

RAQUEL SALES DE BARROS LIMA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUAIS DA ETAR DE ALBUFEIRA POENTE E ETAR DE VALE FARO
NO CONCELHO DE ALBUFEIRA, ALGARVE – PORTUGAL**

RAQUEL SALES DE BARROS LIMA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUAIS DA ETAR DE ALBUFEIRA POENTE E ETAR DE VALE FARO
NO CONCELHO DE ALBUFEIRA, ALGARVE – PORTUGAL**

Mestrado em Ciclo Urbano da Água

Trabalho efetuado sob orientação/coorientação de:

Professor Doutor António Manuel
de Sousa Baltazar Mortal
ISE/UAlg

Professora Doutora Ana Isabel
Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho
CEG/IST



2022

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DA ETAR
DE ALBUFEIRA POENTE E ETAR DE VALE FARO NO CONCELHO DE ALBUFEIRA,
ALGARVE – PORTUGAL**

Declaração de Autoria de Trabalho

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e a listagem de referências está incluída.

Raquel Sales de Barros Lima

Copyright © Raquel Sales de Barros Lima

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meus passos e me facultar das mais diversas maneiras força emocional e fé para seguir sempre em frente.

A minha família e amigos/irmãos que a vida me presenteou, que sempre encontraram uma maneira de me fortalecer durante este percurso (citar nomes, seria um risco – Alisson Ruy, você está na minha lista).

Em especial a minha mãe, Cristina Sales, que mesmo com um oceano de distância a nos separar, “esteve” comigo todos os dias, que nunca me permitiu começar o dia sem ler sua mensagem no WhatsApp “Que Deus lhe abençoe e lhe proteja de todo mal e Nossa Senhora passe na sua frente”.

Aos colegas e já amigos do Mestrado em Ciclo Urbano da Água e da Be Water que me ajudaram direta e indiretamente neste caminho, em especial aqueles que mais chateei, nos horários mais inconvenientes a pedir informações e explicações.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel de Sousa Baltazar Mortal, por ter me ajudado a suprir minhas deficiências durante o desenvolvimento deste estudo e por todos ensinamentos, sempre disponível quando precisei.

A minha coorientadora Professora Doutora Ana Isabel Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho, que me acolheu mesmo sem me conhecer e me permitiu operacionalizar/aceder o software *Simapro*, dando todo suporte no desenvolvimento da ACV, sem ela este trabalho não teria sido possível.

Às Águas do Algarve e pessoas pertencentes que me permitiram e me ajudaram a realizar este estudo.

A todos, minha imensa e eterna gratidão!

Resumo

O tratamento das águas residuais através de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) é imprescindível para reduzir a concentração de poluentes, através da minimização e/ou eliminação das impurezas físicas, químicas e biológicas, de forma a não representar riscos para a saúde da população. Por isso, o objetivo principal deste estudo é avaliar os impactos ambientais decorrente do tratamento das águas residuais urbanas no concelho de Albufeira, através do processo de exploração da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro, instalações responsáveis por aproximadamente 85% do tratamento das águas residuais na região. Esses processos de tratamento são avaliados a partir de períodos distintos: antes da pandemia, ano de 2019, e durante a pandemia Covid-19, período de abril de 2020 a março de 2021; para identificar a ETAR com maior impacto ambiental e a interferência da pandemia na prestação deste serviço. A identificação dos impactos ambientais foi realizada através da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma ferramenta de suporte à manutenção de Sistemas de Gestão Ambiental nas organizações, suportada neste estudo pelo software *SimaPro*. Foi definida como unidade funcional (UF) 1 m³ do caudal, a fronteira de estudo foi restrita as delimitações físicas das ETAR, de portão ao portão (gate to gate) e como fronteira geográfica Portugal. Os métodos TRACI e PEF foram aplicados e considerados para a realização da ACV. A análise de sensibilidade também foi realizada para medir as incertezas, variando o resultado significativo (energia) $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 30\%$. Após a comparação das duas ETAR, verificou-se que o impacto ambiental da ETAR de Vale Faro é superior ao da ETAR de Albufeira Poente. A redução sazonal da população provocada pela pandemia contribuiu para redução do impacto ambiental apenas na ETAR de Albufeira Poente, enquanto a ETAR de Vale Faro demonstrou não sofrer influência sazonal da população no que concerne aos impactos ambientais oriundos do seu processo de tratamento.

Palavras-chaves: Avaliação do Ciclo de Vida, Estação de Tratamento de Águas Residuais, Impacte Ambiental, Sistema de Gestão Ambiental e *SimaPro*.

ABSTRACT

Wastewater treatment through Wastewater Treatment Plants (ETAR) is indispensable for reducing the concentration of pollutants by minimizing or eliminating physical, chemical and biological impurities in order to prevent risks for the population's health. The main objective of this study is to evaluate the environmental impact of the urban at the Albufeira county through the process of exploration of both the Albufeira Poente and Vale Faro ETAR installations which are responsible for treating approximately 85% of the volume of wastewater in the region. The water treatment processes are evaluated based on distinct time periods: before the COVID-19 pandemic and during the COVID-19 pandemic from April 2020 to March 2021 to identify the ETAR with the most environmental impact as well as the impact the pandemic had on the quality of the services offered by the ETAR. The environmental impact was measured using the life cycle assessment technique (ACV), a tool for Environmental Management System support through the *SimaPro* software having defined a functional unit (UF) as 1m³ of the water throughput. The scope of this study was limited to the physical delimitations of the ETAR from gate to gate and within the geographical boundaries of Portugal. The methods TRACI and PEF were applied and considered while performing the ACV. The sensibility analysis was also performed to measure uncertainty, with a variation of the significant results (energy) of $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 30\%$. After evaluating both ETARs, it was determined that the environmental impact of the Vale Faro ETAR was superior that of the Albufeira Poente ETAR. The decrease in seasonal population caused by the pandemic contributed to the reduction of the environmental impact only in the Albufeira Poente ETAR while the Vale Faro ETAR did not display any impact related to the seasonal population with regards to the residual water treatment process.

Keywords: Life Cycle Assessmente, Wastewater Treatment Plant, Environmental Impact, Environmental Management System and *SimaPro*.

Lista de abreviaturas

AIA – Análise de Impacte Ambiental

AR – Avaliação de Risco

AA – Auditoria Ambiental

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AICV – Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida

EMAS - Eco-Management and Audit Scheme (Sistema Comunitário de Eco Gestão e Auditoria)

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

EAP – Estação de tratamento de águas residuais de Albufeira Poente

EVF – Estação de tratamento de águas residuais de Vale Faro

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

IPQ - Instituto Português da Qualidade

ISO - International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)

LER – Lista Europeia de Resíduos

PEF – Product Environmental Footprint (Pegada Ambiental do Produto)

PEFCRs - Product Environmental Footprint Category Rules (Regras de Categoria de Pegada Ambiental do Produto)

ONU – Organização das Nações Unidas

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

TRACI - Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts

UE – União Europeia

UF – Unidade Funcional

UNEP – United Nations Environmental Program (Programa Ambiental das Nações Unidas)

Índice

1. Introdução.....	13
1.1. Contextualização do problema.....	13
1.2. Objetivos da dissertação	15
1.3. Estrutura da dissertação	15
2. Estado da Arte	16
2.1. Estação de Tratamento de Águas Residuais	16
2.1.1. Etapas para o tratamento das águas residuais urbanas	17
2.1.1.1 Fase Líquida.....	18
2.1.1.2 Fase sólida.....	24
2.1.1.3 Fase gasosa	25
2.2. Sistema de Gestão Ambiental e Sustentabilidade.....	25
2.2.1. ISO 14001:2015.....	26
2.2.2. Regulamento do Sistema Comunitário de Eco gestão e Auditoria (EMAS)	29
2.2.3. Técnicas de Análise Ambiental	31
2.3. Análise dos Impactes Ambientais na fase de exploração das ETAR	31
2.4. Avaliação do Ciclo de Vida	36
2.5. Métodos de AICV	39
2.6. Informatização ACV – Software <i>SimaPro</i>	43
2.7 Análise Adicional da Qualidade dos dados da AICV.....	44
3. Material e Métodos	45
3.1. Definição de objetivo e âmbito	46
3.2. Descrição e caracterização da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro	48
3.2.1. ETAR de Albufeira Poente.....	48
3.2.2. ETAR de Vale Faro	51
3.2.3. Diferenças no processo de tratamento entre a ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro	54
3.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida – AICV	57
3.4. Avaliação de Impactes Ambientais da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro ..	67
3.5. Interpretação da ACV	70
3.6. Limitações e recomendações da ACV	71
4. Resultados e discussão	72
4.1. Resultados obtidos na etapa de caracterização e normalização: ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro	72
4.2 Contribuição relativa dos processos na linha sólida, líquida e gasosa nas ETAR	79
4.3 Impactes Ambientais das fases de tratamento da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro e identificação dos fatores de contribuição.....	82
4.4 Análise de Sensibilidade.....	87

5. Considerações Finais e Recomendações Futuras	90
6. Referências Bibliográficas	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Principais métodos ACV (Fonte: Mendes et al., 2016).....	40
Tabela 2.2 - Exemplos de Categorias de impacte de EF padrão (com os respetivos indicadores de categoria de impacto de EF e modelos de avaliação) (Adaptado do Guia PEF, 2012).....	42
Tabela 3.1 - Caudal, Consumo de Energia e Água das ETAR do concelho de Albufeira, ano de 2019.....	46
Tabela 3.2 - Caudal, Consumo de Energia e Água das ETAR do concelho de Albufeira, período pandêmico, ano de abril/2020 a março/2021	46
Tabela 3.3 - Inventário de entradas e saídas da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro (sem dividir pela UF).....	57
Tabela 3.4 - Inventário de entradas e saídas da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro (dividida pela UF).....	59
Tabela 4.1 Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR Albufeira Poente 2019	80
Tabela 4.2 - Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR Albufeira Poente 2020/21	81
Tabela 4.3 - Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR de Vale Faro 2019	81
Tabela 4.4 - Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR de Vale Faro 2020/21	81
Tabela 4.5 - Fatores relevantes de contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Albufeira Poente 2019.....	83
Tabela 4.6 - Fatores relevantes de Contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Albufeira Poente 2020/21.....	83
Tabela 4.7 - Fatores relevantes de contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Vale Faro 2019	83
Tabela 4.8 - Fatores relevantes de contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Vale Faro 2020/21	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema Multimunicipal de abastecimento de água e saneamento do Algarve. (Fonte: AdA, 2021).....	17
Figura 2.2 - Exemplo de Fluxograma de Processo de Tratamento (Fonte: AREAL, 2020).....	18
Figura 2.3 - Sinóptico do Tratamento Preliminar da obra de entrada da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Areal, 2020)	19
Figura 2.4 - Grade mecânica da ETAR das Ferreiras (Fonte: Autor, 2020).....	19
Figura 2.5 – Tamisador da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: AREAL, 2020)	20
Figura 2.6 – Sinóptico do Processo de desengorduramento/desarenamento (Fonte: AREAL, 2020)	21
Figura 2.7 - Ponte raspadora de superfície da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: AREAL, 2020)	21
Figura 2.8 - Sinóptico do tratamento biológico da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: AdA, 2021)	24
Figura 2.9 - Dimensões da sustentabilidade (Autor: Nations Environment Programme, 2007).....	26
Figura 2.10: Relação entre o ciclo PDCA e estrutura da norma ISO 14001:2015 (Fonte: Costa, <i>et al.</i> , 2017).....	28
Figura 2.11 - Sistema EMAS (Fonte: APA, 2022).....	30

Figura 2.12- Sinóptico de uma ETAR e principais ações suscetíveis de causar impacte durante a fase de exploração. (Fonte: AREAL, 2019)	32
Figura 2.13: Principais fases associadas ao ciclo de vida de um produto (Fonte: Ferrão, 2012).....	36
Figura 2.14: Relação entre elementos constituintes da fase de Interpretação com outras ACV (Fonte: ISO 14044, 2010).	38
Figura 2.15 - Representação da informação a ter em conta para a Avaliação de Ciclo de Vida (Fonte: Adaptado de Neves, 2016)	39
Figura 3.1 ETAR Albufeira Poente (Fonte: AdA, 2021)	48
Figura 3.2 – Canal Desarenamento/ Desengorduramento da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)	48
Figura 3.3 - Sistema de Gradagem da ETAR Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)...	48
Figura 3.4: Reator Biológico ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021).....	49
Figura 3.5: Decantadores Secundários ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)	49
Figura 3.6 – Canais das UVs da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021).....	49
Figura 3.7 - Filtros de Areia da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021).....	49
Figura 3.8 - Centrífugas para desidratação de lamas da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021).....	50
Figura 3.9 - Silos para armazenamento temporário das lamas da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)	50
Figura 3.10 - Espessadores gravídicos de lamas da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)	50
Figura 3.11: Tanque de desodorização biológica com biofiltro (Fonte: Autor, 2021)...	51
Figura 3.12 - ETAR de Vale Faro - Subterrânea (Fonte: AdA, 2021)	51
Figura 3.13 – Canal Desarenamento/ Desengorduramento da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021).....	52
Figura 3.14 - Sistema de Gradagem da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)	52
Figura 3.15 - Decantadores da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021).....	52
Figura 3.16- Valas de Oxidação da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021).....	52
Figura 3.17 - Processo de desinfecção da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)	53
Figura 3.18 - Dedsidratação por centrifugação da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021).....	53
Figura 3.19 - Linhas de Espessamento Gravídico da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021).....	53
Figura 3.20 - Torres Verticais de Lavagem Química da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)	54
Figura 3.21- Esquema de tratamento da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Folheto AdA, consultado em 2021).....	55
Figura 3.22- Fluxo de tratamento da ETAR de Vale Faro (Fonte: Guia de Operação da ETAR de Vale Faro, 2014).....	55
Figura 3.23: Principais entradas e saídas de materiais, água e de energia da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro	56
Figura 3.24 - Estrutura AICV (Fonte: ISO 14042, 2010).....	69
Figura 3.25: Exemplo de contexto para indicadores de categorias (Fonte: ISO 14044, 2010).....	70
Figura 4.1- Impacte Ambiental Global pelo método TRACI.....	73
Figura 4.2- Impacte Ambiental Global pelo método PEF.....	73
Figura 4.3 – Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2019 pelo método TRACI.....	75

Figura 4.4- Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2020/21 pelo método TRACI.....	75
Figura 4.5- Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2019 pelo método PEF.....	75
Figura 4.6 - Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2020/21 pelo método PEF.....	76
Figura 4.7- Percentual de impacte ambiental por categoria/método	76
Figura 4.8- Percentual de impacte ambiental por categoria/método TRACI.....	79
Figura 4.9- Percentual de impacte ambiental por categoria/método TRACI.....	80
Figura 10- Matriz de Análise de Sensibilidade.....	88
Figura 11- Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2019 – Método TRACI.....	88
Figura 12- Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2020/21 – Método TRACI.....	89
Figura 13- Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2019 – Método PEF.....	89
Figura 14- Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2020/21 – Método PEF.....	89

1. Introdução

Este capítulo apresenta a contextualização do problema na Seção 1.1. A seguir são apresentados os objetivos da dissertação na Seção 1.2 e para finalizar, na Seção 1.3, uma breve descrição dos 7 capítulos que serão contemplados na estrutura da dissertação.

1.1. Contextualização do problema

A economia não se constrói apenas através da junção de capital físico e humano, mas também por meio da habilidade em conciliar esses aspetos a capacidade de resiliência do meio ambiente. Neste contexto, a crescente preocupação pelas causas ambientais tem exigido o envolvimento da sociedade no aprofundar do conhecimento sobre o desenvolvimento sustentável, viabilizando a integração entre os fatores sociais, económicos e ecológicos (Ferrão, 2012).

O desenvolvimento sustentável é um tema crucial para todas as autoridades, nomeadamente para a União Europeia (UE) e para a Organização das Nações Unidas (ONU). A UE sublinha que o desenvolvimento sustentável é fundamental na promoção da melhoria contínua do bem-estar e da qualidade de vida das atuais e futuras gerações. A ONU, através do seu Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), defende que no ano 2050 sejam necessários dois planetas plenos de recursos para sustentar o atual nível de desenvolvimento (Eurobarometer, 2009).

A sustentabilidade atualmente incorpora três pilares distintos: económico, ambiental e social. O primeiro é o mais mensurável e objetivo, enquanto as outras duas dimensões são mais difíceis de quantificar pois há um maior grau de subjetividade. Dentro de uma organização, o investimento em ações sustentáveis melhora a produtividade, a competitividade e os resultados. A implementação de medidas inovadoras para minimizar os impactes ambientais é imprescindível para abrandar os efeitos do desenvolvimento das organizações sobre o meio ambiente; dentro do pilar social, as pessoas são o ativo mais importante (Vieira, 2021).

O uso de água pela população é inerente ao desenvolvimento urbano, contexto que promove o desequilíbrio entre o uso do recurso natural e sua capacidade regenerativa. A água distribuída no planeta cobre 2/3 da terra, afirmativa que induz a uma perceção de abundância, no entanto 97% é de água salgada; 2,24% é de água doce congelada em calotas polares, geleiras e águas subterrâneas profundas; 0,26% é acessível para consumo humano, estando disponível nos rios, albufeiras, solo e atmosfera. Logo, um percentual reduzido está disponível para manutenção do ciclo natural da vida na terra (Sousa, 2009).

Os Sistemas de Tratamento de Águas Residuais são infraestruturas que promovem a captação da água residual, a elevação, o tratamento nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e posterior distribuição nos meios recetores (águas subterrâneas, ribeiras, rios, lagoas e albufeiras, rias e braços de mar, estuários e oceano). Esse serviço é essencial ao bem-estar dos cidadãos, à saúde pública, às atividades económicas e à proteção do ambiente; e constitui um dos desafios do desenvolvimento da sociedade moderna, pois apesar da sua importância, geram impactes ambientais decorrentes do seu processo (Sousa, 2009).

Os impactes ambientais decorrentes do tratamento de águas residuais estão vinculados aos fatores ambientais, tais como: clima; geologia, geomorfologia, geotecnia e sismicidade; águas de superfície e águas subterrâneas associadas; solo e uso do solo; ecologia; qualidade do ar; ambiente sonoro e vibrações (Simões, *et al.*, 2008).

A avaliação do ciclo de vida (ACV) permite um melhor entendimento sobre os impactes ambientais associados aos produtos consumidos ou produzidos. A ACV aborda a utilização de recursos e suas consequências ambientais das emissões e descargas ao longo do ciclo de vida do produto (bem ou serviço), desde a obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento no fim de vida, reciclagem e deposição final (ISO 14040, 2008).

Os mecanismos que se destinam a promover a gestão ambiental, em especial por parte das empresas, tem se consolidado através de sistemas orientados pela aplicação das normas ISO, como a NP EN ISO 14001:2015, que se refere ao sistema de gestão ambiental. Essas normas, embora sejam de adoção voluntária, assumem o papel de uma ferramenta norteadora para vários grupos económicos. Dentre as diversas normas ambientais da série ISO, destaca-se a ISO 14040, voltada para técnica de análise do ciclo de vida (Ferrão, 2012).

A nível europeu, como ferramenta de auxílio na implementação de um Sistema de Gestão Ambiental, também é possível recorrer ao Regulamento EMAS (Sistema Comunitário de Eco Gestão e Auditoria). Este Sistema Comunitário de Eco Gestão e Auditoria, denominado de EMAS I, II e III, permite a participação voluntária dos setores da atividade que visam a melhoria contínua do seu desempenho ambiental (Gomes, 2015).

Por isso, este estudo, através da ferramenta de gestão ambiental ACV, tem como objetivo identificar/avaliar os impactes ambientais no setor do saneamento no concelho de Albufeira, representado pela ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro, instalações responsáveis por aproximadamente 85% do tratamento das águas residuais na

zona de estudo, estando os 15% restantes representados pela ETAR de Ferreiras, Pinhal do Concelho e Paderne. Para desenvolver este estudo, será utilizado do software *SimaPro*.

