

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida a  
duas Estações de Tratamento de Água da  
região Norte:  
ETA de Queimadela e  
ETA de Areias de Vilar**

**Ana Luísa Seixas Sousa**

Aluna finalista do Mestrado Integrado em Engenharia do  
Ambiente

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do  
grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

Orientadora

**Belmira de Almeida Ferreira Neto**

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de  
Materiais da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Orientadora

**Rita Emília Silva Oliveira**

Direcção de Engenharia da empresa Águas do Ave, S.A.,

**Porto, Julho de 2009**



Sísifo

Recomeça...

Se puderes,

Sem angústia e sem pressa.

E os passos que deres,

Nesse caminho duro

Do futuro,

Dá-os em liberdade.

Enquanto não alcances

Não descanses.

De nenhum fruto queiras só metade.

E, nunca saciado,

Vai colhendo

Ilusões sucessivas no pomar

E vendo

Acordado,

O logro da aventura.

És homem, não te esqueças!

Só é tua a loucura

Onde, com lucidez, te reconheças.

Miguel Torga, Diário XIII



# Agradecimentos

Os agradecimentos não vão apenas a todos os que ajudaram nestes cinco meses, mas também aos companheiros e companheiras de vinte três anos de existência.

Cada um deles estará guardado na minha memória a longo prazo.

À professora Belmira, será difícil caracterizar toda a sua ajuda. Obrigada pelos “puxões de orelhas” na altura certa, pelas múltiplas versões dos capítulos que foi lendo, pela disponibilidade e pelo incansável entusiasmo que sempre demonstrou por este trabalho.

À engenheira Rita Oliveira, por ter feito tudo para que a passagem pelas Águas do Ave, S.A., fosse a melhor possível, pelo interesse que demonstrou e pelas sugestões que me foi dando desde o início. Irei relembrar a amabilidade que sempre teve para com a sua primeira estagiária.

À minha família, em especial, ao meu pai que viu e reviu o texto deste trabalho. A sua vasta cultura permite que alguém de Letras tenha ideias muito presentes de abastecimento de água.

Ao Pipe, pelas tardes infundáveis, pela calma, pela boa disposição, pelo companheirismo, pelas lições de programação... Juntos, por essas dinastias fora.

Ao Vi, à Mi e à Bi pelos passeios, pelas risadas a que mais ninguém acha graça e pelas férias que ainda estão para vir.

À Marina, ao Carlos, ao Marcos, à Andreia e à Lena pelo apoio.

Aos amigos de sempre de Ambiente.

Ao meu professor como carinhosamente gosto de o lembrar. Ele sabe quem é.

À Ana Manuela e à Irina pelas suas grandezas insuperáveis.

Ao João Moreira pela companhia nas Águas do Ave, S.A.

Ao Dr. Cheng pela enorme disponibilidade e simpatia que sempre demonstrou quando apareci no seu gabinete.

Ao Dr. Lauran Van Oers pelas respostas tão prontas às minhas dúvidas.

Ao engenheiro Miguel Mata da Sonae Capital agradeço os esclarecimentos relativamente à biomassa.

Ao engenheiro Jorge da EDP pelos esclarecimentos fornecidos.

Ao engenheiro Adriano Magalhães das Águas do Cávado, S.A., a prontidão com que se dispôs a fornecer os valores necessários e as dúvidas que surgiram relativamente a Areias de Vilar.

Ao laboratório das Águas do Cávado, S.A., pelas análises efectuadas à água de Queimadela.

Às engenheiras Lara Castro e Helena Lemos da Águas do Ave, S.A., por todo o apoio que me deram sempre que precisei.

Ao professor Tentúgal Valente que possibilitou a minha integração na Águas do Ave, S.A.

Às pessoas das Águas do Ave, S.A., em especial aos colegas do almoço e à Ana Cristina, que me fizeram sentir mais integrada no “mundo lá fora”.

# Resumo

O trabalho desenvolvido nesta tese inclui a aplicação da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a duas Estações de Tratamento de Água (ETA) situadas na região Norte de Portugal – a ETA de Queimadela e a ETA de Areias de Vilar –, visando avaliar o impacto ambiental associado à fase de operação de cada uma destas.

A metodologia utilizada segue o descrito na norma NP EN ISO 14040 de 2008 e a informação usada reporta ao ano de 2008. A avaliação do impacto ambiental é realizada usando três métodos distintos de ponderação. O primeiro emprega um método proposto por um Painel de peritos, o segundo considera todos os problemas ambientais igualmente importantes; e o terceiro utiliza a metodologia *Distance to target*.

Os resultados obtidos permitem concluir que o Aquecimento Global, a Formação de Oxidantes Fotoquímicos, a Acidificação e a Depleção da Camada de Ozono são as categorias de impacto ambiental mais relevantes. Relativamente ao método Painel de peritos, constatou-se que as duas principais categorias de impacto são a Acidificação e o Aquecimento Global, com uma contribuição de cerca de 70% para o impacto ambiental global. Em relação ao método em que considera todos os problemas ambientais igualmente importantes, constatou-se que as principais categorias de impacto são a Acidificação e Formação de Oxidantes Fotoquímicos. Estas duas categorias contribuem com cerca de 70% para o impacto ambiental global. Finalmente, para o método *Distance to target*, verifica-se que a Acidificação e a Depleção da Camada de Ozono têm uma contribuição para o impacto ambiental global de aproximadamente 80%.

Conclui-se que os principais poluentes associados à fase de operação das ETA são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM). A libertação destes compostos está associada aos consumos energéticos de ambas as estações de tratamento. Em relação aos métodos Painel de peritos e igualmente importantes, estes três poluentes contribuem para cerca de 80% do impacto ambiental global. Este valor é de 60% quando o método de ponderação usado é o *Distance to target*.



# Abstract

The work developed on this thesis included the application of the Life Cycle Assessment tool to two Water Treatment Stations (WTS) placed in the north of the country – WTS of Queimadela and WTS of Areias de Vilar –, having the purpose to evaluate the environmental impacts associated to the operational stage of which one.

The methodology utilized follows the rule NP EN ISO 14040 of 2008 and the information used turn back to the year 2008. The environment impact assessment is based on three distinct ponderation methods. The first uses a method proposed by an experts panel, the second one considers all problems equally important and the third consists on applying the Distance to target methodology.

About the experts Panel it was seen that the two main impact categories are Acidification and Global Warming, with a contribution to the global environment impact superior to 70%. About to all problems equally important method it was noticed that the two main categories are Acidification and Ozone Layer Depletion. These two categories contribute on 70% to the global environmental impact. Finally, about to Distance to target method it was seen that Acidification and Ozone Layer Depletion have a contribution of 70% to the impact.

It has also been concluded that, the major pollutants associated with the operational stage of WTS are: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), sulphur oxides (SO<sub>x</sub>) and non methane volatile organic compounds (NMVOC). The release of these compounds is associated with the the energy consumption necessary for each WTS. In relation to experts Panel and to equally important these three pollutants contribute with nearly 80% to the global environmental impact. This value is 60% when considering Distance to target method.



# Abreviaturas

<b>ACV</b>	Avaliação do Ciclo de Vida
<b>AdP</b>	Águas de Portugal
<b>BUWAL</b>	Bundesamt fuer Umwelt, Walt und Landschaft, Switzerland
<b>CML</b>	Center of Environmental Science, University of Leiden, The Netherlands
<b>ETA</b>	Estação(ões) de Tratamento de Água
<b>ETAR</b>	Estação(ões) de Tratamento de Águas Residuais
<b>INSAAR</b>	Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais
<b>ISO</b>	International Standardization Organization
<b>RH</b>	Região(ões) Hidrográfica(s)
<b>SAA</b>	Sistema (s) de Abastecimento de Água
<b>THM</b>	Tri-halometanos
<b>UF</b>	Unidade Funcional



# Índice



<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJECTIVOS.....	4
1.2	ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	5
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>7</b>
2.1	A ETA DE QUEIMADELA .....	9
2.1.1	<i>Captação/elevação</i> .....	10
2.1.2	<i>Tratamento</i> .....	11
2.1.3	<i>Elevação/adução</i> .....	15
2.2	A ETA DE AREIAS DE VILAR .....	15
2.2.1	<i>Captação/elevação</i> .....	16
2.2.2	<i>Reservatório de água bruta/elevação</i> .....	17
2.2.3	<i>Tratamento</i> .....	17
2.2.4	<i>Elevação/adução</i> .....	20
<b>3</b>	<b>AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA ETA DE QUEIMADELA E DA ETA DE AREIAS DE VILAR .....</b>	<b>21</b>
3.1	DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E DO ÂMBITO.....	23
3.1.1	<i>ETA de Queimadela</i> .....	23
3.1.2	<i>ETA de Areias de Vilar</i> .....	24
3.2	INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA .....	25
3.2.1	<i>ETA de Queimadela</i> .....	25
3.2.2	<i>ETA de Areias de Vilar</i> .....	30
3.3	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	34
3.3.1	<i>ETA de Queimadela</i> .....	35
3.3.2	<i>ETA de Areias de Vilar</i> .....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
4.1	RESULTADOS OBTIDOS NA ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO: ETA DE QUEIMADELA E ETA DE AREIAS DE VILAR .....	39
4.2	COMPARAÇÃO ENTRE A ETA DE QUEIMADELA E A ETA DE AREIAS DE VILAR: IMPACTE AMBIENTAL.....	40
4.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	45
4.3.1	<i>ETA de Queimadela</i> .....	45
4.3.2	<i>ETA de Areias de Vilar</i> .....	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>

ANEXO A.....	61
--------------	----

# Índice de figuras



FIGURA 1. VISTA AÉREA DA ETA DE QUEIMADELA. ....	10
FIGURA 2. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EXISTENTES NA ETA DE QUEIMADELA (ÁGUAS DO AVE, S.A., 2008). ....	10
FIGURA 3. GRUPOS ELECTROBOMBA DE CAPTAÇÃO (ÁGUAS DO AVE, S.A., 2008). ....	11
FIGURA 4. VISÃO INTERNA DA CÂMARA DE MISTURA RÁPIDA (ÁGUAS DO AVE, S.A., 2008). ....	13
FIGURA 5. DECANTADORES DE MANTO DE LAMAS (ÁGUAS DO AVE, S.A., 2008). ....	14
FIGURA 6. VISTA AÉREA DA ETA DE AREIAS DE VILAR. ....	15
FIGURA 7. ESQUEMA DE TRATAMENTO DA ETA DE AREIAS DE VILAR (ADAPTADO DE ÁGUAS DO AVE, S.A., 2008). ....	16
FIGURA 8. CAPTAÇÃO .....	17
FIGURA 9. RESERVATÓRIOS DE ÁGUA BRUTA .....	17
FIGURA 10. PORMENOR DE DECANTADOR SEM ÁGUA (ÁGUAS DO CÁVADO, S.A., 2009). ....	19
FIGURA 11. ETAPAS DE UMA ACV (NP EN ISO 14040, 2008). ....	22
FIGURA 12. SISTEMA EM ESTUDO REFERENTE À FASE DE OPERAÇÃO DA ETA DE QUEIMADELA. ....	24
FIGURA 13. SISTEMA EM ESTUDO REFERENTE À FASE DE OPERAÇÃO DA ETA DE AREIAS DE VILAR. ....	25
FIGURA 14. PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS DE MATERIAIS E DE ENERGIA DA ETA DE QUEIMADELA. ....	27
FIGURA 15. PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS DE MATERIAIS E DE ENERGIA DA ETA DE AREIAS DE VILAR. ....	31
FIGURA 16. CONTRIBUIÇÃO PARA O IMPACTE AMBIENTAL GLOBAL DA FASE DE OPERAÇÃO DE CADA UMA DAS ETA. RESULTADOS APRESENTADOS POR MÉTODO DE PONDERAÇÃO (PAINEL DE PERITOS, IGUALMENTE IMPORTANTES E <i>DISTANCE TO TARGET</i> ). NO ANEXO A (TABELA A7 E A8), SÃO APRESENTADOS OS DETALHES ASSOCIADOS AOS VALORES APRESENTADOS. ....	41
FIGURA 17. CONTRIBUIÇÃO PARA O IMPACTE AMBIENTAL GLOBAL DA FASE DE OPERAÇÃO DE CADA UMA DAS ETA TENDO EM CONSIDERAÇÃO A CATEGORIA RESÍDUOS SÓLIDOS. NO ANEXO A (TABELA A 8), SÃO APRESENTADOS OS DETALHES ASSOCIADOS AOS VALORES APRESENTADOS. ....	42



# Índice de Tabelas



TABELA 1. LOCALIZAÇÃO DAS ETA NACIONAIS (ADAPTADO DE INSAAR, 2008).....	2
TABELA 2. CARACTERIZAÇÃO DOS SUB-SISTEMAS DE QUEIMADELA, ANDORINHAS E RABAGÃO (ÁGUAS DO AVE, S.A., 2008).....	8
TABELA 3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DO CÁVADO (ÁGUAS DO CÁVADO, S.A., 2009).....	9
TABELA 4. MIX ENERGÉTICO USADO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA EM PORTUGAL (IEA, 2006)....	9
TABELA 5. INVENTÁRIO DE ENTRADAS E SAÍDAS DE MATERIAIS E ENERGIA DA ETA DE QUEIMADELA. A UF É DE 1 M <sup>3</sup> DE ÁGUA TRATADA POR DIA. ....	29
TABELA 6. INVENTÁRIO DE ENTRADAS E SAÍDAS DE MATERIAIS E ENERGIA DA ETA DE AREIAS DE VILAR. A UF É DE 1 M <sup>3</sup> DE ÁGUA TRATADA POR DIA. ....	33
TABELA 7. FACTORES DE NORMALIZAÇÃO PARA O REFERENCIAL EUROPA OCIDENTAL (CML, 2008).....	35
TABELA 8. FACTORES DE PONDERAÇÃO PARA OS TRÊS MÉTODOS UTILIZADOS (KAMP, 2005; GOEDKOOP, 1995).....	35
TABELA 9. FACTORES DE CARACTERIZAÇÃO (CML, 2008).....	36
TABELA 10. FACTORES DE CARACTERIZAÇÃO (CML, 2008).....	37
TABELA 11. RESULTADOS OBTIDOS PARA CADA CATEGORIA DE IMPACTE AMBIENTAL, NA ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO PARA AS DUAS ETA.....	39
TABELA 12. CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DE CADA UM DOS POLUENTES RESULTANTES DA FASE DE OPERAÇÃO DA ETA DE QUEIMADELA PARA O IMPACTE AMBIENTAL. ....	44
TABELA 13. PARÂMETROS USADOS NA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	45
TABELA 14. RESULTADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: VARIAÇÃO (%) NO IMPACTE AMBIENTAL GLOBAL PARA OS PARÂMETROS DE SENSIBILIDADE. ....	46
TABELA 15. PARÂMETROS USADOS NA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	46
TABELA 16. RESULTADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: VARIAÇÃO (%) NO IMPACTE AMBIENTAL GLOBAL PARA OS PARÂMETROS DE SENSIBILIDADE. ....	47



# 1 Introdução

Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) às populações constituem um dos desafios do desenvolvimento das sociedades modernas. O crescimento dos agregados populacionais conduz a um aumento das necessidades de água para os vários usos. O abastecimento público é, portanto, um serviço essencial ao bem-estar dos cidadãos, à saúde pública, às actividades económicas e à protecção do ambiente (Baptista *et al.*, 2007). As Estações de Tratamento de Água (ETA) são infra-estruturas que promovem a captação, o tratamento e a elevação da água potável para posterior distribuição às comunidades, incluindo vários processos físico-químicos e biológicos sequenciais, que vão eliminando uma série de substâncias e organismos prejudiciais. Estas infra-estruturas têm como objectivo converter a água bruta (captada em meios hídricos superficiais ou subterrâneos) em água potável. Apesar da importância das actividades de tratamento, os processos envolvidos possuem impactes ambientais, como aqueles que resultam da queima de combustíveis fósseis para produção de electricidade ou os que estão associados ao consumo de agentes químicos ou, ainda, à produção de efluentes líquidos e de resíduos.

Em 2007, o número de ETA, no Continente, era de 461, tal como apresentado na Tabela 1. As regiões do Tejo e Ribeyras do Oeste, do Vouga, Mondego e Liz e do Douro são as que apresentam o maior número de ETA instaladas, constituindo cerca de 77% do total nacional. As regiões do Minho e Lima, do Cávado, Ave e Leça e das Ribeyras do Algarve apresentam o menor número, constituindo cerca de 9% do total nacional (Vieira *et al.*, 2007).

