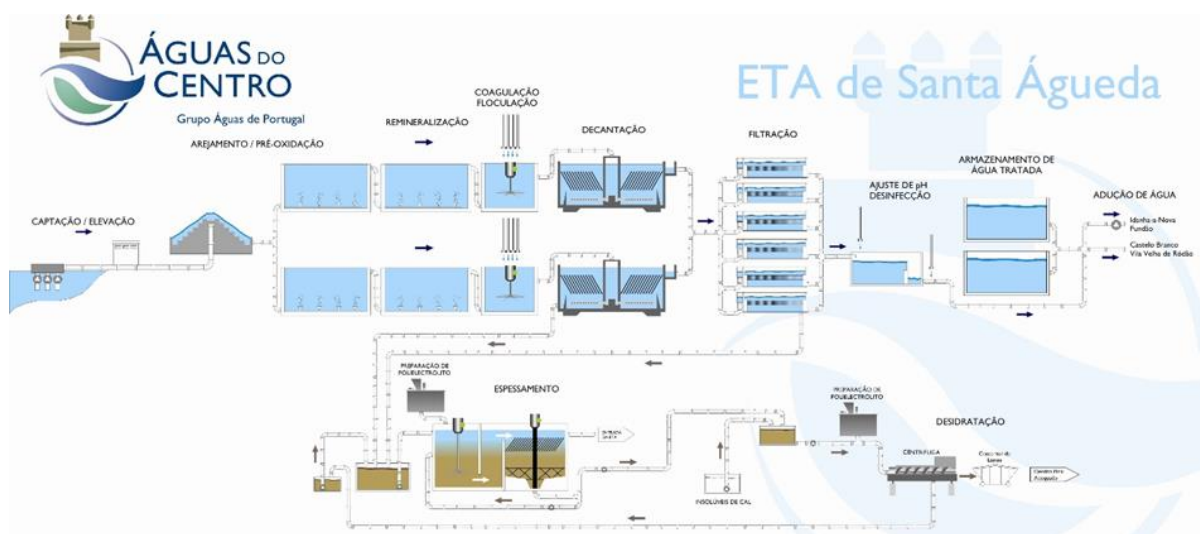


Figura 5.4 | Diagrama linear simplificado da ETA de Santa Águeda

5.2.3. Reagentes

Na **Tabela 5.2** mostra-se as principais especificidades e objetivos dos reagentes utilizados na ETA de Santa Águeda.

Tabela 5.2 | Reagentes utilizados na ETA de Santa Águeda

Reagente	Função	Ponto de Aplicação
Ozono (Oxigénio líquido)	Reduzir a quantidade de matéria orgânica presente na água bruta, oxidar o ferro, manganês e a amónia eventualmente presentes, eliminar gostos e cheiros, controlar a presença de algas e de outros microrganismos na linha de tratamento e melhorar as condições de coagulação, floculação, decantação e filtração	Câmara de contacto dedicada
Dióxido de carbono	Correção de pH	Câmara de contacto dedicada
Leite de Cal (Hidróxido de cálcio)	Remineralização	Câmara de contacto dedicada
Coagulante (WAC)	Coagulante que permite desestabilizar a matéria em suspensão por forma a permitir a sua sedimentação	Câmara de mistura rápida
Polieletrólito	Floculante para potenciar a formação de flocos mais facilmente sedimentáveis	Câmara de mistura rápida
Carvão ativado em pó	Controlo de compostos adsorvíveis, permitindo igualmente o controlo de gosto e do odor	Câmara de mistura rápida
Água de cal (Hidróxido de cálcio)	Correção de pH	Caixa de saída dos filtros
Cloro	Desinfeção da água tratada	Tubagem de alimentação ao Reservatório de água tratada
Hipoclorito de sódio	Desinfeção da água tratada	Tubagem de alimentação ao Reservatório de água tratada
Polieletrólito (Espessamento)	Aumentar a retenção de sólidos e a concentração das lamas espessadas	Tubagem de alimentação ao espessador
Polieletrólito (Desidratação)	Aumentar a retenção de sólidos e a concentração das lamas espessadas	Tubagem de alimentação à centrífuga

6. Resultados e Discussão

6.1. Qualidade da Água Bruta

Através da análise em componentes principais realizada aos parâmetros de qualidade, conseguiu-se reduzir o conjunto de variáveis iniciais (25 parâmetros) para 8 parâmetros de qualidade que representam uma percentagem acumulada de variância superior a 80%. Estes foram a dureza total, temperatura, microrganismos a 22°C, *Escherichia coli*, manganês, alcalinidade, turvação e coliformes totais. Na **Tabela 6.1** mostram-se os parâmetros iniciais e finais da qualidade da água.

Tabela 6.1 | Parâmetros iniciais e finais da qualidade da água

Parâmetros iniciais	Parâmetros finais
Absorvância a 254 nm	Dureza total Temperatura Microrganismos a 22°C <i>Escherichia coli</i> Manganês Alcalinidade Turvação Coliformes totais
Alcalinidade	
Alumínio	
Azoto Amoniacal	
Cálcio	
Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	
Carbono Orgânico Total (TOC)	
Cheiro a 25°C	
Cloretos	
Condutividade 20°C	
Coliformes fecais	
Coliformes totais	
<i>Escherichia Coli</i>	
Microrganismos a 22°C	
Microrganismos a 37°C	
Cor	
Dureza total	
Ferro	
Fosfatos	
Manganês	
Oxidabilidade	
pH	
Sólidos suspensos totais	
Temperatura	
Turvação	

A ACP gerou o mesmo número de componentes que variáveis iniciais (25 parâmetros de qualidade). Sendo que as primeiras componentes contêm a maioria da variabilidade dos dados, a decisão sobre o número de componentes a reter consistiu em dois passos. A representação gráfica dos valores próprios em função de cada uma das componentes principais respetivas (**Figura 6.1**). A partir da análise visual do *scree plot* selecionaram-se todas as componentes até a linha que as une começar a ficar horizontal,

ou seja, quando o declive entre as componentes consecutivas deixar de ser tão acentuado. Aplicando esta metodologia selecionaram-se, as primeiras 8 componentes.

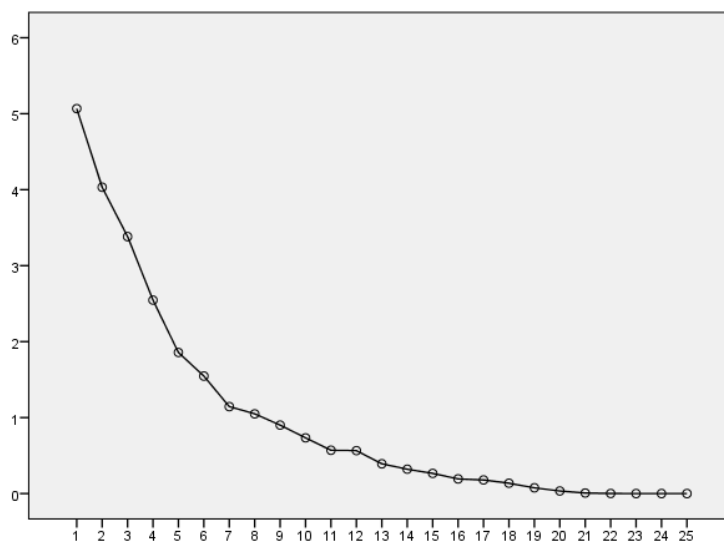


Figura 6.1 | Scree plot

Uma vez que este critério é subjetivo, analisou-se ainda a variância explicada por cada componente, tendo em consideração que nas áreas das ciências e engenharia do ambiente se considera, normalmente, que é necessário um número de componentes cuja percentagem acumulada seja igual ou superior a 75% (**Tabela 6.2**), selecionaram-se as primeiras 8 componentes (REF).

Tabela 6.2 | Variância total acumulada explicada por cada componente

Componentes	Variância total explicada (%cumulativa)
1	20,27
2	36,40
3	49,93
4	60,11
5	67,54
6	73,73
7	78,30
8	82,50
9	86,10
10	89,04
11	91,32
12	93,58
13	95,15
14	96,43
15	97,49
16	98,26
17	98,98
18	99,52
19	99,83
20	99,97
21	99,99
22	100
23	100
24	100
25	100

Após selecionar as primeiras 8 componentes, estudou-se que variável (parâmetro de qualidade) explicava melhor cada componente. Assim, analisou-se a matriz de componentes, produzida no software utilizado, SPSS, que contém as correlações entre as variáveis e as componentes principais. Na **Tabela 6.3** mostra-se apenas a maior relação entre cada variável e as componentes.

Tabela 6.3 | Matriz de componentes

Matriz de componentes								
Componentes	1	2	3	4	5	6	7	8
Absorvância a 254 nm						0,513		
Alcalinidade						0,573		
Alumínio		-0,674						
Azoto Amoniacal	-0,655							
Cálcio	-0,945							
Carbono Orgânico Dissolvido		0,742						
Carbono Orgânico Total			0,725					
Cheiro a 25C	0,884							
Cloretos				0,453				
Condutividade 20°C				0,501				
Coliformes fecais			0,501					
Coliformes totais								0,600
Escherichia coli				-0,551				
Microrganismos a 22°C			-0,763					
Microrganismos a 37°C		0,477						
Cor			0,666					
Dureza total	-0,954							
Ferro						-0,541		
Fosfatos	0,760							
Manganês					0,770			
Oxidabilidade			0,480					
pH					0,643			
Sólidos suspensos totais		-0,492						
Temperatura		0,805						
Turvação							0,445	

Ao observar a **Tabela 6.3**, pode verificar-se que as variáveis: azoto amoniacal, cálcio, cheiro, dureza total e fosfatos, tiveram uma maior correlação com a componente 1. Pode também verificar-se que as variáveis: alumínio, carbono orgânico dissolvido, microrganismos a 37°, sólidos suspenso totais e temperatura, tiveram uma maior correlação com a componente 2 e assim sucessivamente para as componentes seguintes. Deste modo, selecionou-se a variável que melhor explicava cada componente, isto é, a variável com valor mais próximo de 1 ou -1. Assim, foram escolhidos os 8 parâmetros de qualidade (dureza total, temperatura, microrganismos a 22°C, E. coli, manganês, alcalinidade, turvação e coliformes totais) que se encontram destacados a negrito na tabela anterior. Uma vez que cada componente agrupa diferentes parâmetros, foram estudadas as suas correlações.

A componente 1 é explicada maioritariamente pela dureza total, uma vez que a dureza total consiste na soma da dureza temporária (devida aos iões cálcio e magnésio que se combinam com os iões

carbonato e bicarbonato) com a dureza permanente (devida aos iões cálcio e magnésio que se combinam com sulfatos, cloretos e nitratos), era de esperar uma forte relação com o parâmetro cálcio.

A temperatura é o parâmetro que melhor explica a componente 2. Este parâmetro pode variar devido às mudanças atmosféricas e a descargas, podendo influenciar outros parâmetros da qualidade da água como a densidade. A maior relação existente nesta componente é entre a temperatura e o carbono orgânico dissolvido. Este facto, pode dever-se à influência da temperatura nos fenómenos biológicos, nomeadamente entre a disponibilidade do carbono e os microrganismos.

A componente 3 é explicada pela contagem de microrganismos a 22°C. Este parâmetro engloba microrganismos heterotróficos, incluindo bactérias e fungos, podendo ter origem em diversas fontes de poluição. O seu crescimento depende da disponibilidade de nutrientes e substrato, nomeadamente carbono orgânico. Talvez por este motivo exista uma grande relação entre os microrganismos a 22°C e o carbono orgânico total. Uma vez que o COT representa os compostos orgânicos presentes na água passíveis de sofrer oxidação é natural que a componente 2, seja explicada também, pelo parâmetro oxidabilidade.

A componente 4 é explicada pela *Escherichia coli*. A sua presença na água indica contaminação, possivelmente, por águas residuais, tal como os cloretos. Sendo possível esta contaminação, tornou-se provável a relação entre estes dois parâmetros. Para além deste aspeto, e também relacionado com o referido anteriormente, a componente 4 pode ainda ser explicada pela condutividade (parâmetro que traduz a capacidade da água conduzir corrente elétrica e que indica a presença de substâncias químicas dissolvidas na forma iónica) que se pode relacionar com os cloretos uma vez que estes são iões.

A componente 5 é explicada pelos parâmetros manganês e pH. O manganês encontra-se nas águas essencialmente em condições anaeróbias ou de baixa oxidação e um ambiente ácido (pH baixo) pode acelerar o processo de oxidação. Assim, a relação entre o pH e o manganês pode ser estabelecida, uma vez que quanto menor o pH, melhores as condições de oxidação e menos provável a presença do manganês.

A alcalinidade explica a componente 6, que estabelece uma relação entre a absorvância e o ferro. O ferro encontra-se solubilizado, essencialmente, em condições redutoras, estando a alcalinidade frequentemente associada a valores altos de pH onde os processos oxidativos são pouco favorecidos. A relação entre a absorvância e o ferro pode dever-se ao facto da absorvância ser medida no comprimento de onda de 254nm e o ferro ser capaz de absorver neste comprimento de onda, apesar da absorvância com um comprimento de onda a 254nm ser usualmente utilizada para quantificar carbono orgânico dissolvido.

As componentes 7 e 8 são explicadas por apenas um parâmetro cada, a turvação e os coliformes totais, respetivamente.

6.2. Energia

6.2.1. Energia Direta

No ano de 2015, na ETASA, a distribuição de energia direta consumida é representada na **Figura 6.2**.

O tratamento da fase líquida consome a maior percentagem (60%) de energia direta. Esta percentagem apesar de contabilizar a energia consumida nas fases de pré-oxidação, filtração, coagulação, decantação e desinfecção, inclui ainda a recolha de águas sujas e a energia consumida nos sistemas de apoio geral. Deste total, 40% é consumido na pré-oxidação pelos três ozonizadores.

O tratamento da fase sólida consome 21% de energia direta, sendo constituída pelas fases de espessamento, mistura e desidratação de lamas e ainda a recolha de escorrências.