1.2. Objetivos da dissertação

Este trabalho tem como objetivo a avaliação do ciclo de vida do tratamento das águas residuais no concelho de Albufeira, através da análise dos processos de exploração da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro.

Os objetivos específicos passam por:

- Demonstrar uma técnica de gestão ambiental como ferramenta auxiliar aos processos de tomada de decisão direcionados para a sustentabilidade das ETAR;
- Identificar os aspetos e analisar os impactes ambientais no tratamento de águas residuais das ETAR;
- Comparar o impacte ambiental das distintas ETAR, nos distintos períodos em estudo (ano de 2019 antes da pandemia e durante um ano de pandemia Covid-19, entre abril de 2020 e março de 2021);
- Identificar as oportunidades de melhoria para o desempenho ambiental das instalações em estudo.

1.3. Estrutura da dissertação

O estado da arte foi desenvolvido com base:

- Na Estação de Tratamento de Águas residuais, por se tratar da infraestrutura em estudo cujo serviço promove impactes ambientais. Nesta vertente será abordado as etapas para o tratamento das águas residuais urbanas, como também a análise dos impactes ambientais relacionados com a exploração das ETAR;
- No Sistema de Gestão Ambiental, mecanismo propulsor para adoção de práticas voltadas a preservação do meio ambiente, através da abordagem dos temas: Norma ISO 14001:2015; Regulamento EMAS; Técnicas de Análise Ambiental;
- Na análise de impactes ambientais;
- Na Avaliação do Ciclo de Vida, série ISO 14040:2008;
- Nos métodos de AICV;
- Na informatização ACV, através do software *SimaPro*;

- Análise Adicional da Qualidade dos dados da AICV, com o objetivo de analisar a significância, incerteza e sensibilidade.

2. Estado da Arte

2.1. Estação de Tratamento de Águas Residuais

De acordo com o Decreto-Lei n. o 152/97 (DRE, 1997), as águas residuais se classificam em águas residuais domésticas, oriundas das instalações residenciais, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas; águas residuais industriais, provenientes de qualquer tipo de atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais; águas residuais urbanas, que são as águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e ou com águas pluviais.

O tratamento das águas residuais visa reduzir a concentração de poluentes, através da redução/eliminação das impurezas físicas, químicas e biológicas, de forma a não apresentar riscos a saúde da população. Cada etapa do tratamento representa um obstáculo a transmissão de infeções por agentes patogênicos, sendo dividida através dos níveis preliminares: primário, secundário e terciário (Farias, 2020).

No Algarve, região do extremo Sul de Portugal, as infraestruturas do Sistema Municipal de Saneamento de Água em exploração (Figura 2.1), dispõe de 447,3 km de extensão de interceptores, 175 estações elevatórias (EE) e 66 estações de tratamento de águas residuais (ETAR). Da infraestrutura mencionada, aproximadamente 87 km de extensão de interceptores, 32 estações elevatórias e 5 estações de tratamento de águas residuais, correspondem ao concelho de Albufeira; que respondem pelo tratamento médio mensal de 600.240 m³ de caudal oriundo da região (AdA, 2021).

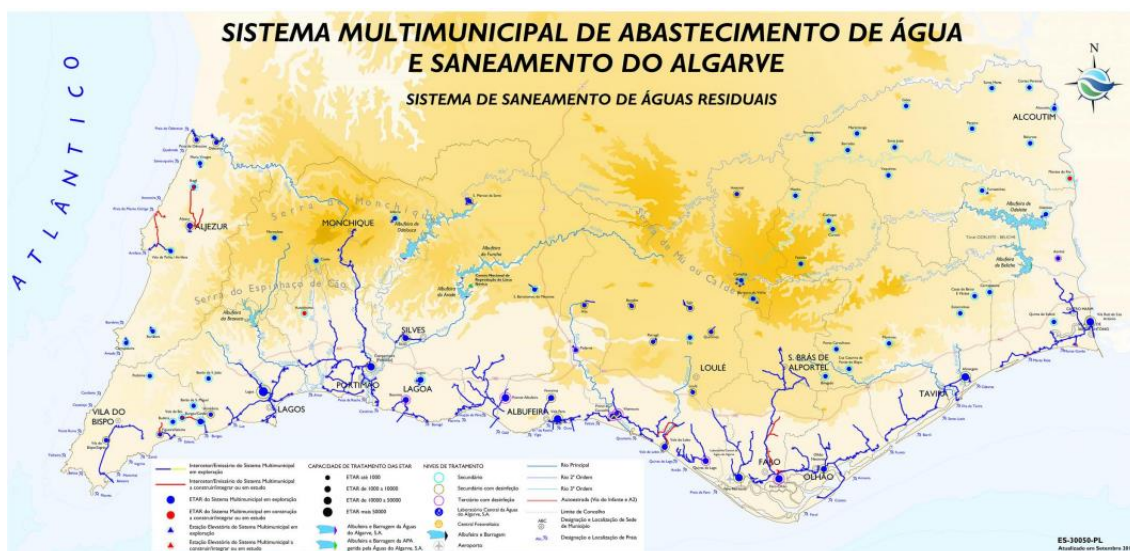


Figura 2.1 - Sistema Multimunicipal de abastecimento de água e saneamento do Algarve. (Fonte: AdA, 2021)

2.1.1. Etapas para o tratamento das águas residuais urbanas

As águas residuais oriundas das atividades urbanas são transportadas através de sistemas de interceção e elevação até às ETAR, onde é efetuado o respetivo tratamento, através de processos físicos, químicos e biológicos. O processo físico tem a função de remover os sólidos em suspensão, através de separações físicas, como membranas, sistema UV e cloração por exemplo, como também podem reduzir ou eliminar a matéria orgânica e inorgânica em suspensão e os microrganismos por processo de filtração em areia ou membranas. Os processos químicos conseguem remover poluentes através da adição de reagentes, que permitem a coagulação, a floculação, a neutralização de pH, entre outras, em diferentes etapas do tratamento. O tratamento biológico é responsável pela remoção de grande parte da matéria orgânica, medida pela Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) e Carência Química de Oxigénio (CQO) e outros nutrientes como o azoto (N) e fósforo (P).

De acordo com AdA (2021), as ETAR possuem diferentes tecnologias de tratamento a depender da configuração das fases: líquidas, sólidas ou gasosas. Na fase líquida, pode existir o tratamento preliminar, primário, secundário e desinfecção. Na fase sólida, o espessamento, a estabilização, a desidratação e armazenamento, enquanto na fase gasosa, ocorrem as etapas de extração dos gases e tratamento de odores (Figura 2.2).

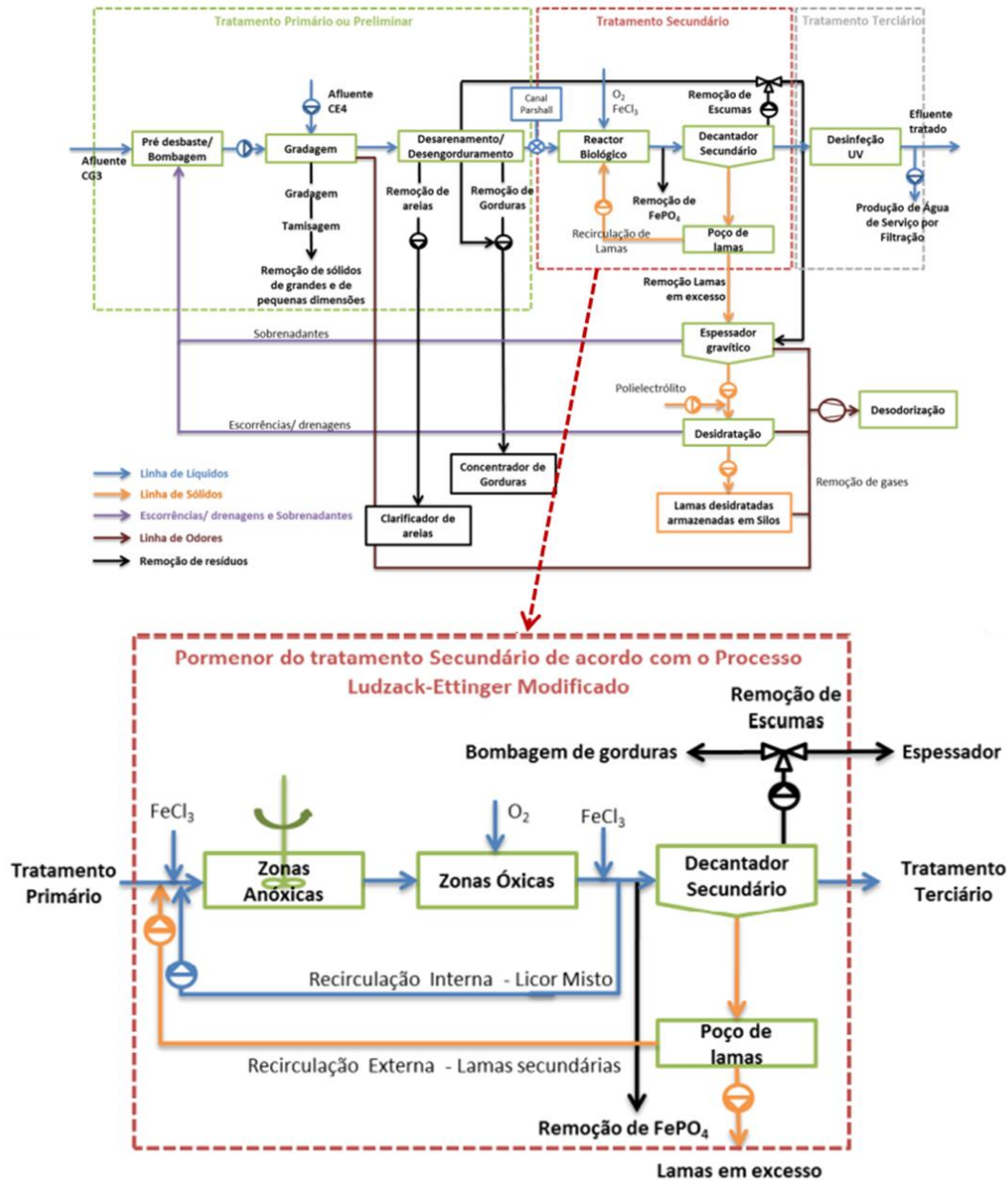


Figura 2.2 - Exemplo de Fluxograma de Processo de Tratamento (Fonte: AREAL, 2020)

2.1.1.1 Fase Líquida

Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar consiste em operações físicas para remoção dos sólidos grosseiros, como areias e gorduras. Esta fase é fulcral para preservação da infraestrutura, pois protege os órgãos a jusante vinculados ao processo de tratamento, como também evita obstruções dos circuitos hidráulicos e contaminações das águas e lamas, permitindo, desta forma, uma maior eficiência (Figura 2.3) (Simões, *et al.*, 2008).

Os principais órgãos utilizados nessa fase são a grade mecânica, tamisador, desarenador e ponte raspadora de superfície.

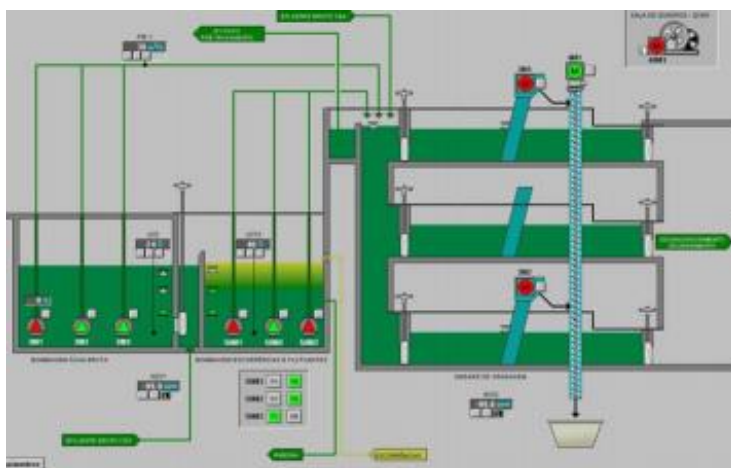


Figura 2.3 - Sinóptico do Tratamento Preliminar da obra de entrada da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Areal, 2020)

Grade Mecânica

Trata-se de um sistema de grade com espaçamento entre 20 e 30 mm, instalado no canal onde circula a água residual, no qual há limpeza dos sólidos grosseiros (ex. papéis, folhas, paus, cabelos, etc.). Os resíduos retidos na gradagem são temporariamente armazenados em contentores e posteriormente enviados para aterro sanitário. Normalmente, este recurso é apenas utilizado em caso de necessidade de desativação de uma das linhas com o tamisador (Figura 2.44) (Simões *et al.*, 2008).



Figura 2.4 - Grade mecânica da ETAR das Ferreiras (Fonte: Autor, 2020)

Tamisador

O tamisador tem a mesma função da grade mecânica, no entanto, é mais eficiente na etapa de remoção dos gradados, pois possui uma malha mais fina, de 3 ou 6 mm, que permite a retenção de sólidos de menores dimensões. Logo, deve ser utilizado de forma complementar à fase da gradagem. Esta operação é realizada por equipamentos eletromecânicos, os quais podem apresentar vários tipos de formato e configurações, a depender do fabricante (Figura 2.5) (Simões, *et al.*, 2008).



Figura 2.5 – Tamisador da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: AREAL, 2020)

Desarenador

O objetivo desta operação é retirar areia do efluente e pode ser executada de várias formas. Uma delas é por gravidade, quando o efluente passa com velocidade reduzida através de um tanque, que remove as areias e segue para um classificador de areias. A outra possibilidade é a retirada de areia por órgãos de tratamento desarenadores/desengorduradores (Figura 2.6) (Simões, *et al.*, 2008).

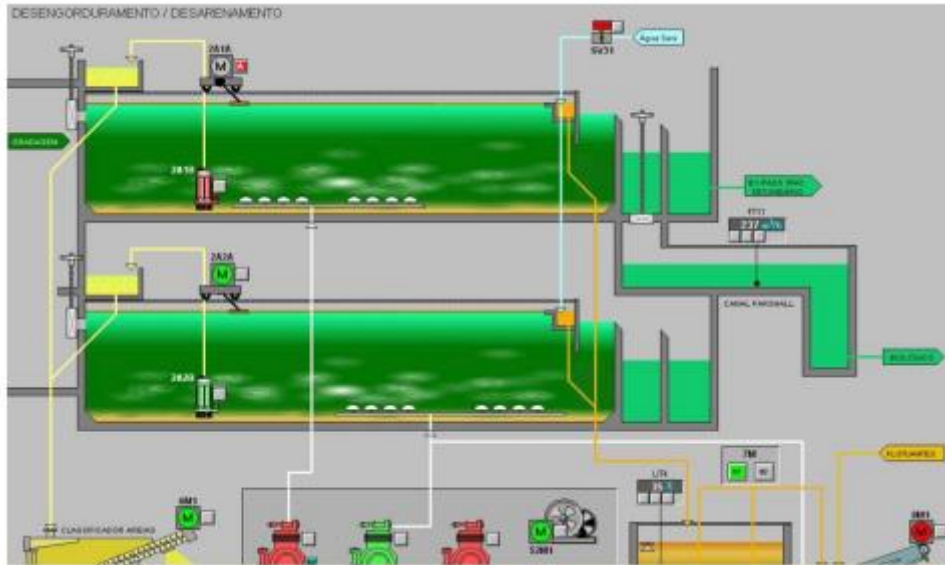


Figura 2.6 – Sinóptico do Processo de desengorduramento/desarenamento (Fonte: AREAL, 2020)

Ponte Raspadora de Superfície

A ponte raspadora de superfície atua na remoção de óleos e gorduras, através da injeção do fluxo de ar ascendente na superfície do efluente. Além disso, permite à acumulação de gorduras na superfície, que são encaminhadas para um poço através da ponte raspadora de superfície para posterior destino final adequado (Figura 2.77) (Simões, *et al.*, 2008).



Figura 2.7 - Ponte raspadora de superfície da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: AREAL, 2020)

Tratamento Primário

O tratamento primário é constituído por processos físicos e químicos, no qual os sólidos mais finos são separados graviticamente e a lama primária recolhida no fundo dos órgãos é direcionada para a linha de tratamento da fase sólida. Nesta fase, geralmente, a separação de sólidos suspensos é realizada através de processos de sedimentação/decantação ou flotação (Fernandes, 2008).

Decantação

A decantação tem como objetivo principal retirar os sólidos em suspensão decantáveis através da ação da gravidade. Esta operação é realizada num decantador onde a água permanece o tempo suficiente para permitir que as partículas suspensas sedimentem no fundo, sendo também removidas as escumas que se acumulam à superfície dos decantadores. Este processo pode ser assistido através de coagulação e floculação, com a adição de reagentes químicos para aumentar a sua eficiência, permitindo a redução da área de ocupação dos decantadores. A água clarificada gerada nessa etapa é direcionada para o tratamento secundário, enquanto as lamas primárias são recolhidas para posterior tratamento na fase sólida e as escumas são encaminhadas para o concentrador de gorduras do tratamento preliminar.

Flotação

A flotação tem como objetivo remover sólidos de dimensões muito reduzidas, não sendo possível fazer sua separação por ação da gravidade. Logo, o fluxo de ar ascendente é injetado no interior do tanque para que os sólidos sejam arrastados para a superfície juntamente com as bolhas de ar, onde são recolhidos e encaminhados para tratamento na fase sólida (Fernandes, 2008).

Tratamento Secundário ou Biológico

No tratamento secundário, a matéria orgânica solúvel da água residual que não foi retirada através de tratamento primário é removida através da ação de microrganismos que a utilizam como substrato. Também pode ser dimensionado para remover nutrientes como fósforo e azoto. Esta é a etapa do tratamento para a qual existe a maior variedade de sistemas (Figura 2.8) (AdA, 2021).

Os processos biológicos associados ao tratamento secundário podem ser aeróbios (na presença de oxigénio), anaeróbios (sem oxigénio), anóxicos (sem oxigénio dissolvido

e na presença de nitritos e/ou nitratos) e processos mistos. Nesta etapa, a matéria orgânica e os nutrientes da água residual são convertidos, através de diferentes tipos de microrganismos, em biomassa e dióxido de carbono, entre outros gases (AdA, 2021).

Nos sistemas de tratamento biológico por biomassa suspensa, os microrganismos responsáveis por atuar na metabolização da matéria orgânica encontram-se em suspensão na água residual. Estes sistemas podem ser por lamas ativadas, por leitos percoladores, discos biológicos e biofiltros.

Os sistemas de lamas ativadas consistem em um processo biológico de biomassa suspensa que tem por objetivo transformar a matéria solúvel em matéria decantável, a qual é encaminhado para um tanque de arejamento para que os microrganismos metabolizem a matéria orgânica. Neste, a água residual atravessa um conjunto de tanques onde ocorrem processos idênticos aos que ocorreriam em meio natural (lagoas), sendo um tratamento intensivo de efluentes por possibilitar o tratamento de um alto volume de caudal em uma área reduzida.

Os leitos percoladores, são sistemas geralmente compostos por tanques circulares onde é colocado um material de enchimento que serve de meio de suporte à biomassa, à medida que efluente passa através do enchimento, os microrganismos captam os nutrientes e decompõem a matéria orgânica.

O sistema de discos biológicos, que consistem num conjunto de discos circulares, dispostos paralelamente e unidos por um eixo horizontal, os discos giram em torno do eixo e mergulham parcialmente num canal com o efluente a tratar, como forma de garantir que os microrganismos estejam alternadamente em contacto com o ar e com a matéria orgânica.