**Tabela 1. Localização das ETA nacionais (adaptado de INSAAR, 2008).**

<b>Regiões Hidrográficas (RH)</b>	<b>n.º de ETA</b>
<b>Continente</b>	<b>461</b>
Minho e Lima (RH 1)	14
Cávado, Ave e Leça (RH 2)	13
Douro (RH 3)	95
Vouga, Mondego, Liz e Ribeiras do Oeste (RH 4)	112
Tejo (RH 5)	148
Sado e Mira (RH 6)	37
Guadiana (RH 7)	29
Ribeiras do Algarve (RH 8)	13
<b>Açores</b>	<b>13</b>
<b>Madeira</b>	<b>15</b>

A água é tratada através de diversos processos sequenciais. No Continente, os processos de desinfecção, filtração e correcção do pH são frequentes na maioria das estações. Os tratamentos de flutuação, de tamisação e de correcção de dureza são menos comuns. Verifica-se também que todas as operações e processos unitários surgem, apenas, uma vez, na sequência de tratamento das estações, com excepção da correcção do pH (Vieira *et al.*, 2007). Quer no tratamento de água a partir de captações em rios, quer no tratamento de água a partir de captações em albufeiras, os processos mais correntes incluem a seguinte sequência de tratamento: pré-oxidação, correcção do pH, coagulação/floculação, filtração, correcção do pH e desinfecção (Vieira *et al.*, 2007).

Em seguida, são apresentados alguns estudos associados com a aplicação da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a processos de tratamento de águas para abastecimento público. Os trabalhos apresentados incluem dois estudos realizados para estações de tratamento de águas e um estudo que foca simultaneamente estações de tratamento de águas para consumo e estações de tratamento de águas residuais domésticas.

Um dos estudos visa identificar os principais impactes ambientais associados aos processos unitários de uma ETA modelo, com especial atenção para o consumo de energia e de agentes químicos (Vince *et al.*, 2008).

O sistema global avaliado inclui nas suas fronteiras a captação, o tratamento de água (rem mineralização, coagulação, floculação, decantação, filtração, ozonização e desinfecção) e a sua elevação para os reservatórios.

O estudo considera a etapa de construção e a produção de reagentes químicos. A etapa de construção é avaliada a partir de informação bibliográfica disponível na literatura. O desmantelamento da ETA e o transporte de matérias-primas não foram considerados. Os resultados, obtidos por utilização do método IMPACT 2002+, indiciam que o sistema contribui para as seguintes categorias de impacto ambiental: Aquecimento Global, Extração Mineral, Consumo de Energias não Renováveis, Radiação Ionizante, Efeitos Respiratórios, Depleção da Camada de Ozono, Oxidação Fotoquímica e Acidificação/Nitrificação Terrestre.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que a produção de energia afecta todas as categorias de impacto consideradas, devido ao facto de esta ser necessária para a captação, para a elevação e também para a produção dos químicos. A produção de químicos também irá afectar todas as categorias.

A fase de construção contribui para todas as categorias de impacto (com excepção da Depleção da Camada de Ozono). A avaliação dos impactos ambientais não contemplou as fases de normalização e ponderação.

O objectivo de outro estudo visa a comparação de dois processos de tratamento de água por avaliação dos impactos ambientais associados a cada um deles (Friedrich, 2001).

O processo, designado por convencional, é constituído pela seguinte sequência de tratamento: pré-ozonização, coagulação, floculação, decantação, filtração, ozonização e desinfecção. O outro recorre a processos membranares.

São incluídas a construção e operação do sistema, a produção de químicos e o desmantelamento da ETA. A fase de transporte de matérias-primas foi excluída das fronteiras do sistema.

Os resultados obtidos, por utilização do *software* GaBi 3, indiciam que as categorias de impacto para as quais o sistema contribui incluem o Consumo de Recursos (recursos bióticos e os abióticos), Consumo de Energia, Aquecimento Global, Depleção da Camada de Ozono, Acidificação, Eutrofização, Formação de Oxidantes Fotoquímicos, Radioactividade, Ecotoxicidade Aquática e Terrestre e Toxicidade Humana. A avaliação dos impactos ambientais inclui a etapa de ponderação.

Os autores concluem que a fase de operação é a que possui o maior impacto ambiental para todas as categorias, para os dois métodos de tratamento de água. Esta fase apresenta o maior consumo de energia eléctrica e o maior consumo de materiais, tendo, por isso, uma maior contribuição para todas as categorias de impacto. Neste estudo foi

realizada a etapa de ponderação, mas não foi possível aqui apresentar os factores de ponderação utilizados, devido à sua indisponibilidade no documento.

No outro estudo revisto a ferramenta de ACV foi usada na avaliação ambiental, associada a um projecto destinado a poupar água num edifício residencial na cidade de Bolonha (Tarantini e Ferri, 2001). As fronteiras do sistema incluem o tratamento e distribuição de água potável, o tratamento de água residual, a produção de químicos e o consumo de materiais e electricidade no tratamento de água. Também é incluído o transporte de materiais para o seu destino final. Os processos de tratamento incluem a desinfecção inicial, a coagulação/floculação, a filtração e a desinfecção final.

Os resultados obtidos, por utilização do *software* TEAM 3.0, revelam que o maior consumo de energia está associado ao processo de tratamento de água potável e à energia eléctrica necessária para a bombagem da água. O tratamento de água para abastecimento é o processo que irá contribuir, maioritariamente, para o Aquecimento Global, Acidificação e Formação de Oxidantes Fotoquímicos, devido aos motivos apontados anteriormente.

Os trabalhos revistos indiciam que o número de estudos disponíveis na bibliografia que aplicam a ferramenta de ACV com o objectivo de avaliar os impactes ambientais associados à fase de operação de uma ETA não é vasto. Este facto revela que esta tese poderá contribuir para uma avaliação dos impactes à fase de operação de ETA nacionais, utilizando informação disponibilizada por entidades nacionais, responsáveis pelo sistema de abastecimento e tratamento de água.

## **1.1 Objectivos**

O objectivo deste trabalho inclui a avaliação dos potenciais impactes ambientais associados às fases de operação da ETA de Queimadela e da ETA de Areias de Vilar, que possuem capacidade de tratamento de água para abastecimento muito distintas e, que se localizam na região Norte de Portugal.

A metodologia a ser utilizada segue o descrito na norma NP EN ISO 14040 de 2008 e a abordagem a ser utilizada é do tipo *gate to gate* (porta a porta). A informação usada está

associada à tecnologia dos processos, aos consumos de materiais e de energia, emissões de poluentes das duas ETA, durante o ano de 2008.

A quantificação do impacte ambiental permite a determinação de um indicador agregado para o impacte ambiental, por utilização de métodos distintos usados na fase de ponderação. Este estudo possibilita a avaliação dos problemas ambientais causados pelas ETA e a comparação do impacte ambiental para os dois casos de estudo analisados.

## **1.2 Estrutura e Organização da Tese**

Este primeiro capítulo (Introdução) faz uma abordagem geral ao tema da tese, uma descrição sucinta de estudos similares e apresenta os objectivos deste estudo. Em seguida, define a estrutura e a organização da tese e os conteúdos dos seus capítulos.

No capítulo 2, são caracterizados os casos de estudo, a ETA de Queimadela e a ETA de Areias de Vilar. É, também, efectuada uma descrição geral de cada um dos sistemas em questão e uma descrição pormenorizada das fases de operação de cada uma das infra-estruturas.

No capítulo 3, é aplicada a metodologia de ACV para os dois casos de estudo, sendo descritas, em primeiro lugar, as suas etapas (Definição do objectivo e do âmbito, Inventário do ciclo de vida, Avaliação do ciclo de vida e Interpretação dos resultados) e os objectivos da sua utilização.

No capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados da ACV. Primeiramente, são abordados individualmente para cada uma das estações e, por último, são comparados os resultados obtidos para cada uma delas. Neste capítulo, são também identificadas algumas medidas que possibilitem a redução do impacte ambiental. Em seguida, é realizada uma análise de sensibilidade, com vista à determinação da influência de parâmetros considerados significativos no resultado final calculado para o indicador de impacte ambiental.

No capítulo 5, são retiradas as conclusões a partir dos resultados obtidos no capítulo 4,

para cada um dos casos de estudo e, quando possível, são confrontados com os resultados apresentados na bibliografia. Identificam-se, também, as limitações do trabalho realizado.

Por último, no capítulo 6, são propostas possíveis abordagens para eventuais trabalhos futuros.

## **2 Caracterização dos casos de estudo**

O Grupo Águas de Portugal, SGPS, S.A. (AdP), constituído em 1993, tem como funções conceber, construir, explorar e gerir os sistemas de abastecimento de água, de tratamento de águas residuais e de valorização de resíduos sólidos urbanos e industriais. A AdP intervém nas várias fases do ciclo urbano da água, integrando as fases de captação, tratamento, distribuição de água para consumo público e a recolha, o tratamento e a descarga final nos meios hídricos de águas residuais urbanas e industriais (Águas de Portugal, SGPS, S.A. 2009).

Em seguida são caracterizados os dois casos de estudo. Esta caracterização é precedida pela descrição do Sistema Multimunicipal no qual se integram.

### **Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Vale do Ave**

A empresa Águas do Ave, S.A., pertencente ao grupo AdP, é responsável pela construção, gestão e exploração do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Vale do Ave.

Este sistema abrange a quase totalidade da bacia hidrográfica do rio Ave, as bacias hidrográficas do Tâmega, do Sousa e do Cávado, representando uma área total de cerca de 3300 km<sup>2</sup>. O sistema Multimunicipal estará completo em 2010 e será constituído por três sub-sistemas: Queimadela, Andorinhas e Rabagão, implantados nas áreas geográficas correspondentes, respectivamente, aos municípios de Fafe, Póvoa do

Lanhoso e Vieira do Minho (Águas do Ave, S.A., 2009).

Os três sub-sistemas estão dimensionados para fornecer 6,5 milhões de m<sup>3</sup> de água potável por ano a uma população total residente estimada em mais de 104 mil habitantes.

No que respeita à drenagem e tratamento de águas residuais, o sistema Multimunicipal será constituído por quinze frentes de drenagem (Águas do Ave, S.A., 2008).

Na Tabela 2, é apresentada uma caracterização de cada um dos sub-sistemas.

**Tabela 2. Caracterização dos sub-sistemas de Queimadela, Andorinhas e Rabagão (Águas do Ave, S.A., 2008).**

SUB-SISTEMA	Municípios abrangidos	POPULAÇÃO SERVIDA NO ANO HORIZONTE	INFRAESTRUTURAS A SER OPERADAS PELA EMPRESA						
			Captações	ETA		Adutores	Estações Elevatórias	Reservatórios	
			Residente	n.º	n.º	m <sup>3</sup> de água tratada/dia	km	n.º	n.º
Queimadela	Fafe	58.688	1	1	13.500	110	8	21	12.680
Andorinhas	Póvoa do Lanhoso	23.375	1	1	4.860	48	4	9	7.350
Rabagão	Vieira do Minho	22.200	1	1	9.720	172	2	13	5.102
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>104.263</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>28.080</b>	<b>330</b>	<b>14</b>	<b>43</b>	<b>25.132</b>

## **Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Baixo Cávado e Ave**

A empresa Águas do Cávado, S.A. criada em 1995, é responsável pela exploração e gestão do sistema Multimunicipal de captação, tratamento e adução de água aos municípios de Barcelos, Esposende, Maia (norte), Póvoa do Varzim, Santo Tirso, Trofa, Vila do Conde e Vila Nova de Famalicão

Em 2001, concretizou-se a criação do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Baixo Cávado e Ave. (Águas do Cávado, S.A., 2009). Na Tabela 3, é caracterizado o sub-sistema existente.

**Tabela 3. Caracterização do sistema Multimunicipal do Cávado (Águas do Cávado, S.A., 2009).**

SUB-SISTEMA	Municípios abrangidos	INFRAESTRUTURAS A SER OPERADAS PELA EMPRESA						
		Captações	ETA		Adutores	Estações Elevatórias	Reservatórios	
		n.º	n.º	m <sup>3</sup> de água tratada/dia	km	n.º	n.º	m <sup>3</sup>
<b>ETA de Areias de Vilar</b>	Barcelos, Esposende, Maia (Norte), Póvoa do Varzim, Santo Tirso, Trofa, Vila do Conde, Famalicão	1	1	150.000	290	22	66	153.210

## 2.1 A ETA de Queimadela

A ETA de Queimadela (Figura 1), primeiro sistema em estudo nesta tese, fica situada na freguesia de Revelhe, concelho de Fafe, na margem esquerda da barragem de Queimadela, albufeira do rio Vizela. Esta estação, inaugurada em 1999 pela Câmara Municipal de Fafe, foi integrada, em 2003, no sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e Saneamento do Vale do Ave.

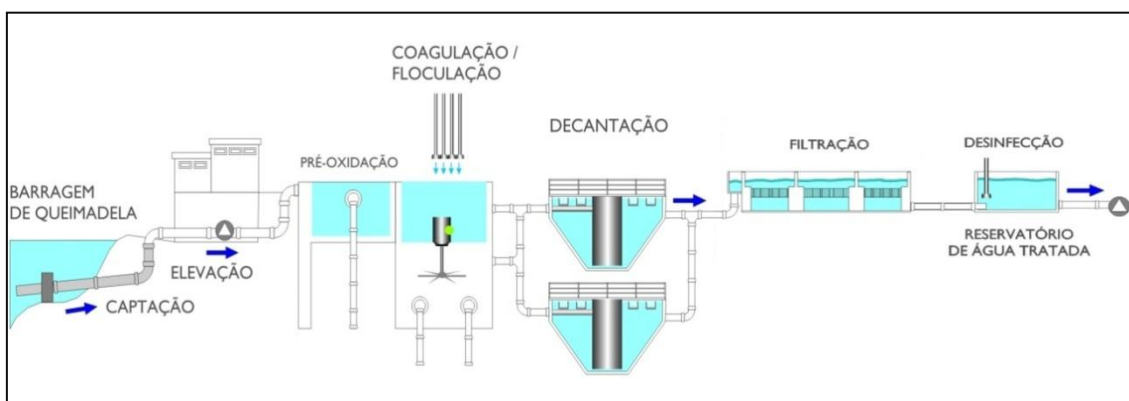
A estação (Figura 2) é composta por duas linhas de tratamento iguais, de modo a assegurarem o abastecimento, em caso de avaria ou necessidade de manutenção de uma das linhas de tratamento. Estas linhas são independentes uma da outra, estando dimensionadas para tratar um caudal máximo de 18.000 m<sup>3</sup>/dia, para um funcionamento em contínuo (Águas do Ave, S.A., 2009). Na ETA de Queimadela, os processos incluídos são: captação/elevação, pré-oxidação e correcção do pH, coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e, por último, elevação/adução.

A ETA dispõe de um sistema de tratamento de lamas em fase de ensaios de funcionamento por parte do adjudicatário construtor, estando a receber as lamas espessadas da ETA de Andorinhas e as águas de lavagem dos filtros e descargas de lamas dos decantadores da ETA de Queimadela, de modo a fazer face às actuais exigências legislativas.

Este sistema terá capacidade para tratar 695 kg de lamas/dia (Águas do Ave, S.A., 2009).



**Figura 1. Vista aérea da ETA de Queimadela.**



**Figura 2. Processos de tratamento de água existentes na ETA de Queimadela (Águas do Ave, S.A., 2008).**

### **2.1.1 Captação/elevação**

A captação de água da barragem de Queimadela é feita através de dois níveis distintos (tomada superior a 7,5 metros de profundidade e tomada inferior a 12,5 metros). A captação de água à estação será feita preferencialmente através da tomada de água superior. A tomada de água inferior é activada apenas quando o nível de água na barragem estiver abaixo da tomada de água superior. A captação de água é efectuada por três grupos electrobomba, de eixo horizontal (Figura 3), com variadores de velocidade, que permitem ajustar o caudal a tratar (Lemos e Castro, 2008).

A água bruta é elevada em duas condutas independentes até à ETA.

Em seguida, são descritos os processos de tratamento que integram a ETA de Queimadela.



**Figura 3. Grupos electrobomba de captação (Águas do Ave, S.A., 2008).**

### **2.1.2 Tratamento**

Após a captação, a água é submetida a uma série de processos, de forma a garantir a sua qualidade físico-química e bacteriológica. O sistema de tratamento foi concebido tendo em conta as características da água bruta. Esta foi previamente classificada como sendo do tipo A2 (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto), assim, terá de ser sujeita a um tratamento físico, químico e desinfecção. Os processos de tratamento incluem a pré-oxidação e correcção do pH, a coagulação/floculação, a decantação, a filtração, a desinfecção e, por último, a elevação/adução (Lemos e Castro, 2008).