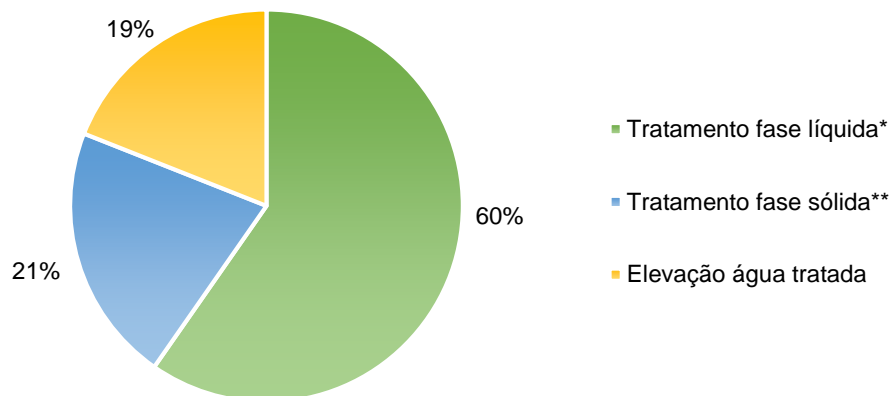


Figura 6.2 | Distribuição da energia direta consumida da ETA Stª Águeda no ano de 2015

*Tratamento da fase líquida – pré-oxidação, filtração, coagulação, sistemas de apoio geral, recolha de águas sujas, decantação e desinfecção

**Tratamento da fase sólida – espessamento, mistura de lamas, recolha de escorrências e desidratação

Os consumos de energia numa estação de tratamento de água tendem a ter variações sazonais (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014). Na **Figura 6.3** mostra-se a variação do consumo de energia (eletricidade) ao longo dos meses, desde 2015 a Junho de 2018 (inclusive). Foi possível verificar que, para os anos estudados, os consumos de energia parecem ter uma tendência muito idêntica ao longo dos meses do ano. Pode-se ainda verificar que os meses de maior consumo coincidem maioritariamente com os meses de verão, sendo que o mês com um maior consumo de energia elétrica em todos os anos é o mês de Agosto.

Esta variação sazonal dever-se-á principalmente ao aumento do consumo de água nos meses de verão, o que leva a um consumo de energia maior. O aumento do consumo de água nos meses de verão dever-se-á ao acréscimo das temperaturas e consequentemente ao aumento das necessidades hídricas. Neste período há também, usualmente, um aumento da rega.

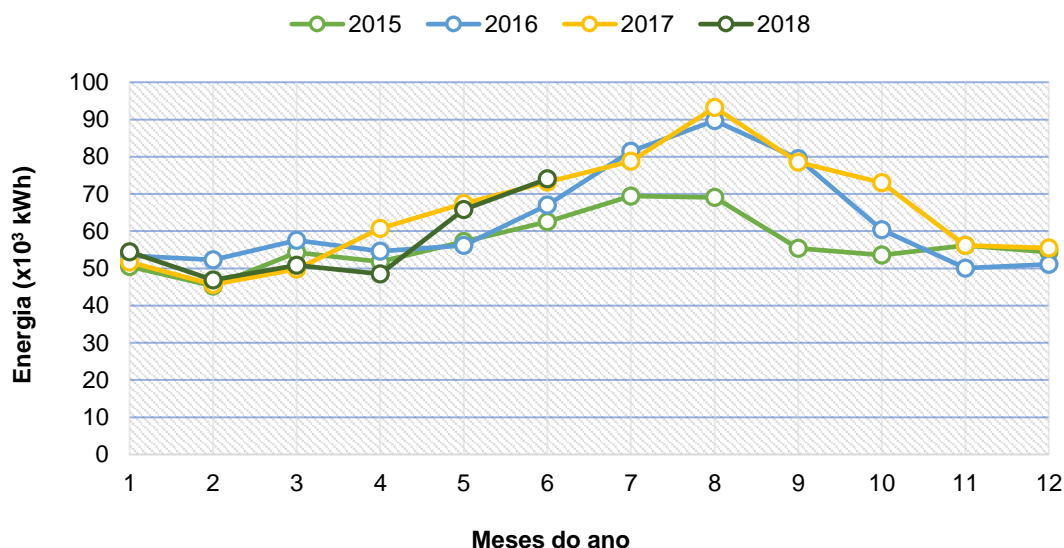


Figura 6.3 | Consumo de eletricidade ao longo dos meses, da ETA de Santa Águeda, dos anos de 2015 a Junho de 2018

O estudo da energia consumida é importante, no entanto, para uma melhor perceção e comparação entre os diferentes anos é necessário relacionar essa energia com a quantidade de água tratada. Desta forma, na **Tabela 6.4** mostra-se a energia consumida por volume de água tratada (kWh/m³).

Segundo Gude (2015), o tratamento de água envolveu um consumo de energia entre 0,25 kWh/m³ e 1,0 kWh/m³. Comparando os resultados obtidos, pode-se verificar que estes são todos inferiores àqueles valores. Isto pode dever-se ao facto do intervalo (0,25 kWh/m³ - 1,0 kWh/m³) considerar exemplos que incluem a energia consumida na distribuição de água, que é uma das fases mais consumidoras de energia (Gude, 2015).

Tabela 6.4 | Eletricidade consumida por caudal de água tratada nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018

Ano	2015	2016	2017	2018
Energia / Caudal tratado (kWh / m ³)	0,13	0,16	0,14	0,15

A energia direta pode não ser apenas a energia consumida na estação de tratamento de água, podendo também incluir a energia consumida para a sua produção, tal como referido anteriormente.

Assim, na **Figura 6.4**, mostra-se o total de energia direta consumida nos anos de 2015, 2016 e 2017 e ainda a energia consumida por m³ de água tratada nos mesmos anos. Pode observar-se que a energia total consumida aumentou ao longo dos três anos de 2015 a 2017, sendo que 2018 ainda não pode ser considerado uma vez que apenas abrange a energia de Janeiro até Julho. Em contrapartida, a energia por caudal tratado diminuiu em 2017, o que significa que se consumiu menos energia para tratar cada m³ de água. Considerando apenas os meses de Janeiro a Julho, a energia por caudal tratado no ano de 2018 aumentou em consideração ao ano de 2017.

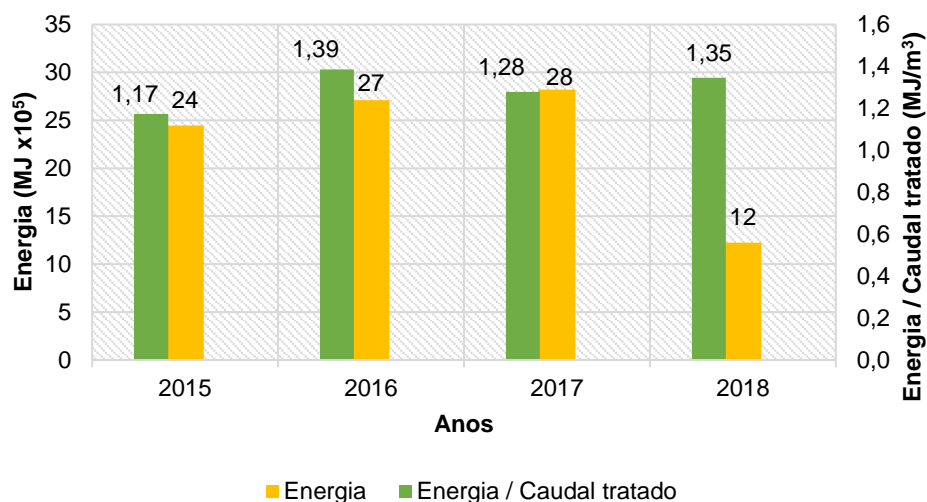


Figura 6.4 | Energia direta total consumida nos anos 2015, 2016, 2017 e 2018 de Janeiro a Julho

A lavagem dos filtros é usualmente uma etapa de grande consumo de energia numa ETA. O sistema de lavagem dos filtros da ETA Sta. Águeda inclui grupos de bombagem de água e ar cujas características estão na **Tabela 6.5**.

Tabela 6.5 | Características dos grupos de bombagem de água e ar

Sistema	Potência (kW)
Bomba de lavagem 1	11
Bomba de lavagem 2	14
Compressor de lavagem	33

O processo de lavagem dos filtros da ETA de Santa Águeda é constituído por diferentes fases com diferentes durações cada. Na **Tabela 6.6** encontram-se as fases do processo de lavagem dos filtros e respetivo tempo.

Tabela 6.6 | Processo de lavagem dos filtros e respetivo tempo

Processo	Tempo (seg)
Esvaziamento	120
Ar	180
Ar + Água	600
Purga Ar	60
Lavagem	300
Enchimento	180

O número de lavagens dos filtros está diretamente associado à colmatção dos filtros e às horas de funcionamento dos mesmos. O número de lavagens dos filtros na ETASA, ao longo dos anos estudados, encontra-se na **Figura 6.5**.

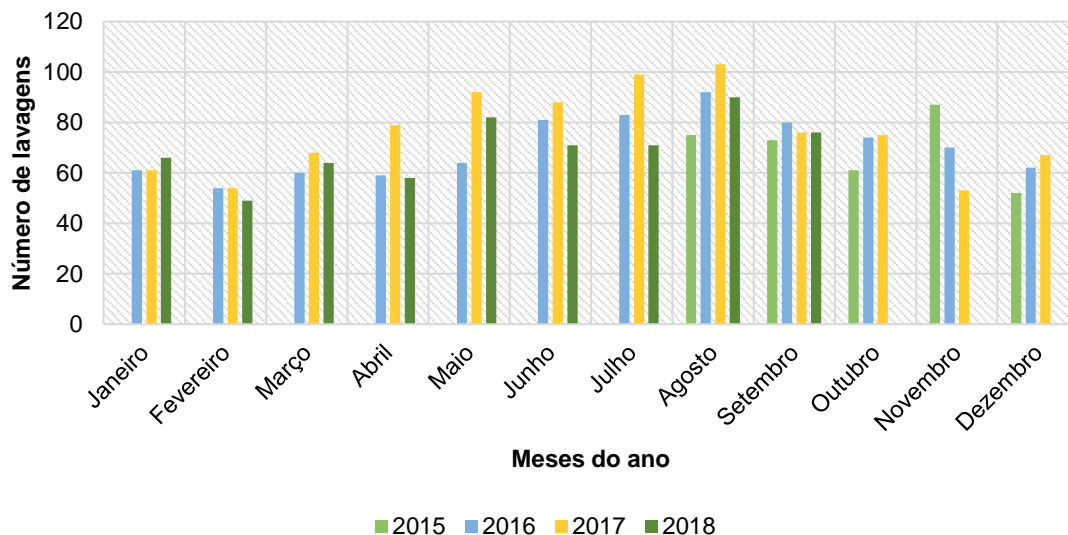


Figura 6.5 | Número de lavagens dos filtros nos anos 2015, 2016, 2017 e 2018

6.2.2. Energia Indireta

A energia indireta, tal como referido anteriormente, consiste na energia utilizada na produção e transporte de reagentes e lamas presentes no tratamento da água bruta (Mo *et al.*, 2011; Santana, Zhang e Mihelcic, 2014). Assim, a energia associada à ETA de Santa Águeda está relacionada com a dose utilizada de cada reagente e consequentemente com a sua produção e transporte, tal como, o transporte de lamas.

No Anexo III mostra-se a dose de cada reagente e produção de lamas por volume de água tratada nos 4 anos em estudo (2015, 2016, 2017 e 2018) e ao longo dos meses do ano. Através das figuras presentes no Anexo II, é possível verificar que não existiu uma tendência sazonal evidente na variação da dose de reagentes e produção de lamas. A variação ao longo dos meses do ano não foi idêntica nos diferentes anos estudados, sendo que existem picos de doses de reagentes e produção de lamas nos anos estudados.

Na tabela seguinte, **Tabela 6.7**, mostra-se a energia indireta associada a cada reagente, ao transporte de lamas e ainda a energia indireta total. Como é possível verificar, a energia indireta foi essencialmente devida à produção de reagentes (73% de influência na energia indireta total). A energia associada ao transporte correspondeu apenas a 27% da energia indireta total. O reagente que teve um maior consumo de energia foi o CO₂, com um consumo de 0,42 MJ/m³, o que também está relacionado com o facto de ser o reagente com maior dosagem (84 g/m³). 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, 0,3 g/m³ no espessamento e 0,5 g/m³ na desidratação. O ano com o maior

consumo de energia indireta, quer em relação à produção como em relação ao transporte, foi o ano de 2017 seguido do ano de 2016. Contrariamente, o ano com menor consumo foi o de 2018, apesar deste apenas considerar os meses de Janeiro a Julho, o que implica que o seu valor anual ainda pode variar. Em média, a energia indireta associada à produção de reagentes foi de 0,7 MJ/m³ e a energia indireta associada ao transporte de reagentes foi de 0,3 MJ/m³, pelo que a energia indireta total foi em média de 1,0 MJ/m³.

Tabela 6.7 | Energia indireta associada a cada reagente e lamas e energia indireta total, nos anos 2015, 2016, 2017 e 2018

	Variável	Energia (MJ/m ³)					Dose Média (g/m ³)
		2015	2016	2017	2018	Média	
Ozono	Produção	0,087	0,117	0,118	0,133	0,114	-
	Transporte	0,004	0,006	0,006	0,006	0,005	-
	Total	0,091	0,122	0,124	0,139	0,119	40,4
Dióxido de Carbono	Produção	0,383	0,408	0,428	0,404	0,406	-
	Transporte	0,013	0,014	0,015	0,014	0,014	-
	Total	0,396	0,422	0,443	0,418	0,420	84,3
Leite de Cal	Produção	0,016	0,016	0,016	0,015	0,016	-
	Transporte	0,012	0,012	0,012	0,011	0,012	-
	Total	0,027	0,027	0,028	0,026	0,027	68,3
WAC	Produção	0,164	0,179	0,146	0,145	0,158	-
	Transporte	0,011	0,012	0,010	0,010	0,011	-
	Total	0,176	0,191	0,156	0,156	0,170	74,9
CAP	Produção	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	-
	Transporte	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	-
	Total	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	5,5
Desinfetante	Produção	0,026	0,035	0,057	0,063	0,045	-
	Transporte	0,005	0,007	0,011	0,012	0,009	-
	Total	0,031	0,042	0,067	0,075	0,054	5,9
Poli - Espessamento	Produção	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	-
	Transporte	0,0010	0,0007	0,0007	0,0058	0,0021	-
	Total	0,0014	0,0009	0,0010	0,0061	0,0024	0,3
Poli - Desidratação	Produção	0,0003	0,0005	0,0006	0,0005	0,0004	-
	Transporte	0,0007	0,0013	0,0015	0,0013	0,0012	-
	Total	0,0010	0,0018	0,0021	0,0018	0,0016	0,5
Lamas	Produção	-	-	-	-	-	-
	Transporte	0,208	0,226	0,238	0,167	0,210	-
	Total	0,208	0,226	0,238	0,167	0,210	196
TOTAL	Produção	0,677	0,756	0,767	0,762	0,741	-
	Transporte	0,258	0,281	0,297	0,231	0,267	-
	Total	0,935	1,037	1,064	0,993	1,007	-

6.2.3. Energia Total Consumida

Em suma, tal como se pode observar na **Figura 6.6**, a energia indireta (44%) foi inferior à energia direta (56%). Neste estudo existe uma diferença de 12% entre a energia direta e a energia indireta. Em estudos anteriores, existem casos em que a percentagem da energia direta é superior à energia indireta e casos em que é inferior, sendo que a diferença entre ambas é usualmente na ordem dos 10%.