Por fim, o tratamento biológico por biofiltros, que são pequenas esferas mantidas em contato com o efluente e arejadas com ar introduzido através de uma rede distribuidora existente na seção inferior, a água residual a ser tratada circula por gravidade e o ar atravessa o meio filtrante com um movimento ascendente, permitindo a eliminação de carbono solúvel e a filtração de sólidos em suspensão, bem como a retenção simultânea de fósforo (AdA, 2021).



Figura 2.8 - Sinóptico do tratamento biológico da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: AdA, 2021)

Desinfecção

Esta etapa tem como objetivo a destruição/inativação parcial dos microrganismos patogénicos, que pode ser realizada por ação de sistemas de tratamento por radiação ultravioleta ou por aplicação de um agente oxidante como o cloro (geralmente sob a forma de hipoclorito de sódio), sendo então o efluente descarregado no meio recetor. Antes da desinfecção por radiação ultravioleta, pode-se realizar a filtração, de forma a remover as partículas em suspensão não removidas nos tratamentos anteriores e que influenciam a eficiência deste processo (Fernandes, 2008).

2.1.1.2 Fase sólida

Esta fase consiste no tratamento das lamas (primárias e/ou secundárias) geradas na ETAR, que pode ser por espessamento, digestão (estabilização) e desidratação. No espessamento, as lamas primárias, quando existentes, e as lamas secundárias, são espessadas para aumentar a concentração de sólidos, em espessadores primários gravíticos ou mecânicos.

Na digestão anaeróbia, as lamas provenientes dos sistemas de arejamento de média carga podem ser estabilizadas, ocorrendo a diminuição da quantidade de lamas formadas, bem como a formação de biogás, com elevada percentagem de metano, que pode ser utilizado em sistemas de cogeração para produção de energia elétrica. Na etapa da desidratação, as lamas passam em sistemas mecânicos de centrífugas ou filtro bandas (AdA, 2021).

Após o tratamento, as lamas são armazenadas temporariamente em silos ou em contentores para posterior recolha e transporte para aterro sanitário. Uma alternativa ao

destino final em aterro sanitário, é a valorização do resíduo através da compostagem e posterior utilização em solos agrícolas.

2.1.1.3 Fase gasosa

De forma a controlar a emissão de compostos odoríferos, o ar contaminado é extraído através de um sistema de ventilação, que promove igualmente a renovação do ar no interior dos edifícios. Esta ação é fundamental para garantir a qualidade do ar na atmosfera do local de trabalho. O ar extraído é então encaminhado para um sistema de desodorização antes da sua rejeição na atmosfera, onde se procede à remoção de gás sulfídrico, de metilmercaptanos, aminas, entre outros. As principais tecnologias utilizadas são por via biológica através dos biofiltros, tais como a torre de lavagem para humedecimento do ar; sistemas de adsorção, geralmente de carvão ativado; e via química, em sistemas de lavagem (scrubbers), recorrendo-se neste caso à utilização de reagentes químicos como o ácido sulfúrico, peróxido de hidrogénio e hidróxido de sódio (Simões, *et al.*, 2008).

2.2. Sistema de Gestão Ambiental e Sustentabilidade

O mundo corporativo atualmente precisa lidar com diversas questões que não se restrinjam apenas ao âmbito económico, pois a mudança associada aos padrões de consumo da sociedade tem exigido a inclusão da gestão ambiental no seu processo produtivo (Azevedo, 2006).

A sustentabilidade de um negócio/empresa esta relacionada com o seu desenvolvimento associado à sua capacidade de respeitar a resiliência do meio ambiente, através da minimização dos impactes ambientais inerentes ao processo produtivo de uma organização. Permitindo, desta forma, que a humanidade e a natureza consigam subsistir em harmonia, a partir do equilíbrio entre os pilares social, económico e ambiental (Figura 2.9) (Nations Environment Programme, 2007).

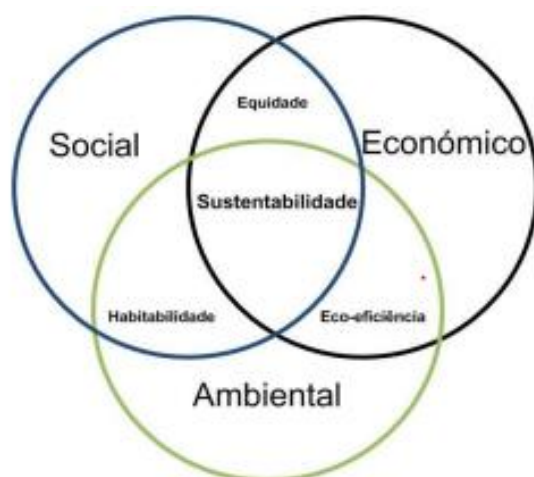


Figura 2.9 - Dimensões da sustentabilidade (Autor: Nations Environment Programme, 2007)

O pilar económico é o mais mensurável e objetivo, pois pode ser monitorizado por indicadores de desempenho de uma empresa. Os outros dois pilares são mais difíceis de quantificar em virtude do maior grau de subjetividade, mas ambos são igualmente importantes (Vieira, 2021).

De acordo com Beattie (2019), o pilar económico é aquele que a maioria das organizações se sente mais confortável, uma vez que, um negócio para ser viável, precisa ser lucrativo, sendo este critério transversal para todas as empresas. No entanto, o lucro não pode superar o pilar ambiental e social dos valores da empresa, pois quando uma organização assume uma identidade sustentável, significa que sua atividade está alinhada com os valores dos pilares da sustentabilidade (Vieira, 2021).

A gestão ambiental foi inserida no mundo empresarial, governamental ou não governamental através de mudanças na estrutura funcional das organizações que se preocupam com o desenvolvimento sustentável, por meio da determinação de novas responsabilidades, práticas, processos, procedimentos e redirecionamento de recursos. Neste contexto, assume importância o trabalho desenvolvido pela *International Organization for Standardization* (ISO), nomeadamente através da série de normas ISO 14000 e, na União Europeia, o EMAS (Ferrão, 1998).

2.2.1. ISO 14001:2015

A ISO é uma organização não governamental formada por organismos nacionais de normalização, com o objetivo de aprovar normas internacionais em todos os campos técnicos, de forma a manter permanente a qualidade das empresas e produtos, situada em Genebra, na Suíça.

Cada país dispõe de um representante da norma, responsável por reescrever a norma no respetivo idioma. No Brasil a ISO é representada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), quando que em Portugal, o organismo que representa a ISO é o Instituto Português da Qualidade (IPQ) (Gomes, 2015).

A série ISO 14000 aborda temas específicos, tais como, Série ISO 14010-14015, Auditoria Ambiental; Série ISO 14020-14024, Rótulos Ecológicos; Série ISO 14040-14049, Avaliação do Ciclo de Vida. No entanto, da família ISO 14000 destaca-se a ISO 14001 como a norma mais conhecida para implementação do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), que contempla os requisitos fundamentais que uma organização deve respeitar para obtenção de certificação ambiental, é aplicável a qualquer organização (Ferrão, 2012).

A implementação do SGA se dá através da normalização e criação de base de dados fiáveis que caracterizem processos e produtos. A padronização dos processos de uma organização através da ISO 14001, é determinado por 5 fases: a definição da política ambiental; a análise ambiental preliminar; a definição dos objetivos e metas ambientais; desenvolvimento do programa ambiental; e a análise periódica do sistema de gestão ambiental (Ferrã, 1998).

A primeira versão da ISO 14001 foi criada em 1996. A norma europeia EN ISO 14001:1996 foi publicada em Portugal através da NP EN ISO 14001 em 1999, sendo revista pela primeira vez após publicação, em 2004, as normas ISO são revistas periodicamente (Gomes, 2015).

Em 2015, uma nova versão da ISO 14001 foi publicada, na qual uma série de mudanças foi promovida com foco no desenvolvimento sustentável das empresas, dentre as quais, pode-se destacar a inclusão do conceito do ciclo de vida, que permite que as organizações identifiquem os aspetos ambientais decorrentes das suas atividades ao longo do ciclo de vida do produto (uso de matéria-prima, produção, utilização, transporte e destino final). A norma não exige uma avaliação detalhada do ciclo de vida, mas ressalta a importância da organização entender os aspetos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto, direcionando esforços para os impactes causados desde sua produção até o descarte do produto (Roberts & Shaw, 2016).

Para haver um alinhamento entre as normas de Sistema de Gestão, o documento Anexo SL - Estrutura de Alto Nível foi desenvolvido, no qual se apresenta a estrutura que deverá ser utilizada por todas as normas de Sistema de Gestão da ISO. Desta forma, a estrutura das normas de gestão tem a seguinte orientação:

1. Objetivo e campo de aplicação;
2. Referências normativas;
3. Termos e definições;
4. Contexto da Organização;
5. Liderança;
6. Planeamento;
7. Suporte;
8. Operacionalização;
9. Avaliação de desempenho;
10. Melhoria.

A norma ISO 14001 foi desenvolvida considerando ciclo do PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), que significa que as atividades devem ser planeadas, executadas, verificadas e atuadas de forma a garantir a gestão ambiental de um processo produtivo (Figura 2.10) (Costa & Cesar, 2017).



Figura 2.10: Relação entre o ciclo PDCA e estrutura da norma ISO 14001:2015 (Fonte: Costa, et al., 2017)

2.2.2. Regulamento do Sistema Comunitário de Eco gestão e Auditoria (EMAS)

A União Europeia considera que as questões ambientais estão interligadas a todos os aspetos relevantes da sociedade, incluindo a organização económica e social, que englobam: a atividade industrial, a produção e a distribuição de energia, os transportes, o comércio e serviços, os direitos dos cidadãos à informação e segurança, entre outros (Braga & Morgado, 2012).

Em Portugal, a implementação do SGA pode se dá por dois referenciais: o Regulamento EMAS e/ou a Norma ISO 14001. Ao fazer uma comparação entre as duas metodologias, verifica-se que não há diferenças significativas, embora o EMAS estabeleça requisitos mais restritivos em algumas cláusulas, nomeadamente desempenho ambiental, envolvimento dos trabalhadores, auditorias internas e comunicação com as partes interessadas (Pinto, 2005).

O EMAS tem como suporte a ISO 14001, mas também está apoiada em outros pilares, sendo que um deles apoia-se no fato de o registo ser realizado por uma entidade pública e os restantes apoiam-se: no envolvimento dos trabalhadores, na informação pública dos resultados ambientais através da declaração ambiental, na conformidade legal e na melhoria do desempenho dos índices ambientais (Carvalho, 2009).

O EMAS foi publicado em 1993 e adotado pela União Europeia. Seu uso foi inicialmente restrito à participação de empresas do setor industrial de acordo com o Regulamento (CEE) n° 1836/93 (EMAS I). A revisão pelo Regulamento (CE) n° 761/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de março, tendo em consideração o reconhecimento da importância ambiental de todos os setores de atividade económica, permitiu a participação no EMAS de todo o tipo de organizações, incluindo as autoridades locais (EMAS II). Em janeiro de 2010 entrou em vigor o Regulamento (CE) n° 1221/2009, que alargou a participação no EMAS a organizações situadas fora da Comunidade Europeia (EMAS III) (APA, 2022).

Em agosto de 2017, o Regulamento (UE) 2017/1505 foi publicado, o que alterou os anexos I, II e III do Regulamento (CE) n° 1221/2009, como mostrado na Figura 2.11. A Comissão disponibilizou no EMAS *Helpdesk*, para facilitar a implementação das alterações introduzidas no referido Regulamento (APA, 2022).

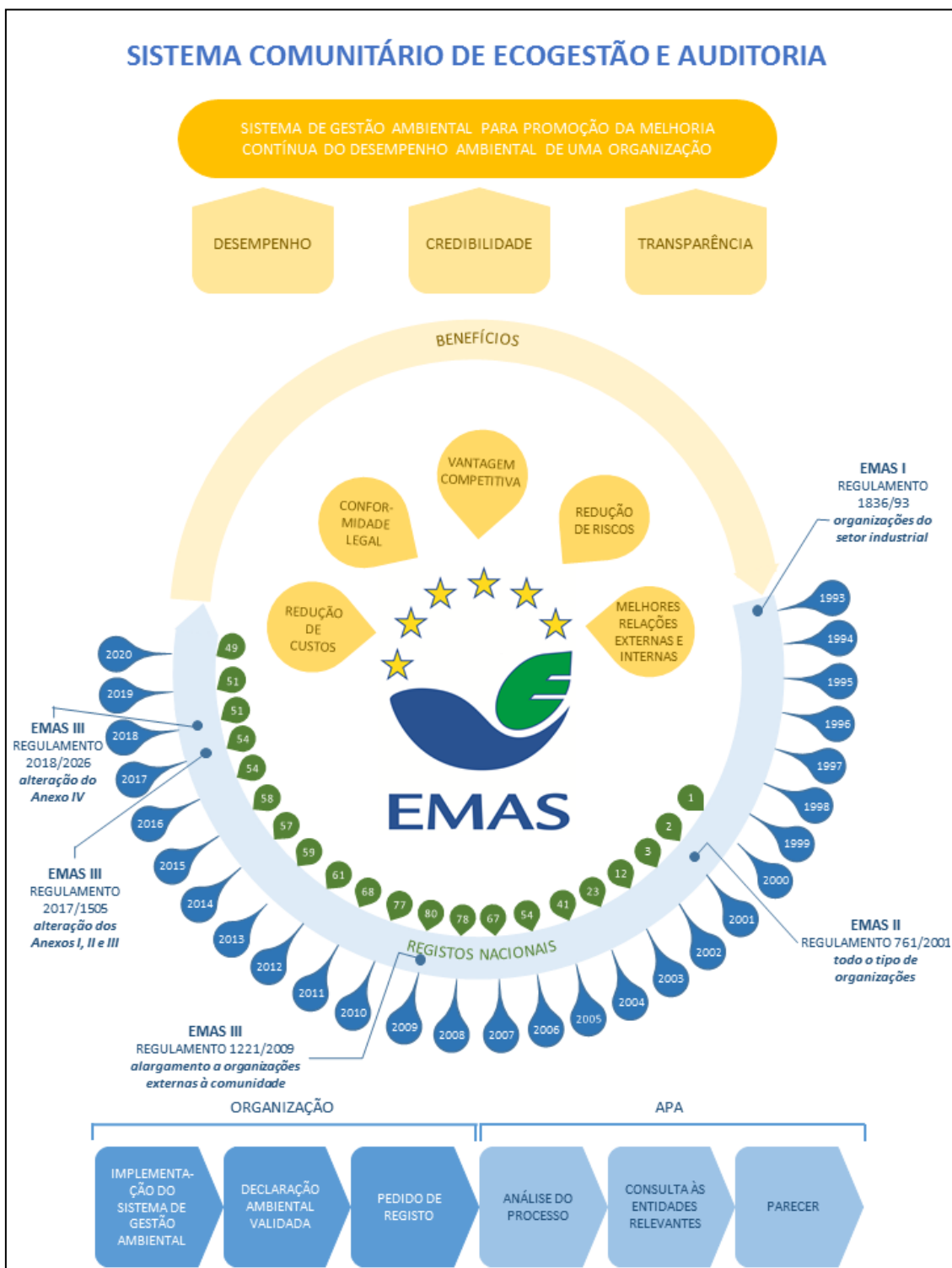


Figura 2.11 - Sistema EMAS (Fonte: APA, 2022)

Independentemente do referencial escolhido, ambas metodologias são de adoção voluntária e funcionam como diretrizes para implementação/manutenção do SGA. Nenhuma metodologia de implementação de SGA define os métodos e técnicas a serem implementados pelas organizações para atendimento aos requisitos, entretanto, fornecem

indicações sobre o que deve ser aplicado para obter-se a certificação ambiental (Pinto, 2005).

2.2.3. Técnicas de Análise Ambiental

Durante a implementação de um SGA, faz-se necessário o uso de diversas técnicas de análise ambiental, dentre as quais destacam-se: a Auditoria Ambiental (AA), a Análise de Risco (AR), a Análise de Impacte Ambiental (AIA) e a Avaliação de Ciclo de Vida. Essas técnicas são ferramentas complementares no âmbito do SGA, logo podem ser utilizadas de forma conjugada, a fim de manter uma gestão ambiental eficaz (Ferrão, 2012).

Inicialmente a Auditoria Ambiental consistia apenas na verificação do cumprimento da legislação ambiental, por parte da entidade auditada. No entanto, devido a dinâmica das questões ambientais, a técnica de auditoria assumiu novos propósitos, que se iniciam na verificação do atendimento aos requisitos legais e ao apoio fornecido as organizações durante a fase de implementação e manutenção do SGA (Ferrão, 2012).

A Auditoria Ambiental está no programa de Auditoria Interna, que permite as organizações obter um diagnóstico interno, através do desenvolvimento de metodologia de auditoria com: apoio da gestão; seleção e formação da equipa auditora; definição de prioridades e setores a auditar; desenvolvimento de metodologia de identificação de não conformidades e monitorização de ação corretiva e preventiva (Ferrão, 2012).

A Técnica de Análise de Risco pode ser utilizada para análise de riscos aos ecossistemas ou saúde humana, pois consiste na avaliação e caracterização dos diversos perigos que podem influenciar na exposição dos seres humanos ou outras espécies. Essa técnica, também deve caracterizar a distribuição da população local e as principais características da flora e fauna local (Ferrão, 2012).

As técnicas de Análise de Impacte Ambiental e Avaliação do Ciclo de Vida, objeto de estudo deste trabalho, serão abordadas em separado de forma mais detalhada nos itens a seguir.

2.3. Análise dos Impactes Ambientais na fase de exploração das ETAR

A análise de impacte ambiental é uma ferramenta fundamental para a aplicação das políticas ambientais, pois promove o equilíbrio entre o desenvolvimento da organização e a proteção do meio ambiente, através da identificação, avaliação e correção dos efeitos ambientais negativos gerados pelas organizações (Simões, 2008).

As organizações quando operadas sem a vertente da preocupação ambiental, podem contribuir para aumento da poluição do ar, das águas e do solo, ocasionar alterações climáticas, gerar lixo tóxico, dentre outros impactes ambientais. Neste contexto, os acionistas, os funcionários, os fornecedores, os consumidores e a comunidade do entorno são afetados (Simões, 2008).

Os efeitos benéficos inerentes ao funcionamento das ETARs são evidentes, em virtude da melhoria da qualidade das águas descarregadas no meio recetor, como também pela ótica ambiental e de saúde pública. No entanto, apesar do contributo positivo para o corpo hídrico e população, estudos revelam que os impactes associados ao seu funcionamento se estendem a diversos domínios e devem ser considerados (Fernandes, 2008).

Desta forma, no processo de exploração de uma ETAR, verifica-se os impactes ambientais oriundos do consumos energéticos, das emissões gasosas, produção de subprodutos com importância a nível de reutilização (e.g., lamas e efluente tratado), emissão de ruído associado ao funcionamento dos equipamentos, consumo de substâncias químicas, produção de água residual tratada e descarga no meio recetor, circulação de veículos (transporte de lamas, reagentes e equipa da operação), produção de resíduos e descarga de águas residuais não tratadas, decorrente de situações de emergência e avarias nos equipamentos. Para além da fase de exploração, também pode ser considerada as fases de construção, remodelação e desativação como promotoras de ações passíveis de originar impactes no ambiente (Figura 2.12) (Fernandes, 2008).