- **Pré-oxidação e correcção do pH**

Este primeiro processo é realizado utilizando cloro, tendo como objectivo a remoção de microorganismos, matéria orgânica, ferro, manganês e o estabelecimento de condições que melhorem a ocorrência de algumas das etapas posteriores de tratamento.

Nesta etapa, o cloro gasoso é introduzido no sistema, usando um fluxo de água, sendo doseado por dois clorímetros, um por cada linha de tratamento. Durante esta operação, poderão formar-se sub-produtos, compostos organohalogenados designados por Tri-halometanos (THM) que são constituídos na sua maioria por quatro compostos: Clorofórmio, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio (Lopes, 2005). Estes são analisados, rotineiramente, por serem os quatro THM com maior predominância nas águas que sofrem cloração (Alegria *et al.*, 1998).

Tais compostos resultam das reacções do cloro com os constituintes da matéria orgânica natural existente na água e são prejudiciais à saúde, uma vez que apresentam propriedades cancerígenas e toxicológicas. A sua formação é directamente proporcional às concentrações de cloro, matéria orgânica e ao tempo de contacto das reacções. A utilização de carvão activado em pó foi prevista no projecto desta infra-estrutura como medida preventiva nas situações em que a água bruta apresentasse pior qualidade. É doseado durante a maior parte do ano, imediatamente antes das câmaras de mistura rápida, de forma a remover os THM por adsorção nas etapas de tratamento posteriores.

Antes da etapa seguinte – processo de coagulação/floculação –, são promovidos o aumento da alcalinidade da água bruta e a correcção do pH, por adição de hidróxido de cálcio, para o valor óptimo de acção do coagulante. Este agente é doseado sob a forma de água de cal, imediatamente antes das câmaras de mistura rápida, onde ocorre a etapa seguinte (Lemos e Castro, 2008).

Embora a emissão de cloro para a atmosfera seja indesejável, poderá haver uma pequena emissão de cloro gasoso que será calculada através da bibliografia (NPI, 2008).

- **Coagulação/floculação**

A coagulação/floculação decorre nas câmaras de mistura rápida (Figura 4), onde se cria turbulência, de forma a promover o contacto do coagulante policlorosulfato de alumínio com a água, tendo por objectivo desestabilizar as partículas em suspensão e facilitar a sua aglomeração. (Lemos e Castro, 2008).

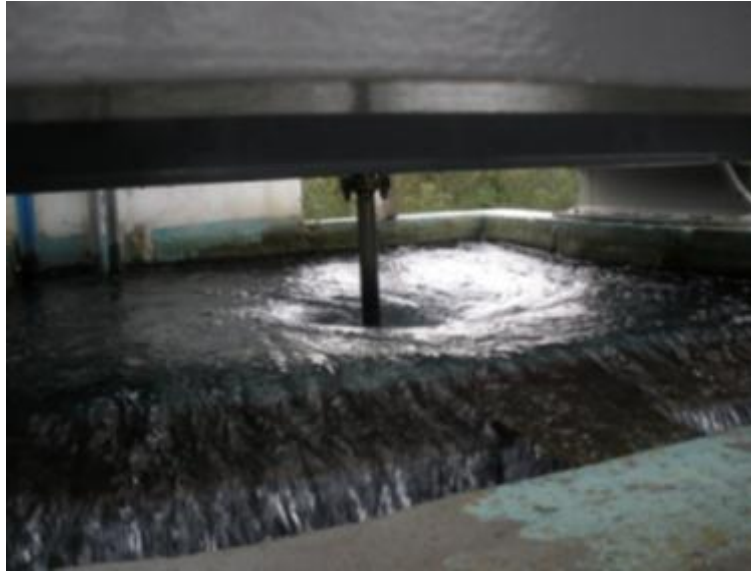


Figura 4. Visão interna da Câmara de mistura rápida (Águas do Ave, S.A., 2008).

- **Decantação**

A água da fase anterior é repartida por quatro (dois por cada uma das linhas) decantadores estáticos de manto de lamas (Figura 5), onde as partículas formam massas de dimensão apreciável que sedimentam como um todo (um manto), verificando-se uma separação nítida entre a água e a lama (Alves, 2007). Este processo promove a clarificação da água sem adição de produtos químicos.

As lamas geradas neste processo são actualmente lançadas para a albufeira, não sendo feito nenhum tipo de monitorização nem de quantificação (Lemos e Castro, 2008).



Figura 5. Decantadores de manto de lamas (Águas do Ave, S.A., 2008).

- **Filtração**

A água decantada é distribuída uniformemente por seis filtros rápidos de areia, gravíticos, de fluxo descendente e de monocamada. Em cada uma das linhas de tratamento, os filtros funcionam em bateria e são munidos de válvulas motorizadas e pneumáticas que permitem a lavagem de um dos filtros, enquanto os outros estão em filtração. Os filtros são lavados com água tratada, de forma a evitar o crescimento de microorganismos no meio filtrante, mantendo-o desinfectado (Lemos e Castro, 2008).

Esta etapa irá remover quase na totalidade as partículas em suspensão ainda presentes na água. A água resultante da lavagem dos filtros é, conjuntamente com as lamas geradas na etapa de filtração e decantação, lançada na albufeira. Nesta etapa não há adição de reagentes químicos, sendo apenas necessária água tratada para a lavagem dos filtros. Desta etapa resulta água inquinada proveniente da lavagem de filtros (Águas do Ave, S.A., 2009).

- **Desinfecção**

A desinfecção é a última operação realizada no processo de tratamento de água. À semelhança do processo de pré-oxidação, o cloro é doseado sob a forma de gás transportado por um fluxo de água (Águas do Ave, S.A., 2009). A formação de THM

será muito inferior ou mesmo nula, relativamente à etapa de pré-oxidação, pois, nesta etapa, não deverá existir matéria orgânica na água, dado que terá de obedecer às normas de qualidade de água para consumo definidas no Anexo IX do Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro.

Nesta etapa, tal como na de pré-oxidação e correcção do pH, poderá haver emissões de cloro para a atmosfera (NPI, 2008).

### **2.1.3 Elevação/adução**

Finalmente, depois da etapa de desinfecção, a água tratada vai ser elevada para os reservatórios de distribuição. Estes armazenam a água que depois vai ser distribuída pela população.

## **2.2 A ETA de Areias de Vilar**

A ETA de Areias de Vilar, segundo caso de estudo, está localizada na freguesia de Areias de Vilar, concelho de Barcelos, a jusante da Albufeira do Aproveitamento Hidroeléctrico de Penide, na margem esquerda do rio Cávado (Figura 6).



**Figura 6. Vista aérea da ETA de Areias de Vilar.**

A estação (Figura 7) é composta por duas linhas iguais de tratamento, de modo a assegurarem o abastecimento, em caso de avaria ou necessidade de manutenção de uma das linhas de tratamento. Estas linhas possuem uma capacidade de tratamento máxima

de 150.000 m<sup>3</sup>/dia de água, para um funcionamento em contínuo.

Na ETA de Areias de Vilar, alguns processos são distintos, incluindo: captação/elevação, reservatório de água bruta/elevação, pré-ozonização, remineralização, coagulação/floculação, decantação, filtração, desinfecção e correcção do pH e, por último, elevação/adução.

A instalação dispõe de tratamento de lamas, tendo a capacidade de tratar, aproximadamente, 4 ton/dia. As lamas provenientes das purgas dos decantadores são recolhidas num poço de bombagem, de onde são bombadas em direcção a um ou dois espessadores, com 16 metros de diâmetro e com raspador de fundo. A água clarificada é evacuada por gravidade em direcção ao reservatório de água bruta e as lamas são desidratadas em duas centrífugas, sendo, posteriormente, enviadas para aterro, ou outro destino (Águas do Cávado, S.A., 2009).

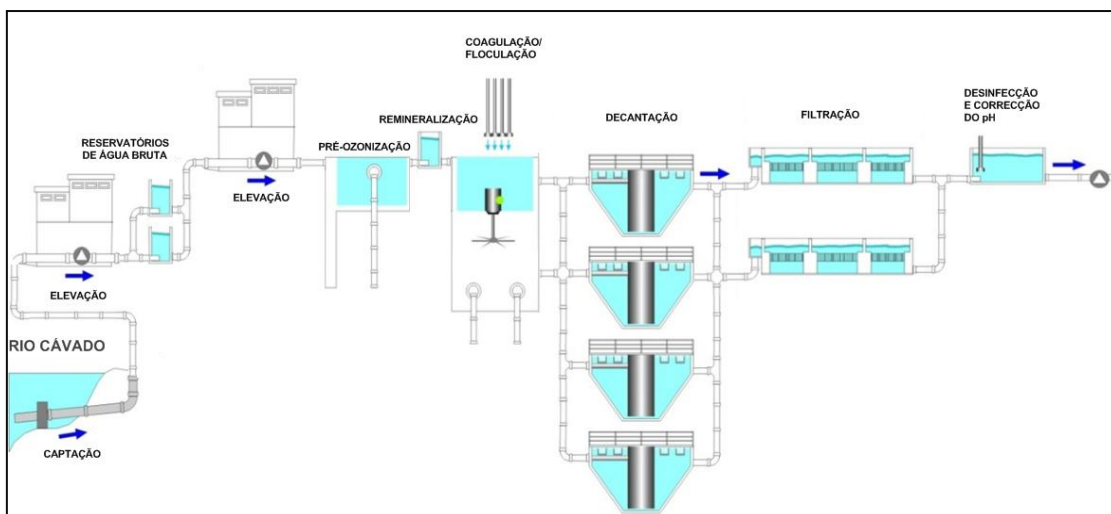


Figura 7. Esquema de tratamento da ETA de Areias de Vilar (Adaptado de Águas do Ave, S.A., 2008).

### 2.2.1 Captação/elevação

A tomada de água é superficial e directamente no rio Cávado, na pequena albufeira de Areias de Vilar. A captação é feita por quatro grupos electrobomba submersíveis, com uma capacidade unitária de 1 m<sup>3</sup>/s, podendo funcionar todas em simultâneo (Águas do Cávado, S.A., 2009).

### 2.2.2 Reservatório de água bruta/elevação

Após a captação (Figura 8), a água bruta é recolhida num reservatório de duas células (Figura 9), com uma capacidade de armazenamento máxima de 175.000 m<sup>3</sup>, que lhe conferem uma autonomia de 24 horas. Estes reservatórios têm como objectivo salvaguardar eventuais paragens imprevistas do sistema de captação, como períodos de poluição excessiva, e garantir o abastecimento contínuo à ETA.

A água é encaminhada dos reservatórios para o processo de tratamento na ETA, sendo bombeada por um segundo conjunto de quatro bombas submersíveis de eixo vertical, com igual capacidade unitária (Águas do Cávado, S.A., 2009).



**Figura 8. Captação**  
(Águas do Cávado, S.A., 2009).



**Figura 9. Reservatórios de água bruta**  
(Águas do Cávado, S.A., 2009).

Em seguida, são descritos os processos de tratamento que integram a ETA de Areia de Vilar.

### 2.2.3 Tratamento

Após a captação, a água é submetida ao respectivo tratamento, constituído por uma série de processos de modo a garantir a sua qualidade físico-química e bacteriológica. O sistema foi concebido tendo em conta as características da água bruta. Esta pode ser definida como sendo, genericamente, da classe A1 (Decreto-Lei n° 236/98, de 1 de Agosto).

Relativamente aos parâmetros microbiológicos e de azoto amoniacal, é definida como sendo do tipo A2, tendo que ser submetida a um tratamento físico, químico e desinfecção (Águas do Cávado, S.A., 2009).

- **Pré-ozonização**

O processo de tratamento inicia-se com a pré-ozonização (oxidação com ozono) em torres de contacto. O ozono não forma, com as substâncias com que reage, novos compostos estáveis, possuindo um poder desinfectante dez a cem vezes superior ao do cloro, eliminando os microorganismos mais resistentes. O ozono é muito instável, pelo que, após a sua síntese, não pode ser comprimido e armazenado, sendo produzido no local (Alves, 2007).

Na ETA de Areias de Vilar, o ozono é produzido a partir de uma mistura de oxigénio com azoto (proporção de 97,5% de O<sub>2</sub> para 2,5% de N<sub>2</sub>). Esta etapa pretende remover algas e matéria orgânica, auxiliando algumas etapas subsequentes do processo de tratamento (Águas do Cávado, S.A., 2009).

- **Remineralização**

Nesta etapa, são adicionados à água uma suspensão de leite de cal e dióxido de carbono, sendo este introduzido em contracorrente nas torres de contacto. Estes procedimentos são seguidos pelo facto de a água do rio Cávado ter características muito próximas de uma água com um grau de pureza muito elevado. Estas águas são muito agressivas, tendo um baixo valor de alcalinidade, dureza e condutividade (*Vide* Anexo A - Tabela A3).

Uma água deste tipo poderá promover o ataque corrosivo a condutas, sendo, por isso, necessário proceder à correcção da sua agressividade. Ao adicionar a suspensão de leite de cal, o pH irá elevar-se, mas poderá não ser o suficiente para garantir a diminuição da agressividade. Assim é igualmente adicionado dióxido de carbono que irá promover a formação de uma camada protectora e evitar a corrosão das tubagens (Águas do Cávado, S.A., 2009).

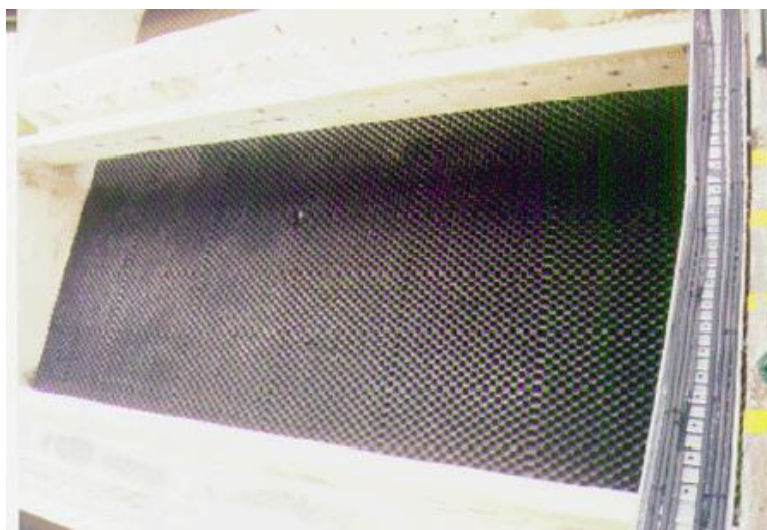
- **Coagulação/floculação**

Após a etapa de remineralização, a água segue para duas câmaras de mistura rápida, onde é adicionado o coagulante sulfato de alumínio, com o objectivo de desestabilizar as partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração. Dependendo da qualidade da

água bruta, poderá ser adicionado carvão activado (Águas do Cávado, S.A., 2009).

- **Decantação**

A água resultante da etapa de mistura rápida é repartida por quatro decantadores do tipo pulsador lamelar. Nesta etapa, as partículas, em suspensão, com uma densidade superior à da água, serão removidas. A Figura 10 inclui um decantador da ETA. As lamas geradas neste processo seguem para a linha de desidratação. Na Decantação não ocorre adição de agentes químicos (Águas do Cávado, S.A., 2009).



**Figura 10. Pormenor de decantador sem água (Águas do Cávado, S.A., 2009).**

- **Filtração**

Após a decantação, a água é uniformemente distribuída por seis filtros gravíticos, rápidos de areia, em monocamada, com nitrificação biológica.

A água do rio Cávado captada, em Areias de Vilar, apresenta teores em compostos azotados, nomeadamente azoto amoniacal, compatíveis com a produção de água para abastecimento humano. É, no entanto, necessária a utilização de tecnologia e processos de tratamento adequados à remoção do excesso de azoto amoniacal. Neste sentido, foi desenvolvido, um processo de remoção de amónia por via biológica, durante esta etapa, onde actuam bactérias que oxidam o azoto amoniacal a nitrato (nitrificação) e reduzem

os nitratos a azoto gasoso (desnitrificação) (Magalhães, 2004).

A água resultante da lavagem dos filtros é reintroduzida no sistema no processo de coagulação/floculação (Águas do Cávado, S.A., 2009).

- **Desinfecção e correcção do pH**

A desinfecção final tem lugar nos tanques de contacto onde é adicionado o cloro. À saída destes, procede-se à correcção final do pH, com recurso à injeção de uma solução de água de cal.

Após esta etapa, a água tratada é encaminhada para um reservatório com 20.000 m<sup>3</sup> de capacidade (Águas do Cávado, S.A., 2009).