O reagente que teve mais impacto no consumo de energia indireta foi o dióxido de carbono (18%), seguido do transporte de lamas (9%). Como já referido anteriormente, o reagente com menor consumo de energia indireta foi o polieletrólito com 0,3% de influência na energia total consumida.

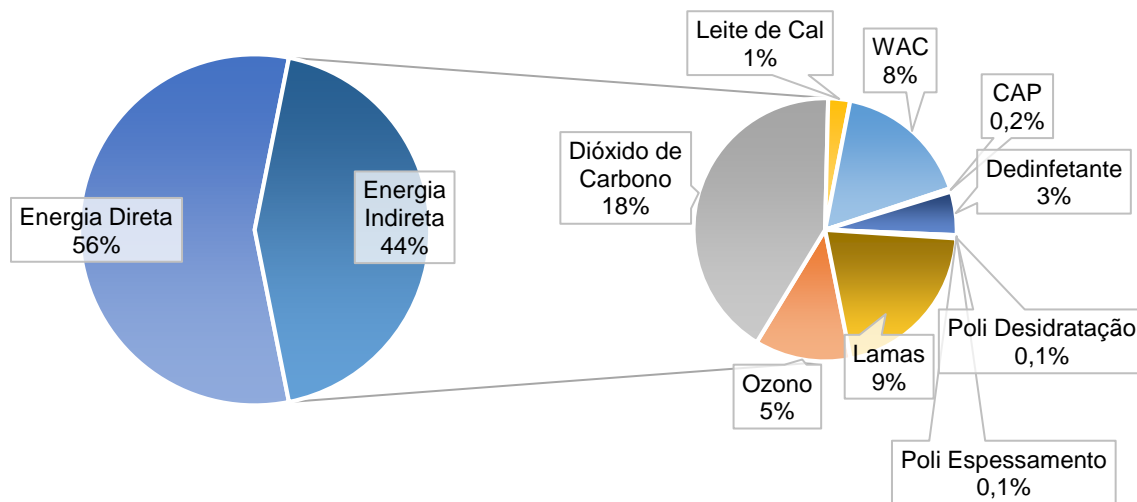


Figura 6.6 | Percentagem de energia direta e indireta

A seguinte tabela, **Tabela 6.8**, mostra a energia total consumida ao longo dos anos estudados, bem como a energia direta e indireta. Como é possível observar, em média, a energia total consumida na ETASA foi de 2,3 MJ/m³.

Em comparação com alguns estudos referidos anteriormente, 7,2 MJ/m³ (Santana, Zhang e Mihelcic, 2014), 2,6 MJ/m³ (Mo *et al.*, 2011) e 10,3 MJ/m³ (Mo *et al.*, 2011), o valor de energia total consumida da ETASA encontra-se abaixo do intervalo destes valores. No entanto, está muito próximo do valor mínimo deste intervalo. O facto da energia apresentar um consumo inferior pode ser explicado, tal como referido anteriormente, pela exclusão da energia consumida na captação, elevação de água bruta e distribuição de água no cálculo da energia direta.

Tabela 6.8 | Energia total consumida

Energia (MJ/m ³)	2015	2016	2017	2018	Média
Direta	1,173	1,386	1,279	1,345	1,296
Indireta	0,935	1,037	1,064	0,993	1,007
Total Consumida	2,108	2,423	2,342	2,338	2,303

As diferenças entre os estudos anteriores relativas à energia total consumida podem também estar relacionadas com: (i) as diferenças na localização das ETA; (ii) o consumo de energia das bombas (devido à diferente altura de elevação); (iii) a quantidade de energia a montante necessária para produzir eletricidade; (iv) o método de cálculo de energia; (v) os processos de tratamento; (vi) os reagentes usados e (vii) a qualidade da água.

A variação do consumo da energia total consumida na ETASA ao longo dos meses do ano, desde 2015 a Junho de 2018 (inclusive) pode-se observar na **Figura 6.7**.

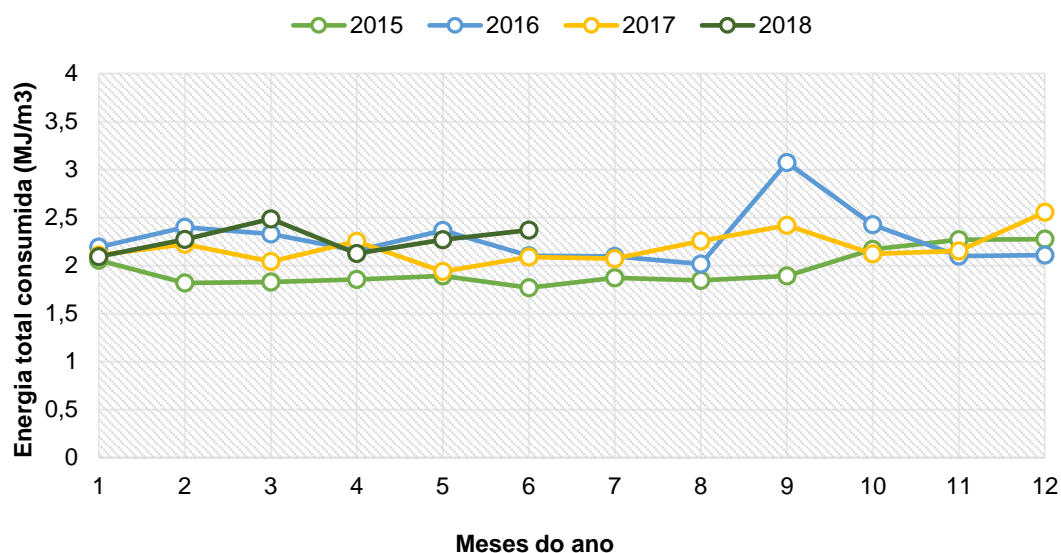


Figura 6.7 | Variação da energia total consumida ao longo dos meses, da ETA de Santa Águeda, dos anos de 2015 a Junho de 2018

6.3. Emissões

As emissões de CO₂ associadas à energia direta, indireta e total consumida na ETA de Santa Águeda encontram-se na **Tabela 6.9**. Estas emissões foram calculadas tendo em conta um fator anual de emissão, referente a 2015, com o valor de 290 ton CO₂/GWh. O ano de 2018 não foi considerado, uma vez que apenas tem valores de Janeiro a Junho. Assim, pode-se verificar que, em média, as emissões anuais da ETASA foram de 945 ton CO₂. Como já seria de esperar, uma vez que a energia direta foi superior à energia indireta, a energia direta contribuiu mais para as emissões (537 ton CO₂) do que a

energia indireta (418 ton CO₂). As emissões aumentaram entre 2015 a 2017, tendo-se estimado para este último ano, um valor de emissões de 1025 ton CO₂.

Tabela 6.9 | Emissões de GEE associadas à energia direta, direta e total consumida na ETA de Santa Águeda

Emissões (ton CO ₂)	2015	2016	2017	Média
Direta	485	537	559	527
Indireta	386	402	465	418
Total Consumida	871	940	1025	945

6.4. Relação entre Qualidade da Água e a Energia Consumida na ETA

A relação entre os parâmetros de qualidade e a energia total consumida foi estimada através de diferentes métodos, regressão linear, importância relativa e correlação de *Pearson*. A

Tabela 6.10 mostra a primeira regressão linear efetuada com todos os parâmetros de qualidade e todos os parâmetros de tratamento introduzidos como variáveis independentes e cada parâmetro de energia como variável dependente.

Tabela 6.10 | Resultados da regressão linear com os parâmetros de qualidade e os parâmetros de tratamento como variáveis independentes e cada parâmetro de energia como variável dependente

Variável dependente	Regressão linear	
	sig	R ²
E. Ozono	0,055	0,848
E. CO₂	0,010	0,893
E. Leite de cal	0,230	0,784
E. WAC	0,421	0,738
E. CAP	0,319	0,762
E. Desinfetante	0,013	0,886
E. Poli	0,160	0,805
E. Lamas	0,019	0,879
E. Direta	0,008	0,867
E. Total	0,000	0,970

Ao observar a **Tabela 6.10**, todas as regressões lineares tiveram um R² superior a 0,5. No entanto, nem todas as regressões são robustas como é o caso das regressões com as variáveis dependentes, nomeadamente, E. Ozono, E. Leite de cal, E. WAC, E. CAP, e E. poli, uma vez que o sig não foi inferior a 0,05. Assim, tal como referido no esquema de apoio à decisão adotado (fig. 5.3 presente no capítulo 5.6, eliminaram-se as variáveis supressoras e voltou-se a realizar uma regressão linear sem essas variáveis, tendo em consideração que os valores de R² diminuem com a eliminação de variáveis supressoras. Foi ainda possível verificar a energia direta teve um R² de 0,87 e a energia total consumida teve um R² de 0,97. Isto significa que existe uma relação significativa entre a energia e todos os parâmetros de qualidade, ou seja, a energia pode ser explicada pelos parâmetros de qualidade.

Na **Tabela 6.11** mostram-se os resultados da regressão linear, importância relativa e correlação de *Pearson* após a eliminação de variáveis supressoras. Os parâmetros de qualidade e os parâmetros de tratamento como variáveis independentes e cada parâmetro de energia como variável dependente.

Tabela 6.11 | Resultados da regressão linear, importância relativa e correlação de *Pearson* após eliminação de variáveis supressoras

Variável dependente	Variável independente	Regressão linear		Importância Relativa	Correlação de <i>Pearson</i>	
		sig	r ²		sig	r
E. Ozono	Dureza total			0,616	0,544	0,094
	Temperatura			0,582	0,002	0,448
	E. coli	0,000	0,793	0,494	0,013	0,404
	D. CAP			0,345	0,001	0,477
	D. Lamas			0,452	0,938	-0,120
E. CO ₂	Dureza total			0,493	0,005	0,417
	E. coli	0,000	0,821	-0,335	0,007	-0,433
	D. Leite de Cal			0,670	0,000	0,649
E. Leite de Cal	D. CO ₂	0,000	0,709	0,709	0,000	0,649
E. WAC	Dureza total			-0,374	0,006	-0,407
	E. coli	0,005	0,571	0,422	0,009	0,426
E. CAP	Alcalinidade			-0,402	0,284	-0,165
	D. Ozono	0,002	0,656	0,558	0,001	0,477
	D. CO ₂			-0,366	0,375	-0,137
E. Desinfetante	Dureza total			0,820	0,000	0,675
	E. coli	0,000	0,833	0,611	0,106	0,270
E. Poli	Dureza total			0,602	0,024	0,341
	Temperatura	0,000	0,710	-0,376	0,002	-0,461
	D. Lamas			0,450	0,129	0,232
E. Lamas	Dureza total			0,645	0,068	0,277
	Temperatura			-0,605	0,000	-0,537
	Coliformes totais	0,000	0,797	-0,398	0,358	-0,174
	D. WAC			0,505	0,594	-0,083
E. Direta	Temperatura			-0,536	0,128	-0,238
	Manganês			0,250	0,716	-0,058
	Alcalinidade			0,278	0,047	0,309
	Turvação	0,000	0,778	0,339	0,098	0,259
	D. Ozono			0,491	0,001	0,503
	D. Poli			0,321	0,001	0,491

Ao observar os resultados presentes na tabela 6.11, foi possível verificar que alguns parâmetros, apesar de significativos na regressão linear, não mostraram um valor de sig inferior a 0,05 aquando da correlação de *Pearson*. Por isso, esses parâmetros não foram considerados como tendo uma relação aceitável com a respetiva energia.

Deste modo, a energia indireta associada ao ozono teve uma maior relação com os parâmetros de qualidade, temperatura e E. coli, e com o parâmetro de tratamento, dose de CAP. Isto pode dever-se ao facto do ozono ter como função reduzir a quantidade de matéria orgânica, eliminar gostos e cheiros e controlar a presença de algas e de outros microrganismos. Tal como referido no capítulo 6.1, a temperatura tem uma forte relação com o carbono orgânico dissolvido, provavelmente devido à influência da temperatura nos fenómenos biológicos que possam ocorrer nas massas de água bruta, nomeadamente entre a disponibilidade do carbono e os microrganismos. Pela razão referida, a quantidade de E.coli e a temperatura vão influenciar a quantidade de ozono. O CAP permite adsorver compostos orgânicos voláteis, nomeadamente os compostos orgânicos formados, resultantes da aplicação de ozono numa água a tratar com presença de matéria orgânica, daí a relação entre eles.

A energia indireta associada ao CO₂ teve uma maior relação com os pelos parâmetros de qualidade, dureza total e E. coli, e com o parâmetro de tratamento, dose de leite de cal. Isto pode dever-se ao facto do CO₂ e leite de cal serem doseados com o objetivo de corrigir o pH de modo a atingir um maior rendimento do coagulante. A relação do CO₂ e do leite de cal com a dureza total pode estar relacionada com a necessidade de acertar o pH para fazer precipitar o cálcio e magnésio, assim, a relação entre a remoção de dureza e o acerto do pH.

A energia indireta associada ao Leite de Cal teve uma maior relação com o parâmetro de tratamento, dose de CO₂. Isto pode dever-se, tal como referido anteriormente, ao facto do CO₂ e leite de cal serem doseados com o objetivo de corrigir o pH de modo a atingir um maior rendimento do coagulante.

A energia indireta associada ao WAC teve uma maior relação com os parâmetros de qualidade, dureza total e E. coli. Uma que vez o coagulante tem a função de desestabilizar a matéria em suspensão é de esperar a sua relação com a dureza total e E. coli uma vez que estas vão estar presentes no processo de destabilização de forma a posteriormente formarem um floco.

A energia indireta associada ao CAP teve uma maior relação com o parâmetro de tratamento, dose de ozono. Como referido anteriormente existe uma relação clara entre o CAP e o ozono.

A energia indireta associada ao desinfetante teve uma maior relação com o parâmetro de qualidade, dureza total. Isto pode dever-se ao do desinfetante ter como objetivo a remoção de microrganismos patogénicos e à dureza total ter uma relação com a E.coli.

A energia indireta associada ao polieletrólito teve uma maior relação com os parâmetros de qualidade, dureza total e temperatura. Isto pode dever-se, mais uma vez, à temperatura ter uma forte relação com o carbono orgânico dissolvido, provavelmente devido à influência da temperatura nos fenómenos biológicos, nomeadamente entre a disponibilidade do carbono e os microrganismos. Deste modo, à uma maior produção de lamas e assim ter-se-á de utilizar mais polieletrólito.