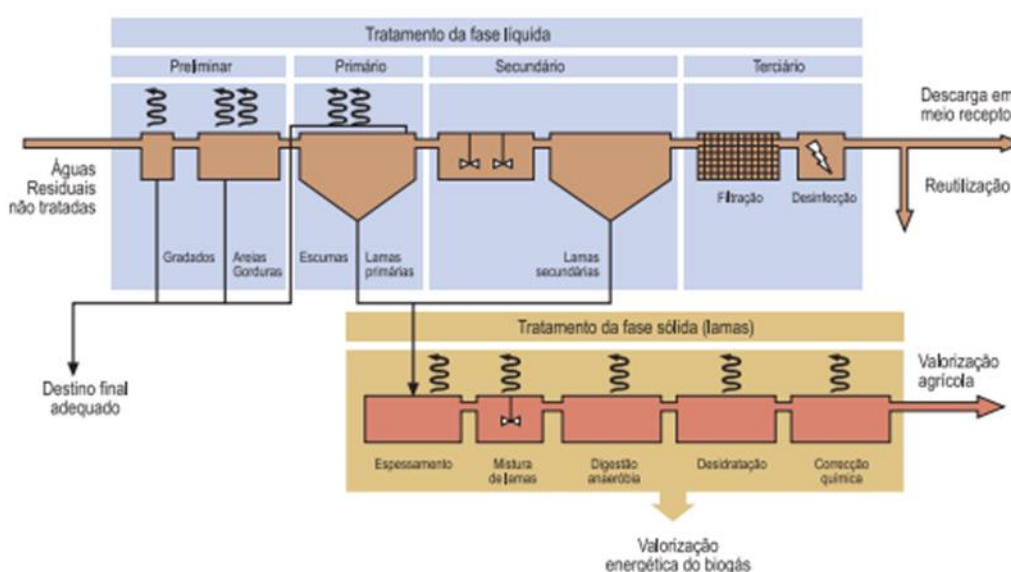


Figura 2.12- Sinóptico de uma ETAR e principais ações suscetíveis de causar impacte durante a fase de exploração. (Fonte: AREAL, 2019)

Consumos Energéticos

Segundo *Venkatesh & Brattebo* (2011), o consumo de energia elétrica por m³ de águas residuais tratadas pode variar, apresentando valores de 0,26 - 0,84 kWh por m³, dependendo de várias características operacionais e ambientais, como cargas de poluentes, tamanho e idade da planta e tipo de ETAR.

Indiretamente o consumo de energia devido à utilização de combustíveis fosseis na sua produção, também é responsável por emissões de gases com efeito estufa, como o metano (CH₄) liberado maioritariamente nos processos anaeróbios e dióxido de carbono (CO₂) que é liberado maioritariamente nos processos aeróbios. A quantidade de CH₄ e CO₂ pode ser estimada considerando que todo o CBO removido é transformado em CH₄, CO₂ ou biomassa (RTI, 2010).

A entidade produtora de energia, utiliza diversas formas de energias primarias na produção de energia elétrica, e algumas destas libertam gases com efeito de estufa. O governo português disponibiliza o fator de conversão de energia elétrica em kWh para kgCO₂ libertado, e fixa este valor em 0,144, podendo ser revisto o valor periodicamente (DRE, 2013).

Qualidade do Ar

Durante a fase de exploração de uma ETAR, a emissão difusa de efluentes gasosos provoca os compostos odoríferos que resultam numa mistura de gases de efeito estufa, tais como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e o protóxido de azoto (N₂O). No entanto, para além das emissões de gases que contribuem significativamente para o efeito estufa, há os gases que não contribuem para este impacte, mas são preocupantes pelos efeitos negativos a saúde humana e meio ambiente devido a suas capacidades de volatilização, bioacumulação e biodegradação, são o sulfureto de amónio ((NH₄)₂SO₄), o sulfureto de hidrogénio (H₂S), o carbonato de amónio ((NH₄)₂CO₃) e os designados por compostos orgânicos voláteis (COVs) (Pituco, 2017).

A emissão de odores durante a exploração de uma ETAR pode decorrer do tratamento preliminar, durante a operação de gradagem para remoção de sólidos grosseiros; do tratamento secundário, quando matéria orgânica e os nutrientes da água residual são convertidos, através de diferentes tipos de microrganismos, em biomassa e dióxido de carbono, entre outros gases; do tratamento terciário, que inclui os processos de desinfecção e filtração e os processos de coagulação/floculação, o que implica em uma

maior produção de lamas e conseqüentemente em uma maior produção de odores. Esses compostos podem contribuir para uma rápida deterioração dos equipamentos eletromecânicos e da construção civil (Antunes & Mano, 2004).

Em qualquer fase do tratamento, há impactes significativos decorrentes do mau cheiro. No entanto, a manifestação de odores, pode ser aumentada em virtude de vários fatores, tais como: a composição do efluente bruto, o tempo de retenção no sistema de recolha, o nível de turbulência e a concentração dos azotados ou sulfurados. Na produção de resíduos como: elementos gradados, areias, gorduras e lamas, como também durante o transporte para deposição final; o odor está associado a emissão de mercaptanos e amoníacos (Antunes & Mano, 2004).

Qualidade do Ambiente Sonoro

A emissão de ruído é potencializada em determinados locais do tratamento, podendo ser mais intensa em zonas de funcionamento de compressores, bombas ou aquando da movimentação e enchimento de camiões que transportam os resíduos gerados. Durante a fase líquida do tratamento preliminar/primário e terciário, os impactes associados ao ruído são pouco significativos, resultando essencialmente do funcionamento dos equipamentos da obra de entrada e bomba de doseamento de hipoclorito respetivamente e da eventual presença de equipamento na instalação (gerador). Comparativamente com o tratamento preliminar/primário e terciário, em virtude do funcionamento de um maior número de bombas, arejadores, sopradores e compressores, e pelo fato de está associado a fase de maior produção de lamas, pode-se observar uma maior geração de ruído no tratamento secundário. (Fernandes, 2008).

Na fase sólida o ruído mais significativo é oriundo do funcionamento das centrífugas durante o processo de desidratação das lamas e na fase gasosa pode-se mencionar a operação dos ventiladores. Estas condições podem variar a depender do projeto das instalações, processos de tratamento e os respetivos equipamentos utilizados.

Desta forma, os impactes no ambiente sonoro provocados pelo funcionamento de uma ETAR pode ser mais ou menos significativo consoante a dimensão da ETAR, a proximidade de aglomerados populacionais e o próprio funcionamento da estação (Fernandes, 2008).

Resíduos

Todos resíduos, dependendo da sua quantidade e perigosidade, quando rejeitados diretamente para o ambiente sem qualquer tratamento, constituem um risco grande para a saúde humana e para o ambiente podendo provocar impactes irreversíveis. De forma a minimizar esses efeitos, a gestão de resíduos tem tido progressos consideráveis nos últimos tempos em Portugal e no resto da Europa (Pimentel, 2012).

A exploração de uma ETAR implica a produção de diversos resíduos, provenientes de operações de limpeza, manutenção, depuração de lamas, desobstrução dos sistemas de gradagem da ETAR e do próprio processo de tratamento. Estes, são constituídos essencialmente por uma mistura de terras, areias e gradados de composição diversa, e são normalmente armazenados temporariamente na ETAR, até que seja realizado o transporte e deposição final.

Circulação de Veículos

O impacte decorrente da circulação de veículos na fase de exploração está relacionado com a contribuição para o aumento do efeito estufa, em virtude da emissão de gases poluentes à atmosfera gerados pela frota de veículos. As emissões gasosas decorrentes deste aspeto, está relacionada com a rotina de transportes dos resíduos (gradados, areias e lamas) para destinação final, transporte de substâncias químicas (reagentes) e dinâmica de circulação das viaturas da operação entre as instalações.

Produção de água residual tratada e descarga no meio recetor

Segundo Anne (2003), a água residual tratada pode conter não só matéria orgânica como também nutrientes, compostos de azoto, fósforo, sólidos suspensos e alguns elementos com potencial tóxico, tais como bactérias e coliformes. A presença desses componentes no meio recetor, pode vir a provocar efeitos negativos diretos ou indiretos na qualidade da água e consequentemente comprometer a fauna e flora existente naquele habitat, pois a matéria orgânica existente no efluente tratado representa uma fonte de degradação da qualidade dos meios aquáticos recetores, uma vez que em conjunto com o enriquecimento em nutrientes, proporciona situações de eutrofização e anoxia a biodiversidade associada.

No entanto, a rejeição de águas residuais pelas ETARs, deve ser exclusivamente realizada no local e nas condições indicadas nas respetivas licenças de descargas da

instalação, não estando autorizadas quaisquer outras descargas de efluentes sem prévia autorização da entidade licenciadora.

Descargas Emergenciais

As ETAR representam um impacto positivo na manutenção da qualidade dos meios recetores, pois evitam a descarga de águas não tratadas por parte da fonte emissora. No entanto, decorrente de roturas, danificação de equipamentos, avarias no sistema ou por falha humana, podem ocorrer descargas de água não tratadas pelas ETAR, mas são pouco frequentes e seu efeito tenderá a dispersar-se em poucas horas após a ocorrência (Fernandes, 2008).

2.4. Avaliação do Ciclo de Vida

Qualquer produto, processo ou atividade, gera impactos ao meio ambiente, desde a extração de matérias-primas ou transformação de recursos naturais, até a deposição final, são devolvidos a natureza ou reintegrados no ciclo produtivo. A avaliação do ciclo de vida (ACV), conhecida internacionalmente por LCA (*Life Cycle Assessment*), é uma técnica que avalia os impactos ambientais associados a um produto ao longo de seu ciclo de vida (Figura 2.13) (Ferrão, 2012).

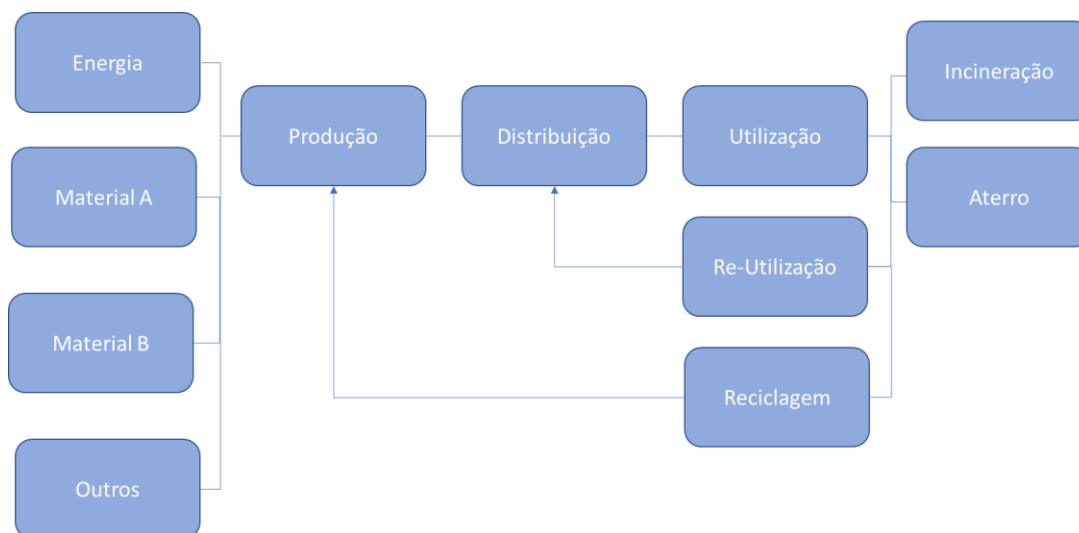


Figura 2.13: Principais fases associadas ao ciclo de vida de um produto (Fonte: Ferrão, 2012)

A série ISO 14040 (14040 a 14049) é dedicada ao LCA. A primeira norma ISO 14040 estabelece as diretrizes para a realização de uma ACV; a ISO 14044 substituiu a ISO 14041, 14042 e 14043 em 2006 para descrever as fases de inventário, avaliação de impacto e interpretação; a ISO 14046: 2014 fornece as diretrizes para avaliação da pegada

hídrica baseada na ACV de produtos, processos e organizações. Exemplos de sua aplicação são apresentados na ISO 14047 e 14049, e a ISO 14048 descreve o formato de documentação de dados (Jolliet, *et al.*, 2015).

A metodologia da ACV, definida pela norma ISO 14040, utiliza princípios bem estabelecidos na análise energética de sistemas e fundamenta-se nas leis da termodinâmica. Numa análise simplificada, pode-se afirmar que a 1ª lei, estipula a conservação de energia, fundamenta os cálculos e permite a verificação da consistência dos dados recolhidos, enquanto a 2ª lei, quantifica a degradação de energia e consequente inexistência de processos verdadeiramente reversíveis, como também justifica a análise técnica (Ferrão, 2012).

Para facilitar a análise energética, é usual reduzir as diversas formas de energia a uma forma primária de energia básica, que se convencionou internacionalmente ser o petróleo, originando o conceito tonelada equivalente de petróleo (tep), quantificada em $10 \cdot 10^6$ kcal, na qual outras formas de energia são traduzidas. Em Portugal, os coeficientes de conversão de energia para tep, encontram-se publicados no Diário da República, nº 98, IIª Série, de 29 de abril de 1983.

Na Europa, a ACV ganhou força na década de 90 devido à retomada do tema reciclagem, essencialmente aplicado às embalagens plásticas por parte do movimento ecologista. Nesta fase, a análise energética associada ao ciclo de vida dos produtos era realizada. O interesse por parte das organizações na vertente ambiental através da ACV foi impulsionado pelos consumidores que passaram a exigir a informação ambiental dos produtos adquiridos. Neste contexto, é crescente o número de gestores que apostam na ACV como estratégia de médio prazo para sua empresa, pois acredita-se que tornar o produto mais “verde” aumenta as possibilidades de venda no mercado (Ferrão, 2012).

Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida

De acordo com a NP EN ISO 14040:2008, o método de execução para a ACV acontece através de quatro etapas principais (Figura 2.14):

1. Definição de objetivo e âmbito da análise;
2. Inventário dos processos envolvidos, com enumeração das entradas e saídas do sistema;
3. Avaliação dos impactes ambientais associados às entradas e saídas do sistema;

4. Interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação, tendo em consideração os objetivos de estudo.

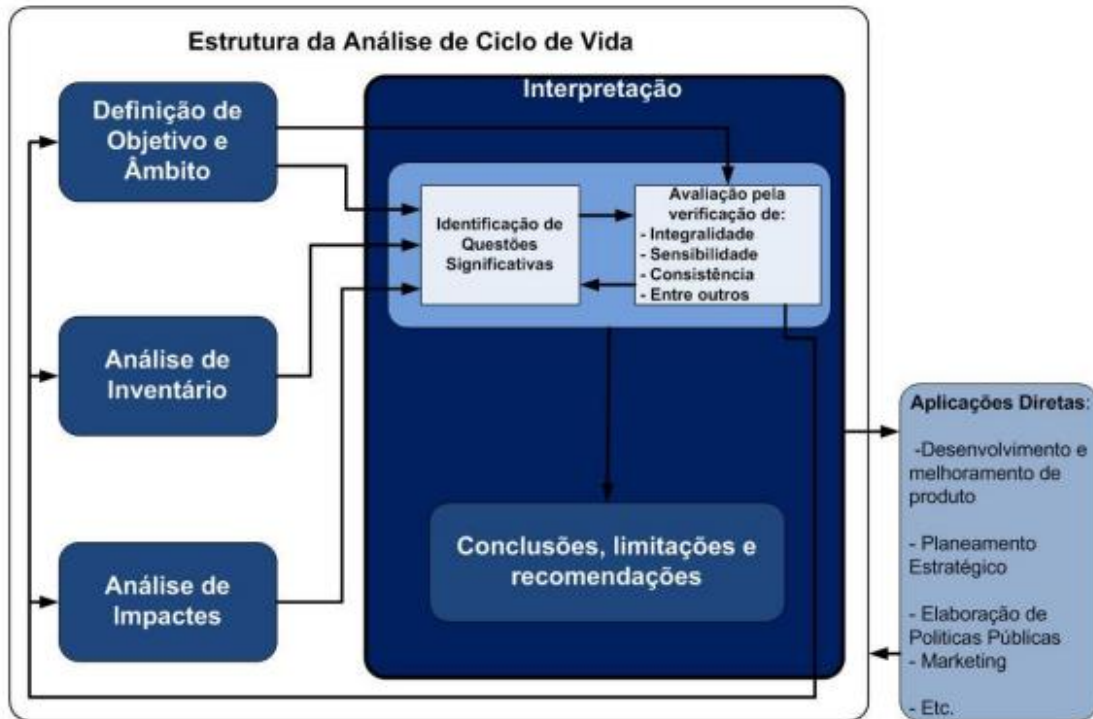


Figura 2.14: Relação entre elementos constituintes da fase de Interpretação com outras ACV (Fonte: ISO 14044, 2010).

A etapa de definição do objetivo e âmbito permite uma reflexão sobre as razões que conduzem a ACV; qual o objeto de estudo; a função que o produto desempenha; a quem se destina os resultados; a definição da unidade funcional; e a fronteira do estudo. A clarificação dessas questões é necessária para conduzir a ACV. Um aspeto fundamental nessa fase é a definição da unidade funcional, que corresponde a uma referência para determinação dos dados de entrada e saída (*inputs* e *outputs*) (Neves, 2016).

O inventário dos processos envolvidos é a etapa que exige maior dispêndio de tempo, pois todos os *inputs* e *outputs* de um processo são quantificados e convertidos na unidade funcional de um produto (Figura 2.15). Após a definição das fronteiras do sistema; a esquematização dos diagramas de blocos representativos do sistema pode ser realizada; seguida da informação e análise da sua qualidade. Após o processamento dos dados, realiza-se a análise dos resultados baseada nas fronteiras do sistema (Neves, 2016).

Uma vez definido o ciclo de vida, inicia-se a etapa de avaliação dos impactes ambientais associados às entradas e saídas do sistema, na qual programas informáticos são utilizados, como o Gabi 6.0, Umberto 5.5 e *SimaPro* 6, que calculam a soma de diversas intervenções ambientais associadas a unidade funcional definida e os resultados

relativos aos dados de cada processo da ACV, como extração de matéria-prima e recursos energéticos; produção de energia; produção de compostos químicos (Neves, 2016).

A interpretação dos resultados deve levar em consideração o âmbito do estudo, a cobertura geográfica a partir da qual se deve recolher os dados, o período de recolha de dados considerados e qual sistema de tecnologia mais adequado. No entanto, deve-se salientar, que um estudo realizado sem critério pode comprometer a ACV, logo a base de dados utilizada deve condizer com o objetivo do estudo (Neves, 2016).

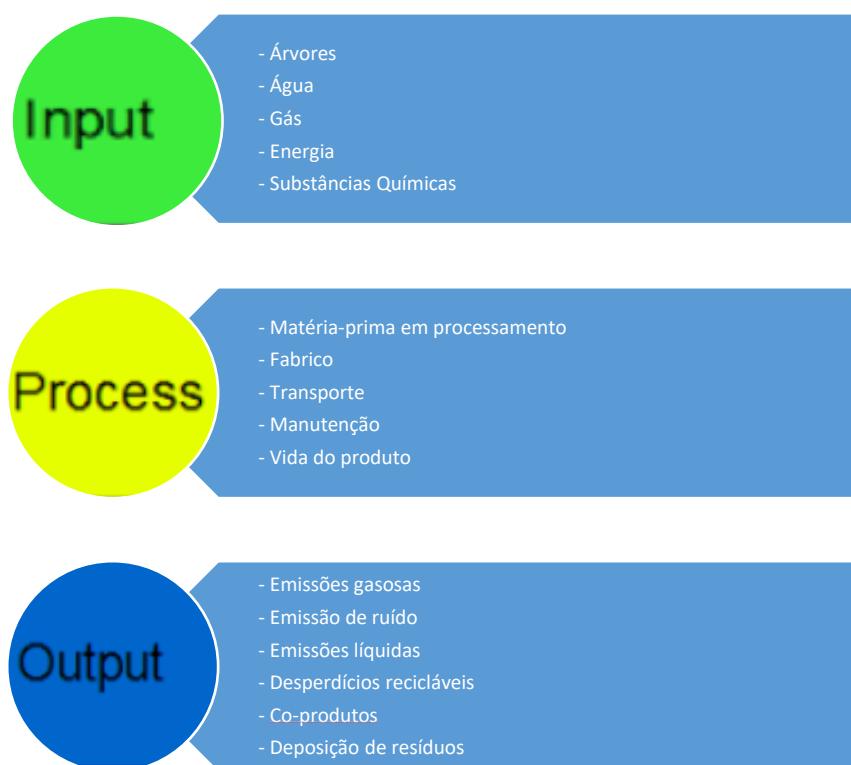


Figura 2.15 - Representação da informação a ter em conta para a Avaliação de Ciclo de Vida (Fonte: Adaptado de Neves, 2016)

Os temas definição de objetivo e âmbito da análise; inventário dos processos envolvidos, com enumeração das entradas e saídas do sistema; avaliação dos impactos ambientais associados às entradas e saídas do sistema; interpretação dos resultados das fases de inventário e avaliação, referente ao caso de estudo desta dissertação, serão descritos com maior nível de detalhe na estrutura da metodologia.