#### **2.2.4 Elevação/adução**

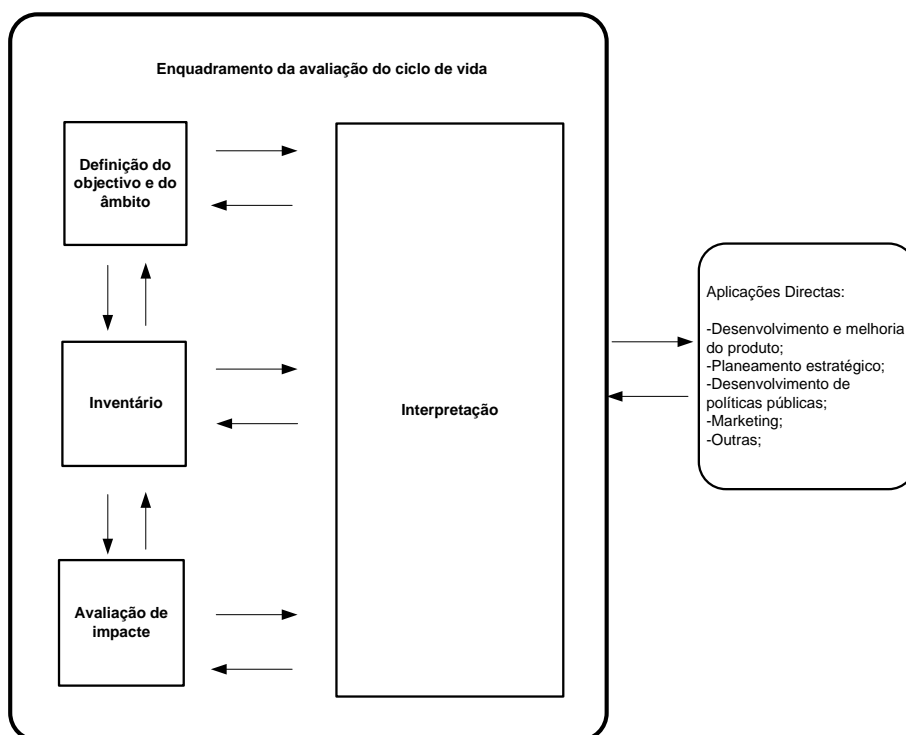
Após o tratamento, a água é elevada para o sistema de adução, com vista à sua distribuição pelo consumidor final.

### **3 Avaliação do Ciclo de Vida da ETA de Queimadela e da ETA de Areias de Vilar**

A ACV é uma ferramenta que tem como objectivo avaliar os potenciais impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um produto, de um processo ou de um serviço, incluindo as fases associadas à extracção de matérias-primas até às actividades de fim de vida.

A ACV é utilizada como instrumento de avaliação que pode ser usada na tomada de decisão para a selecção de produtos, processos e/ou serviços em função do seu impacte ambiental.

A metodologia de ACV inclui as etapas apresentadas na Figura 11.



**Figura 11. Etapas de uma ACV (NP EN ISO 14040, 2008).**

Na etapa de *Definição do objectivo e do âmbito*, devem ser definidos o sistema a estudar, as suas funções e fronteiras, a unidade funcional (UF), os procedimentos de alocação, o tipo de metodologia utilizada e impactes associados, as suposições e limitações do sistema. O âmbito deve ser suficientemente bem delimitado para assegurar que a extensão, a profundidade e o detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atingir os objectivos planeados.

O *Inventário do ciclo de vida* identifica e quantifica as entradas e saídas de e para o ambiente, do sistema em estudo. Nesta fase, é efectuado um levantamento de todos os recursos utilizados e de todas as emissões produzidas pelo sistema específico, relacionando-os com a UF definida anteriormente.

A etapa de *Avaliação do ciclo de vida* inclui a classificação, a caracterização, a normalização e a ponderação, sendo estas duas últimas etapas opcionais.

No passo de Classificação, os resultados do inventário são atribuídos às categorias de impacte.

Na Caracterização são calculados os valores de impacte ambiental potencial, utilizando factores de caracterização.

A Normalização dos resultados – passo opcional da etapa de avaliação de impacte do ciclo de vida – tem como objectivo relacionar a magnitude relativa de cada categoria de

impacte face a um referencial geográfico.

A Ponderação – passo opcional da etapa de avaliação de impactes ambientais – atribui pesos às diferentes categorias de impacte, baseados na sua importância ou relevância. Como resultado desta etapa, são obtidos indicadores únicos agregados para as categorias de impacte.

A última etapa de um estudo ACV inclui a *Interpretação dos resultados*. Nesta fase, os resultados obtidos da análise do inventário e da avaliação de impactes são analisados, são retiradas as conclusões e identificadas as limitações.

Em seguida, é descrito o trabalho realizado em cada uma das etapas da metodologia para cada um dos casos de estudo.

## **3.1 Definição do objectivo e do âmbito**

### **3.1.1 ETA de Queimadela**

O sistema em estudo é a ETA de Queimadela, sendo apenas considerada a respectiva fase de operação.

Estima-se que o tempo de vida da ETA seja, aproximadamente, 25 anos. Neste estudo, é excluída a fase de construção deste sistema, pois não existe informação disponível em relativamente a materiais, energia, emissões e resíduos produzidos na construção da infra-estrutura. A fase de desmantelamento e de manutenção da ETA são também excluídas desta análise. Embora a ETA disponha da etapa de tratamento das lamas provenientes do processo de tratamento, esta etapa não foi considerada por se encontrar, à data de realização do estudo, em fase de instalação e ensaios.

O sistema estudado inclui os processos de captação/elevação, tratamento, pré-oxidação e correcção do pH, coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção e, finalmente, a etapa de elevação/adução (*Vide* Figura 12). Estas etapas são descritas na secção anterior (secção 2.1).

A informação, em relação aos fluxos de materiais e de energia, inclui o consumo de recursos necessários para o tratamento da água bruta e as emissões relacionadas com o este processo. Esta informação foi disponibilizada pela empresa, Águas do Ave, S.A., e reporta a 2008.

A UF considerada é 1 m<sup>3</sup> de água tratada por dia. Todos os cálculos de emissões, materiais e energia são efectuados em relação à UF.

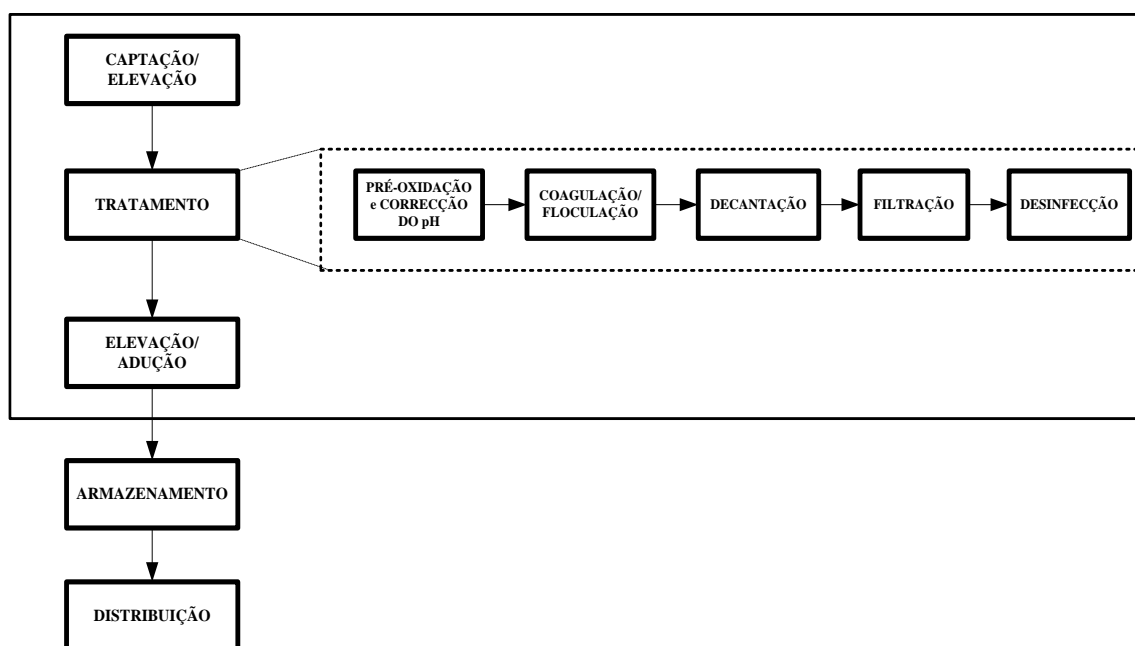


Figura 12. Sistema em estudo referente à fase de operação da ETA de Queimadela.

### 3.1.2 ETA de Areias de Vilar

O sistema em estudo é também a etapa de operação desta ETA, estimando-se que o seu tempo de vida seja o mesmo da ETA de Queimadela, i.e., a 25 anos. São também excluídas a fase de construção, de desmantelamento e de manutenção da ETA.

O sistema estudado inclui as etapas de captação/elevação, reservatório de água bruta/elevação, tratamento, onde estão incluídas as etapas de pré-ozonização, remineralização, coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção e finalmente a etapa de elevação/adução (Vide Figura 13). A informação relativa aos fluxos de materiais e de energia inclui o consumo de recursos necessários para o tratamento da água bruta e as emissões relacionadas com o processo de tratamento. Esta informação relativa a todo o processo de funcionamento foi disponibilizada pela empresa, Águas do Cávado, S.A., reportando ao ano de 2008. A UF considerada é 1 m<sup>3</sup> de água tratada por dia.

As operações da ETA de Areias de Vilar diferem ligeiramente das operações realizadas na ETA de Queimadela, nomeadamente no que se refere ao processo de tratamento das lamas produzidas, pelos motivos expostos anteriormente. De modo a ser possível a comparação entre os dois sistemas optou-se por avaliar a ETA de Areias de Vilar

excluindo, numa primeira análise, os eventuais impactes associados com a produção de lamas e, incluindo, numa segunda análise, as lamas produzidas no processo de tratamento de água analisando a sua contribuição para o impacte ambiental causado pela ETA.

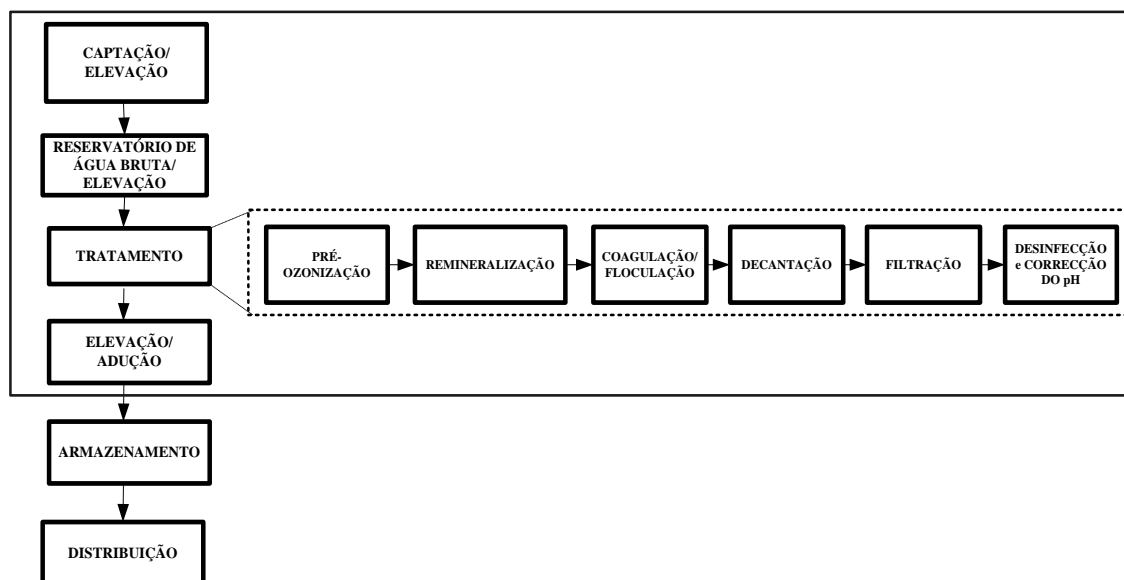


Figura 13. Sistema em estudo referente à fase de operação da ETA de Areias de Vilar.

## 3.2 Inventário do ciclo de vida

### 3.2.1 ETA de Queimadela

A informação quantitativa usada é relativa a 2008, por se considerar ser o ano mais representativo das condições actuais de funcionamento da ETA de Queimadela. Inicialmente consideraram-se duas épocas distintas de funcionamento para a definição do inventário de materiais e de energia: a época húmida (meses de Outubro a Abril) e a época seca (meses de Maio a Setembro). Verificou-se que os valores de consumo de materiais e produção de emissões são muito semelhantes para as duas épocas, optando-se, deste modo, por considerar, para efeitos do inventário, a respectiva média anual.

O volume de água médio tratado em 2008 foi cerca de 4242 m<sup>3</sup>/dia. A inventariação dos fluxos de materiais e de energia implica a listagem quer de agentes químicos, quer

de energia consumidos e a emissão de poluentes gasosos, efluentes líquidos, ou resíduos sólidos.

A Figura 14 representa as principais entradas/saídas de materiais e energia consumidos na fase de operação da ETA.

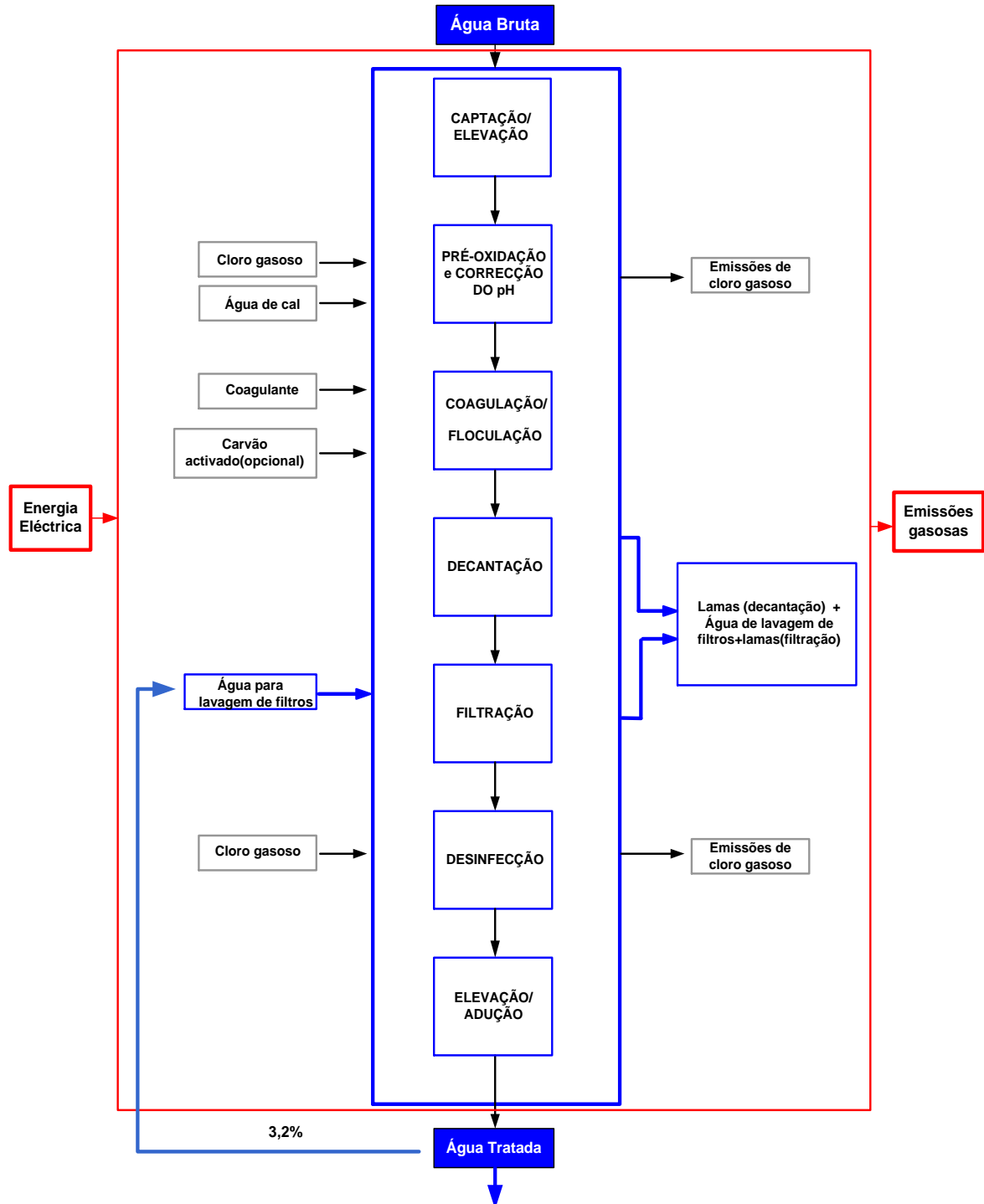


Figura 14. Principais entradas e saídas de materiais e de energia da ETA de Queimadela.