A energia indireta associada às lamas teve uma maior relação com o parâmetro de qualidade, temperatura. Isto pode dever-se ao facto da temperatura influenciar os fenómenos biológicos e por sua vez influenciar o carbono e os microrganismos. E ainda ao facto das lamas serem constituídas por água, precipitados dos reagentes utilizados e outros materiais removidos da água bruta. Assim, é de

esperar que quando maior a temperatura, mais matéria orgânica na água e assim é necessário mais reagentes para a sua remoção logo as lamas vão conter mais precipitados.

A energia direta associada à eletricidade teve uma maior relação com o parâmetro de qualidade, alcalinidade e com os parâmetros de tratamento, dose de ozono e de polieletrólito. Isto pode dever-se ao facto da alcalinidade estar associada a valores elevados pH, dureza e elevada concentração de sólidos dissolvidos que podem afetar o rendimento do sistema de tratamento da água. A alcalinidade das águas destinadas a abastecimento público é essencial para a eficácia dos tratamentos de coagulação, amaciamento e controlo da corrosão nas condutas de distribuição.

Os parâmetros de qualidade com uma maior relação com a energia total consumida foram a temperatura, E.coli, e dureza total. Sendo que a temperatura teve uma maior relação com a energia indireta do ozono, do polieletrólito e das lamas. A E. coli teve uma maior relação com a energia indireta do ozono, do CO₂, do leite de cal e do WAC. A dureza total teve uma maior relação com a energia indireta do CO₂, do leite de cal, do WAC, do desinfetante e do polieletrólito. Assim, verificou-se que a dose de reagentes teve um grande peso na energia indireta e que os parâmetros de qualidade estão relacionados com a energia indireta associada a cada reagente. Existiu uma relação entre a qualidade da água bruta e a energia total consumida, principalmente devido a alterações nas dosagens dos reagentes.

7. Conclusões

Tendo em conta os resultados obtidos, este estudo permitiu concluir que:

- Os parâmetros de qualidade cuja variância explica melhor a qualidade da água afluyente à ETA de Santa Águeda são: a dureza total, temperatura, microrganismos a 22°C, E. coli, manganês, alcalinidade, turvação e coliformes totais;
- A energia direta da ETASA, tendo em conta apenas a eletricidade consumida, é em média de 1,3 MJ/m³ de água tratada. A fase do tratamento com um maior consumo (60%) de energia direta é o tratamento da fase líquida;
- A energia indireta da ETASA está associada ao transporte de lamas a destino final e à produção e transporte dos reagentes utilizados no tratamento da água: ozono, dióxido de carbono, leite de cal, coagulante (WAC), carvão ativado em pó, desinfetante (cloro e hipoclorito de sódio), polieletrólito para o espessamento e polieletrólito para a desidratação.
- A energia indireta representa, em média, cerca de 1 MJ/m³ de água tratada. A energia indireta é maioritariamente devida à produção de reagentes, representando 73% da energia indireta total. A energia associada ao transporte corresponde a cerca de 27% da energia indireta total. O reagente que mais impacto tem no consumo de energia indireta é o dióxido de carbono com 18% da energia total, seguido do transporte de lamas com 9%;
- A energia total consumida na ETASA é em média de 2,3 MJ/m³ sendo que 44% corresponde a energia indireta e 56% a energia direta;
- As emissões de carbono associadas à energia total consumida na ETASA são em média de 945 ton CO₂/ano;
- Existe uma relação entre a qualidade da água afluyente e a energia total consumida, principalmente devido a mudanças nas dosagens de reagentes no tratamento da água.
- Os parâmetros de qualidade com uma maior relação com a energia total consumida são a temperatura, E.coli e dureza total.

8. Desenvolvimentos Futuros

De modo a aprofundar o conhecimento sobre a energia direta e indireta numa estação de tratamento de água e a sua relação com a qualidade da água afluyente, propõe-se o seguinte:

- Detalhar os consumos de energia eléctrica associados a cada processo de tratamento, uma vez que apenas se conseguiu agrupar a energia direta em energia consumida na fase sólida, fase líquida e elevação;
- Fazer uma análise de ciclo de vida com os reagentes utilizados na ETA de forma a encontrar o valor de energia de produção de cada reagente, em vez de adotar valores de produção extrapolados de outros locais;
- Sabendo que existe uma relação entre a energia consumida e a dosagem dos reagentes, avaliar alternativas de reagentes de forma a minimizar a energia consumida;
- Sabendo que existe uma relação entre a energia consumida e a qualidade da água bruta, avaliar de que modo se pode controlar a qualidade da origem de água de forma a minimizar a energia consumida e verificar se essa alteração é significativa;
- Avaliar de que modo a alteração dos processos de tratamento pode minimizar a energia;
- Aplicar esta metodologia a outras ETA em Portugal e comparar os resultados;
- Aplicar esta metodologia a estações de tratamento de águas residuais.

Referências Bibliográficas

- ADENE. (2018). *Uso eficiente de energia nos serviços de águas*.
- ADENE. (2019). Setor Energético. Obtido 12 de Março de 2019, de <https://www.portugalenergia.pt/setor-energetico/>
- AdP. (2016). Captação de Sta. Águeda,. Obtido 3 de Dezembro de 2018, de <http://www.adpinternacional.com/pt//?id=61&img=89&bl=11>
- AdP. (2018). *Relatório de Sustentabilidade 2017*. Obtido de <http://www.copasa.com.br/ri-sustentabilidade-2017-portugues.pdf>
- Ahmadi, A., Tiruta-Barna, L., Benetto, E., Capitanescu, F., & Marvuglia, A. (2016). On the importance of integrating alternative renewable energy resources and their life cycle networks in the eco-design of conventional drinking water plants. *Journal of Cleaner Production*, 135, 872–883. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.201>
- Alvarez-gaitan, J. P., Peters, G. M., Rowley, H. V, Moore, S., & Short, M. D. (2013). INPUT-OUTPUT AND HYBRID LCA A hybrid life cycle assessment of water treatment chemicals : an Australian experience, 1291–1301. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0574-4>
- Alves, C. (2010). *Tratamento de Águas de Abastecimento*. (E. T. Publindústria, Ed.) (3ª).
- Ananda, J. (2018). Productivity implications of the water-energy-emissions nexus: An empirical analysis of the drinking water and wastewater sector. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1097–1105. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.145>
- APA. (2012). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Lisboa.
- APA. (2019). Consequências das Alterações Climáticas. Obtido 7 de Fevereiro de 2019, de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=122>
- Baykal, B. B., Tanik, A., & Gonenc, I. E. (2003). The impact of watershed land use on maintaining acceptable quality influents for water treatment plants. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 52(8), 587–596.
- CINERGIA. (2019a). Centro de Informação para a Energia. Obtido 22 de Março de 2019, de <https://www.cinergia.pt/pt/#/>
- CINERGIA. (2019b). Energia no Meu País. Obtido 22 de Março de 2019, de <https://www.cinergia.pt/pt/energia-no-meu-pais/>
- Cristtenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. w., Howe, K. J., & Techobanoglous, G. (2012). *MWH'S Water Treatment: Principles and Design* (Third Edit).
- Davis, M. L. (2010). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. eBook: McGraw-Hill Inc. <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Degrémont Ibéria. (sem data-a). Estação de Tratamento de Água de Santa Águeda. Obtido 3 de

- Dezembro de 2018, de <http://www.degremont.pt/pt/index.php/disenho-y-construccion/etap-dyc-ref/230-estacao-de-tratamento-de-agua-de-santa-agueda.html>
- Degrémont Ibéria. (sem data-b). Tratamento de Lamas da ETA de Santa Águeda. Obtido 3 de Dezembro de 2018, de <http://www.degremont.pt/pt/index.php/disenho-y-construccion/fangos-dyc-ref/eta/287-tratamento-de-lamas-da-eta-de-santa-agueda.html>
- DGEG. (2018a). Observatório da Energia - Energia em Números - Energia Final. Obtido 19 de Março de 2019, de <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/energia-em-numeros/portugal/1990/2016/bar/tep/751-752-753,754,765,766,767,768,769,770,776>
- DGEG. (2018b). Observatório da Energia - Energia em Números - Energia Primária. Obtido 17 de Março de 2019, de <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/energia-em-numeros/portugal/1990/2016/bar/tep/496-497-498,499,500,501,506,514>
- DGEG. (2019). Política Energética - Caracterização Energética Nacional. Obtido de 2019-04-17
- D.L. n.º 236/98 de 1 de Agosto. Decreto-Lei no 236/98 de 1 de Agosto do Ministério do Ambiente, Pub. L.. Diário da República: I Série-A, n.º 176 (1998). Obtido de <https://dre.pt/pesquisa/-/search/430457/details/maximized>
- D.L. nº 306/2007 de 27 de Agosto. «Decreto-Lei no 306/2007 do Ministério Do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional de 27 de Agosto sobre a regulação da qualidade da água utilizada para consumo humano», Diário da República: I Série, (164), pp. 5747–5765. Obtido de <https://dre.pt/pesquisa/-/search/640931/details/maximized>
- EC. (2013). *Member States' Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment. General for Economic and Financial Affairs-Occasional Papers 145*. <https://doi.org/10.2765/41957>
- EEA. (2019). Climate impacts on water resources. Obtido 5 de Fevereiro de 2019, de <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources/climate-impacts-on-water-resources>
- EIA. (2018). What Is Energy? Explained. Obtido 20 de Março de 2019, de https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=about_home
- Eisenberg, J. N. S., Bartram, J., & Hunter, P. R. (2001). A public health perspective for establishing water-related guidelines and standards. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*, 229–256. Obtido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/iwachap11.pdf
- ERSAR. (2017). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal – Controlo da qualidade da água para consumo humano* (Vol. 2).
- ERSAR. (2019). Missão, Atribuições e Poderes. Obtido 20 de Março de 2019, de <http://www.ersar.pt/pt/a-ersar/missao-atribuicoes-e-poderes>
- Goldstein, R., & Smith, W. (2002). Water & Sustainability: U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment - The Next Half Century. *Water Supply*, 4(Volume 4), 93. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- 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>
- Institute for Digital Research & Education. (2019). Principal Components Analysis | SPSS. Obtido 12 de Janeiro de 2019, de <https://stats.idre.ucla.edu/spss/output/principal-components-analysis/>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416.005>
- IPCC. (2018). IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C., 1–21.
- Kennedy, C., Steinberger, J., Gasson, B., Hansen, Y., Hillman, T., Havránek, M., ... Mendez, G. V. (2009). Greenhouse Gas Emissions from Global Cities. *Environmental Science & Technology*, 43(19), 7297–7302. <https://doi.org/10.1021/es900213p>
- Lee, M., Keller, A. A., Chiang, P. C., Den, W., Wang, H., Hou, C. H., ... Yan, J. (2017). Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. *Applied Energy*, 205(June), 589–601. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.002>
- Mano, A. P. (2016). *Abastecimento Público de Água*.
- McGraw-Hill. (1990). *Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies*. (F. W. Pontius, Ed.) (Fourth).
- Megdal, S., Newman, D., Eden, S., & Gelt, J. (2010). The Water-Energy Nexus.
- Melody, M., Whitehead, C. D., Brown, R., Energy, E., Division, T., Orlando, E., ... Road, O. C. (2010). IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING COSTS IN THE An ENERGY STAR Resource Guide for Energy and Plant Managers Moya Melody , Camilla Dunham Whitehead , and Richard Brown Environmental Energy Technologies Division Ernest Orlando Lawrence Berkeley Nation, (1).
- Mendes, B., & Oliveira, J. F. S. (2004). *Qualidade da água para consumo humano*. (L. LIDEL, Edições Técnicas, Ed.).
- Mo, W., Zhang, Q., Mihelcic, J. R., & Hokanson, D. R. (2011). Embodied energy comparison of surface water and groundwater supply options. *Water Research*, 45(17), 5577–5586. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.016>
- Molinos-Senante, M., & Guzmán, C. (2018). Benchmarking energy efficiency in drinking water treatment plants: Quantification of potential savings. *Journal of Cleaner Production*, 176, 417–425. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.178>
- Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2017). Energy intensity of treating drinking water: Understanding the influence of factors. *Applied Energy*, 202, 275–281.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.100>

Olsson, G. (2015). *Water and energy: threats and opportunities* (2nd ed.). London.

PNEC. (2019). Plano Nacional Integrado Energia-Clima: Linhas de Atuação para o Horizonte 2021-2030. Obtido de <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=0eada7c4-4f17-4d13-a879-6700f302b7e0>

Racoviceanu, A. I., Karney, B. W., Asce, M., 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))

REA. (2018). Relatório do Estado do Ambiente 2018.

Roadmap, T. (2018). *to a Low-Carbon Urban Water Utility The Roadmap to a Low-Carbon Urban Water Utility An international guide to.*

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>

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>

Stokes, J. R., & Horvath, A. (2009). Energy and air emission effects of water supply. *Environmental Science and Technology*, 43(8), 2680–2687. <https://doi.org/10.1021/es801802h>

U.S. Department of Energy. (2018). Energy sources. Obtido 3 de Julho de 2018, de <https://www.energy.gov/science-innovation/energy-sources>

UNESCO. (2003). World Water Development Report: Water for People Water for Life. *Water*, 36.

United Nations Climate Change. (2019). The Paris Agreement. Obtido 10 de Abril de 2019, de <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.* [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)

WHO. (2018). Drinking-water. Obtido 9 de Outubro de 2018, de <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Wolfson, R. (2008). *Energy Environment and Climate* (First).

Yonkin, M., Clubine, K., & O'Connor, K. (2008). Importance of Energy Efficiency to the Water and Wastewater Sector, 12–13. Obtido de <https://nywea.org/clearwaters/08-1-spring/03-Energy.pdf>

Anexos

Anexo I

A tabela seguinte mostra a qualidade, as águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano classificadas nas categorias A1, A2 e A3, de acordo com as normas de qualidade.

Qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano (FONTE: DL 236/98)

Parâmetros	Unidade	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
pH, 25°C	Escala de Sorensen	6,5-8,5	-	5,5-9,0	-	5,5-9,0	-
Cor (após filtração simples)	mg/l, escala Pt-Co	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos suspensos totais	mg/l	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(O) 25	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade	µS/cm, 20°C	1 000	-	1 000	-	1 000	-
Cheiro	Fator de diluição, a 25°C	3	-	10	-	20	-
Nitratos (*)	mg/l NO ₃	25	(O) 50	-	(O) 50	-	(O) 50
Fluoretos (1)	mg/l F	0,7-1,0	1,5	0,7-1,7	-	0,7-1,7	-
Cloro orgânico total extraível	mg/l Cl	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido (*)	mg/l Fe	0,1	0,3	1,0	2,0	1,0	-
Manganês (*)	mg/l Mn	0,05	-	0,10	-	1,00	-
Cobre	mg/l Cu	0,02	(O) 0,05	0,05	-	1,00	-
Zinco	mg/l Zn	0,5	3,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Boro	mg/l B	1,0	-	1,0	-	1,0	-
Berílio	mg/l Be	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/l Co	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg/l Ni	-	-	-	-	-	-
Vanádio	mg/l V	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/l As	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,10
Cádmio	mg/l Cd	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Crómio total	mg/l Cr	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Chumbo	mg/l Pb	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Selénio	mg/l Se	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Mercúrio	mg/l Hg	0,0005	0,001	0,0005	0,0010	0,0005	0,001
Bário	mg/l Ba	-	0,1	-	1,0	-	1,0
Cianetos	mg/l CN	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/l So ₄	150	250	150	(O) 250	150	(O) 250
Cloretos	mg/l Cl	200	-	200	-	200	-

Parâmetros	Unidade	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
Sunstâncias tensoativas (que reagem com o azul-de-metileno)	mg/l, sulfato de lauril e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos (*) (2)	mg/l P ₂ O ₅	0,4	-	0,7	-	0,7	-
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	-	0,001	0,001	0,005	0,01	0,100
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/l	-	0,05	-	0,20	0,50	1,00
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	1,0
Pesticidas totais (paratião, hexaclorociclohexano, dieldrina e outros)	µg/l	-	1	-	2,5	-	5,0
Carência química de oxigênio (CQO) (*)	mg/l O ₂	-	-	-	-	30	-
Oxigênio dissolvido (*) (3)	% saturação de O ₂	70	-	50	-	30	-
Carência bioquímica de oxigênio a (CBO ₅ , 20°C) (*)	mg/l O ₂	3	-	5	-	7	-
Azoto Kjeldahl (excluindo o azoto de NO ₂ e NO ₃)	mg/l N	1	-	2	-	3	-
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	0,05	-	1,00	1,50	2,00	(O) 4,00
Substâncias extraíveis com clorofórmio	mg/l	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Carbono orgânico total (COT)	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Carbono orgânico residual após floculação e filtração através de membrana (5 µm)	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Coliformes totais	/100 ml	50	-	5 000	-	50 000	-
Coliformes fecais	/100 ml	20	-	2 000	-	20 000	-
Estreptococos fecais	/100 ml	20	-	1 000	-	10 000	-
Salmonelas		Ausência em 5 000 ml	-	Ausência em 1 000 ml	-	-	-

(O) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais.

(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de pouca profundidade e baixa taxa de renovação.

(¹) Os valores indicados constituem os limites inferior e superior das concentrações, determinados em função da média anual das temperaturas máximas diárias.

(²) Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas de certos meios.

(³) Refere-se a um VmR.

VMR — valor máximo recomendado.

VMA — valor máximo admissível.

A tabela seguinte mostra os valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano estipulados no D.L. 306/07 de 27 de Agosto.

Qualidade da água para consumo humano (FONTE: DL 306/07)

Parâmetros	Unidade	Valor paramétrico
Parâmetros microbiológicos		
Escherichia coli (E. coli)	Número/100 ml	0
Enterococos	Número/100 ml	0
Parâmetros químicos		
Acrilamida	µg/l	0,10
Antimónio	µg/l Sb	5,0
Arsénio	µg/l As	10
Benzeno	µg/l	1,0
Benzo(a)pireno	µg/l	0,010
Boro	µg/l B	1,0
Bromatos	µg/l BrO ₃	10
Cádmio	µg/l Cd	5,0
Crómio	µg/l Cr	50
Cobre	µg/l Cu	2,0
Cianetos	µg/l CN	50
1,2-Dicloroetano	µg/l	3,0
Epicloridrina	µg/l	0,10
Fluoretos	µg/l F	1,5
Chumbo	µg/l Pb	10
Mercúrio	µg/l Hg	1
Níquel	µg/l Ni	20
Nitratos	µg/l NO ₃	50
Nitritos	µg/l NO ₂	0,5
Pesticida individual	µg/l	0,10
Pesticidas - total	µg/l	0,50
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)	µg/l	0,10 (soma das concentrações individuais)
Selénio	µg/l Se	10

Parâmetros	Unidade	Valor paramétrico
Tetracloroeteno e tricloroeteno	µg/l	10 (soma das concentrações individuais)
Trihalometanos - total (THM)	µg/l	100
Cloreto de vinilo	µg/l	0,50
Parâmetros indicadores		
Alumínio	µg/l Al	200
Amônio	mg/l NH4	0,50
Cálcio	mg/l Ca	-
Cloretos	mg/l Cl	250
Clostridium perfringens (incluindo esporos)	Número/100 ml	0
Cor	mg/l PtCo	20
Condutividade	µS/cm a 20°C	2500
Dureza total	mg/l CaCO3	-
pH	Escala de Sorensen	≥6,5 e ≤9
Ferro	µg/l Fe	200
Magnésio	mg/l Mg	-
Manganésio	µg/l Mn	50
Microcistinas - LR total	µg/l	1
Cheiro	Fator de diluição a 25°C	3
Oxidabilidade	mg/l O2	5
Sulfatos	mg/l SO4	250
Sódio	mg/l Na	200
Sabor	Fator de diluição a 25°C	3
Número de colônias	Número/ml a 22°C	Sem alteração anormal
Número de colônias	Número/ml a 37°C	Sem alteração anormal
Bactérias coliformes	Número/100 ml	0
Carbono orgânico total (COT)	mg/l C	Sem alteração anormal
Turvação	UNT	4
α-total	Bq/l	0,5
β-total	Bq/l	1
Trítio	Bq/l	100
Dose indicativa total	mSv/ano	0,10
Desinfetante residual	mg/l	-

Anexo II

Matriz de componentes principais (completa)

Component Matrix^a

	Component					
	1	2	3	4	5	6
Absorvância a 254 nm	,374	,221	-,118	-,324	,266	,513
Alcalinidade	,101	,287	,255	,434	-,322	,573
Alumínio	-,275	-,674	-,327	-,383	,208	,135
Azoto Amoniacal NH4	-,655	-,182	,177	,080	-,079	,051
Cálcio	-,945	-,049	,065	,036	,195	,090
Carbono Orgânico Dissolvido COD Agroleico	-,139	,742	-,062	-,258	-,026	,319
Carbono Orgânico Total TOC Agroleico	,052	,521	,725	,197	-,190	,088
Cheiro a 25C	,884	-,289	-,045	,254	,033	,066
Cloretos	-,327	,081	,417	,453	,263	-,195
Condutividade 20C	-,348	,420	-,343	,501	-,260	-,215
Contagem de Coliformes fecais	,358	,139	,501	-,314	,222	-,211
Contagem de Coliformes totais	-,486	,160	,076	-,028	,151	,184
Contagem de Escherichia coli	,149	,476	,117	-,551	-,223	-,326
Contagem de microrganismos a 22C	-,149	,125	-,763	-,339	-,029	-,056
Contagem de microrganismos a 37C	,412	,477	-,467	-,260	,147	-,072
Cor	,001	-,482	,666	-,376	,273	,025
Dureza total	-,954	,009	,062	,014	,186	,061
Ferro	,141	-,017	-,118	,458	-,151	-,541
Fosfatos P2O5	,760	-,426	-,058	,393	,111	,157
Manganês	,249	,179	-,254	,179	,770	-,205
Oxidabilidade	,342	,364	,480	-,446	-,207	-,247
pH	,187	,427	,134	,355	,643	,015
Sólidos suspensos totais	,236	-,492	-,410	,086	-,280	,170
Temperatura	,185	,805	-,215	,130	,061	,243
Turvação	,315	-,396	,522	-,019	-,049	,143

Component Matrix^a

	Component					
	7	8	9	10	11	12
Absorvância a 254 nm	-,438	,135	-,091	,201	,047	,127
Alcalinidade	,191	-,195	,217	,070	,130	-,164
Alumínio	-,096	,017	,086	,203	,103	,025
Azoto Amoniacal NH4	-,214	-,440	-,002	-,303	,257	,220
Cálcio	,092	,004	,024	,123	,037	-,070
Carbono Orgânico Dissolvido COD Agroleico	-,340	,061	-,061	,175	,068	,001
Carbono Orgânico Total TOC Agroleico	-,092	,130	-,080	,197	-,140	-,031
Cheiro a 25C	-,036	,008	,065	,009	,177	,045
Cloretos	-,050	,076	,382	,273	-,055	,329
Condutividade 20C	-,193	,076	,264	,029	-,104	-,013
Contagem de Coliformes fecais	-,005	,063	,394	-,045	,152	-,409
Contagem de Coliformes totais	,415	,600	-,037	-,222	,188	,084
Contagem de Escherichia coli	-,053	-,043	,300	,048	,324	,078
Contagem de microrganismos a 22C	,238	-,117	,041	,309	-,074	-,135
Contagem de microrganismos a 37C	,433	-,140	,029	,030	-,019	,181
Cor	-,036	,218	-,074	-,017	-,030	-,020
Dureza total	,068	,036	,028	,092	-,017	-,085
Ferro	-,061	,282	-,386	,271	,282	-,051
Fosfatos P2O5	-,007	,013	,004	,019	,128	,021
Manganês	-,113	,006	,197	-,071	-,033	,099
Oxidabilidade	-,012	,011	-,095	-,117	-,257	,156
pH	,032	-,235	-,176	-,064	-,107	-,201
Sólidos suspensos totais	-,124	,366	,348	-,135	-,223	-,019
Temperatura	,180	,175	-,006	-,164	,092	,106
Turvação	,445	-,140	,051	,309	-,029	,173

Component Matrix^a

	Component					
	13	14	15	16	17	18
Absorvância a 254 nm	-,009	,213	-,052	-,036	,175	-,005
Alcalinidade	,096	,089	,096	-,088	-,105	-,072
Alumínio	,185	,075	-,016	-,006	-,171	,082
Azoto Amoniacal NH4	,104	,146	,034	-,010	,075	-,054
Cálcio	-,078	,010	-,042	,057	,061	,033
Carbono Orgânico Dissolvido COD Agroleico	,136	-,231	,056	,096	-,094	,046
Carbono Orgânico Total TOC Agroleico	-,069	,026	,064	,004	,075	-,069
Cheiro a 25C	-,085	-,063	-,021	-,048	,010	,080
Cloretos	-,172	,119	-,010	-,042	-,109	,034
Condutividade 20C	,162	-,108	-,119	-,071	,143	,087
Contagem de Coliformes fecais	,113	,126	-,160	,022	,045	,000
Contagem de Coliformes totais	,083	,013	,133	-,103	,077	,088
Contagem de Escherichia coli	-,151	-,070	,189	,050	,017	,038
Contagem de microrganismos a 22C	-,065	,063	,087	-,217	,031	-,050
Contagem de microrganismos a 37C	-,039	,108	-,073	,157	,053	-,018
Cor	-,113	-,106	-,017	-,057	-,022	-,110
Dureza total	,015	,028	-,094	,096	-,015	,013
Ferro	,137	,152	,032	,060	-,035	-,069
Fosfatos P2O5	-,055	-,051	-,071	-,040	,012	,097
Manganês	,218	-,129	,103	-,056	,008	-,158
Oxidabilidade	,215	,156	-,011	-,107	-,091	,095
pH	-,026	,100	,200	,069	-,012	,134
Sólidos suspensos totais	,021	,139	,167	,175	-,002	-,043
Temperatura	-,036	,016	-,208	,021	-,134	-,075
Turvação	,258	-,108	,010	,092	,109	-,001

Component Matrix^a

	Component					
	19	20	21	22	23	24
Absorvância a 254 nm	-,005	-,038	,018	,001	,000	,000
Alcalinidade	-,033	-,006	,020	,012	,000	,000
Alumínio	,098	,010	-,003	,007	,000	,000
Azoto Amoniacal NH4	,036	,047	-,025	-,003	,000	,000
Cálcio	-,036	,072	,035	-,012	,000	,000
Carbono Orgânico Dissolvido COD Agroleico	-,052	,025	-,030	-,003	,000	,000
Carbono Orgânico Total TOC Agroleico	,040	,060	-,021	,001	,000	,000
Cheiro a 25C	-,018	,054	-,004	-,002	,000	,000
Cloretos	-,024	-,031	-,018	-,002	,000	,000
Condutividade 20C	,100	,011	,007	,011	,000	,000
Contagem de Coliformes fecais	-,019	-,008	-,022	-,005	,000	,000
Contagem de Coliformes totais	-,019	-,013	-,015	,002	,000	,000
Contagem de Escherichia coli	,043	,005	,029	,001	,000	,000
Contagem de microrganismos a 22C	,024	,043	-,019	-,009	,000	,000
Contagem de microrganismos a 37C	-,026	,035	-,015	,019	,000	,000
Cor	,093	,043	,002	,014	,000	,000
Dureza total	-,059	,036	,011	,009	,000	,000
Ferro	,001	,009	,005	,001	,000	,000
Fosfatos P2O5	-,037	,072	,000	,001	,000	,000
Manganês	-,050	,019	,015	-,001	,000	,000
Oxidabilidade	-,046	,054	,020	-,002	,000	,000
pH	,095	-,002	,001	,000	,000	,000
Sólidos suspensos totais	,019	,037	-,001	-,005	,000	,000
Temperatura	,115	,014	,010	-,014	,000	,000
Turvação	,052	-,020	,004	-,010	,000	,000