2.5. Métodos de AICV

O Programa Iniciativa do Ciclo de Vida da UNEP (2010) referencia os métodos mais utilizados para AICV: *Eco-indicador 99*, EDIP 2003, EPS 2000, *Dutch Handbook on*

LCA, Impact 2002+, JEPIX, LIME, Swiss Ecoscarcity, TRACI e EF 3.0 Method (PEF)

(Tabela 2.1 - Principais métodos ACV (Fonte: Mendes et al., 2016)Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Principais métodos ACV (Fonte: Mendes et al., 2016)

Método	Origem	País
CML2002 ou Dutch Handbook on LCA	Universidade de Leiden	Holanda
Eco-indicador 99	Parte da Política Integrada de Produto do Ministério Holandês de Moradia, Planeamento Espacial e Ambiental (VROM)	Holanda
Ecological Scarcity ou Swiss Ecoscarcity ou Swiss Ecopoints	United Nations Environment Programme, responsável pela atualização em 2010.	Suíça
EDIP 97 – 2003	Universidade Técnica da Dinamarca Cinco Indústrias Dinamarquesas Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa	Dinamarca
EPS 2000	Universidade de Tecnologia Chalmers	Suécia
Impact 2002+	Swiss Federal Institute of Technology	Suíça
LIME	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Industrial Avançada (AIST) em cooperação com o Comitê de Estudo de Avaliação de Impacte do Projeto ACV	Japão
LUCAS	CIRAIG	Canadá
MEEuP	VhK	Holanda
ReCiPe	RUN + Pré + CML + RIVM	Holanda
Swiss Ecoscarcity	E2 + ESU - Services	Suíça
TRACI	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA)	USA
USEtox	Programa iniciativa do Ciclo de Vida da UNEP - SETAC	Países envolvidos na ONU e SETAC.

Método	Origem	País
Impact World+	CIRAIG, da Politécnica de Montreal (Canadá), Universidade de Michigan (Estados Unidos), Universidade de Ann Arbor (Estados Unidos), Quantis (Suíça), Universidade Técnica da Dinamarca – DTU (Dinamarca), Escola Politécnica de Lausanne – EPFL (Suíça) e Cycleco (França)	Canadá; Estados Unidos; Suíça; Dinamarca; França.
PEF	Comissão Europeia	Bélgica

O método ILCD Handbook, baseado nas normas internacionais da ISO, representa uma combinação geral dos seguintes métodos de AICV: CLM 2002, Eco-Indicador 99, EPI 1997, EDIP 2003, EPS 2000, Impact 2002+, LIME, LUCAS, ReCiPe, Ecological Scarcity Method, TRACI, MEEuP e USEtox (Mendes, 2013).

Os métodos de AICV mais presentes em estudos de ACV no tratamento de água residuais são CML, Eco Indicador 99, EPS 2000, Impact 2002, LIME e TRACI. Na ACV deste estudo, foram utilizados os métodos TRACI e PEF.

TRACI

O *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts* (TRACI) é um método de avaliação do impacto elaborado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA) em 2003, inicialmente projetado para utilização em ACV, e posteriormente foi usado em aplicações mais amplas na Prevenção da Poluição e em medidas de sustentabilidade para os Estados Unidos. A metodologia é um método *midpoint* e abrange dez indicadores desse tipo, cobrindo ainda quatro *endpoints*. Entre os dez indicadores, encontram-se as categorias de impacto cancerígenas e não cancerígenas, ecotoxicidade, aquecimento global, eutrofização, poluição, esgotamento de combustível fóssil, acidificação, efeitos respiratórios e destruição da camada de ozônio. Este modelo considera apenas o elemento da normalização (Mendes, *et al.*, 2016; Fazio *et al.*, 2019).

PEF

Em 2013, a Comissão Europeia lançou a fase piloto das Environmental Footprint Rules, com o objetivo de definir regras para o estudo de avaliação do ciclo de vida de um produto, chamado de regras de categoria de pegada ambiental do produto (PEFCR) e para organizações, chamadas regras do setor de pegada ambiental organizacional (OEFSR) (Golsteijn *et al.*, 2018).

O PEF é um método de avaliação de impacto ambiental elaborado pela Comissão Europeia na Bélgica, cuja metodologia é desenvolvida como um método *midpoint*, abrangendo 16 categorias indicadores e informações ambientais adicionais consideradas necessárias para alcançar a comparabilidade, maior reprodutibilidade, consistência, relevância, foco e eficiência dos estudos, que são as alterações climáticas, formação fotoquímica de ozônio, eutrofização (terrestre, marinha e de água doce), matéria particular/específica, uso de recursos minerais e metais, acidificação, ecotoxicidade (água doce/metais, água doce/orgânicos e água doce/inorgânicos), radiação ionizante, toxicidade humana, uso de água, uso da terra e depleção da camada de ozônio (Fazio *et al.*, 2019).

As categorias de impacto da pegada ambiental (EF) referem-se a categorias específicas de impactos que podem afetar o meio ambiente e a saúde humana. Os métodos de avaliação de impacto da EF usam modelos para quantificar as relações causais entre as entradas/saídas associadas ao ciclo de vida do produto por meio de métodos pré-estabelecidos para cada categoria de impacto, como também faz uso de fontes específicas para alimentação dos dados (Tabela 2-2).

Tabela 2.2 - Exemplos de Categorias de impacto de EF padrão (com os respectivos indicadores de categoria de impacto de EF e modelos de avaliação) (Adaptado do Guia PEF, 2012)

CATEGORIA DE IMPACTE - EF	AVALIAÇÃO DE IMPACT – EF MODELO	INDICADORES DE CATEGORIA DE IMPACTE - EF	FONTE
Alterações Climáticas	Modelo de Berna – Potencial de Aquecimento Global (GWP) ao longo de 100 ano	Kg CO2 equivalente	Painel Intergovernamental sobre alterações climáticas, 2007 (IPCC).

CATEGORIA DE IMPACTE - EF	AVALIAÇÃO DE IMPACT – EF MODELO	INDICADORES DE CATEGORIA DE IMPACTE - EF	FONTE
	de horizonte temporal.		
Destruição da camada de ozônio	Modelo EPID, baseado nas ODPs da Organização Meteorológica Mundial (OMM) por um tempo infinito de horizonte.	Kg CFC-11 equivalente	OMM, 1999
Ecotoxicidade para água doce aquática	Modelo USEtox	CTUe (Unidade Tóxica Comparativa para ecossistemas)	Rosendaum <i>et al.</i> , 2008.
Eutrofização Terrestre	Acumulado Modelo de Excedências (Exceedance model)	Mol N equivalente	Struijs <i>et al.</i> , 2009, conforme implementado em Receita.
Eutrofização Aquática	Modelo EUTREND (EUTREND model)	Água doce: kg P equivalente Marinho: kg N equivalente	Frischknecht <i>et al.</i> , 2008.

2.6. Informatização ACV – Software *SimaPro*

A avaliação do ciclo de vida de um produto exige um grande volume de informação e operações de cálculo. Por isso, a base de dados torna-se essencial na caracterização do sistema em investigação. O desenvolvimento da metodologia para

avaliação do ciclo de vida tem um caráter teórico, enquanto a recolha de dados está ligada com a prática (Ferrão, 1998).

Desta forma, o programa informático é a interface entre a teoria e a prática, através do utilizador, da base de dados, do sistema de cálculo e um módulo de realização de relatórios. Logo, viabiliza a utilização prática da metodologia e a relevância dos dados no contexto teórico (Neves, 2016).

A escolha do programa é baseada em três aspetos: na sua capacidade de organizar dados e minimizar o esforço numa ACV ou AIA; na qualidade da documentação publicada, a qual deve ser bem-sucedida em estudos de ACV; na integração do modelo informático a outros componentes de sistemas informáticos de apoio a ACV, como forma evitar o uso isolado dos sistemas e consequentemente garantir resultados mais precisos (Ferrão, 2012).

O software *SimaPro* tem sido a ferramenta de ACV líder mundial por 30 anos, pois é confiável para as indústrias e academias em mais de 80 países. Foi desenvolvido com o objetivo de impulsionar a mudança sustentável nas organizações, onde através da sua experiência com ACV, permite a tomada de decisões sólidas, que promovem a mudança no ciclo de vida dos produtos para melhor e aumenta o impacto positivo das empresas.

O *SimaPro* permite a modelação de produtos e sistemas a partir de uma perspetiva de ciclo de vida. Trata-se de uma ferramenta que pode ser utilizada para diversos fins, como para o cálculo da pegada de carbono, design de produto e design ecológico, declarações de produtos ambientais, impacto ambiental de produtos, relatórios ambientais e determinação de indicadores de desempenho, como também dispõe de uma completa base de dados *ecoinvent*, que permite comparar e analisar produtos com ciclo de vida complexos (*SimaPro*, 2022).

2.7 Análise Adicional da Qualidade dos dados da AICV

De acordo com a ISO 14044:2010, para melhor compreender a significância, incerteza e sensibilidade da AICV, técnicas de informações adicionais podem ser necessárias para distinguir se estão presentes diferenças significativas; identificar resultados da ICV negligenciáveis; orientar o processo iterativo da AICV.

O resultado desta análise qualitativa dos dados da AICV, pode conduzir a uma revisão da fase da ICV. As técnicas utilizadas são:

- **Análise da Gravidade** (ex.: Análise de Pareto): procedimento estatístico que permite identificar os dados de maior contribuição para o resultado do indicador, os quais poderão ser investigados com prioridade de forma a assegurar as melhores decisões.
- **Análise de Incerteza**: procedimento para determinar como a incerteza nos dados e pressupostos progridem nos cálculos e como eles afetam os resultados da AICV.
- **Análise de Sensibilidade**: procedimento para determinar como as mudanças nos dados e escolhas metodológicas afetam a AICV.

3. Material e Métodos

Para a execução inicial deste estudo, a revisão da bibliográfica foi realizada através de livros, de plataformas digitais na busca de trabalhos académicos, como o *Google Académico*, *B-on*, *rcaap* e *Sapientia* (Repositório Institucional da Universidade do Algarve).

Para determinar a área de estudo, recolheu-se dados sobre o caudal tratado, consumos energéticos e de água da rede das instalações afetas ao concelho de Albufeira, região do Algarve. A escolha se deu pela importância turística da região e pela interferência do turismo no tratamento das águas residuais. Os dados foram disponibilizados pela entidade gestora responsável pelo sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Algarve, Águas do Algarve. A partir da análise dos dados das cinco instalações responsáveis pelo tratamento de águas residuais no concelho de Albufeira, optou-se por trabalhar com a ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro, pois além de tratar aproximadamente 85% das águas residuais no referido concelho, dispõem do maior volume de caudal tratado e o maior consumo energético. As ETAR de Pinhal do Concelho, Paderne e Ferreiras também localizadas no concelho em estudo, representam 15% do caudal tratado, logo não foram consideradas na ACV em virtude da baixa representatividade (Tabela 3.1 e Tabela 3.2).

Tabela 3.1 - Caudal, Consumo de Energia e Água das ETAR do concelho de Albufeira, ano de 2019

Instalação	Caudal - m ³	Consumo de energia elétrica - kWh	Consumo de água potável - m ³
ETAR Albufeira Poente	3134461	2214742,84	2486
ETAR Vale de Faro	3702772	2869011,11	5016
ETAR Ferreiras	578294	476290,68	1073
ETAR Pinhal do Concelho	626773	348273,64	2128
ETAR Paderne	135273	53124,83	643

Tabela 3.2 - Caudal, Consumo de Energia e Água das ETAR do concelho de Albufeira, período pandêmico, ano de abril/2020 a março/2021

Instalação	Caudal - m ³	Consumo de energia elétrica - kWh	Consumo de água potável - m ³
ETAR Albufeira Poente	2526080	1637079	1156
ETAR Vale de Faro	2685440	2204785	Leitura não realizada - avaria no equipamento
ETAR Ferreiras	535433	382695	1008,6
ETAR Pinhal do Concelho	368867	194677	1952
ETAR Paderne	112380	38915	1207

A metodologia a ser utilizada no desenvolvimento da Avaliação do Ciclo de vida deste estudo segue o descrito na norma NP EN ISO 14040:2008 e será subdividido em vários subtemas, nomeadamente:

1. Definição de objetivo e âmbito;
2. Descrição e caracterização da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro;
3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida - AICV;
4. Avaliação de Impactes Ambientais;
5. Interpretação da ACV;
6. Limitações da ACV.

3.1. Definição de objetivo e âmbito

Esta é a primeira fase da Avaliação do Ciclo de Vida, na qual é estabelecido o produto ou serviço a ser analisado; é definida uma base de comparação dentro do objetivo do estudo; é definido o propósito da sua elaboração; estabelecem-se as fronteiras do sistema em estudo; determina-se a unidade funcional; indica-se o público-alvo, a alocação

de procedimentos, as categorias de impacto, as necessidades de dados e as limitações do estudo; informa a pretensão com resultado desta análise (Furtado, 2014).

Objetivo e Âmbito

O processo em análise foi o sistema de tratamento de águas residuais no concelho de Albufeira, promovido através da exploração das ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro.

Os principais objetivos deste trabalho são conhecer os impactes ambientais do tratamento das águas residuais, comparar o impacto ambiental entre as distintas ETAR em períodos diferentes, formular conclusões sobre os impactes ambientais no setor do saneamento e sugerir melhorias para minimização destes impactes.

A fronteira do estudo foi restrita às delimitações físicas das ETAR, de portão ao portão (gate to gate) em virtude da existência de dados mais completos para composição do inventário, vindo a ser excluída a fase de construção deste sistema, pois não existe informação disponível relativamente a materiais, energia, emissões e resíduos produzidos na construção da infraestrutura; como fronteira geográfica foi definida Portugal por representar o país onde as ETAR em estudos estão instaladas e o período de recolha de dados dividiu-se em dois momentos: i) todo o ano de 2019, quando as instalações estavam a funcionar dentro do padrão normal previsto; ii) o período de um ano a partir do mês de abril do ano de 2020 a março do ano de 2021, devido à pandemia que interferiu no processo de tratamento de águas residuais em virtude da redução do número de pessoas na cidade nos meses de alta temporada (junho, julho e agosto) devido à diminuição do turismo.

Como base no objetivo e âmbito deste estudo, foi definida a unidade funcional (UF) de 1m³ do caudal, como forma de permitir a comparação entre sistemas e a representatividade do sistema, uma vez que um sistema pode vir a ter diversas unidades funcionais nos seus *inputs* e *outputs*. A escolha da referida UF, deu-se pelo fato do caudal representar a água tratada por dia, situação que remete ao objetivo primordial do funcionamento de uma ETAR, como também foram analisadas outras literaturas na mesma temática que fizeram uso da mesma UF nos respetivos estudos.

3.2. Descrição e caracterização da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro

Nesta seção, as ETAR em estudo foram caracterizadas a partir da descrição dos respetivos processos de tratamento, bem como foram definidos todos os *inputs* e *outputs* de materiais e energia considerados nesta ACV.

3.2.1. ETAR de Albufeira Poente

A ETAR de Albufeira Poente situa-se na freguesia da Guia, concelho de Albufeira, instalada em 2009, e foi dimensionada para um projeto de 133.900 habitantes equivalentes, correspondendo ao caudal médio diário de 28.119 m³/dia. O sistema interceptor de Albufeira Poente tem cerca de 44 km e é constituído por um conjunto de 14 estações elevatórias (AdA, 2021) (Figura 3.1).



Figura 3.1 ETAR Albufeira Poente (Fonte: AdA, 2021)

O processo de tratamento de águas residuais desta instalação contempla as etapas de tratamento preliminar/primário na fase líquida: biológico, físico-químico e desinfecção. Possui ainda uma etapa de filtração e desinfecção adicional para produção de água de serviço. No tratamento preliminar acontece a elevação do afluente bruto, gradagem mecânica e desarenamento/desengorduramento (Figura 3.2 e Figura 3.3) (AdA, 2021).



Figura 3.2 – Canal Desarenamento/Desengorduramento da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)



Figura 3.3 - Sistema de Gradagem da ETAR Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)

O tratamento biológico acontece através de sistema de lamas ativadas em regime de arejamento prolongado com nitrificação/desnitrificação, concebido através de três reatores com zonas anóxicas e aeróbias e três decantadores secundários, constituindo três linhas de tratamento (Figura 3.4 e Figura 3.5). O fósforo é removido através da adição de um agente coagulante sulfato de alumínio nos reatores biológicos (AdA 2021).



Figura 3.4: Reator Biológico ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)



Figura 3.5: Decantadores Secundários ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)

A seguir ao tratamento biológico, o efluente passa por desinfecção através do sistema de radiação ultravioleta (UV), composto por 3 linhas, onde apenas uma encontrava-se em funcionamento no período correspondente ao estudo. Após a desinfecção por UVs, parte do efluente tratado é elevado para filtração por filtro de areia, para produção de água de serviço (Figura 3.6 e Figura 3.7). A fração do efluente que não é reutilizada na ETAR, é descarregada na Ribeira de Espiche (AdA, 2021).



Figura 3.6 – Canais das UVs da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)



Figura 3.7 - Filtros de Areia da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)

A fase sólida consiste em duas linhas de espessamento gravítico e desidratação por centrifugação, seguidas de armazenamento temporário, em silos (Figura 3.8, Figura 3.9 e Figura 3.10) (AdA, 2021).



Figura 3.8 - Centrífugas para desidratação de lamas da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021).



Figura 3.9 - Silos para armazenamento temporário das lamas da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)



Figura 3.10 - Espessadores gravídicos de lamas da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Autor, 2021)

Para fase gasosa, a ETAR de Albufeira Poente dispõe de um sistema de renovação do ar, onde no edifício coberto que realiza o pré-tratamento e desidratação de lamas, no espessador e no silo de lamas, a extração do ar é realizada por um ventilador para posteriormente ser introduzido num tanque com biofiltro (casca de pinheiro). Neste caso trata-se de um processo de desodorização biológica (Figura 3.11).



Figura 3.11: Tanque de desodorização biológica com biofiltro (Fonte: Autor, 2021)

3.2.2. ETAR de Vale Faro

A ETAR de Vale Faro situa-se no litoral do Município de Albufeira, instalada em 1980 (remodelada e ampliada em 2002) e dimensionada para um projeto de 130.000 habitantes equivalentes, correspondendo ao caudal médio diário de 24.310 m³/dia (Figura 3.12). O sistema interceptor da ETAR de Vale Faro tem cerca de 11 km e é constituído por um conjunto de 10 estações elevatórias (AdA, 2021).