Os valores apresentados no inventário (Tabela 5) são os valores médios anuais.

São também disponibilizados os valores mínimo e máximo da gama. A maior parte da informação quantitativa usada, em relação a consumo de materiais e energia e produção de resíduos sólidos, tem origem na empresa Águas do Ave, S.A., tendo, por isso, associada uma incerteza reduzida.

Para quantificar as entradas de materiais no sistema (por exemplo, de policlorosulfato de alumínio, cloro gasoso, carvão activado e de hidróxido de cálcio), foram recolhidas as dosagens médias diárias de cada um dos reagentes químicos durante 2008.

A energia eléctrica foi estimada pelos consumos eléctricos médios diários anuais. A informação relativa às entradas foi fornecida pela empresa Águas do Ave, S.A.

As emissões gasosas, referentes ao consumo de energia na ETA, foram estimadas através da base de dados BUWAL 250 (BUWAL, 1996), incluída no *software* SIMAPRO 7. O consumo de energia eléctrica reporta ao *mix* energético usado em Portugal no ano de 2006 (IEA, 2006) (Tabela 4). A estimativa das emissões gasosas considerou a queima de carvão, gás natural, fuelóleo e nuclear, os factores de emissão associados a cada combustível, o *mix* energético nacional e o consumo médio diário da ETA (Tabela 5).

Os resultados referentes às emissões gasosas apresentados na Tabela 5 incluem também a pré-combustão.

Foram excluídas deste estudo as emissões das *hottes* existentes no laboratório da ETA. Também não foram considerados o consumo de combustível usado em equipamentos da ETA e as consequentes emissões gasosas.

**Tabela 4. Mix energético usado na produção de energia eléctrica em Portugal (IEA, 2006).**

Produção a partir de:	Mix energético <sup>a)</sup> (%)
Fuelóleo	10,4
Gás natural	25,6
Nuclear	2,0
Carvão - hulha	29,7
Hidráulica	22,0
Outras	10,3

<sup>a)</sup> No *mix* energético foi considerado que houve importação de energia de Espanha.

**Tabela 5. Inventário de entradas e saídas de materiais e energia da ETA de Queimadela. A UF é de 1 m<sup>3</sup> de água tratada por dia.**

<b>ENTRADAS</b>	
<b>Materiais</b>	<b>kg / UF</b>
Policlorossulfato de Alumínio	0,016 [0,018; 0,014] <sup>a)</sup>
Cloro gasoso (desinfecção e pré-oxidação)	0,0026 [0,0031; 0,0021] <sup>a)</sup>
Carvão activado	0,0008 [0,0010; 0,0005] <sup>a)</sup>
Hidróxido de cálcio	0,0027 [0,0029; 0,0022] <sup>a)</sup>
<b>Electricidade</b>	<b>kWh / UF</b>
Energia Eléctrica	1,4 [2,1; 1,06] <sup>a)</sup>
<b>SAÍDAS</b>	
<b>Emissões gasosas</b>	<b>kg /UF</b>
Cl <sub>2</sub>	3,36 E-05 <sup>b)</sup>
CO <sub>2</sub> fóssil	8,05E-01 <sup>c)</sup>
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,89E-06 <sup>c)</sup>
HC aromáticos policíclicos	4,40E-08 <sup>c)</sup>
HC aromáticos	6,96E-06 <sup>c)</sup>
NO <sub>x</sub>	1,85E-03 <sup>c)</sup>
NH <sub>3</sub>	2,60E-06 <sup>c)</sup>
N <sub>2</sub> O	7,30E-06 <sup>c)</sup>
CO	1,79E-04 <sup>c)</sup>
Halon1301	1,04E-08 <sup>c)</sup>
HC halogenados	2,67E-11 <sup>c)</sup>
CH <sub>4</sub>	2,55E-03 <sup>c)</sup>
HF	1,33E-05 <sup>c)</sup>
SO <sub>x</sub> <sup>d)</sup>	3,10E-03 <sup>c)</sup>
Partículas	7,94E-04 <sup>c)</sup>
COVNM	2,10E-05 <sup>c)</sup>
HCl	6,60E-06 <sup>c)</sup>
	<b>kBq/UF</b>
Substâncias radioactivas	8,90E+01 <sup>c)</sup>
Metais pesados	<b>kg / UF</b>
Hg	2,16E-08 <sup>c)</sup>
Cd	1,06E-08 <sup>c)</sup>
Pb	1,52E-07 <sup>c)</sup>
Mn	6,97E-08 <sup>c)</sup>
Ni	8,49E-07 <sup>c)</sup>
Zn	2,02E-07 <sup>c)</sup>
<b>Lamas juntamente c/ água de lavagem de filtros</b>	<b>kg / UF</b>
Alumínio	0,064 <sup>e)</sup>
Sólidos Dissolvidos Totais	0,029 <sup>e)</sup>
Sólidos Totais	0,519 <sup>e)</sup>

a) Valor médio quantificado pela Águas do Ave, S.A.,

b) Considerou-se que as emissões de cloro gasoso poderão eventualmente ocorrer se existirem fugas nas tubagens do sistema. Valor calculado com base em (NIP, 2008).

c) Valores estimados com base no consumo de energia medido pela Águas do Ave, S.A., o mix energético nacional e os factores de emissão de cada poluente para cada tipo de combustível usado (IEA, 2006; BUWAL 250, 1996). Os resultados incluem pré-combustão.

d) Consideraram-se as emissões de SO<sub>x</sub> como sendo iguais às de SO<sub>2</sub>. É frequente este tipo de considerações pelo facto de, nas condições de equilíbrio à temperatura da caldeira, o SO<sub>3</sub> decompor-se em SO<sub>2</sub> (EMEP-CORINAIR, 2007).

e) Este parâmetro não é medido pela Águas do Ave, S.A., sendo apenas realizada uma análise.

Em anexo são apresentadas a caracterização da água à entrada e à saída da ETA, para o ano de 2008 e a caracterização das lamas produzidas (*Vide* Anexo A - Tabela A 1, Tabela A 2 e Tabela A 6).

### **3.2.2 ETA de Areias de Vilar**

A informação quantitativa usada é relativa a 2008, por se considerar ser o ano mais representativo das condições actuais de funcionamento da ETA de Areias de Vilar. O volume de água médio tratado em 2008 foi cerca de 80.773 m<sup>3</sup>/dia.

A inventariação dos fluxos de materiais e de energia implica a listagem quer de agentes químicos, quer de energia consumidos e a emissão de poluentes gasosos, efluentes líquidos, ou resíduos sólidos. A Figura 15 representa as principais entradas/saídas de materiais e energia consumidos na fase de operação da ETA de Areias de Vilar.

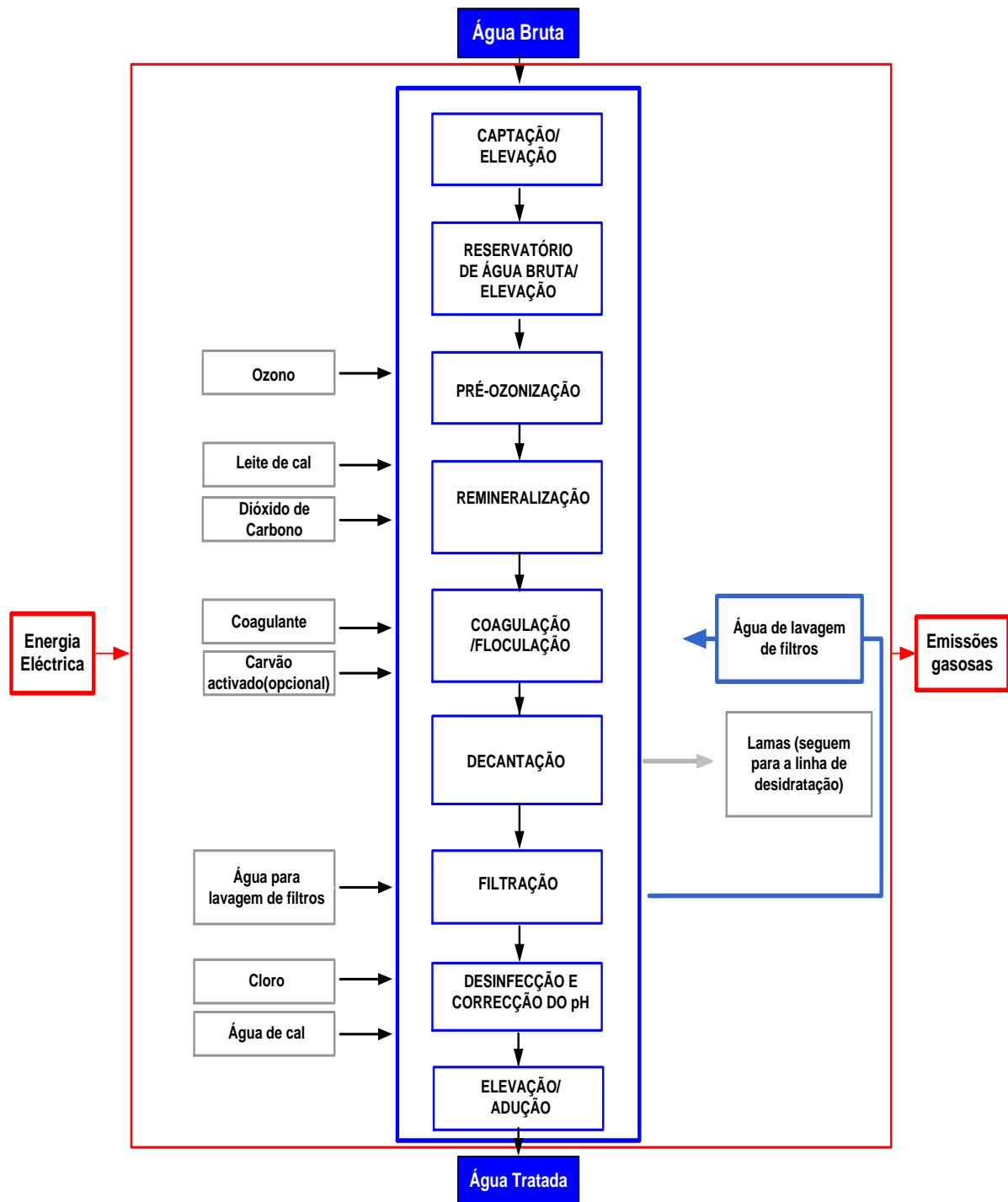


Figura 15. Principais entradas e saídas de materiais e de energia da ETA de Areias de Vilar.

Os valores apresentados no inventário (Tabela 6) são os valores médios anuais.

São também disponibilizados os valores mínimo e máximo da gama. A maior parte da informação quantitativa usada, em relação a consumo de materiais e energia e produção de resíduos sólidos, tem origem na empresa Águas do Cávado, S.A., tendo por isso associada uma incerteza reduzida.

Para quantificar as entradas de materiais no sistema (sulfato de alumínio, cloro líquido, carvão activado, hidróxido de cálcio, dióxido de carbono, oxigénio e azoto), foram recolhidas as dosagens médias diárias de cada um dos reagentes químicos durante o ano de 2008. Os valores de consumo de energia foram calculados através dos gastos médios diários anuais. A informação relativa às entradas foi fornecida pela empresa Águas do Cávado, S.A.,

As emissões gasosas, referentes ao consumo de energia na ETA foram estimadas através da base de dados BUWAL 250 (BUWAL, 1996) incluída no *software* SIMAPRO 7. O consumo eléctrico reporta ao mix energético usado em Portugal no ano de 2006 (IEA, 2006) (Tabela 4).

Apenas foram consideradas as emissões gasosas provenientes da queima de carvão, gás natural, fuelóleo e nuclear.

As emissões das *hottes* existentes no laboratório da ETA, do sistema de exaustão, da caldeira a GPL, dos equipamentos de ar condicionado, do consumo de combustível usado no equipamento desta não entraram em linha de conta neste estudo.

**Tabela 6. Inventário de entradas e saídas de materiais e energia da ETA de Areias de Vilar. A UF é de 1 m<sup>3</sup> de água tratada por dia.**

<b>ENTRADAS</b>	
<b>Materiais</b>	<b>kg / UF</b>
Sulfato de Alumínio	0,014 [0,031; 0,005] <sup>a)</sup>
Cloro líquido (desinfecção)	0,0012 [0,00174; 0,00079] <sup>a)</sup>
Carvão activado	0,00036 [0,0022; 0] <sup>a)</sup>
Hidróxido de cálcio	0,064 [0,08; 0,05] <sup>a)</sup>
Dióxido de carbono líquido	0,074 [0,095; 0,059] <sup>a)</sup>
Oxigénio líquido	0,026 [0,033; 0,016] <sup>a)</sup>
Azoto líquido	0,0010 [0,0021; 0,0004] <sup>a)</sup>
<b>Electricidade</b>	<b>kWh / UF</b>
Energia Eléctrica	0,61 [0,68; 0,59] <sup>a)</sup>
<b>SAÍDAS</b>	
<b>Emissões gasosas <sup>b)</sup></b>	<b>kg / UF</b>
CO <sub>2</sub> fóssil	3,53E-01
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	8,30E-07
PAH	1,93E-08
HC aromáticos	3,05E-06
NO <sub>x</sub>	8,12E-04
NH <sub>3</sub>	1,14E-06
N <sub>2</sub> O	3,20E-06
CO	7,87E-05
Halon1301	4,57E-09
HC halogenados	1,17E-11
CH <sub>4</sub>	1,12E-03
HF	5,85E-06
SO <sub>x</sub> <sup>c)</sup>	1,36E-03
Partículas	3,48E-04
COVNM	1,76E-04
HCl	5,52E-05
	<b>kBq/ UF</b>
Substâncias radioactivas	3,91E+01
Metais pesados	<b>kg/ UF</b>
Hg	9,46E-09
Cd	4,67E-09
Pb	6,65E-08
Mn	3,06E-08
Ni	3,72E-07
Zn	8,85E-08
	<b>kg/ UF</b>
<b>Lamas</b>	0,035 <sup>a) d)</sup>

<sup>a)</sup> Valor médio quantificado pela Águas do Cávado, S.A., Não foram consideradas emissões gasosas deste elemento.

<sup>b)</sup> Valores estimados com base no consumo de energia medido pela Águas do Cávado, S.A., o *mix* energético nacional e os factores de emissão de cada poluente para cada tipo de combustível usado (IEA, 2006; BUWAL 250, 1996).

<sup>c)</sup> Consideraram-se as emissões de SO<sub>x</sub> como sendo iguais às de SO<sub>2</sub>. É frequente este tipo de considerações pelo facto de, nas condições de equilíbrio à temperatura da caldeira, o SO<sub>3</sub> decompõe-se em SO<sub>2</sub> (EMEP-CORINAIR, 2007).

<sup>d)</sup> Este valor vai ser utilizado somente na secção 4.2.

### 3.3 Avaliação do ciclo de vida

A estrutura da metodologia de ACV (NP EN ISO 14040, 2008), no que respeita à avaliação de impactes ambientais, inclui as seguintes etapas: Classificação/Caracterização, Normalização e Ponderação. O resultado final da realização destas etapas é um indicador único agregado para o impacte ambiental.

Optou-se por conduzir o estudo tendo em consideração a etapa obrigatória (Classificação/Caracterização) e as etapas opcionais (Normalização e Ponderação). A razão desta opção tem como objectivo a obtenção de um indicador único agregado que facilite a tomada de decisão no que respeita ao desempenho ambiental do produto.