Component Matrix^a

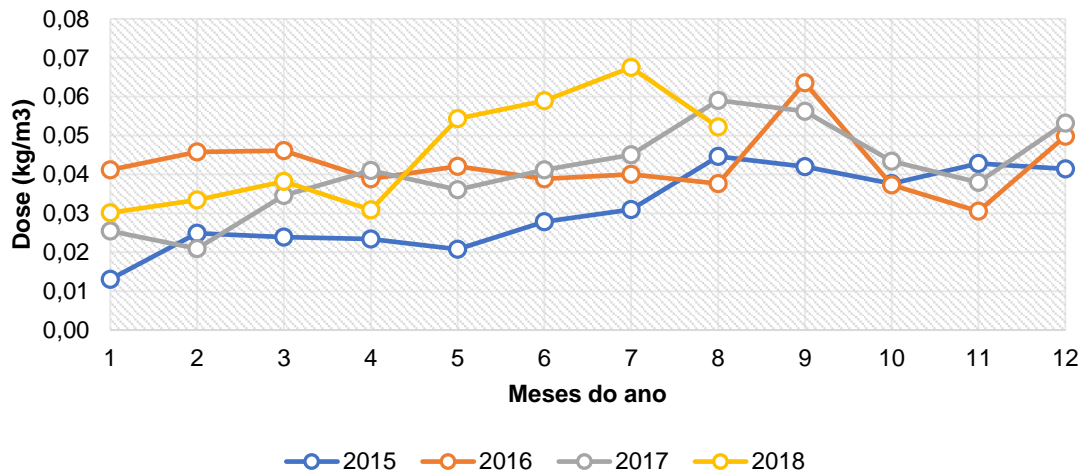
	Component
	25
Absorvância a 254 nm	,000
Alcalinidade	,000
Alumínio	,000
Azoto Amoniacal NH4	,000
Cálcio	,000
Carbono Orgânico Dissolvido COD Agroleico	,000
Carbono Orgânico Total TOC Agroleico	,000
Cheiro a 25C	,000
Cloretos	,000
Condutividade 20C	,000
Contagem de Coliformes fecais	,000
Contagem de Coliformes totais	,000
Contagem de Escherichia coli	,000
Contagem de microrganismos a 22C	,000
Contagem de microrganismos a 37C	,000
Cor	,000
Dureza total	,000
Ferro	,000
Fosfatos P2O5	,000
Manganês	,000
Oxidabilidade	,000
pH	,000
Sólidos suspensos totais	,000
Temperatura	,000
Turvação	,000

Extraction Method: Principal Component Analysis.^a

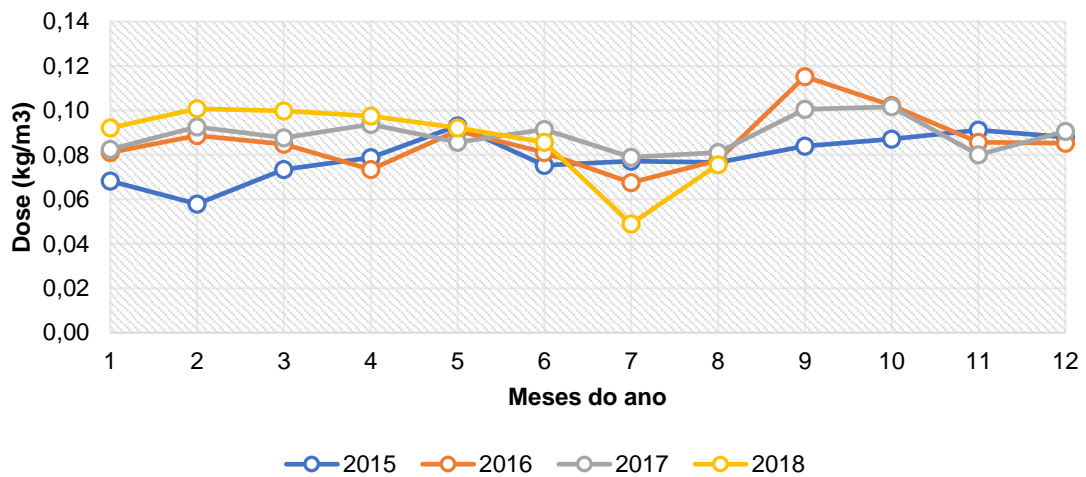
a. 25 components extracted.

Anexo III

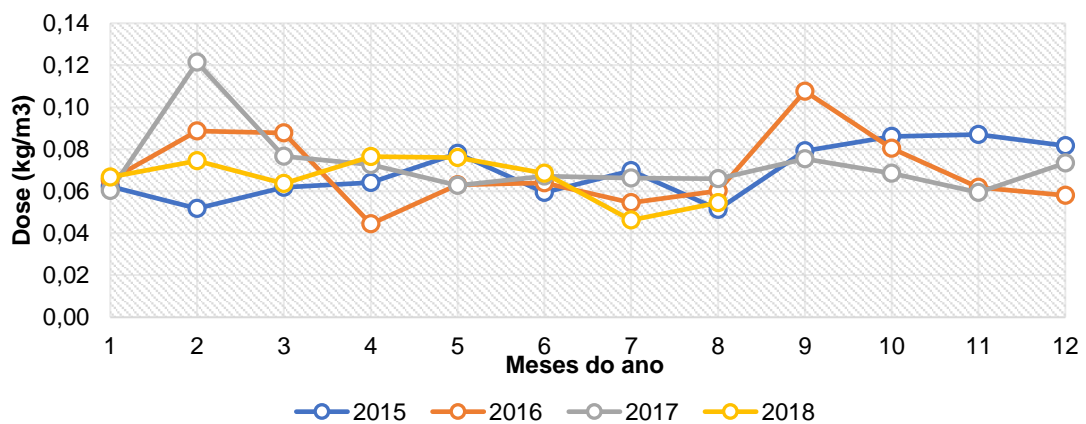
Dose de **ozono** por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018)



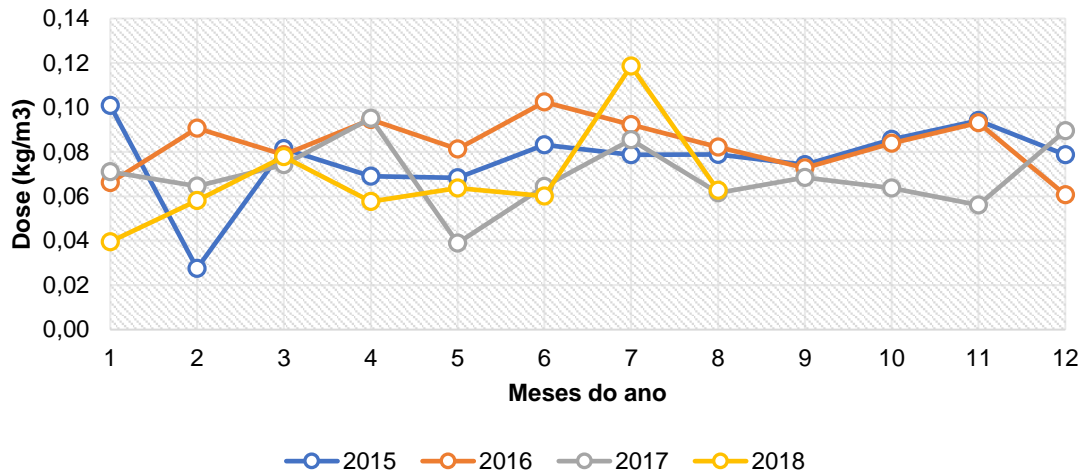
Dose de **CO₂** por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



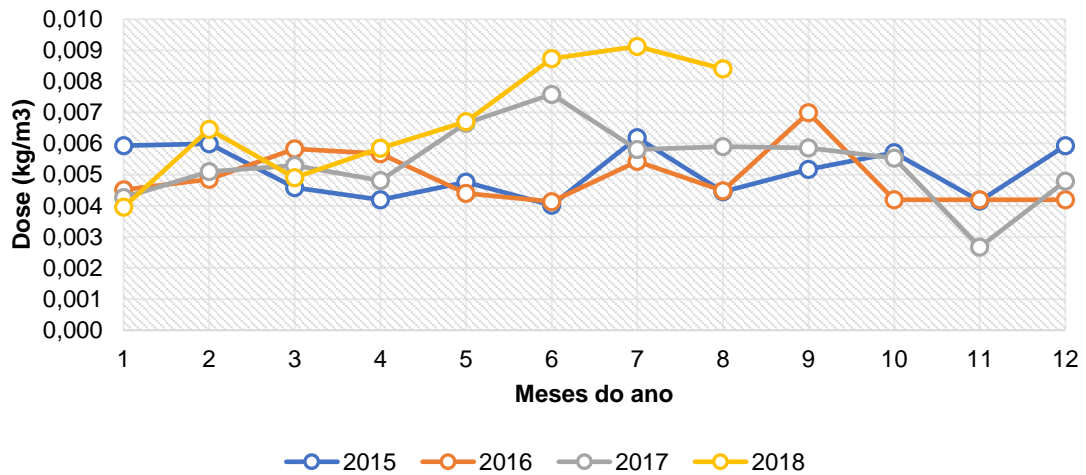
Dose de **leite de cal** por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



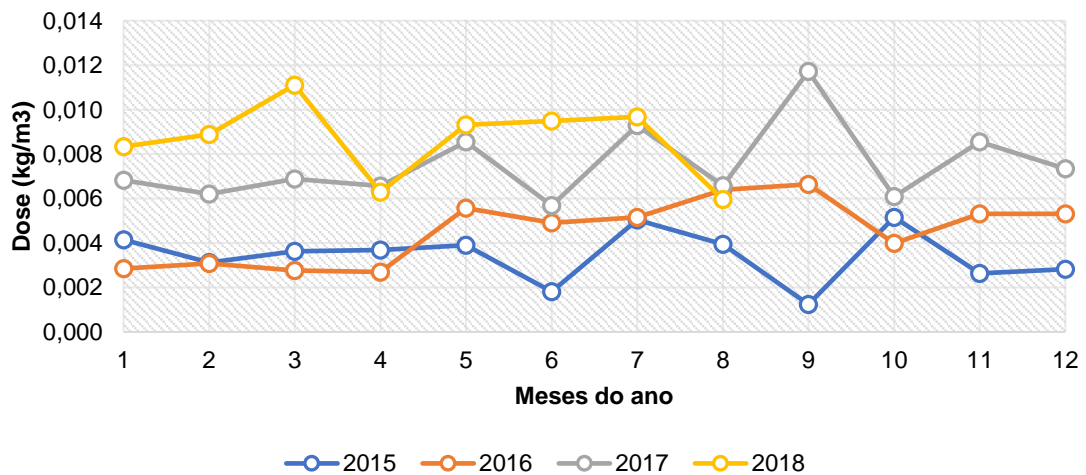
Dose de coagulante por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



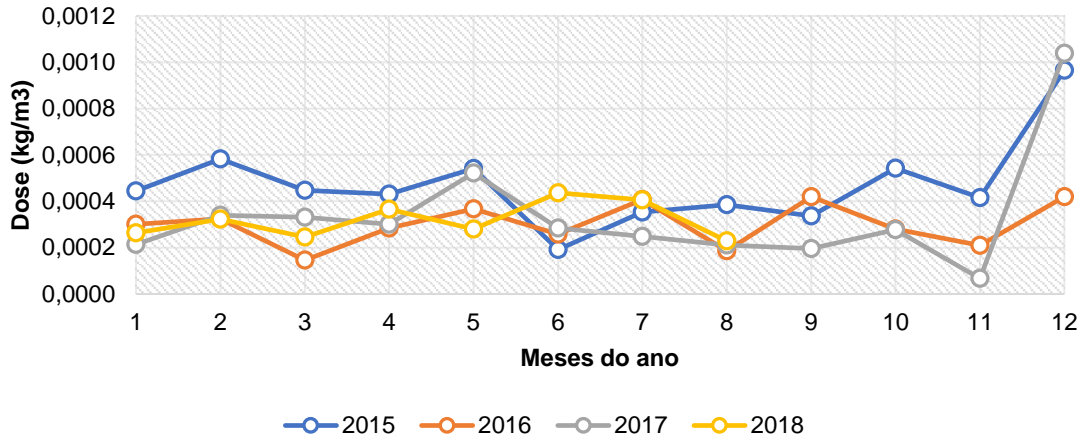
Dose de **CAP** por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



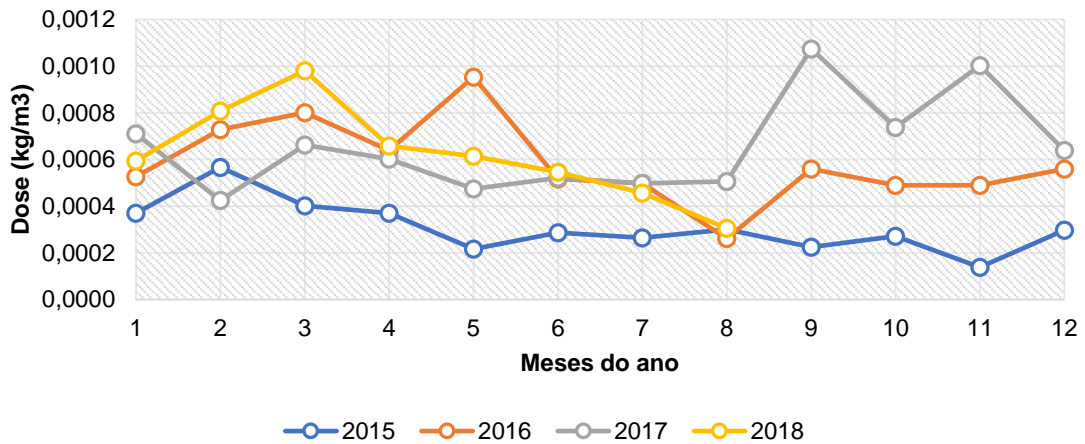
Dose de **desinfetante** por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



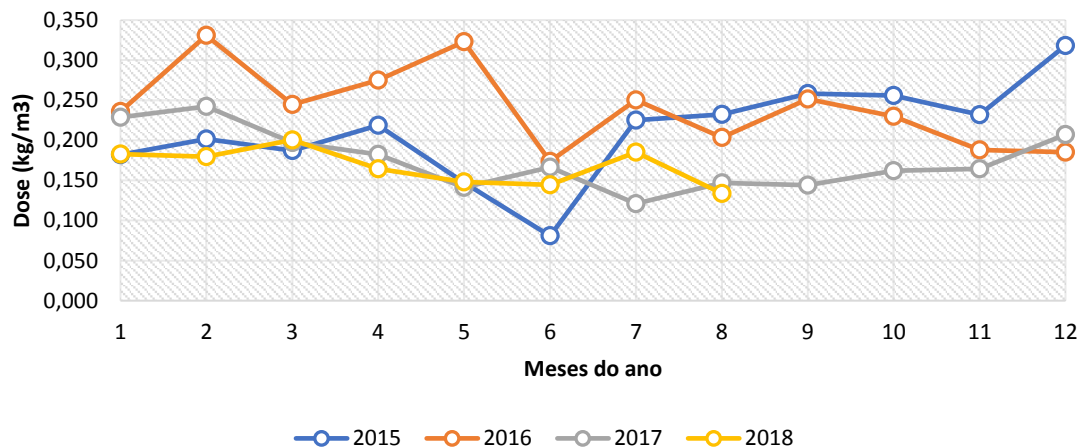
Dose de **polieletrólito** no espessamento por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



Dose de **polieletrólito** na desidratação por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



Dose de **lamas** na desidratação por volume de água tratada ao longo dos meses do ano (2015, 2016, 2017 e 2018).