Figura 3.12 - ETAR de Vale Faro - Subterrânea (Fonte: AdA, 2021)

O processo de tratamento de águas residuais desta instalação contempla as etapas de tratamento preliminar/primário na fase líquida, biológico e desinfecção, possuindo ainda uma etapa de filtração e desinfecção adicional para produção de água de serviço. No tratamento preliminar, acontece a receção do afluente bruto, gradagem mecânica dos grossos, elevação do afluente bruto, gradagem mecânica de finos e grossos e desarenamento/desengorduramento (Figura 3.13 e Figura 3.14) (AdA, 2021).



Figura 3.13 – Canal Desarenamento/Desengorduramento da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)



Figura 3.14 - Sistema de Gradagem da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)

O tratamento biológico é realizado através de sistema de lamas ativadas em regime de arejamento prolongado com nitrificação/desnitrificação, concebido através de duas valas de oxidação com zonas anóxicas, anaeróbia e aeróbias e três decantadores secundários retangulares (Figura 3.15 e Figura 3.16) (AdA, 2021).



Figura 3.15 - Decantadores da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)



Figura 3.16- Valas de Oxidação da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)

A seguir, o tratamento biológico e o efluente passam por desinfecção através do sistema de ultravioletas (UV), o qual encontrava-se fora de serviço no período que foi realizado este estudo, estando o processo de desinfecção a ser realizado pela adição do reagente hipoclorito de sódio.

Parte deste efluente tratado é enviado diretamente para o sistema de filtração por filtro de areia, sendo posteriormente submetido a desinfecção por cloragem e armazenado em reservatório para ser utilizada como água de serviço (Figura 3.17). A fração do efluente que não é reutilizada na ETAR, é descarregada no Oceano Atlântico (AdA, 2021).



Figura 3.17 - Processo de desinfecção da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)

A fase sólida consiste em duas linhas de espessamento gravítico e desidratação por centrifugação (Figura 3.18 e Figura 3.19).



Figura 3.18 - Dedsidratação por centrifugação da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)



Figura 3.19 - Linhas de Espessamento Gravídico da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)

Na fase gasosa, o tratamento dos odores é realizado por extração e ventilação da obra de entrada, órgão de desarenamento/desengorduramento, espessamento e desidratação de lamas, sendo o ar enviado para duas torres verticais, onde ocorre a desodorização por lavagem química (Figura 3.20) (AdA, 2021).



Figura 3.20 - Torres Verticais de Lavagem Química da ETAR de Vale Faro (Fonte: Autor, 2021)

3.2.3. Diferenças no processo de tratamento entre a ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro

Relativamente aos processos de tratamento das duas instalações, estes são similares dentro de um contexto geral das fases realizadas, no entanto alguns órgãos apesar de terem a mesma função no tratamento, são diferentes. Como exemplo, pode destacar-se o tratamento biológico por reatores biológicos com arejadores de superfície na ETAR de Albufeira Poente, enquanto a ETAR de Vale Faro tem valas de oxidação com difusores, ambas têm zona anóxica e aeróbia, mas apenas a ETAR de Vale Faro é acrescida uma zona anaeróbia; a fase de desodorização acontece por tratamento biológico na ETAR de Albufeira Poente e por lavagem química na ETAR de Vale Faro; em relação aos edifícios, a ETAR de Albufeira Poente apresenta uma infraestrutura a céu aberto, com exceção do edifício da obra de entrada e exploração, enquanto a ETAR de Vale Faro apresenta uma infraestrutura fechada, em instalação subterrânea (Figura 3.21 e Figura 3.222).

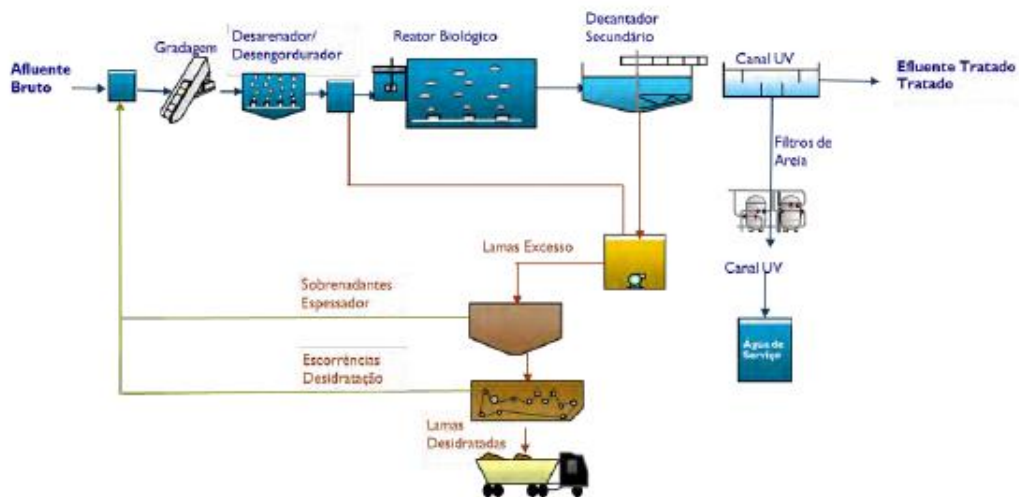


Figura 3.21- Esquema de tratamento da ETAR de Albufeira Poente (Fonte: Folheto AdA, consultado em 2021)

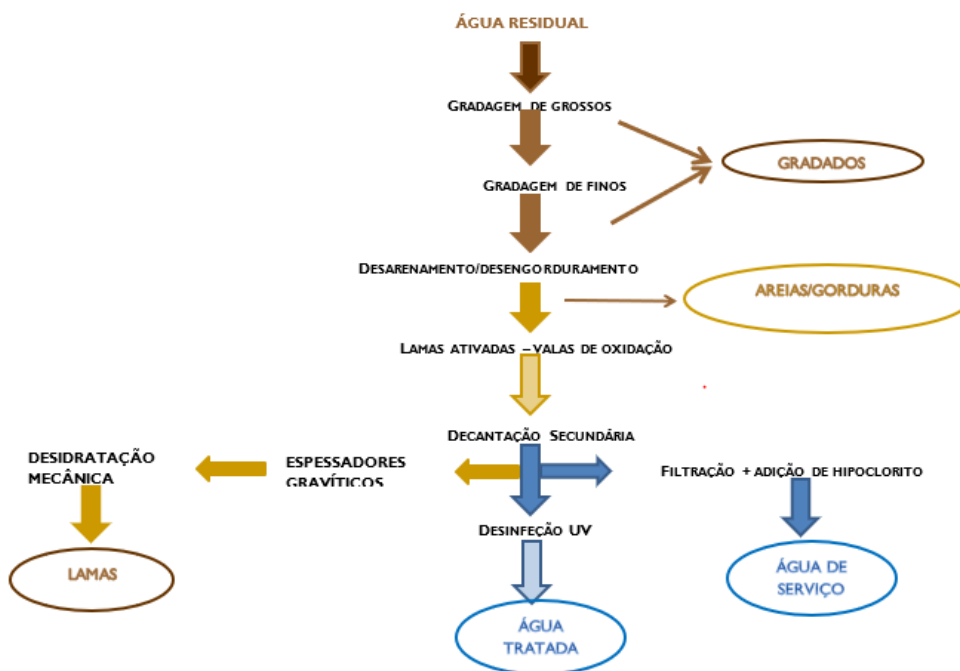


Figura 3.22- Fluxo de tratamento da ETAR de Vale Faro (Fonte: Guia de Operação da ETAR de Vale Faro, 2014)

Os *inputs* e *outputs* do processo da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro são os mesmos, havendo diferença apenas nas quantidades, nas fases do tratamento onde são emitidos; no tipo dos reagentes utilizados em determinadas fases e na classificação dos códigos LER para destinação dos resíduos. Os detalhes destes dados serão mencionados no tópico a seguir, análise do inventário do Ciclo de Vida (Figura 3.23).

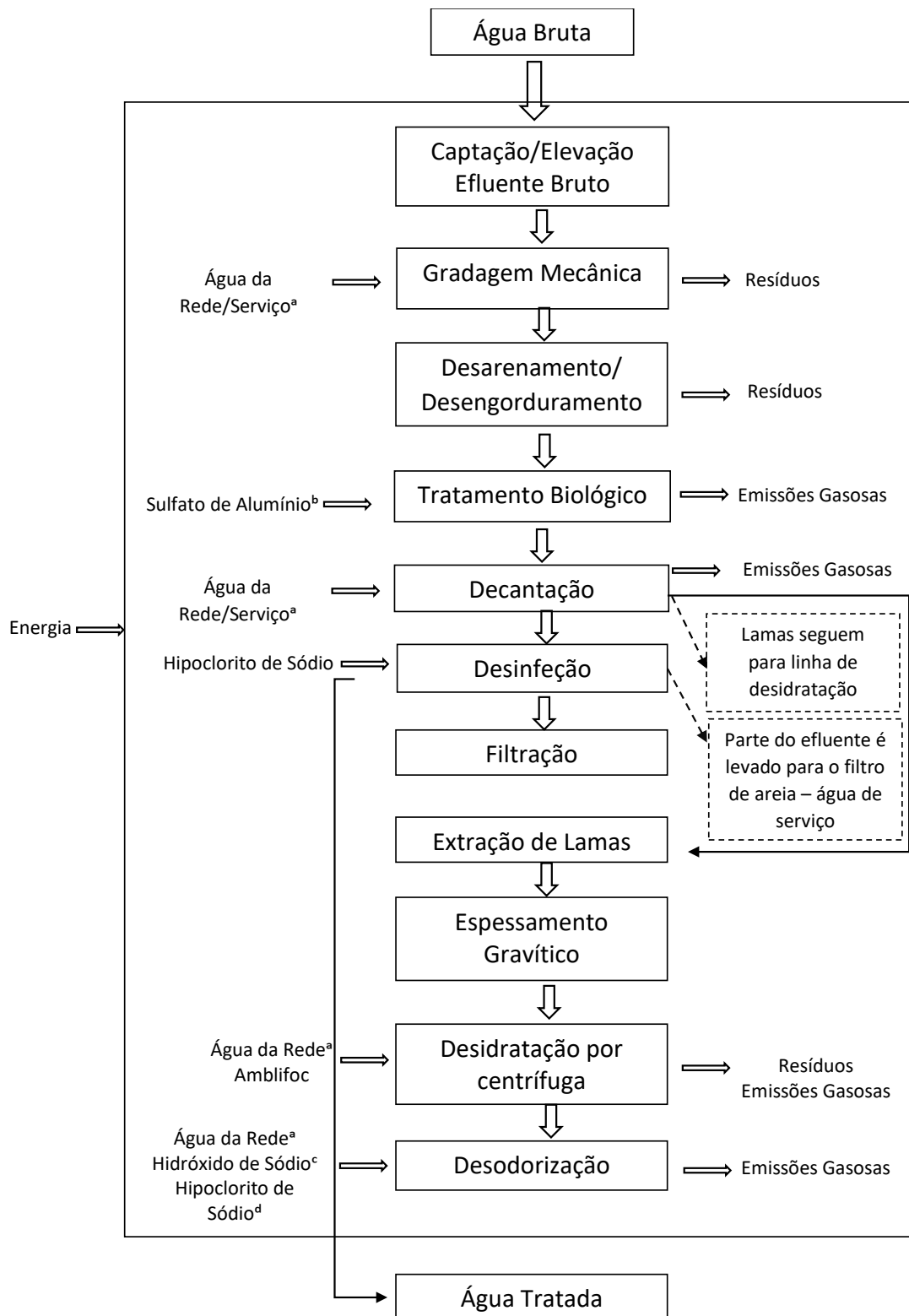


Figura 3.23: Principais entradas e saídas de materiais, água e de energia da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro

^a A utilização de água da rede foi considerada para as etapas de desidratação por centrífuga de ambas ETAR e apenas para as demais etapas da ETAR de Albufeira Poente (avaria no sistema de água de serviço), pois a ETAR de Vale Faro estava a utilizar de água de serviço;

^bSulfato de alumínio é utilizado apenas na ETAR de Albufeira Poente;

^{c/d} Hidróxido de sódio e hipoclorito de sódio é utilizado apenas na desodorização da ETAR de Vale Faro.

3.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida – AICV

Esta é a segunda etapa da Avaliação do Ciclo de Vida e tem como objetivo reunir os dados do inventário para dar início a avaliação do ciclo de vida, através da identificação e quantificação dos fluxos de materiais e energia necessários para análise do processo. Logo, os *inputs* (água, energia e reagentes) e *outputs* (emissões gasosas e resíduos) retratam às extrações do meio ambiente e as emissões para o meio ambiente, ou no geral às variáveis na fronteira entre o sistema do produto e o ambiente (Furtado, 2014). Estas entradas e saídas estão correlacionadas com a fronteira física do sistema, definida no objetivo/âmbito deste trabalho.

A recolha dos dados para o inventário, exigido nesta etapa do trabalho, foi efetuada através das seguintes fases:

1. Recolha de informações das ETAR objetos de estudo deste trabalho, com base em informações facultadas através de e-mail, relatórios de ensaio, relatórios mensais de exploração e conversa com os responsáveis pela exploração das instalações;
2. Recolha de dados disponibilizados pela entidade gestora responsável pelo sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Algarve, Águas do Algarve;
3. Levantamento de dados disponíveis nas literaturas, etapa iniciada no estado da arte e continuada no inventário;
4. Base de dados do *SimaPro*, utilizada para complementar o inventário do ciclo de vida.

O inventário do presente estudo foi desenvolvido a partir da identificação dos *inputs* e *outputs* que estão associados ao tratamento das águas residuais das ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro (Tabela 3.3). Todos os valores obtidos foram divididos individualmente pelo caudal da instalação para adequar a unidade funcional definida para ACV (1 m³ de água residual a ser tratada) (Tabela 3.4).

Tabela 3.3 - Inventário de entradas e saídas da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro (sem dividir pela UF)

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021	Fonte dos dados
Caudal (m ³)	3.134.461	3.702.772	2.526.080	2.685.440	
Energia (kwh)	2.214.742,84	2.869.011,11	1.637.079	2.204.781	<u>2019</u> : dados facultados por e-mail AdA
Água da Rede (m ³)	2.486	5.016 Não aplicável, utiliza água de serviço no tratamento.	1.156	Contador avariado Não aplicável, utiliza água de serviço no tratamento.	<u>2020/21</u> : Relatório Mensal de Exploração Be Water
Reagente - Hidróxido de Sódio (ton)	Não aplicável ao sistema de tratamento.	2,6	Não aplicável ao sistema de tratamento.	1,88	<u>2019</u> : dados facultados por e-mail AdA
Reagente - Sulfato de Alumínio (ton)	597,46	Não aplicável ao sistema de tratamento.	397,8	Não aplicável ao sistema de tratamento.	<u>2020/21</u> : Relatório Mensal de Exploração/Ficheiro de Controlo dos Reagentes Be Water
Reagente - Hipoclorito de Sódio (ton)	12.270	49.942	28.950	46.774	
Reagente - Polímero/Ambifloc (ton)	13.650	8.275	13.370	10.175	
Gases Tratamento Secundário - Metano CH ₄ (g/UF)	6	6	6	6	<u>2019 e 2020/21</u> : Dissertação de Mestrado - Pituco, 2017
Gases Tratamento Secundário - Protóxido de Azoto NO ₂ (g/UF)	0,4	0,4	0,4	0,4	
Gases Tratamento Terciário) - Amónia NH ₃ (Kg/ano)	22	26	22	26	<u>2019 e 2020/21</u> : Relatórios de Ensaio do Sistema de Desodorização do

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021	Fonte dos dados
Gases Tratamento Terciário - Metano CH4 (Kg/ano)	505	330	505	330	ano de 2019 (RT2512.1900018.2-E2 e RT2512.1900018.4-E2)
Gases Tratamento Terciário - Compostos Orgânicos Totais não Metânicos COTNM (Kg/ano)	397	259	397	259	
Gradados (Ton)	72,34	5.136	11	13,996	
Areias (Ton)	6,10	Não enviado resíduo de código LER 190802 (areias) no período em estudo	101,88	67,69	2019: dados facultados por e-mail AdA 2020/21: Relatório Mensal de Exploração Be Water/e-GARs e AdA (dados de caracterização analítica)
Outros resíduos (Ton)	2,276	38.320	16	36,2	
Lamas (Ton)	4.751	3.512	6.879	4.121	

Tabela 3.4 - Inventário de entradas e saídas da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro (dividida pela UF)

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021
Energia (kwh/m ³)	7,07E-01	7,75E-01	6,48E-01	8,21E-01
Água (m ³ /m ³)	8,00E-04	Não aplicável, utiliza água de serviço no tratamento.	4,58E-04	Não aplicável, utiliza água de serviço no tratamento.

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021
Reagente - Hidróxido de Sódio (kg/m ³)	Não aplicável ao sistema de tratamento.	7,02E-04	Não aplicável ao sistema de tratamento.	7,00E-04
Reagente - Sulfato de Alumínio (kg/m ³)	1,91E-01	Não aplicável ao sistema de tratamento.	1,57E-01	Não aplicável ao sistema de tratamento.
Reagente - Hipoclorito de Sódio (kg/m ³)	3,91E-03	1,35E-02	1,15E-02	1,74E-02
Reagente - Polímero/Ambifloc (kg/m ³)	4,35E-03	2,23E-03	5,29E-03	3,79E-03
Gases Tratamento Secundário - Metano CH ₄ (KgCO ₂ eq/m ³)	6,00E+00	6,00E+00	6,00E+00	6,00E+00
Gases Tratamento Secundário - Protóxido de Azoto N ₂ O (KgCO ₂ eq/m ³)	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01
Gases Tratamento Terciário) - Amónia NH ₃ (Kg/m ³)	7,19E-06	7,02E-06	8,71E-06	9,68E-06
Gases Tratamento Terciário - Metano CH ₄ (Kg/m ³)	1,61E-04	8,91E-05	2,00E-04	1,23E-04
Gases Tratamento Terciário - Compostos Orgânicos Totais não Metânicos COTNM (Kg/m ³)	1,27E-04	6,99E-05	1,58E-04	9,64E-05
Gradados - Arsênio (Kg/m ³)	9,23E-09	1,19E-09	3,74E-11	4,09E-10
Gradados - Chumbo (Kg/m ³)	9,23E-09	1,19E-09	1,63E-11	3,29E-09
Gradados - Níquel (Kg/m ³)	7,72E-09	9,93E-10	9,09E-10	4,02E-09
Gradados - Cádmiu (Kg/m ³)	9,23E-10	1,19E-10	8,13E-12	4,88E-11
Gradados - Cromo (Kg/m ³)	9,23E-10	1,19E-10	8,13E-11	2,50E-09

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021
Gradados - Cobre (Kg/m ³)	1,85E-09	2,38E-10	8,13E-11	8,46E-09
Gradados - Zinco (Kg/m ³)	2,71E-08	3,49E-09	1,58E-09	5,17E-08
Gradados - Bário (Kg/m ³)	6,30E-09	8,10E-10	4,91E-10	3,24E-08
Gradados - Molibdénio (Kg/m ³)	3,69E-09	4,75E-10	8,13E-11	4,17E-10
Gradados - Antimónio (Kg/m ³)	7,72E-09	9,93E-10	1,63E-11	4,17E-11
Gradados - Selénio (Kg/m ³)	4,62E-09	5,94E-10	1,63E-11	8,34E-11
Gradados - Cloretos (Kg/m ³)	6,46E-06	8,32E-07	3,69E-06	3,77E-06
Gradados - Carbono Orgânico Dissolvido (Kg/m ³)	7,44E-05	9,58E-06	5,82E-06	7,67E-05
Gradados - Mercúrio (Kg/m ³)	1,57E-10	2,02E-11	1,95E-13	4,42E-12
Gradados - Sulfatos (Kg/m ³)	9,23E-07	1,19E-07	2,65E-06	4,92E-07
Gradados - Fluoretos (Kg/m ³)	3,69E-08	4,75E-09	3,25E-09	8,34E-09
Areias - Arsénio (Kg/m ³)	3,62E-10	1,07E-09	Nesta instalação as areias são incorporadas aos "outros resíduos", logo não foi contemplada a geração deste resíduo na respetiva instalação/ano em estudo.	1,89E-10
Areias - Chumbo (Kg/m ³)	2,43E-10	1,07E-09		3,96E-08
Areias - Níquel (Kg/m ³)	3,72E-10	8,94E-10		9,77E-08
Areias - Cádmio (Kg/m ³)	2,43E-11	1,07E-10		3,82E-10