Nesta etapa, são quantificados os impactes ambientais, tendo por base os dados do inventário. A metodologia usada para avaliar os impactes das duas ETA é o método desenvolvido pelo *Center of Environmental Sciences (CML)* da Universidade de Leiden na Holanda, (Guinée, 2002). A versão mais recente desta metodologia (CML, 2008) disponibiliza factores usados nas etapas de Caracterização e Normalização. Na etapa de Caracterização, foi utilizada a metodologia de (Guinée, 2002) e nas etapas de normalização recorreu-se aos factores de normalização disponíveis em (Wegener *et al.*, 2008), tendo como referência a Europa Ocidental para o ano 2000. Na Tabela 7 e na Tabela 8, são apresentados os factores de normalização e os métodos de ponderação usados para os dois casos de estudo. Na etapa de ponderação, as diferentes categorias de impacte ambiental são ponderadas de acordo com a sua importância. Pelo facto desta etapa ter subjacente alguma subjectividade, optou-se por usar três metodologias distintas: a) Painel de peritos (Kamp, 2005), b) considerando todos os problemas ambientais Iguamente importantes; e c) a metodologia *Distance to target* (Goedkoop, 2005). Os resultados obtidos para cada um dos métodos são comparados no final.

**Tabela 7. Factores de normalização para o referencial Europa Ocidental (CML, 2008).**

Categorias de Impacte Ambiental	$FN_i$	Unidades
Aquecimento Global (Horizonte temporal=100 anos)	5,21E+12	kg CO <sub>2</sub> eq./ano
Acidificação	1,68E+10	kg SO <sub>2</sub> eq./ano
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	3,38E+09	kg etileno eq./ano
Eutrofização	1,85E+10	kg PO <sub>4</sub> eq./ano
Toxicidade Humana	1,02E+13	kg 1,4-diclorobenzeno eq./ano
Ecotoxicidade Terrestre	1,16E+11	kg 1,4-diclorobenzeno eq./ano
Depleção da Camada de Ozono	1,05E+07	kg CFC-11 eq./ano

Na Tabela 8 estão representados os factores de ponderação considerados para os três métodos de ponderação usados no trabalho.

**Tabela 8. Factores de ponderação para os três métodos utilizados (Kamp, 2005; Goedkoop, 1995).**

Categorias de impacte ambiental	Métodos de ponderação usados		
	Painel de peritos (Kamp, 2005)	Impactes Igualmente importantes	<i>Distance to target</i> (Goedkoop, 1995)
Aquecimento Global	0,172	0,143	0,018
Acidificação	0,145	0,143	0,073
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	0,109	0,143	0,028 <sup>c)</sup>
Eutrofização	0,135	0,143	0,037
Toxicidade Humana	0,133 <sup>a)</sup>	0,143	0,055 <sup>d)</sup>
Ecotoxicidade Terrestre	0,133	0,143	0,055 <sup>e)</sup>
Depleção da Camada de Ozono	0,172 <sup>b)</sup>	0,143	0,734

<sup>a)</sup> Considerado igual à Ecotoxicidade Terrestre.

<sup>b)</sup> Considerado igual ao Aquecimento Global.

<sup>c)</sup> Considerado o valor médio entre as categorias de *summer smog* e *winter smog*.

<sup>d)</sup> Considerado o valor médio (metais pesados e substâncias carcinogénicas).

<sup>e)</sup> Considerado igual à Toxicidade Humana.

### 3.3.1 ETA de Queimadela

Na Tabela 9, são apresentados os factores de caracterização (CML, 2008) associados a cada um dos poluentes referidos emitidos durante a fase de operação da ETA de Queimadela.

É de realçar a indisponibilidade de alguns factores de caracterização associados à emissão de alumínio, sólidos totais e sólidos suspensos totais, que resultam, tal como referido anteriormente, das descargas da água de lavagem de filtros, conjuntamente com as lamas da Decantação e da Filtração.

**Tabela 9. Factores de caracterização (CML, 2008).**

<b>Categoria de impacte ambiental</b>	<b>Poluente</b>	<b>Factor de caracterização</b>	<b>Local de emissão</b>
Aquecimento Global (kg CO <sub>2</sub> eq.)	CO <sub>2</sub>	1	Ar
	CH <sub>4</sub>	25	Ar
	N <sub>2</sub> O	298	Ar
	Halon1301	7140	Ar
Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq.)	SO <sub>x</sub>	1,20	Ar
	NO <sub>x</sub>	0,50	Ar
	NH <sub>3</sub>	1,60	Ar
	Cl <sub>2</sub> <sup>a)</sup>	0,88	Ar
Formação de Oxidantes Fotoquímicos (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.)	CO	0,027	Ar
	NO <sub>x</sub>	0,028	Ar
	SO <sub>x</sub>	0,048	Ar
	COVNM <sup>b)</sup>	1	Ar
	CH <sub>4</sub>	0,006	Ar
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,218	Ar
Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> eq.)	NO <sub>x</sub>	0,130	Ar
	NH <sub>3</sub>	0,350	Ar
	N <sub>2</sub> O	0,270	Ar
Toxicidade Humana (kg 1,4-diclorobenzeno eq.)	NO <sub>x</sub>	1,200	Ar
	SO <sub>x</sub>	0,096	Ar
	PM <sub>10</sub> <sup>c)</sup>	0,820	Ar
	NH <sub>3</sub>	0,100	Ar
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1890	Ar
	Cd <sup>2+</sup>	145.000	Ar
	HF	2850	Ar
	HCl	0,500	Ar
	Hg <sup>2+</sup>	6010	Ar
	Pb <sup>2+</sup>	467	Ar
	Ni <sup>2+</sup>	35.000	Ar
Zn <sup>2+</sup>	104	Ar	
COVNM <sup>b)</sup>	0,637	Ar	
Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4- diclorobenzeno eq.)	Cd <sup>2+</sup>	81,20	Ar
	PAH	0,803	Ar
	Pb <sup>2+</sup>	15,70	Ar
	Ni <sup>2+</sup>	120,0	Ar
	Zn <sup>2+</sup>	11,90	Ar
	Hg <sup>2+</sup>	28300	Ar
	COVNM <sup>b)</sup>	1,35E-12	Ar
	HF	0,0030	Ar
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,56E-05	Ar	
Depleção da Camada de Ozono (kg CFC-11 eq.)	Halon1301	12	Ar

<sup>a)</sup> Assumiu-se que o factor de caracterização do cloro gasoso emitido é igual ao valor do factor de caracterização do HCl para a água doce.

<sup>b)</sup> A metodologia usada (CML, 2008) recomenda a utilização do factor de caracterização do etileno para os COVNM.

<sup>c)</sup> Assumiu-se o factor de caracterização para PM<sub>10</sub> (CML, 2008).

### 3.3.2 ETA de Areias de Vilar

A Tabela 10 inclui os factores de caracterização para cada um dos poluentes gerados durante a fase de operação da ETA.

**Tabela 10. Factores de caracterização (CML, 2008).**

Categoria de impacte ambiental	Poluente	Factor de caracterização	Local de emissão
Aquecimento Global (kg CO <sub>2</sub> eq.)	CO <sub>2</sub>	1	Ar
	CH <sub>4</sub>	25	Ar
	N <sub>2</sub> O	298	Ar
	Halon1301	7140	Ar
Acidificação (kg SO <sub>2</sub> eq.)	SO <sub>x</sub>	1,20	Ar
	NO <sub>x</sub>	0,50	Ar
	NH <sub>3</sub>	1,60	Ar
Formação de Oxidantes Fotoquímicos (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.)	CO	0,027	Ar
	NO <sub>x</sub>	0,028	Ar
	SO <sub>x</sub>	0,048	Ar
	COVNM <sup>a)</sup>	1	Ar
	CH <sub>4</sub>	0,006	Ar
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,218	Ar
Eutrofização (kg PO <sub>4</sub> eq.)	NO <sub>x</sub>	0,130	Ar
	NH <sub>3</sub>	0,350	Ar
	N <sub>2</sub> O	0,270	Ar
Toxicidade Humana (kg 1,4-diclorobenzeno eq.)	NO <sub>x</sub>	1,200	Ar
	SO <sub>x</sub>	0,096	Ar
	PM <sub>10</sub> <sup>b)</sup>	0,820	Ar
	NH <sub>3</sub>	0,100	Ar
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1890	Ar
	Cd <sup>2+</sup>	145.000	Ar
	HF	2850	Ar
	HCl	0,500	Ar
	Hg <sup>2+</sup>	6010	Ar
	Pb <sup>2+</sup>	467	Ar
	Ni <sup>2+</sup>	35.000	Ar
	Zn <sup>2+</sup>	104	Ar
COVNM <sup>a)</sup>	0,637	Ar	
Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4- diclorobenzeno eq.)	Cd <sup>2+</sup>	81,20	Ar
	PAH	0,803	Ar
	Pb <sup>2+</sup>	15,70	Ar
	Ni <sup>2+</sup>	120,0	Ar
	Zn <sup>2+</sup>	11,90	Ar
	Hg <sup>2+</sup>	28300	Ar
	COVNM <sup>a)</sup>	1,35E-12	Ar
	HF	0,0030	Ar
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,56E-05	Ar	
Depleção da Camada de Ozono (kg CFC-11 eq.)	Halon1301	12	Ar

<sup>a)</sup> A metodologia usada (CML, 2008) recomenda a utilização do factor de caracterização do etileno para os COVNM .

<sup>b)</sup> Assumiu-se o factor de caracterização para PM<sub>10</sub> (CML, 2008).



## 4 Resultados e Discussão

Em seguida são apresentados os resultados relativos à etapa de Caracterização, seguido da comparação do valor do impacte ambiental global das duas ETA. Por fim são apresentados os resultados relativos à análise de sensibilidade por variação de alguns parâmetros considerados significativos.

### 4.1 Resultados obtidos na etapa de Caracterização: ETA de Queimadela e ETA de Areias de Vilar

Nesta secção, são apresentados os resultados relativos à etapa de Caracterização na qual são calculados os valores do impacte ambiental potencial para cada uma das categorias seleccionadas (Tabela 11).

**Tabela 11. Resultados obtidos para cada categoria de impacte ambiental, na etapa de Caracterização para as duas ETA.**

<b>Categorias de impacte ambiental: Etapa de Caracterização</b>	<b>ETA de Queimadela</b>	<b>ETA de Areias de Vilar</b>
Aquecimento Global	8,71E-01	3,82E-01
Acidificação	4,68E-03	2,04E-03
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	6,22E-04	2,73E-04
Eutrofização	2,43E-04	1,07E-04
Toxicidade Humana	7,65E-02	3,36E-02
Ecotoxicidade Terrestre	7,18E-04	3,15E-04
Depleção da Camada de Ozono	1,25E-07	5,48E-08

Os resultados permitem concluir que os valores obtidos nesta etapa são muito semelhantes para as duas ETA, para a maior parte das categorias de impacte ambiental. A diferença, comparativamente mais significativa, verifica-se para a categoria de impacte Depleção da Camada de Ozono, para a qual a ETA de Queimadela apresenta um valor superior.

## **4.2 Comparação entre a ETA de Queimadela e a ETA de Areias de Vilar: impacte ambiental**

Os resultados analisados nesta secção incluem a contribuição de cada uma das categorias para o impacte ambiental global das duas ETA, usando os três métodos de ponderação considerados (Painel de peritos, Iguamente importantes, *Distance to target*). A categoria de impacte associada à produção de resíduos sólidos (lamas) é considerada apenas numa segunda análise.

Ambas as ETA produzem lamas no seu processo, mas os tipos de opções de gestão são distintos.

A ETA de Queimadela, no decorrer deste projecto, envia as lamas directamente para albufeira, contrariamente à ETA de Areias de Vilar que procede ao seu tratamento, após o qual as envia já tratadas para aterro. Optou-se por considerar a categoria Resíduos, de forma a ter uma noção da sua possível contribuição para o impacte ambiental associado à ETA de Areias de Vilar. O mesmo não foi realizado para a ETA de Queimadela, devido ao facto da incerteza da estimativa deste valor poder ser elevada.

Por fim, é analisada a contribuição relativa de cada um dos poluentes resultantes da fase de operação da ETA de Queimadela para o valor do impacte ambiental global. Apenas se analisou esta ETA, devido ao facto das contribuições de cada um dos três métodos de ponderação serem muito semelhantes entre si.

Os resultados permitem concluir que as quatro categorias de impacte ambiental mais importantes para ambas as ETA são o Aquecimento Global, a Acidificação, a Formação de Oxidantes Fotoquímicos e a Depleção da Camada de Ozono. Realça-se ainda que a análise dos resultados obtidos para cada um dos métodos de ponderação para as duas ETA é realizada conjuntamente, uma vez que as suas contribuições para o impacte

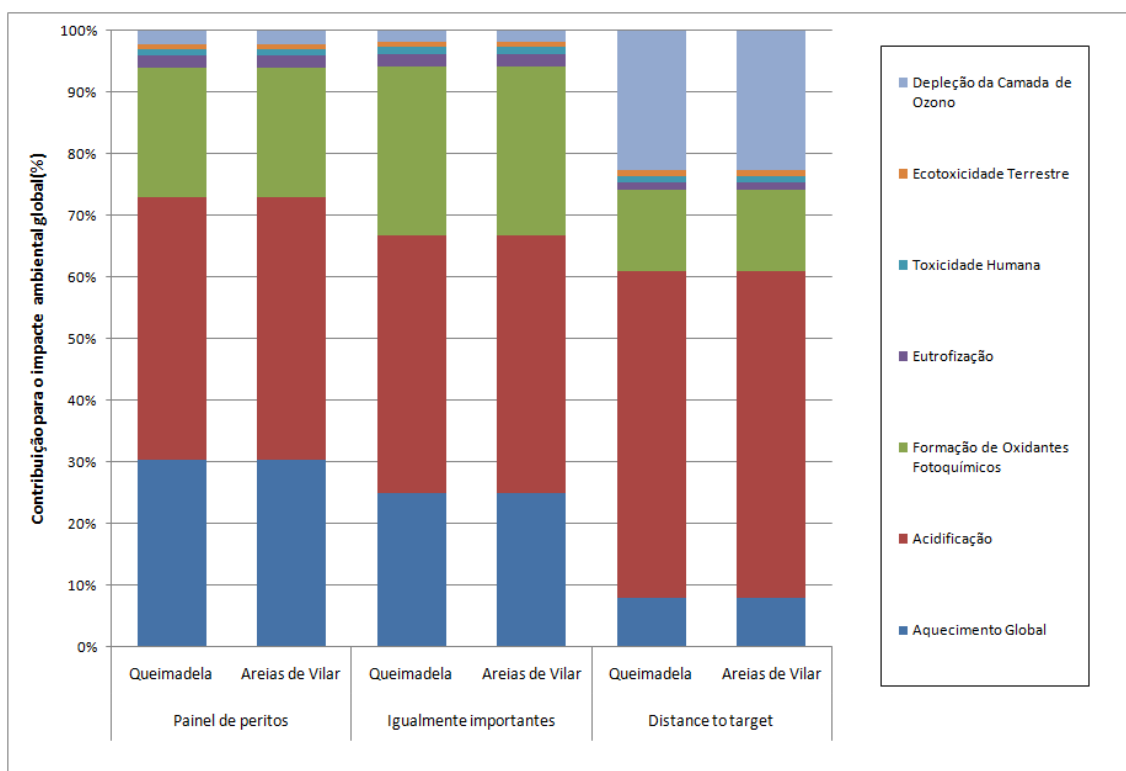
ambiental global são semelhantes.

Em relação ao método Painel de peritos, constata-se que as duas principais categorias de impacto são a Acidificação e o Aquecimento Global, com uma contribuição conjunta para o impacto ambiental superior a 70%. A Acidificação contribui com 43% e o Aquecimento Global, com 30%.

Relativamente ao método Igualmente importantes, constata-se que as duas principais categorias são a Acidificação e a Formação de Oxidantes Fotoquímicos. A contribuição conjunta é de 70% para o impacto ambiental global. A Acidificação contribui com 42% e a Formação de Oxidantes Fotoquímicos com 28%.

Em relação ao método de ponderação *Distance to target*, conclui-se que a Acidificação e a Depleção da Camada de Ozono têm uma contribuição conjunta para o impacto de cerca de 80%. A Acidificação contribui com 53% e a Depleção da Camada de Ozono, com 23%.