Anexo IV

Quilómetros percorridos, número de viagens, quantidade transportada e ϵ _Transporte associados a cada reagente utilizado e lamas.

Oxigénio líquido	
Transporte	208 km
nr de viagens	45 nr
Quantidade transportada	783013 kg
ϵ _Transporte	0,134 MJ/kg
CO₂	
Transporte	235 km
nr de viagens	97 nr
Quantidade transportada	1535819 kg
ϵ _Transporte	0,166 MJ/kg
Hidróxido de Cálcio	
Transporte	164 km
nr de viagens	125 nr
Quantidade transportada	1347788 kg
ϵ _Transporte	0,170 MJ/kg
WAC	
Transporte	233 km
nr de viagens	73 nr
Quantidade transportada	1288422 kg
ϵ _Transporte	0,148 MJ/kg
CAP	
Transporte	286 km
nr de viagens	21 nr
Quantidade transportada	87500 kg
ϵ _Transporte	0,513 MJ/kg
Cloro	
Transporte	273 km
nr de viagens	46 nr
Quantidade transportada	82650 kg
ϵ _Transporte	1,137 MJ/kg
Hipoclorito de Sódio	
Transporte	279 km
nr de viagens	36 nr
Quantidade transportada	43904 kg
ϵ _Transporte	1,711 MJ/kg
Poli PO NA 956	
Transporte	300 km
nr de viagens	11 nr
Quantidade transportada	10800 kg
ϵ _Transporte	2,286 MJ/kg
Poli NA 934	
Transporte	300 km
nr de viagens	6 nr
Quantidade transportada	5850 kg
ϵ _Transporte	2,301 MJ/kg
Lamas	
Transporte	98 km
Transporte	128 km

O fator de energia de produção ($\epsilon_{\text{produção}}$, MJ/kg) mais o fator de energia de transporte ($\epsilon_{\text{produção}}$, MJ/kg), ou seja, o fator de energia total (ϵ_{Total} , MJ/kg) associados a cada reagente.

Reagente	ϵ_{Total}	Unidade
Oxigênio líquido	2,902	MJ/kg
CO₂	4,986	MJ/kg
Hidróxido de Cálcio	0,399	MJ/kg
WAC	2,273	MJ/kg
CAP	0,742	MJ/kg
Desinfetante	8,861	MJ/kg
Polieletrólito espessamento	3,150	MJ/kg
Polieletrólito desidratação	3,166	MJ/kg

Anexo V

Matriz de correlação de *Pearson* de todos os parâmetros.

Correlations

		Dureza total	Temperatura	Microrganismos a 22°C
Dureza total	Pearson Correlation	1	-,113	,113
	Sig. (2-tailed)		,465	,466
	N	44	44	44
Temperatura	Pearson Correlation	-,113	1	,149
	Sig. (2-tailed)	,465		,329
	N	44	45	45
Microrganismos a 22°C	Pearson Correlation	,113	,149	1
	Sig. (2-tailed)	,466	,329	
	N	44	45	45
Escherichia coli	Pearson Correlation	-,164	,142	,118
	Sig. (2-tailed)	,333	,396	,480
	N	37	38	38
Manganês	Pearson Correlation	-,123	,283	,121
	Sig. (2-tailed)	,425	,059	,429
	N	44	45	45
Alcalinidade	Pearson Correlation	-,313*	,203	-,126
	Sig. (2-tailed)	,039	,181	,408
	N	44	45	45
Turvação	Pearson Correlation	-,062	-,402**	-,297*
	Sig. (2-tailed)	,690	,006	,047
	N	44	45	45
Coliformes totais	Pearson Correlation	,530**	,280	,133
	Sig. (2-tailed)	,003	,134	,482
	N	30	30	30
D_Ozono	Pearson Correlation	,094	,448**	-,023
	Sig. (2-tailed)	,544	,002	,882
	N	44	44	44

D_CO2	Pearson Correlation	,417**	-,060	,071
	Sig. (2-tailed)	,005	,701	,646
	N	44	44	44
D_Leite de cal	Pearson Correlation	,087	-,164	,067
	Sig. (2-tailed)	,573	,289	,665
	N	44	44	44
D_WAC	Pearson Correlation	-,407**	,211	-,191
	Sig. (2-tailed)	,006	,170	,215

Correlations

		Escherichia coli	Manganês	Alcalinidade
Dureza total	Pearson Correlation	-,164	-,123	-,313
	Sig. (2-tailed)	,333	,425	,039
	N	37	44	44
Temperatura	Pearson Correlation	,142	,283	,203
	Sig. (2-tailed)	,396	,059	,181
	N	38	45	45
Microrganismos a 22°C	Pearson Correlation	,118	,121	-,126
	Sig. (2-tailed)	,480	,429	,408
	N	38	45	45
Escherichia coli	Pearson Correlation	1	-,045	-,082
	Sig. (2-tailed)		,786	,625
	N	38	38	38
Manganês	Pearson Correlation	-,045	1	-,154
	Sig. (2-tailed)	,786		,313
	N	38	45	45
Alcalinidade	Pearson Correlation	-,082*	-,154	1
	Sig. (2-tailed)	,625	,313	
	N	38	45	45

Turvação	Pearson Correlation	-,103	-,229**	,216*
	Sig. (2-tailed)	,539	,130	,153
	N	38	45	45
Coliformes totais	Pearson Correlation	-,088**	,074	-,127
	Sig. (2-tailed)	,643	,697	,502
	N	30	30	30
D_Ozono	Pearson Correlation	,404	,024**	,238
	Sig. (2-tailed)	,013	,879	,120
	N	37	44	44
D_CO2	Pearson Correlation	-,433**	-,224	,139
	Sig. (2-tailed)	,007	,144	,367
	N	37	44	44
D_Leite de cal	Pearson Correlation	-,296	-,176	,134
	Sig. (2-tailed)	,075	,253	,387
	N	37	44	44
D_WAC	Pearson Correlation	,426**	,086	,203
	Sig. (2-tailed)	,009	,580	,186

Correlations

		Turvação	Coliformes totais	D_Ozono	D_CO2
Dureza total	Pearson Correlation	-,062	,530	,094	,417
	Sig. (2-tailed)	,690	,003	,544	,005
	N	44	30	44	44
Temperatura	Pearson Correlation	-,402	,280	,448	-,060
	Sig. (2-tailed)	,006	,134	,002	,701
	N	45	30	44	44
Microorganismos a 22°C	Pearson Correlation	-,297	,133	-,023	,071
	Sig. (2-tailed)	,047	,482	,882	,646
	N	45	30	44	44
Escherichia coli	Pearson Correlation	-,103	-,088	,404	-,433
	Sig. (2-tailed)	,539	,643	,013	,007

	N	38	30	37	37
	Pearson Correlation	-,229	,074	,024	-,224
Manganês	Sig. (2-tailed)	,130	,697	,879	,144
	N	45	30	44	44
	Pearson Correlation	,216*	-,127	,238	,139
Alcalinidade	Sig. (2-tailed)	,153	,502	,120	,367
	N	45	30	44	44
	Pearson Correlation	1	-,056**	-,032*	,166
Turvação	Sig. (2-tailed)		,768	,837	,281
	N	45	30	44	44
	Pearson Correlation	-,056**	1	,415	,162
Coliformes totais	Sig. (2-tailed)	,768		,023	,393
	N	30	30	30	30
	Pearson Correlation	-,032	,415**	1	,122*
D_Ozono	Sig. (2-tailed)	,837	,023		,429
	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	,166**	,162	,122	1**
D_CO2	Sig. (2-tailed)	,281	,393	,429	
	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	,198	,147	,012	,649
D_Leite de cal	Sig. (2-tailed)	,198	,437	,938	,000
	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	,088**	-,128	,135	-,225**
D_WAC	Sig. (2-tailed)	,571	,501	,381	,142

Correlations

		D_Leite de cal	D_WAC	D_CAP
Dureza total	Pearson Correlation	,087	-,407	,008
	Sig. (2-tailed)	,573	,006	,961
	N	44	44	44
Temperatura	Pearson Correlation	-,164	,211	,303
	Sig. (2-tailed)	,289	,170	,045
	N	44	44	44
Microrganismos a 22°C	Pearson Correlation	,067	-,191	,214
	Sig. (2-tailed)	,665	,215	,163
	N	44	44	44
Escherichia coli	Pearson Correlation	-,296	,426	,440
	Sig. (2-tailed)	,075	,009	,006
	N	37	37	37
Manganês	Pearson Correlation	-,176	,086	-,015
	Sig. (2-tailed)	,253	,580	,925
	N	44	44	44
Alcalinidade	Pearson Correlation	,134*	,203	-,165
	Sig. (2-tailed)	,387	,186	,284
	N	44	44	44
Turvação	Pearson Correlation	,198	,088**	-,259*
	Sig. (2-tailed)	,198	,571	,090
	N	44	44	44
Coliformes totais	Pearson Correlation	,147**	-,128	,175
	Sig. (2-tailed)	,437	,501	,355
	N	30	30	30
D_Ozono	Pearson Correlation	,012	,135**	,477
	Sig. (2-tailed)	,938	,381	,001
	N	44	44	44
D_CO2	Pearson Correlation	,649**	-,225	-,137

	Sig. (2-tailed)	,000	,142	,375
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	1	-,049	-,012
D_Leite de cal	Sig. (2-tailed)		,751	,938
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	-,049**	1	-,049
D_WAC	Sig. (2-tailed)	,751		,752

Correlations

		D_Desinfetante	D_Poli	D_Lamas	E_Direta
Dureza total	Pearson Correlation	,681	,340	-,444	-,007
	Sig. (2-tailed)	,000	,024	,003	,963
	N	44	44	44	42
Temperatura	Pearson Correlation	,110	-,461	-,254	-,238
	Sig. (2-tailed)	,475	,002	,096	,128
	N	44	44	44	42
Microrganismos a 22°C	Pearson Correlation	,283	-,133	-,364	-,054
	Sig. (2-tailed)	,063	,390	,015	,735
	N	44	44	44	42
Escherichia coli	Pearson Correlation	,272	,029	-,057	,362
	Sig. (2-tailed)	,104	,863	,736	,032
	N	37	37	37	35
Manganês	Pearson Correlation	-,058	-,093	,055	-,058
	Sig. (2-tailed)	,710	,547	,721	,716
	N	44	44	44	42
Alcalinidade	Pearson Correlation	-,316*	-,089	,288	,309
	Sig. (2-tailed)	,037	,567	,058	,047
	N	44	44	44	42
Turvação	Pearson Correlation	-,315	,074**	,310*	,259

	Sig. (2-tailed)	,037	,633	,040	,098
	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	,409**	-,023	-,483	-,083
Coliformes totais	Sig. (2-tailed)	,025	,904	,007	,675
	N	30	30	30	28
	Pearson Correlation	,370	,193**	-,012	,503*
D_Ozono	Sig. (2-tailed)	,013	,209	,938	,001
	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	,240**	,279	,062	,479**
D_CO2	Sig. (2-tailed)	,116	,066	,691	,001
	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	-,048	,063	,289	,460
D_Leite de cal	Sig. (2-tailed)	,755	,686	,057	,002
	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	-,189**	-,157	,273	,081**
D_WAC	Sig. (2-tailed)	,219	,309	,073	,609

Correlations

		E_Ozono	E_CO2	E_Leite de cal	E_WAC
Dureza total	Pearson Correlation	,094	,417	,087	-,407
	Sig. (2-tailed)	,544	,005	,573	,006
	N	44	44	44	44
Temperatura	Pearson Correlation	,448	-,060	-,164	,211
	Sig. (2-tailed)	,002	,701	,289	,170
	N	44	44	44	44
Microrganismos a 22°C	Pearson Correlation	-,023	,071	,067	-,191
	Sig. (2-tailed)	,882	,646	,665	,215
	N	44	44	44	44
Escherichia coli	Pearson Correlation	,404	-,433	-,296	,426
	Sig. (2-tailed)	,013	,007	,075	,009
	N	37	37	37	37

Manganês	Pearson Correlation	,024	-,224	-,176	,086
	Sig. (2-tailed)	,879	,144	,253	,580
	N	44	44	44	44
Alcalinidade	Pearson Correlation	,238*	,139	,134	,203
	Sig. (2-tailed)	,120	,367	,387	,186
	N	44	44	44	44
Turvação	Pearson Correlation	-,032	,166**	,198*	,088
	Sig. (2-tailed)	,837	,281	,198	,571
	N	44	44	44	44
Coliformes totais	Pearson Correlation	,415**	,162	,147	-,128
	Sig. (2-tailed)	,023	,393	,437	,501
	N	30	30	30	30
D_Ozono	Pearson Correlation	1,000	,122**	,012	,135*
	Sig. (2-tailed)	,000	,429	,938	,381
	N	44	44	44	44
D_CO2	Pearson Correlation	,122**	1,000	,649	-,225**
	Sig. (2-tailed)	,429	,000	,000	,142
	N	44	44	44	44
D_Leite de cal	Pearson Correlation	,012	,649	1,000	-,049
	Sig. (2-tailed)	,938	,000	,000	,751
	N	44	44	44	44
D_WAC	Pearson Correlation	,135**	-,225	-,049	1,000**
	Sig. (2-tailed)	,381	,142	,751	,000
	N	44	44	44	44

Correlations

		E_CAP	E_Eesinfetante	E_Poli	E_Lamas
Dureza total	Pearson Correlation	,008	,675	,341	,277
	Sig. (2-tailed)	,961	,000	,024	,068
	N	44	44	44	44
Temperatura	Pearson Correlation	,303	,116	-,461	-,537
	Sig. (2-tailed)	,045	,453	,002	,000
	N	44	44	44	44

	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,214	,282	-,134	-,159
Microrganismos a 22°C	Sig. (2-tailed)	,163	,063	,387	,302
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,440	,270	,029	,022
Escherichia coli	Sig. (2-tailed)	,006	,106	,864	,897
	N	37	37	37	37
	Pearson Correlation	-,015	-,055	-,094	-,260
Manganês	Sig. (2-tailed)	,925	,721	,546	,088
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,165*	-,310	-,089	-,041
Alcalinidade	Sig. (2-tailed)	,284	,041	,566	,791
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,259	-,310**	,074*	,178
Turvação	Sig. (2-tailed)	,090	,041	,633	,248
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,175**	,410	-,022	-,174
Coliformes totais	Sig. (2-tailed)	,355	,024	,907	,358
	N	30	30	30	30
	Pearson Correlation	,477	,368**	,194	-,002*
D_Ozono	Sig. (2-tailed)	,001	,014	,208	,991
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,137**	,239	,280	,389**
D_CO2	Sig. (2-tailed)	,375	,118	,066	,009
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,012	-,046	,062	,405
D_Leite de cal	Sig. (2-tailed)	,938	,766	,687	,006
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,049**	-,182	-,157	-,083**
D_WAC	Sig. (2-tailed)	,752	,237	,308	,594