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021
Areias - Cromo (Kg/m ³)	2,43E-11	1,07E-10		1,37E-08
Areias - Cobre (Kg/m ³)	4,87E-11	2,14E-10		4,83E-08
Areias - Zinco (Kg/m ³)	3,84E-10	3,14E-09		8,19E-08
Areias - Bário (Kg/m ³)	2,42E-10	7,29E-10		4,54E-08
Areias - Molibdénio (Kg/m ³)	9,73E-11	4,28E-10		4,79E-10
Areias - Antimónio (Kg/m ³)	2,43E-10	8,94E-10		6,30E-11
Areias - Selénio (Kg/m ³)	1,22E-10	5,35E-10		6,30E-11
Areias - Cloretos (Kg/m ³)	7,40E-08	7,49E-07		1,12E-06
Areias - Carbono Orgânico Dissolvido (Kg/m ³)	1,46E-07	8,62E-06		1,71E-05
Areias - Mercúrio (Kg/m ³)	5,89E-12	1,82E-11		1,58E-12
Areias - Sulfatos (Kg/m ³)	2,43E-08	1,07E-07		4,21E-07
Areias - Fluoretos (Kg/m ³)	9,73E-10	4,28E-09		6,30E-07
Outros resíduos - Arsênio (Kg/m ³)	3,06E-07	1,81E-09	2,93E-10	5,39E-10
Outros resíduos - Chumbo (Kg/m ³)	3,61E-10	2,14E-09	1,95E-10	2,05E-10
Outros resíduos - Níquel (Kg/m ³)	3,47E-09	2,05E-08	7,69E-10	1,88E-09

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021
Outros resíduos - Cádmio (Kg/m ³)	2,90E-11	1,72E-10	6,10E-11	5,39E-11
Outros resíduos - Cromo (Kg/m ³)	2,90E-11	1,72E-10	6,10E-10	5,39E-10
Outros resíduos - Cobre (Kg/m ³)	1,30E-09	7,66E-09	5,61E-10	8,20E-10
Outros resíduos - Zinco (Kg/m ³)	1,04E-09	6,15E-09	4,67E-09	4,16E-08
Outros resíduos - Bário (Kg/m ³)	6,97E-10	4,12E-09	9,02E-09	3,44E-08
Outros resíduos - Molibdénio (Kg/m ³)	1,46E-10	8,62E-10	1,22E-10	5,39E-10
Outros resíduos - Antimónio (Kg/m ³)	2,90E-10	1,72E-09	1,22E-10	1,08E-10
Outros resíduos - Selénio (Kg/m ³)	1,45E-10	8,58E-10	1,22E-10	1,08E-10
Outros resíduos - Cloretos (Kg/m ³)	3,22E-07	1,90E-06	3,45E-05	2,50E-06
Outros resíduos - Carbono Orgânico Dissolvido	2,58E-06	1,53E-05	6,82E-06	8,93E-05
Outros resíduos - Mercúrio (Kg/m ³)	3,66E-10	2,16E-09	1,95E-12	1,83E-12
Outros resíduos - Sulfatos (Kg/m ³)	2,90E-08	1,72E-07	1,42E-06	1,71E-06
Outros resíduos - Fluoretos (Kg/m ³)	1,16E-09	6,87E-09	2,44E-08	2,16E-08
Lamas - Cálcio (Kg/m ³)	3,71E-03	4,08E-03	5,85E-03	3,43E-03
Lamas - Magnésio (Kg/m ³)	1,37E-03	1,46E-03	1,56E-03	1,23E-03

Inputs/Outputs	ETAR de Albufeira Poente Ano 2019	ETAR de Vale Faro Ano 2019	ETAR de Albufeira Poente Ano Abril 2020 - Março 2021	ETAR de Vale Faro Ano Abril 2020 - Março 2021
Lamas - Azoto Amonical (Kg/m ³)	2,17E-03	1,28E-03	1,02E-04	1,08E-03
Lamas - Potássio (Kg/m ³)	1,00E-03	1,50E-03	7,49E-04	1,26E-03
Lamas - Fósforo Total (Kg/m ³)	8,54E-03	4,98E-03	7,59E-03	4,19E-03
Lamas - Azoto Total (Kg/m ³)	Não contemplado na análise	1,87E-02	1,27E-02	1,57E-02
Lamas - Azoto Nítrico (Kg/m ³)	1,00E-03	1,03E-06	3,92E-06	8,69E-07
Lamas - Chumbo Total (Kg/m ³)	7,08E-06	3,51E-06	3,79E-06	2,96E-06
Lamas - Cloretos (Kg/m ³)	Elemento não contemplado na análise	2,79E-04	6,15E-04	2,35E-04
Lamas - Cobre Total (Kg/m ³)	8,25E-04	6,02E-05	6,59E-05	5,06E-05
Lamas - Cromo Total (Kg/m ³)	1,73E-05	4,49E-06	4,60E-06	3,78E-06
Lamas - Cádmio Total (Kg/m ³)	1,22E-07	1,55E-08	1,76E-07	1,30E-08
Lamas - Mercúrio (Kg/m ³)	8,30E-08	8,78E-08	3,26E-07	7,39E-08
Lamas - Níquel Total (Kg/m ³)	2,49E-05	4,49E-06	3,77E-06	3,78E-06
Lamas - Zinco Total (Kg/m ³)	2,04E-04	1,12E-04	1,54E-04	9,43E-05

Os dados obtidos durante a fase de inventário foram correspondentes a dois períodos: ano de 2019 (facultado pelas Águas do Algarve); período de abril de 2020 a março de 2021 (facultado pela Be Water), empresa nomeada pela AdA para fazer a exploração das ETAR.

O consumo de energia e água da rede foram obtidos através da leitura dos respetivos contadores das instalações e facultados através de folhas de cálculo de monitorização/controlo ou relatórios mensais de exploração, com exceção do consumo de água da rede correspondente ao período de abril de 2020 a março de 2021 da ETAR de Vale Faro, o qual não foi monitorizado por motivo de avaria no equipamento (contador).

Em relação ao consumo de água na operação das ETAR, os dados foram recolhidos pela utilização água da rede oriunda do abastecimento público (água potável) ou por água de serviço, correspondente a água tratada na própria instalação (não potável) que é reutilizada no processo, escusando o uso de água da rede. Ambas ETAR em estudo dispõem de uma infraestrutura que permite a utilização de água de serviço no processo de tratamento. No entanto, no período em estudo, apenas a ETAR de Vale Faro estava a fazer uso da água de serviço, logo o consumo de água da rede na ACV foi considerado apenas nas etapas da desidratação das lamas por centrífuga para ambas instalações e para as demais etapas da ETAR de Albufeira Poente, pois a tubagem estava sem a pressão necessária para injeção da água no sistema por uma avaria na central hidropressora e pela existência de fugas de ar existente no reservatório pneumático.

As emissões gasosas, referentes ao consumo de energia nas ETAR, foram estimadas através da base de dados Ecoinvent 3. Tendo como referência na base de dados do *SimaPro Electricity, medium voltage (RER), market group for, Cut-off, U* (energia) e *Water, cooling, drinking* (água).

Os reagentes hipoclorito de sódio (Hipoclorito de Sódio 13% e 14%) e polímero (Ambifloc AP 235 EM e RV 9009 P) e são utilizados nas duas ETAR em estudo, a diferença entre os consumos de polímero está relacionado com a quantidade de lama desidratada nas instalações, enquanto o aumento no consumo de hipoclorito de sódio está relacionado com a quantidade de reagente necessário para garantir o cumprimento dos parâmetros exigidos na licença de descarga.

Na ETAR de Albufeira Poente entre o ano de 2019 e 2020/21 houve um aumento significativo na quantidade de hipoclorito de sódio utilizado no processo de desinfecção, que pode ser justificado pelo fato da desinfecção por UV está quase fora de serviço (poucas lâmpadas a funcionar), sendo necessário o reforço do doseamento para cumprimento do normativo da licença de descarga da instalação.

O hidróxido de sódio (Soda Caústica Líquida 50%) é aplicado apenas no processo de tratamento da ETAR de Vale Faro, e o sulfato de alumínio (Sulfato de Alumínio

Líquido 8,2%) apenas na ETAR de Albufeira Poente. O polímero é utilizado em ambas ETAR, no entanto na ETAR de Albufeira Poente, o polímero é utilizado no estado líquido (Ambifloc AP 235 EM) e na ETAR de Vale Faro é sólido (Ambifloc RV 9009 P).

Os reagentes mencionados anteriormente, têm como referência na base de dados do *SimaPro*: *Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state (RER), market for sodium hypochlorite, cut-off, by classification - unit.* (Hipoclorito de Sódio); *Polymer foaming (RER), processing, Cut-off, U.* (Polímero); *Sodium hydroxide, without water, in 10% solution state (RER), chlor-alkali electrolysis, mercury cell, cut-off, U* (Hidróxido de Sódio); *Aluminium sulfate, powder (RER). Production, Cut-off,U* (Sulfato de Alumínio).

As emissões atmosféricas podem ser oriundas de diversas fases do tratamento. Para este estudo, foram consideradas as emissões geradas a partir do tratamento biológico, do tratamento de lamas por desidratação por centrífuga e da desodorização para ambas instalações.

Para as emissões das etapas da fase líquida e sólida, mencionadas no parágrafo anterior, considerou-se como gases contribuintes para o efeito estufa o metano (CH_4) e protóxido de azoto (N_2O), representados no *SimaPro* por *Methane* e *Nitrogen oxides, PT* respetivamente; para fase gasosa o metano (CH_4), a amónia (NH_3) e compostos orgânicos totais não metânicos (CONTNM), referenciados no sistema por *Methane, Ammonia, PT, NMVOC, non-methanevolatile organic compounds, unspecified origen*. A emissão de dióxido de carbono (CO_2) no tratamento das águas residuais urbanas foi considerada de origem biogénica, não sendo por isso incluídas no processo de contabilização. De acordo com Pituco (2017), a produção de CO_2 nos sistemas de tratamento tem essencialmente duas origens: origem direta, que não contribui para o aumento direto do aquecimento global, pois a oxidação da matéria orgânica presente na água residual apresenta um ciclo curto; e origem indireta, que se dá através do consumo de energia elétrica, esta é considerada automaticamente na avaliação do ciclo de vida pelo *SimaPro* (base de dados Ecoinvent 3) quando inserido o input energia.

Os valores utilizados para as emissões do metano e protóxido de azoto, nas fases líquida e sólida, foram com base em referências bibliográficas de estudos do mesmo âmbito e unidade funcional. Os valores das emissões considerados na fase gasosa foram obtidos através dos Relatórios de Ensaios do Sistema de Desodorização da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro (RT2512.1900018.2-E2 e RT2512.1900018.4-E2). Ambos os relatórios foram desenvolvidos no ano de 2019, cuja monitorização é feita

a cada três anos, para atendimento ao Registo de Emissões e Transferências de Poluentes (PRTR – *Pollutant Release and Transfer Register*) aprovado através da Decisão 2006/61/CE de 2 de dezembro de 2005 e implementação definida no Regulamento (CE) nº 166/2006, de 18 de janeiro de 2006. Ambas referências foram divididas pelo caudal das respetivas instalações, nos distintos períodos em estudo, para adequação da unidade funcional.

Pela base de dados do *SimaPro* não é possível inserir os resíduos através dos códigos LER orientados pela lista europeia de resíduos (Resíduos sem outras especificações - LER 190899; Gradados - LER 190801; Areias - LER 190802; Lamas - LER 190805). Os resíduos foram lançados no sistema através dos elementos (crómio, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel, etc.) existentes nas amostras de gradados, areias, misturas e lamas analisadas em laboratório para fins de monitorização dos parâmetros. No entanto, a nível de cálculo, foi necessário ajustar os valores, pois os valores anuais de resíduos gerados pelas ETAR são referentes a matéria fresca e o valor dos elementos nas análises são referentes a matéria seca. Para os referidos cálculos (regras de três), o percentual de sicidade das lamas indicado nas análises foi considerado e para os demais resíduos, o percentual de matéria seca teve como referência os valores disponibilizados no Manual de Operação e Manutenção do projeto financiado pela União Europeia (*Lesson C1- Operation and management of wastewater treatment plant*).

Na gestão da AdA no ano de 2019, uma análise anual foi realizada para cada amostra de resíduo que representava toda Zona 3 (ETAR Albufeira Poente, ETAR Vale Faro e demais instalações). Na exploração pela Be Water, as análises correspondentes ao ano de 2020/21 foram realizadas por instalação cadastrada no Siliamb, logo a ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro tiveram resultados diferentes para o ano de 2020/21. Quanto ao ano de 2019, os mesmos resultados das análises foram utilizados para as distintas instalações. Em relação as análises das lamas, os resultados referentes ao ano de 2018, 2020 e 2021 estavam disponíveis. Logo, os dados das lamas para o ano de 2019 foi com referência na análise de 2018 (período antes da pandemia). Todos os cálculos de emissões, materiais e energia são efetuados em relação à UF.

3.4. Avaliação de Impactes Ambientais da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro

A avaliação de impactes ambientais consiste na terceira etapa da Avaliação do Ciclo de Vida, cujo objetivo é avaliar toda informação do inventário, como forma de identificar a magnitude e relevância dos impactes ambientais potenciais do produto ao

longo do seu ciclo de vida. Nesta fase, a utilização de um software é vantajosa, pois ele fará todos os cálculos necessários (Vieira, 2021).

De acordo com a ISO 14042:2000, a avaliação de impactos ambientais, pode ser subdividida através dos passos a seguir:

1. Seleção das categorias do impacto ambiental e do método a utilizar;
2. Especificação das categorias de impacto ambiental conforme a contribuição da intervenção ambiental (classificação);
3. Cálculo dos contributos das diversas intervenções ambientais para cada categoria de impacto ambiental, através da utilização de fatores de ponderação, os quais são multiplicados pelas quantidades associadas à intervenção ambiental (caracterização);
4. Normalização dos valores obtidos na fase de caracterização, através da divisão dos valores obtidos por um valor de referência em cada categoria de impacto ambiental (normalização);
5. Agregação das categorias do impacto ambiental através da ponderação e interpretação dos resultados, com o objetivo de reduzir significativamente o número de indicadores ambientais que fundamentam a interpretação dos resultados (ponderação).

Apenas as fases de classificação e caracterização são obrigatórias, enquanto as fases de normalização, agrupamento e ponderação são opcionais. De acordo com as Normas ISO, qualquer ACV deve considerar a classificação e caracterização dos resultados (Figura 3.24).

Neste estudo, optou-se pelas fases obrigatórias (classificação e caracterização) e por uma fase opcional (normalização), uma vez que a normalização era comum aos dois métodos utilizados na ACV, diferente da ponderação que é contemplada apenas no método PEF. Para além desta questão, a não escolha da ponderação, deu-se pelo fato de ser uma fase voltada para estudos financeiros (ponderação monetária); estudos que envolvam a legislação política (ponderação distância-alvo); estudos que utilizam o julgamento de especialistas ou de interessados no processo de decisão (ponderação por painel social), logo, como estas questões não estavam contempladas no âmbito desta ACV, a fase em questão não foi utilizada.

A escolha destas opções teve como objetivo a obtenção do resultado através de um indicador de impacto ambiental (Single Score), como meio de identificar o desempenho ambiental do serviço.

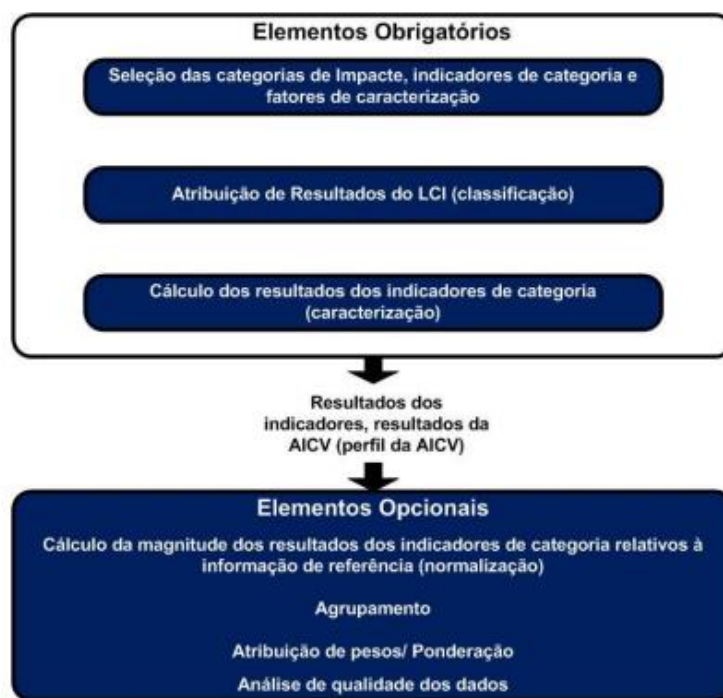


Figura 3.24 - Estrutura AICV (Fonte: ISO 14042, 2010)

Desta forma, após a definição do método, como também da lista de inventário inserida no sistema, a avaliação de impacto pôde ser iniciada através do software que irá realizar todos os cálculos, obtendo a pontuação única (single score) e as categorias de impacto como resultados (Vieira, 2021).

Todos os processos físicos e variáveis como as extrações de recursos (as emissões ou qualquer outra interação entre o sistema de produto e o meio ambiente) que estejam ligados por uma dada categoria de impacto são denominados por mecanismo ambiental dessa categoria, o que consiste num dado número de processos ambientais, nos quais se podem distinguir as intervenções ambientais, as categorias *midpoint*, as categorias *endpoint* (De Udo Haes, *et al.*, 1999).

As intervenções ambientais representam os *inputs* e *outputs* ambientais que correspondem ao fluxo de materiais, inventário ou fatores de perturbação ambiental, que podem ser representados pelas extrações e/ou emissões para o meio ambiente. As categorias *midpoint* focam no problema e, a partir delas, as intervenções ambientais podem ser realizadas no processo para reduzir os impactos ambientais totais. As categorias *endpoint* focam no dano e são estão diretamente relacionadas com a

preocupação ambiental, como a duração da vida humana, a sua incidência nos recursos naturais, ecossistemas ou espécies valiosas, combustíveis fósseis etc. (De Udo Haes, *et al.*, 1999) (Figura 3.25).