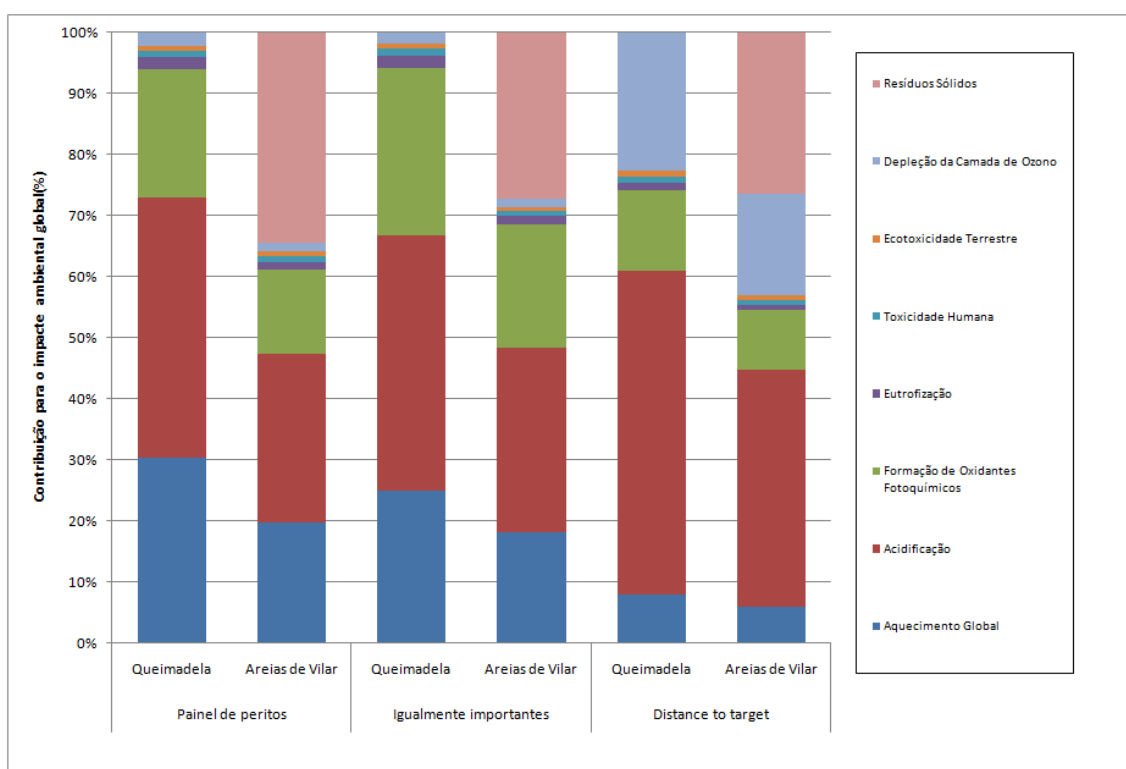
Na Figura 16, está representada um gráfico ilustrativo da contribuição de cada uma das fases de operação para o impacto ambiental global.



**Figura 16. Contribuição para o impacto ambiental global da fase de operação de cada uma das ETA. Resultados apresentados por método de ponderação (Painel de peritos, Igualmente importantes e *Distance to target*). No Anexo A (Tabela A7 e A8), são apresentados os detalhes associados aos valores apresentados.**

O valor absoluto do impacte ambiental associado à ETA de Areias de Vilar para o Painel de Peritos é de  $4,15E-14$ , para o Igualmente importantes é de  $4,18E-14$  e para o *Distance to target* de  $1,68E-14$ . O valor absoluto do impacte ambiental associado à ETA de Queimadela é para o Painel de peritos de  $9,49E-14$ , para o Igualmente importantes de  $9,55E-14$  e para o *Distance to target* de  $3,86E-14$ .

Na análise efectuada, considerando a categoria de impacte ambiental associada à produção de Resíduos Sólidos, constata-se que esta categoria assume um papel relevante, incluindo-se nas três categorias com a maior contribuição para o impacte. O seu valor é de 34% para o método Painel de peritos, 27% para o método Igualmente importantes e 26% para o método *Distance to target* (Vide Figura 17).



**Figura 17. Contribuição para o impacte ambiental global da fase de operação de cada uma das ETA tendo em consideração a categoria Resíduos Sólidos. No Anexo A (Tabela A 8), são apresentados os detalhes associados aos valores apresentados.**

Como resultado é também apresentada a contribuição de cada poluente para o impacte ambiental global. Pelo facto de os poluentes emitidos serem análogos (diferindo apenas no cloro gasoso para as duas ETA), optou-se por considerar apenas os resultados obtidos para a ETA de Queimadela. Pela análise da Tabela 12 e para cada categoria de

impacte ambiental, tendo em conta os poluentes gerados, conclui-se que o CO<sub>2</sub> é o poluente que representa maior contribuição para o Aquecimento Global, que o SO<sub>x</sub> possui uma contribuição elevada para a Acidificação e que os COVNM possuem a maior contribuição para a Formação de Oxidantes Fotoquímicos.

Com excepção do poluente Halon1301, que possui uma contribuição comparativamente elevada (23%) para a Depleção da Camada de Ozono, no método de ponderação *Distance to target* (Goedkoop, 1995), os restantes poluentes têm, comparativamente, pequenas contribuições dentro da categoria de impacte para a qual contribuem (Tabela 12).

O CO<sub>2</sub>, o SO<sub>x</sub> e os COVNM contribuem com cerca de 80% para o método Painel de peritos e Iguamente importantes e com cerca de 60% para o *Distance to target*, para o impacte ambiental global causado pelas duas ETA.

Finalmente, conclui-se que os impactes ambientais derivados das fases de operação das ETA estão essencialmente associados aos consumos de energia eléctrica destas.

Uma das medidas propostas para a redução deste impacte poderá consistir na aplicação de medidas de minimização do consumo energético nas ETA, nomeadamente através do aumento da eficiência das bombas de captação e de elevação, ou, através da utilização de fontes de energia renováveis.

**Tabela 12. Contribuição relativa de cada um dos poluentes resultantes da fase de operação da ETA de Queimadela para o impacte ambiental.**

Categoria de impacte ambiental	Poluente (s)	Contribuição para o impacte (%)		
		Painel de peritos Kamp, 2005	Igualmente importantes	<i>Distance to target</i> Goedkoop, 1995
Aquecimento Global	CO <sub>2</sub>	28%	23%	7%
	CH <sub>4</sub>	2%	2%	<1%
	N <sub>2</sub> O	<1%	<1%	<1%
	Halon1301	<1%	<1%	<1%
Acidificação	SO <sub>x</sub>	34%	33%	42%
	NO <sub>x</sub>	8%	8%	10%
	NH <sub>3</sub>	<1%	<1%	<1%
	HCl	<1%	<1%	<1%
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	CO	<1%	<1%	<1%
	NO <sub>x</sub>	2%	3%	1%
	SO <sub>x</sub>	5%	7%	3%
	COVNM	14%	18%	8%
	CH <sub>4</sub>	<1%	<1%	<1%
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	<1%	<1%	<1%
Eutrofização	NO <sub>x</sub>	2%	2%	1%
	NH <sub>3</sub>	<1%	<1%	<1%
	N <sub>2</sub> O	<1%	<1%	<1%
Toxicidade Humana	NO <sub>x</sub>	<1%	<1%	<1%
	SO <sub>x</sub>	<1%	<1%	<1%
	PM <sub>10</sub>	<1%	<1%	<1%
	NH <sub>3</sub>	<1%	<1%	<1%
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	<1%	<1%	<1%
	Cd <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	HF	<1%	<1%	<1%
	HCl	<1%	<1%	<1%
	Hg <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	Pb <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	Ni <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	Zn <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	COVNM	<1%	<1%	<1%
Ecotoxicidade Terrestre	Cd <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	PAH	<1%	<1%	<1%
	Pb <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	Ni <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	Zn <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	Hg <sup>2+</sup>	<1%	<1%	<1%
	COVNM	<1%	<1%	<1%
	HF	<1%	<1%	<1%
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	<1%	<1%	<1%	
Depleção da Camada de Ozono	Halon1301	2%	2%	23%

## 4.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade, prevista na fase de interpretação da avaliação do ciclo de vida (NP EN ISO 14040, 2008), visa estimar os efeitos das escolhas efectuadas, dos métodos e dados, nos resultados calculados do impacte ambiental. Neste trabalho, foi realizada uma análise de sensibilidade simples por introdução deliberada de variações nos factores de caracterização e de ponderação.

A análise de sensibilidade foi realizada por variação de cinco parâmetros (ETA de Queimadela) e seis parâmetros (ETA de Areias de Vilar). Os resultados são apresentados, individualmente, para cada uma das ETA.

### 4.3.1 ETA de Queimadela

Nesta análise é avaliada a influência dos factores de caracterização e ponderação no resultado final. Na Tabela 13, são apresentados os parâmetros considerados significativos para os quais se pretende avaliar esta influência.

Os parâmetros incluídos possuem uma incerteza associada resultante das considerações efectuadas para a sua estimativa fruto da sua indisponibilidade.

**Tabela 13. Parâmetros usados na análise de sensibilidade.**

Parâmetros considerados	Gama de variação
Factor de caracterização do Cl <sub>2</sub>	±50%
Método de Painel de peritos:	
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	±50%
Factor de ponderação para a Depleção da Camada de Ozono	±50%
Método <i>Distance to target</i> :	
Factor de ponderação para a Formação de Oxidantes Fotoquímicos	±50%
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	±50%
Factor de ponderação para a Ecotoxicidade Terrestre	±50%

Os resultados obtidos permitem concluir que a variação individual dos parâmetros de um valor de  $\pm 50\%$  para o factor de caracterização e para os factores de ponderação, conduzem a pequenas alterações nos resultados obtidos para o valor do impacte ambiental global.

Os resultados são pouco sensíveis às variações destes parâmetros, variando entre  $\pm 1\%$  (para a maior parte dos casos) e  $\pm 2\%$  para o factor de ponderação da Toxicidade

Humana associado ao método de ponderação Painel de peritos e para o factor de ponderação da Ecotoxicidade Terrestre associado ao método *Distance to target* (Tabela 14).

**Tabela 14. Resultados da análise de sensibilidade: Variação (%) no impacte ambiental global para os parâmetros de sensibilidade.**

Parâmetros considerados	Variação no impacte ambiental global (%)		
	Painel de peritos Kamp, 2005	<i>Distance to target</i> Goedkoop, 1995	Igualmente importantes
Factor de caracterização do Cl <sub>2</sub>	±1%	±1%	±1%
<b>Método de Painel de peritos:</b>			
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	±2%	-	-
Factor de ponderação para a Depleção da Camada de Ozono	±1%	-	-
<b>Método <i>Distance to target</i>:</b>			
Factor de ponderação para a Formação de Oxidantes Fotoquímicos	-	±1%	-
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	-	±1%	-
Factor de ponderação para a Ecotoxicidade Terrestre	-	±2%	-

#### 4.3.2 ETA de Areias de Vilar

Na Tabela 15, são apresentados os parâmetros considerados significativos para os quais se pretende avaliar a influência. Os parâmetros incluídos possuem uma incerteza associada, devido às considerações efectuadas para a sua estimativa fruto da indisponibilidade destes valores.

**Tabela 15. Parâmetros usados na análise de sensibilidade.**

Parâmetros considerados	Gama de variação
<b>Método de Painel de peritos:</b>	
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	±50%
Factor de ponderação para a Depleção da Camada de Ozono	±50%
<b>Método <i>Distance to target</i>:</b>	
Factor de ponderação para a Formação de Oxidantes Fotoquímicos	±50%
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	±50%
Factor de ponderação para a Ecotoxicidade Terrestre	±50%

Os resultados obtidos permitem concluir que a variação individual dos parâmetros de um valor de ± 50% para os factores de ponderação, conduzem a pequenas alterações nos resultados obtidos para o valor do impacte ambiental global. Os resultados são pouco

sensíveis às variações destes parâmetros, variando entre  $\pm 1\%$  (para a maior parte dos casos) e  $\pm 2\%$  para o factor de ponderação da Depleção da Camada de Ozono associado ao método de ponderação Painel de peritos (Tabela 16).

**Tabela 16. Resultados da análise de sensibilidade: Variação (%) no impacte ambiental global para os parâmetros de sensibilidade.**

Parâmetros considerados	Variação no impacte ambiental global (%)	
	Painel de peritos Kamp, 2005	<i>Distance to target</i> Goedkoop, 1995
<b>Método de Painel de peritos:</b>		
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	$\pm 0\%$	-
Factor de ponderação para a Depleção da Camada de Ozono	$\pm 2\%$	-
<b>Método <i>Distance to target</i>:</b>		
Factor de ponderação para a Formação de Oxidantes Fotoquímicos	-	$\pm 1\%$
Factor de ponderação para a Toxicidade Humana	-	$\pm 1\%$
Factor de ponderação para a Ecotoxicidade Terrestre	-	$\pm 1\%$



## 5 Conclusões

Apesar da importância destas actividades, as ETA causam impactes ambientais associados fundamentalmente ao consumo de electricidade proveniente de combustíveis fósseis.

Neste estudo, foram analisadas duas ETA – a ETA de Areias de Vilar e a ETA de Queimadela –, sendo aplicada a ACV.

Da análise dos resultados obtidos para a ETA de Queimadela e para a ETA de Areias de Vilar, constatou-se que as quatro categorias mais contributivas para o impacte ambiental são o Aquecimento Global, a Acidificação, a Depleção da Camada de Ozono e a Formação de Oxidantes Fotoquímicos.

Em relação ao método Painel de peritos, constata-se que as duas principais categorias de impacte são a Acidificação e o Aquecimento Global, com uma contribuição conjunta para o impacte ambiental superior a 70%, contribuindo a Acidificação com 43% e o Aquecimento Global com 30%.

Relativamente ao método de ponderação que considera os impactes igualmente importantes, constata-se que as duas principais categorias são a Acidificação e a Formação de Oxidantes Fotoquímicos. A contribuição conjunta é de 70% para o impacte ambiental global, pertencendo 42% à Acidificação e 28% à Formação de Oxidantes Fotoquímicos.

Em relação ao método de ponderação *Distance to target*, conclui-se que a Acidificação e a Depleção da Camada de Ozono têm uma contribuição conjunta para o impacte de cerca de 80%, pertencendo 53% à Acidificação e 23% à Depleção da Camada de Ozono.

Apesar das capacidades de tratamento das duas ETA serem distintas, verifica-se que a

contribuição das suas fases de operação para o impacto é muito semelhante (*Vide Anexo A - Tabela A7*). Este facto pode ser justificado por ambas as ETA terem a si consumos de energia eléctrica próximos entre si.

Os principais poluentes emitidos são o CO<sub>2</sub>, o SO<sub>x</sub> e os COVNM, para os três métodos de ponderação considerados. Estes três poluentes contribuem para o impacto ambiental global causado pelas duas ETA com cerca de 80% para o método Painel de peritos e igualmente importantes e com cerca de 60% para o *Distance to target*.

Conclui-se também que a categoria Resíduos Sólidos, na ETA de Areias de Vilar, revelou ter uma importância significativa no impacto ambiental. Conjuntamente com o Aquecimento global e a Acidificação formam as três principais categorias de impacto, para os três métodos de ponderação considerados (*Vide Anexo A – Tabela A8*).

Relativamente à análise de sensibilidade, verificou-se que os parâmetros considerados, nomeadamente o factor de caracterização e os factores de ponderação, são muito pouco susceptíveis a variações. Os resultados revelam ser pouco sensíveis às variações destes parâmetros, variando entre  $\pm 1\%$  (para a maior parte dos casos) e  $\pm 2\%$ .

A comparação deste estudo com os revistos na bibliografia aponta as categorias de impacto identificadas neste trabalho, nomeadamente, a Depleção da Camada de Ozono, Aquecimento Global e Acidificação. Estas são as que mais contribuem para a fase de operação de uma ETA). Os resultados da fase de caracterização são valores superiores aos obtidos neste estudo (*Vide Tabela 11*), provavelmente, devido ao facto das fronteiras do sistema serem diferentes. Os resultados obtidos na bibliografia consultada atribuem ao Aquecimento Global um valor de aproximadamente 40 kg CO<sub>2</sub> eq., e à Formação de Oxidantes Fotoquímicos um valor de 60 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq. (Tarantini e Ferri, 2001).

No estudo de Friedrich, 2001, para as três fases consideradas (construção, operação e desmantelamento), é a fase de operação que assume um maior impacto, resultante do consumo de energia eléctrica necessária ao processo. Esta fase domina todas as categorias de impacto ambiental consideradas neste estudo, tendo, relativamente às outras duas fases, contribuições superiores a 80%.

No estudo de Vince *et al*, 2007, verificou-se, também, que a produção de energia afecta todas as categorias de impacto consideradas, devido a esta ser necessária para a captação e para a elevação.

Em seguida, são apontadas algumas limitações do trabalho efectuado relacionadas com a metodologia seguida, os dados disponíveis em relação a factores de caracterização e a ausência de valores de impacte ambiental para ETA disponíveis na bibliografia consultada.

No que respeita à metodologia, verificou-se existirem alguns factores de caracterização indisponíveis ou mesmo inexistentes para os poluentes considerados no processo, representando algumas limitações à realização do estudo, ficando aquém do desejável.