Correlations

		Dureza total	Temperatura	Microrganismos a 22°C
D_WAC	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,008	,303	,214
D_CAP	Sig. (2-tailed)	,961	,045	,163
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,681	,110	,283
D_Desinfetante	Sig. (2-tailed)	,000	,475	,063
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,340	-,461	-,133
D_Poli	Sig. (2-tailed)	,024	,002	,390
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	-,444	-,254	-,364
D_Lamas	Sig. (2-tailed)	,003	,096	,015
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	-,007	-,238	-,054
E_Direta	Sig. (2-tailed)	,963	,128	,735
	N	42*	42	42
	Pearson Correlation	,094	,448	-,023
E_Ozono	Sig. (2-tailed)	,544	,002	,882
	N	44	44**	44*
	Pearson Correlation	,417	-,060	,071
E_CO2	Sig. (2-tailed)	,005	,701	,646
	N	44**	44	44
	Pearson Correlation	,087	-,164	,067
E_Leite de cal	Sig. (2-tailed)	,573	,289	,665
	N	44	44**	44
	Pearson Correlation	-,407	,211	-,191
E_WAC	Sig. (2-tailed)	,006	,170	,215
	N	44**	44	44
E_CAP	Pearson Correlation	,008	,303	,214

	Sig. (2-tailed)	,961	,045	,163
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,675	,116	,282
E_Eesinfetante	Sig. (2-tailed)	,000	,453	,063
	N	44**	44	44
E_Poli	Pearson Correlation	,341	-,461	-,134

Correlations

		Escherichia coli	Manganês	Alcalinidade
D_WAC	N	37	44	44
	Pearson Correlation	,440	-,015	-,165
D_CAP	Sig. (2-tailed)	,006	,925	,284
	N	37	44	44
	Pearson Correlation	,272	-,058	-,316
D_Desinfetante	Sig. (2-tailed)	,104	,710	,037
	N	37	44	44
	Pearson Correlation	,029	-,093	-,089
D_Poli	Sig. (2-tailed)	,863	,547	,567
	N	37	44	44
	Pearson Correlation	-,057	,055	,288
D_Lamas	Sig. (2-tailed)	,736	,721	,058
	N	37	44	44
	Pearson Correlation	,362	-,058	,309
E_Direta	Sig. (2-tailed)	,032	,716	,047
	N	35*	42	42
	Pearson Correlation	,404	,024	,238
E_Ozono	Sig. (2-tailed)	,013	,879	,120
	N	37	44**	44*
	Pearson Correlation	-,433	-,224	,139
E_CO2	Sig. (2-tailed)	,007	,144	,367
	N	37**	44	44

E_Leite de cal	Pearson Correlation	-,296	-,176	,134
	Sig. (2-tailed)	,075	,253	,387
	N	37	44**	44
E_WAC	Pearson Correlation	,426	,086	,203
	Sig. (2-tailed)	,009	,580	,186
	N	37**	44	44
E_CAP	Pearson Correlation	,440	-,015	-,165
	Sig. (2-tailed)	,006	,925	,284
	N	37	44	44
E_Eesinfetante	Pearson Correlation	,270	-,055	-,310
	Sig. (2-tailed)	,106	,721	,041
	N	37**	44	44
E_Poli	Pearson Correlation	,029	-,094	-,089

Correlations

		Turvação	Coliformes totais	D_Ozono	D_CO2
D_WAC	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	-,259	,175	,477	-,137
D_CAP	Sig. (2-tailed)	,090	,355	,001	,375
	N	44	30	44	44
D_Desinfetante	Pearson Correlation	-,315	,409	,370	,240
	Sig. (2-tailed)	,037	,025	,013	,116
D_Poli	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	,074	-,023	,193	,279
D_Lamas	Sig. (2-tailed)	,633	,904	,209	,066
	N	44	30	44	44
E_Direta	Pearson Correlation	,310	-,483	-,012	,062
	Sig. (2-tailed)	,040	,007	,938	,691
E_Direta	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	,259	-,083	,503	,479

	Sig. (2-tailed)	,098	,675	,001	,001
	N	42*	28	42	42
	Pearson Correlation	-,032	,415	1,000	,122
E_Ozono	Sig. (2-tailed)	,837	,023	,000	,429
	N	44	30**	44*	44
	Pearson Correlation	,166	,162	,122	1,000
E_CO2	Sig. (2-tailed)	,281	,393	,429	,000
	N	44**	30	44	44
	Pearson Correlation	,198	,147	,012	,649
E_Leite de cal	Sig. (2-tailed)	,198	,437	,938	,000
	N	44	30**	44	44*
	Pearson Correlation	,088	-,128	,135	-,225
E_WAC	Sig. (2-tailed)	,571	,501	,381	,142
	N	44**	30	44	44**
	Pearson Correlation	-,259	,175	,477	-,137
E_CAP	Sig. (2-tailed)	,090	,355	,001	,375
	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	-,310	,410	,368	,239
E_Eesinfetante	Sig. (2-tailed)	,041	,024	,014	,118
	N	44**	30	44	44**
E_Poli	Pearson Correlation	,074	-,022	,194	,280

Correlations

		D_Leite de cal	D_WAC	D_CAP
D_WAC	N	44	44	44
	Pearson Correlation	-,012	-,049	1
D_CAP	Sig. (2-tailed)	,938	,752	
	N	44	44	44
D_Desinfetante	Pearson Correlation	-,048	-,189	,322
	Sig. (2-tailed)	,755	,219	,033

	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,063	-,157	,032
D_Poli	Sig. (2-tailed)	,686	,309	,838
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,289	,273	-,189
D_Lamas	Sig. (2-tailed)	,057	,073	,219
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,460	,081	,208
E_Direta	Sig. (2-tailed)	,002	,609	,187
	N	42 [*]	42	42
	Pearson Correlation	,012	,135	,477
E_Ozono	Sig. (2-tailed)	,938	,381	,001
	N	44	44 ^{**}	44 [*]
	Pearson Correlation	,649	-,225	-,137
E_CO2	Sig. (2-tailed)	,000	,142	,375
	N	44 ^{**}	44	44
	Pearson Correlation	1,000	-,049	-,012
E_Leite de cal	Sig. (2-tailed)	,000	,751	,938
	N	44	44 ^{**}	44
	Pearson Correlation	-,049	1,000	-,049
E_WAC	Sig. (2-tailed)	,751	,000	,752
	N	44 ^{**}	44	44
	Pearson Correlation	-,012	-,049	1,000
E_CAP	Sig. (2-tailed)	,938	,752	,000
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	-,046	-,182	,316
E_Eesinfetante	Sig. (2-tailed)	,766	,237	,037
	N	44 ^{**}	44	44
E_Poli	Pearson Correlation	,062	-,157	,031

Correlations

		D_Desinfetante	D_Poli	D_Lamas	E_Direta
D_WAC	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	,322	,032	-,189	,208
D_CAP	Sig. (2-tailed)	,033	,838	,219	,187
	N	44	44	44	42
D_Desinfetante	Pearson Correlation	1	,370	-,436	,159
	Sig. (2-tailed)		,013	,003	,314
D_Poli	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	,370	1	,233	,491
D_Lamas	Sig. (2-tailed)	,013		,128	,001
	N	44	44	44	42
E_Direta	Pearson Correlation	-,436	,233	1	,409
	Sig. (2-tailed)	,003	,128		,007
E_Ozono	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	,159	,491	,409	1
E_CO2	Sig. (2-tailed)	,314	,001	,007	
	N	42 [*]	42	42	42
E_Leite de cal	Pearson Correlation	,370	,193	-,012	,503
	Sig. (2-tailed)	,013	,209	,938	,001
E_WAC	N	44	44 ^{**}	44 [*]	42
	Pearson Correlation	,240	,279	,062	,479
E_CO2	Sig. (2-tailed)	,116	,066	,691	,001
	N	44 ^{**}	44	44	42
E_Leite de cal	Pearson Correlation	-,048	,063	,289	,460
	Sig. (2-tailed)	,755	,686	,057	,002
E_WAC	N	44	44 ^{**}	44	42 [*]
	Pearson Correlation	-,189	-,157	,273	,081
	Sig. (2-tailed)	,219	,309	,073	,609

	N	44**	44	44	42**
E_CAP	Pearson Correlation	,322	,032	-,189	,208
	Sig. (2-tailed)	,033	,838	,219	,187
	N	44	44	44	42
E_Eesinfetante	Pearson Correlation	1,000	,366	-,428	,160
	Sig. (2-tailed)	,000	,015	,004	,310
E_Poli	N	44**	44	44	42**
	Pearson Correlation	,371	1,000	,232	,492

Correlations

		E_Ozono	E_CO2	E_Leite de cal	E_WAC
D_WAC	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,477	-,137	-,012	-,049
D_CAP	Sig. (2-tailed)	,001	,375	,938	,752
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,370	,240	-,048	-,189
D_Desinfetante	Sig. (2-tailed)	,013	,116	,755	,219
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,193	,279	,063	-,157
D_Poli	Sig. (2-tailed)	,209	,066	,686	,309
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,012	,062	,289	,273
D_Lamas	Sig. (2-tailed)	,938	,691	,057	,073
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,503	,479	,460	,081
E_Direta	Sig. (2-tailed)	,001	,001	,002	,609
	N	42*	42	42	42
	Pearson Correlation	1	,122	,012	,135
E_Ozono	Sig. (2-tailed)		,429	,938	,381
	N	44	44**	44*	44

E_CO2	Pearson Correlation	,122	1	,649	-,225
	Sig. (2-tailed)	,429		,000	,142
	N	44**	44	44	44
E_Leite de cal	Pearson Correlation	,012	,649	1	-,049
	Sig. (2-tailed)	,938	,000		,751
	N	44	44**	44	44*
E_WAC	Pearson Correlation	,135	-,225	-,049	1
	Sig. (2-tailed)	,381	,142	,751	
	N	44**	44	44	44**
E_CAP	Pearson Correlation	,477	-,137	-,012	-,049
	Sig. (2-tailed)	,001	,375	,938	,752
	N	44	44	44	44
E_Eesinfetante	Pearson Correlation	,368	,239	-,046	-,182
	Sig. (2-tailed)	,014	,118	,766	,237
	N	44**	44	44	44**
E_Poli	Pearson Correlation	,194	,280	,062	-,157

Correlations

		E_CAP	E_Eesinfetante	E_Poli	E_Lamas
D_WAC	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	1,000	,316	,031	-,077
D_CAP	Sig. (2-tailed)	,000	,037	,840	,619
	N	44	44	44	44
D_Desinfetante	Pearson Correlation	,322	1,000	,371	,209
	Sig. (2-tailed)	,033	,000	,013	,173
D_Poli	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	,032	,366	1,000	,549
D_Poli	Sig. (2-tailed)	,838	,015	,000	,000
	N	44	44	44	44

D_Lamas	Pearson Correlation	-,189	-,428	,232	,471
	Sig. (2-tailed)	,219	,004	,129	,001
	N	44	44	44	44
E_Direta	Pearson Correlation	,208	,160	,492	,430
	Sig. (2-tailed)	,187	,310	,001	,004
	N	42*	42	42	42
E_Ozono	Pearson Correlation	,477	,368	,194	-,002
	Sig. (2-tailed)	,001	,014	,208	,991
	N	44	44**	44*	44
E_CO2	Pearson Correlation	-,137	,239	,280	,389
	Sig. (2-tailed)	,375	,118	,066	,009
	N	44**	44	44	44
E_Leite de cal	Pearson Correlation	-,012	-,046	,062	,405
	Sig. (2-tailed)	,938	,766	,687	,006
	N	44	44**	44	44*
E_WAC	Pearson Correlation	-,049	-,182	-,157	-,083
	Sig. (2-tailed)	,752	,237	,308	,594
	N	44**	44	44	44**
E_CAP	Pearson Correlation	1	,316	,031	-,077
	Sig. (2-tailed)		,037	,840	,619
	N	44	44	44	44
E_Eesinfetante	Pearson Correlation	,316	1	,367	,205
	Sig. (2-tailed)	,037		,014	,183
	N	44**	44	44	44**
E_Poli	Pearson Correlation	,031	,367	1	,549

Correlations

		Dureza total	Temperatura	Microrganismos a 22°C
E_Poli	Sig. (2-tailed)	,024	,002	,387

	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,277	-,537	-,159
E_Lamas	Sig. (2-tailed)	,068	,000	,302
	N	44	44	44

Correlations

		Escherichia coli	Manganês	Alcalinidade
E_Poli	Sig. (2-tailed)	,864	,546	,566
	N	37	44	44
	Pearson Correlation	,022	-,260	-,041
E_Lamas	Sig. (2-tailed)	,897	,088	,791
	N	37	44	44

Correlations

		Turvação	Coliformes totais	D_Ozono	D_CO2
E_Poli	Sig. (2-tailed)	,633	,907	,208	,066
	N	44	30	44	44
	Pearson Correlation	,178	-,174	-,002	,389
E_Lamas	Sig. (2-tailed)	,248	,358	,991	,009
	N	44	30	44	44

Correlations

		D_Leite de cal	D_WAC	D_CAP
E_Poli	Sig. (2-tailed)	,687	,308	,840
	N	44	44	44
	Pearson Correlation	,405	-,083	-,077
E_Lamas	Sig. (2-tailed)	,006	,594	,619
	N	44	44	44

Correlations

		D_Desinfetante	D_Poli	D_Lamas	E_Direta
E_Poli	Sig. (2-tailed)	,013	,000	,129	,001
	N	44	44	44	42
	Pearson Correlation	,209	,549	,471	,430
E_Lamas	Sig. (2-tailed)	,173	,000	,001	,004
	N	44	44	44	42

Correlations

		E_Ozono	E_CO2	E_Leite de cal	E_WAC
E_Poli	Sig. (2-tailed)	,208	,066	,687	,308
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,002	,389	,405	-,083
E_Lamas	Sig. (2-tailed)	,991	,009	,006	,594
	N	44	44	44	44

Correlations

		E_CAP	E_Eesinfetante	E_Poli	E_Lamas
E_Poli	Sig. (2-tailed)	,840	,014		,000
	N	44	44	44	44
	Pearson Correlation	-,077	,205	,549	1
E_Lamas	Sig. (2-tailed)	,619	,183	,000	
	N	44	44	44	44

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).