É de realçar a não disponibilidade de alguns factores de caracterização associados à emissão de substâncias emitidas por queima de combustíveis fósseis (nomeadamente, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos halogenados e do manganês e substâncias radioactivas) (CML, 2008).

O facto de a produção de lamas na ETA de Queimadela não ser contabilizada, pelas razões expostas, impossibilitou o cálculo da contribuição da produção de Resíduos Sólidos para o impacte ambiental desta ETA. Com a implementação da Linha de Tratamento de Lamas, cuja entrada está prevista para o segundo semestre do corrente ano, este factor limitativo seria ultrapassado.

Por último, refere-se que o número de estudos relativos à aplicação da ACV a estações para produção de água potável é escasso, o que representa dificuldade acrescida na comparação entre resultados obtidos no presente estudo e a bibliografia disponível revelando-se um aspecto limitativo no âmbito do presente trabalho.



## 6 Perspectivas para trabalhos futuros

Relativamente a trabalhos futuros, existiriam inúmeras possibilidades que seriam concretizáveis na aplicação de ACV a fases de operação de ETA.

Uma das sugestões propostas seria alargar as fronteiras, considerando, por exemplo, o transporte de químicos, as fases de manutenção e os consumos de equipamentos dentro das ETA. Deste modo, ter-se-ia uma noção mais exaustiva dos impactes associados a uma ETA.

Seria igualmente interessante abranger não só os dois casos de estudo considerados, mas também as ETA de Rabagão e a ETA das Andorinhas (ambas pertencentes ao Sistema Multimunicipal de Abastecimento e de Saneamento do Vale do Ave). Este facto possibilitaria a obtenção de uma vasta gama de resultados com maior possibilidade de comparações.

Num futuro próximo, será necessário desenvolver factores de caracterização associados à extracção da água como recurso natural, uma vez que se está a usufruir de um bem natural e parco.

Outra possibilidade seria estudar o sistema por processo, isto é, analisar cada uma das etapas de tratamento individualmente. Este trabalho não foi realizado pelo facto de na ETA de Queimadela, o consumo de energia ser avaliado globalmente. Esta possibilidade permitiria aferir sobre qual a(s) etapa(s) do tratamento se deveria agir de modo a conseguir obter um menor impacte ambiental. Através deste estudo poder-se-ia determinar qual a etapa mais prejudicial e actuar de forma a reduzir o seu impacte.



## Referências Bibliográficas

Águas do Ave, S.A. 2008. *Sistema Multimunicipal de Abastecimento e Saneamento do Vale do Ave. Sistema de Abastecimento de Água*. Águas do Ave., S.A. Guimarães, Portugal.

Águas do Ave, S.A. 2009. *Manual de operação do sistema de abastecimento de água de Queimadela*. Águas do Ave, S.A., Guimarães, Portugal.

Águas do Cávado, S.A. 2009. *Informação Diversa*. Águas do Cávado., Barcelos, Portugal.

Águas de Portugal. SGPS., S.A. 2009. *História* [acedido em 20 de Março 2009]. Disponível em: [www.adp.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=1757&t=Historia](http://www.adp.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=1757&t=Historia).

Alegria, A., Sousa, I.J., Santos, S.A., Cavaco, M, A., Coimbra, M.F., Cruz, V., Hespanhol, I., Mateus, I., Santos, E.P., 1998. Trihalometanos - Análise da situação em Portugal. In *4º Congresso da Água*, editado por A. P. d. R. Hídricos. Lisboa.

Alves, Célia, ed. 2007. *Tratamento de Águas de Abastecimento*. 2ª ed. Porto: Publindústria Produção de Comunicação.

Baptista, J., et al. 2007. Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal - Caracterização geral do sector. Instituto Regulador de Águas e Resíduos.

BUWAL 250, 1996. *Ökoinventare für Verpackungen Schriftenreihe Umwelt 250*, Bern.

CML. 2009. *Characterization factors for Impact Assessment*. Center of Environmental Science, Leiden University 2008 [acedido em 27 de Abril 2009]. Disponível em: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>.

EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 2007. In *Combustion in Energy & Transformation Industries*: European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5> (acedido em 3 de Junho).

Friedrich, E., 2001. Environmental Life Cycle Assessment of water production. MSc, Chemical Engineering, University of Natal.

Goedkoop, M., 1995. The Eco-Indicator 95. The Netherlands.

Guinée, J.B., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. In: Series: Eco-efficiency in Industry and Science Vol 7, Kluwer Academic Publishing, The Netherlands.

Hospido, A., Moreira, MT., Fernández-Couto, M., Feijoo, G. 2004. Environmental Performance of a Municipal Wastewater Treatment Plant. *International Journal of LCA* 9(4): 261-271.

Hospido, A., Moreira, MT., Feijoo, G. 2008. A Comparison of Municipal Wastewater Treatment Plants for Big Centres of Population in Galicia (Spain). *International Journal of LCA* 13(1):57-64.

INSAAR., 2008. Relatório do Estado do Abastecimento de Água e Drenagem e Tratamento de Águas Residuais. Instituto da Água.

IEA, International Energy Agency, 2006. Electricity/Heat data for Portugal Electricity/Heat in Portugal in 2006. Disponível em: [http://www.iea.org/Textbase/stats/electricitydata.asp?COUNTRY\\_CODE=PT](http://www.iea.org/Textbase/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=PT).

Kamp, W. van de, 2005. Environmental impact of organically produced tomatoes in wintertime imported from Spain versus home-grown in glasshouses. MsC, Wageningen University, the Netherlands.

Lemos, H., Castro, L., 2008. Relatório Anual de Operação e Manutenção. Guimarães: Águas do Ave.

Lopes, A., 2005. Subprodutos da desinfecção da água para consumo humano. MSc, Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

Magalhães, A., 2004. Contribuição para o estudo da nitrificação biológica na ETA de Areias de Vilar. MsC, Hidrobiologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

NPI, 2008 - National Pollutant Inventory. Emission estimation technique manual For Potable water treatment, Version 2.0, Australian Government, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, June 2008. Disponível em: [www.npi.gov.au/handbooks/approved\\_handbooks/pubs/fpotwat.pdf](http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/pubs/fpotwat.pdf), (acedido em 10 de Junho).

NP EN ISO 14040, 2008. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization.

Tarantini, M., Ferri, F. 2001. LCA of drinking and wastewater treatment systems of Bologna City:Final results. In *4th InterRegional Commission on Environmental Water* Fortaleza, Brazil.

Vieira, P., Rosa, M.J., Alegre, H., ed. 2007. *Estações de tratamento de água para consumo humano em Portugal*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Vince, F., Aoustin, E., Bréant, P., Marechal, F., 2008. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. *Elsevier*, 37-56.

Wegener S., A., van Oers, L., Guinée, J., Struijs and M., Huijbregts. 2008. Normalization in product life cycle assessment: An LCA of the Global and European Economic Systems in the year 2000. *Science of the total Environment*. 390(1): 227-240.

## **Anexos**



## **Anexo A**



**Tabela A 1. Caracterização da água da albufeira de Queimadela.**

<b>Caracterização água bruta</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Valor medido</b>
Turvação (NTU)	Diária	1,42 [2,5; 1]
Temperatura (°C)	Diária	11,54 [13,5; 9]
Condutividade (µS/cm)	Diária	33 [34; 32]
pH	Diária	6,74 [7; 6,5]
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Mensal	1,94 [3; 1]
Abs UV254 (nm)	Mensal	0,027 [0,039; 0,021]
Manganês (mg/L Mn)	Mensal	0,013 [0,026; 0,007]
Oxigénio dissolvido (% de saturação)	Mensal	90,28 [102; 75,3]
Identificação e quantificação de fitoplancton (n°cel/mL)	Mensal	6564 [17257; 2905]
Oxidabilidade (mg/L)	Mensal	[2,4; <1]
Ferro total (mg/L)	Mensal	[2,4; <1]
Alumínio (mg/L)	Mensal	[50; <40]
Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Trimestral	4,23 [9,66; 1,45]
Feopigmentos (mg/m <sup>3</sup> )	Trimestral	3,96 [10,13; 0]
Coliformes totais (ufc/100mL)	Trimestral	128 [382; 10]
Coliformes fecais (ufc/100 mL)	Trimestral	4,25 [10; 0]
E.coli (ufc/100mL)	Trimestral	2,25 [5; 0]
Enterococos (ufc/100mL)	Trimestral	1 [2; 0]
Clostridium perfringens (ufc/100 mL)	Trimestral	8,5 [27; 0]
Carência bioquímica de oxigénio (mg/L)	Semestral	2,4; <1
Carência química de oxigénio (mg/L)	Semestral	<10; 13
Cor (mg/L Pt-Co)	Semestral	2,80
Cheiro (Factor de Diluição a)	Semestral	1,00

**Tabela A 2. Caracterização da água à saída da ETA de Queimadela.**

Caracterização água tratada	Periodicidade	Valor medido
Cloro (mg/L)	Bidiária	0,9 [0,98; 0,82]
Alumínio (µg/L)	Bidiária	[0,03; 0]
pH	Bidiária	6,75 [6,73; 6,87]
Temperatura (°C)	Bidiária	14,5 [10; 17,2]
Condutividade (µS/cm)	Bidiária	45,78 [41,96; 56,27]
Turvação (NTU)	Bidiária	0,24 [0,35; 0,16]
Escherichia Coli (ufc/100 mL)	Mensal	0 [0; 0]
Tri-halometanos totais (THM)	Mensal	28,6 [69,3; 9]
Bromofórmio - CHBr <sub>3</sub> (µg/L)	Mensal	[2,1; <0,5]
Clorofórmio - CHCl <sub>3</sub> (µg/L)	Mensal	20,5 [54; 4,8]
Dibromoclorometano - CHClBr <sub>2</sub> (µg/L)	Mensal	1,41 [2,43; 0,7]
Diclorobromometano - CHBrCl <sub>2</sub> (µg/L)	Mensal	6,58 [13; 2,7]
Identificação e quantificação de Fitoplacton (n° cel./mL)	Mensal	54,43 [192; 3]
Identificação e quantificação de Cianobactérias (n° cel./mL)	Mensal	13 [91; 0]

**Tabela A 3. Caracterização da água do rio Cávado em Areias de Vilar.**

Caracterização água bruta	Periodicidade	Valor medido
Alcalinidade (mg/L)	Diária	6,79 [8,44; 5,49]
Abs UV254 (nm)	Diária	0,035 [0,047; 0,031]
Condutividade a 20°C (µS/cm)	Diária	45,51 [58; 0,1]
Turvação (NTU)	Diária	1,99 [4,75; 0,94]
pH	Diária	6,61 [6,62; 6,74]
Temperatura (°C)	Diária	15,38 [20,03; 10,77]
Oxidabilidade (mg/L)	Mensal	1,59 [2; 1,2]
Nitratos (mg/L)	Mensal	2,87 [5,2; 0,05]
Identificação e quantificação de Cianobactérias (n°cel. /mL)	Mensal	878 [7823;0]
Identificação e quantificação de Fitoplancton (n°cel. /mL)	Mensal	7924,9 [53924; 4]
Enterococos (ufc/100mL)	Mensal	191 [1500;2]
Dureza Total (mg/L)	Mensal	8,68 [11,6; 6,3]
Ferro Total (mg/L)	Mensal	0,11 [0,1; 0,05]
Cor (mg/L Pt-Co)	Mensal	3,7 [6,8; 2,2]
Coliformes fecais (ufc/100mL)	Trimestral	173,5 [400;14]
Coliformes totais (ufc/100 mL)	Trimestral	3182,3 [3462; 2900]
Carbono Orgânico Total (mg/L)	Trimestral	1,8 [2,6; 1,5]
Carbono Orgânico Dissolvido (mg/L)	Trimestral	1,5 [2,1;1,2]
Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	Trimestral	2,55 [3,88; 0,96]
Azoto Amoniacal (mg/L)	Trimestral	0,30 [0,65; 0,14]
Feopigmentos (mg/m <sup>3</sup> )	Trimestral	3,36 [10,42; 0,15]
Clostridium perfringens (ufc/100 mL)	Trimestral	1113,8 [3328; 100]
Carência bioquímica de oxigénio (mg/L)	Semestral	1,55 [1,6; 1,5]
Carência química de oxigénio (mg/L)	Semestral	<10

**Tabela A 4. Caracterização da água à saída da ETA de Areias de Vilar.**

Caracterização água tratada	Periodicidade	Valor medido
Alumínio ( $\mu\text{g/L}$ )	Diária	[<40; 74]
Bactérias Coliformes (ufc/100mL)	Diária	0 [0; 0]
Cloro (mg/L)	Diária	0,89 [1,05; 0,73]
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	Diária	178,3 [205; 162]
Turvação (NTU)	Diária	[ <0,2; 0,42]
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Diária	16,4 [24,5;9,1]
pH	Diária	7,89 [8,01; 7,76]
Identificação e quantificação de Cianobactérias (n $^{\circ}$ cel/mL)	Mensal	0 [0;0]
Identificação e quantificação de Fitoplacton (n $^{\circ}$ cel/mL)	Mensal	9,73 [20;3]
Nitratos (mg/L)	Mensal	3,62 [7,8; 1,2]
Tri-halometanos totais (THM)	Semestral	18,55 [24,5; 12,6]
Bromofórmio - $\text{CHBr}_3$ ( $\mu\text{g/L}$ )	Semestral	0,86 [1,2; 0,52]
Clorofórmio - $\text{CHCl}_3$ ( $\mu\text{g/L}$ )	Semestral	4,85 [4,7; 5]
Dibromoclorometano - $\text{CHClBr}_2$ ( $\mu\text{g/L}$ )	Semestral	5,2 [7,6; 2,8]
Diclorobromometano - $\text{CHBrCl}_2$ ( $\mu\text{g/L}$ )	Semestral	7,65 [11; 4,3]

**Tabela A 5. Caracterização das lamas desidratadas na ETA de Areias de Vilar.**

<b>Caracterização lamas desidratadas</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Valor medido</b>
Azoto amoniacal (mg/kg)	Mensal	2391,9 [12531; 290]
Carbono Orgânico Total (mg/kg)	Mensal	29831,6 [170000; 4200]
Hidrocarbonetos dissolvidos (mg/kg)	Mensal	[5900; <2,5]
Humidade (%)	Mensal	75,7 [81; 67]
Sólidos Totais (mg/kg)	Mensal	249090 [290000;190000]
pH	Mensal	8,70 [9,92; 7,04]
Chumbo (mg/kg)	Anual	60
Cobre (mg/kg)	Anual	20
Crómio VI (mg/L)	Anual	<0,5
Fluoretos (mg/L)	Anual	<0,2
Níquel (mg/L)	Anual	<0,12
Condutividade (mS/cm)	Anual	0,53
AOX (mg/L)	Anual	0,09
Amónio (mg/L)	Anual	2,5
Arsénio (mg/L)	Anual	<0,001
Cádmio (mg/kg)	Anual	5

**Tabela A 6. Caracterização da água resultante da lavagem de filtros juntamente com as lamas da ETA de Queimadela.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor medido</b>
Alumínio (mg/L)	64
pH	6,76
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	29,5
Sólidos totais (mg/L)	520

**Tabela A 7. Contribuição para o impacte ambiental global da fase de operação de cada uma das ETA.**

Categorias de impacte ambiental	Contribuição para o impacte ambiental global (%)					
	ETA de Areias de Vilar			ETA de Queimadela		
	Painel de peritos Kamp, 2005	Igualmente importantes	<i>Distance to target</i> Goedkoop, 1995	Painel de peritos Kamp, 2005	Igualmente importantes	<i>Distance to target</i> Goedkoop, 1995
Aquecimento Global	30%	25%	8%	30%	25%	8%
Acidificação	43%	42%	53%	43%	42%	53%
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	21%	28%	13%	21%	28%	13%
Eutrofização	2%	2%	1%	2%	2%	1%
Toxicidade Humana	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Ecotoxicidade Terrestre	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%
Depleção da Camada de Ozono	2%	2%	23%	2%	2%	23%

**Tabela A 8. Contribuição para o impacte ambiental global da fase de operação da ETA de Queimadela tendo em consideração a categoria Resíduos Sólidos.**

Categoria de impacte ambiental	Contribuição para o impacte ambiental global (%)		
	Painel de peritos Kamp, 2005	Igualmente importantes	<i>Distance to target</i> Goedkoop, 1995
Aquecimento Global	20%	18%	6%
Acidificação	28%	30%	39%
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	14%	20%	10%
Eutrofização	1%	1%	1%
Toxicidade Humana	1%	1%	1%
Ecotoxicidade Terrestre	1%	1%	1%
Resíduos Sólidos	34%	27%	26%
Depleção da Camada de Ozono	1%	1%	17%