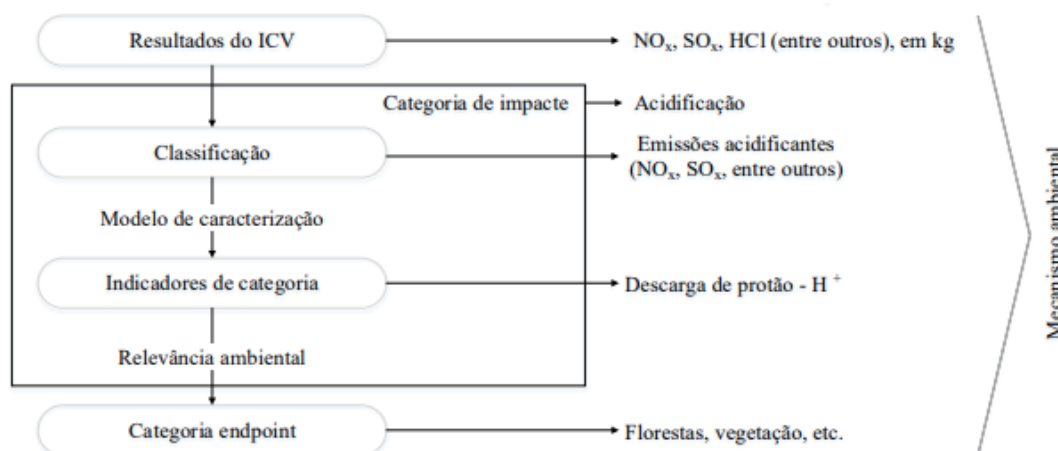


Figura 3.25 - Exemplo de contexto para indicadores de categorias (Fonte: ISO 14044, 2010)

Neste estudo, as categorias de impactes analisadas foram obtidas pelos métodos TRACI e PEF, cuja escolha deu-se por se tratar de um método aplicado para estudos na direcionados para prevenção da poluição e medidas de sustentabilidade (TRACI) e pelo foco em estudos de ACV direcionados para o setor de pegada ambiental das organizações (PEF). Para ambos os métodos, a escolha também foi refletida pelas categorias de impactes ambientais abordadas, serem as mais evidentes em estudos do mesmo âmbito, de acordo com a literatura.

No que se refere as categorias de impactes, associadas ao método TRACI (2.1, US 2008 – América do Norte) são: cancerígenas e não cancerígenas, ecotoxicidade, aquecimento global, eutrofização, poluição, esgotamento de combustível fóssil, acidificação, efeitos respiratórios e destruição da camada de ozônio. Associadas ao método PEF (EF 3.0 Method – Europa), são: alterações climáticas, formação fotoquímica de ozônio, eutrofização (terrestre, marinha e de água doce), matéria particular/específica, uso de recursos minerais e metais, acidificação, ecotoxicidade (água doce/metais, água doce/orgânicos e água doce/inorgânicos), radiação ionizante, toxicidade humana, uso de água, uso da terra e depleção da camada de ozônio.

3.5. Interpretação da ACV

A interpretação da ACV é a fase final do procedimento de Avaliação do Ciclo de Vida, consiste na sistemática de identificação, verificação e avaliação de toda informação resultante do inventário. Nesta fase é necessário compreender a credibilidade de toda

informação fornecida, pois, devem resultar conclusões e recomendações da ACV. A interpretação foi constituída dos seguintes passos:

1. Identificação de questões significativas;
2. Avaliação pela verificação da integralidade;
3. Análise da sensibilidade e da consistência;
4. Conclusões, limitações e recomendações.

No que se refere as questões significativas, para este estudo, foi considerado o parâmetro “consumo de energia”, uma vez que este dado apresenta uma oscilação muito variável entre os meses. Logo, sendo um valor instável dentro do processo de tratamento de águas residuais, pode vir a comprometer o resultado da ACV das ETAR objeto de estudo desta dissertação.

A verificação da integralidade analisou-se pelo facto da maioria dos dados terem sido facultados diretamente pela entidade gestora responsável pelo sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Algarve, Águas do Algarve, como também através de referências bibliográficas de estudos dentro da mesma temática.

Mesmo diante a integralidade dos dados, com o objetivo de encontrar algumas lacunas ou possíveis erros no ICV, a análise de pareto para os resultados normalizados foi realizada, como também a análise de sensibilidade para os resultados do estudo comparativo da ACV, sendo variados o parâmetro energia em $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 30\%$.

As conclusões, limitações e recomendações da ACV serão abordadas no tópico a seguir.

3.6. Limitações e recomendações da ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida aborda apenas as questões ambientais que são especificadas no objetivo e âmbito do estudo. Nem sempre, as diferenças entre as categorias de impacte e os resultados relacionados a produtos/processos alternativos são identificadas. Isto deve-se a vários fatores, tais como: limitação do desenvolvimento dos modelos de caracterização, ausência de análise de sensibilidade; limitações na fase do inventário devido a delimitação da fronteira, que pode vir a excluir dados, uma vez que não inclui todos processos unitários, entradas e saídas; qualidade dos dados, que podem promover incertezas; recolha de dados, que pode não ser representativa para cada categoria de impacte (ISO 14040, 2008).

Na interpretação dos resultados da ACV, foi possível identificar as limitações e o que poderia ser aprimorado nos processos avaliados. Tais limitações deram-se na fase do inventário e delimitação de fronteira, uma vez que as monitorizações dos dados nos distintos períodos em estudo não foram realizadas pela mesma gestão, como também pelo fato da fronteira ser gate to gate, e apenas considerar a fase de exploração das ETARs, excluindo a fase construção por ausência de dados.

Uma outra limitação, está no fato do consumo de água da rede ter sido considerado para ETAR de Albufeira Poente, em virtude da avaria no sistema. Pois, uma vez que ambas as instalações dispõem de um projeto que permite a utilização da água de serviço no processo, o input consumo de água da rede poderia ter sido desconsiderado desta ACV.

A realização de uma análise adicional da qualidade dos dados, apesar de ser opcional, é uma alternativa valiosa a nível da confiabilidade da ACV, pois diminui a incidência de erros associados às incertezas.

4. Resultados e discussão

Neste capítulo, os resultados relativos ao impacte global são apresentados, após as etapas de caracterização e normalização, da fase de exploração (gate to gate) das ETAR estudadas, como também as contribuições de cada uma das linhas de tratamento (líquida, sólida e gasosa), em relação às categorias de impactes ambientais adotadas. Por fim os resultados relativos à análise de sensibilidade por variação do parâmetro significativo, será apresentada.

4.1. Resultados obtidos na etapa de caracterização e normalização: ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro

Nesta ACV, para ambos os métodos utilizados, quando comparada a ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro através dos valores normalizados, é possível concluir que o impacte ambiental nos distintos períodos em estudo é maior na ETAR de Vale Faro. No entanto, quando comparamos a ETAR de Albufeira Poente no ano de 2019 com a própria ETAR de Albufeira Poente no 2020/21 no intuito de observar a interferência da pandemia no tratamento de águas residuais, o impacte é maior no ano de 2019 (antes da pandemia). Diferente de quando comparamos a ETAR de Vale Faro no ano de 2019 com a própria ETAR de Vale Faro no ano de 2020/21, que demonstra não ter sofrido interferência decorrente da pandemia.

As Figura 4.1 e Figura 4.2, permitem verificar os resultados do impacte ambiental em termos de índice único (single score- SS) pelos métodos utilizados neste estudo. Pelo TRACI, para a ETAR de Albufeira Poente foi verificado que o SS foi de 0,033 no ano de 2019, enquanto o SS foi de 0,031 no período de abril de 2020 a março de 2021, enquanto a ETAR de Vale Faro apresentou o SS de 0,035 e SS de 0,036 nos respetivos períodos. Pelo método PEF, os valores obtidos foram de SS 0,149 e SS 0,148 para ETAR de Albufeira Poente e SS 0,151 e SS 0,152 para ETAR de Vale Faro.

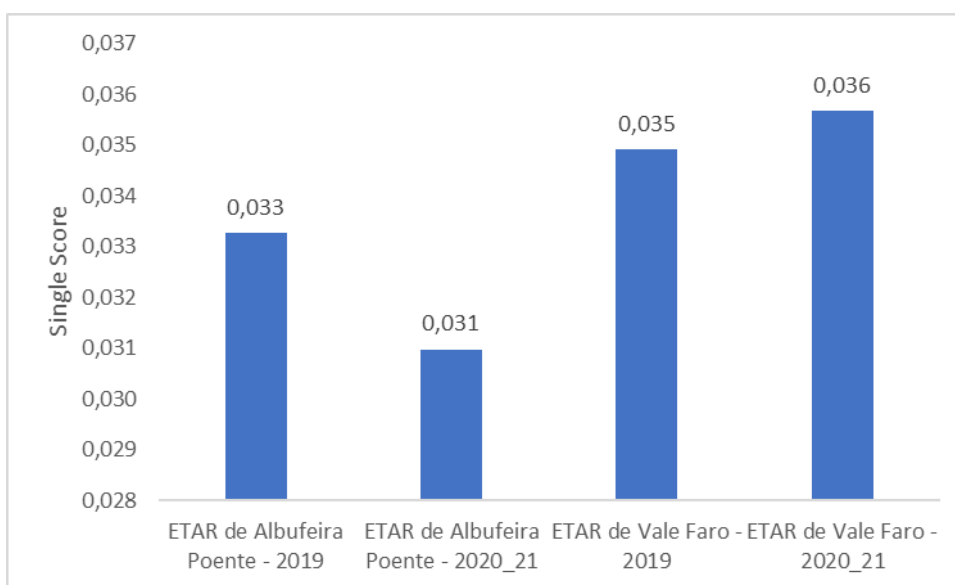


Figura 4.1- Impacte Ambiental Global pelo método TRACI

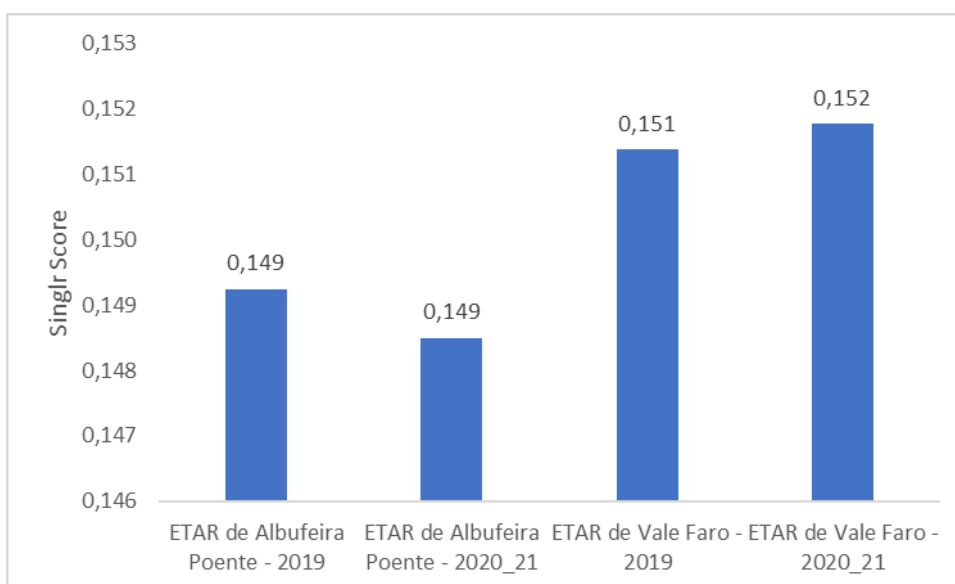


Figura 4.2- Impacte Ambiental Global pelo método PEF

Desta forma, a ETAR de Albufeira Poente demonstra ter sido mais impactante no período antes da pandemia (ano de 2019), uma vez que operou na sua capacidade total

durante o verão, ou seja, com as 3 linhas em funcionamento (reatores biológicos). No inverno, esta instalação operou com apenas uma linha de tratamento e nas restantes estações com duas linhas, procedimento habitual na referida ETAR. O primeiro ano de pandemia (2020/21) foi uma exceção, pois a ETAR operou com apenas duas linhas no verão e uma linha nos demais meses do ano. Este fator é justificado pelo não aumento da população turística no concelho de Albufeira.

Diferente da ETAR de Albufeira Poente, a ETAR de Vale Faro não apresentou grande diferença entre os resultados nos distintos períodos analisados, apesar de ter sofrido alteração no seu processo de tratamento durante a pandemia, pois, operou, no ano de 2019, com apenas uma linha no inverno e duas linhas nos demais meses do ano e no ano de 2020/21 com duas linhas no verão e uma linha nos outros meses do ano. Ou seja, houve interferência da pandemia no processo de tratamento, no entanto não houve grande divergência entre os single scores, o que demonstra que o fator pandemia associado a sazonalidade populacional não influenciou significativamente nos impactes ambientais oriundos do processo de tratamento da instalação quando comparado o ano de 2019 ao ano de 2020.

Este resultado pode ser explicado devido ao tratamento biológico da ETAR de Albufeira Poente se dar por reatores biológicos com arejadores de superfície, cujo funcionamento dos equipamentos é independente. Ou seja, quando a linha tem a operação encerrada, o arejador não funciona, logo não há consumo de energia. Enquanto a ETAR de Vale Faro tem valas de oxidação com difusores, cuja alimentação se dá por 3 sopradores de potências distintas, logo mesmo que apenas uma linha esteja em operação, se for o soprador de maior potência que esteja em funcionamento (situação habitual), o consumo de energia não sofre redução, ou seja, ter um menor volume de caudal a ser tratado, não significa que haverá menor consumo de energia.

Uma questão importante a ser considerada, é que de acordo com a ISO 14040 não existe forma científica de reduzir resultados da ACV a um resultado global único ou número, ou seja, não há uma escala de parâmetros pré-estabelecidos que permitam definir se o resultado foi positivo ou negativo. Desta forma, o que acontece, é uma análise comparativa entre produtos similares que permitem uma avaliação numérica através dos Single Scores obtidos nas ACV dos respetivos produtos analisados/comparados. Pois, cada estudo é muito particular e varia em função da definição do objetivo e âmbito que conduzem a ACV, da função que o produto ou serviço desempenha, da fronteira física e geográfica do estudo e definição da unidade funcional.

A Análise de Pareto é uma abordagem que permite agrupar e ordenar a frequência de determinadas ocorrências, seguindo a ideia de que 80% das consequências advém de 20% das causas. Assim, através do valores normalizados, cujo valor de ponderação atribuído foi igual a 1, foi possível identificar as categorias de impacte ambiental que devem ser priorizadas para posteriores melhorias no processo de tratamento das ETARs em estudo (Figura 4.3 a Figura 4.6).

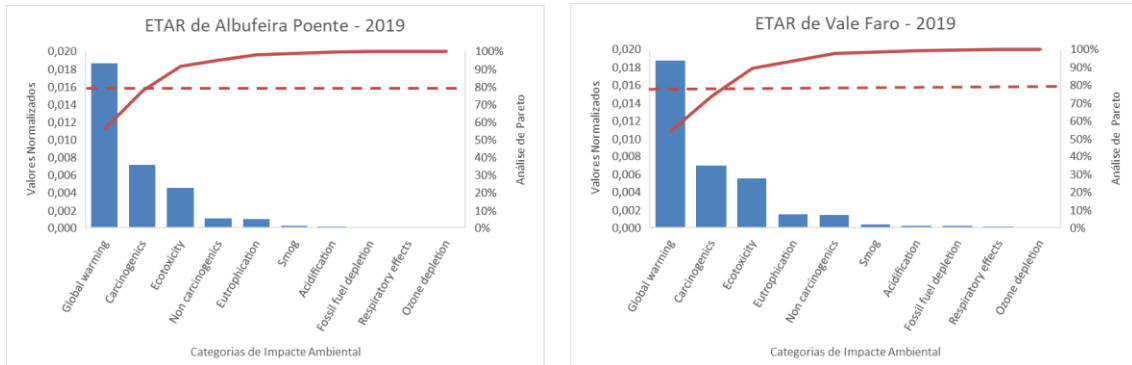


Figura 4.3 – Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2019 pelo método TRACI

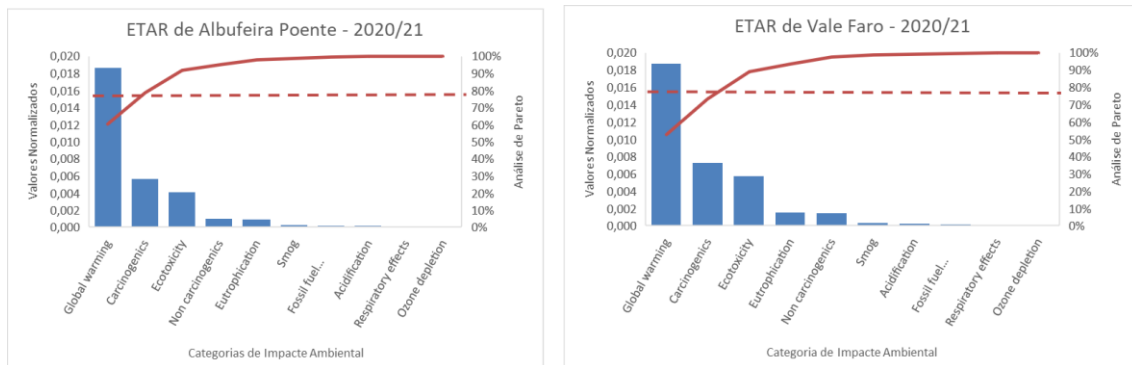


Figura 4.4- Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2020/21 pelo método TRACI

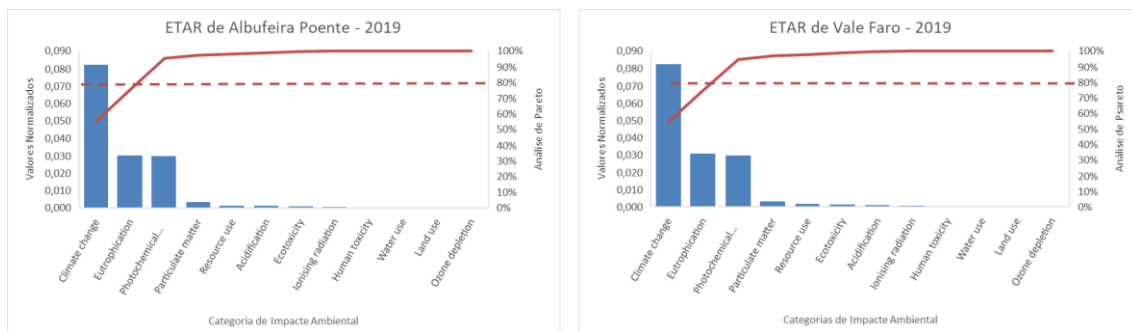


Figura 4.5- Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2019 pelo método PEF

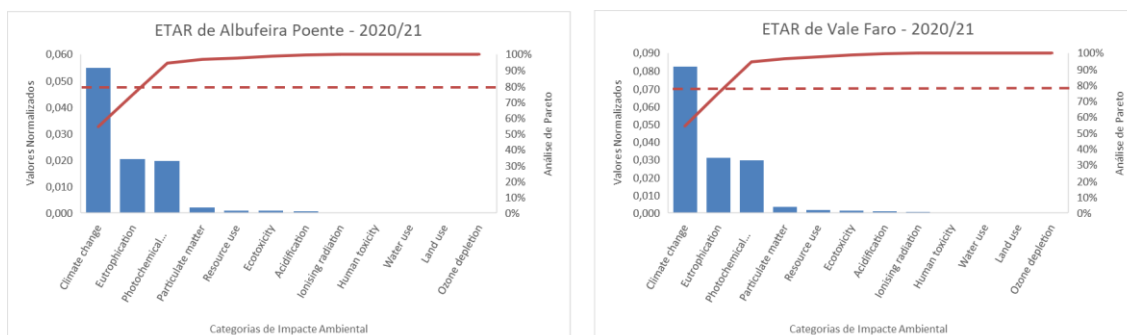


Figura 4.6 - Normalização, Análise de Pareto e Categorias de Impacte Ambiental da ETAR de Albufeira Poente e Vale Faro no ano de 2020/21 pelo método PEF

Considerando que os valores apresentados representam o percentual acumulado da Análise de Pareto, é possível identificar pelo método TRACI que dentro de um total de 10 categorias de impactes analisadas, o aquecimento global e carcinogénicos são responsáveis por aproximadamente 80% dos impactes ambientais oriundos do tratamento de águas residuais na ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro no ano de 2019 e de 2020/21. A mesma análise pelo método PEF, indica que dentro de um total de 16 categorias de impacte, as alterações climáticas e eutrofização, são responsáveis por aproximadamente 80% dos impactes ambientais no ano de 2019 e 2020/21 em ambas ETAR.

Desta forma, numa primeira fase, para obter-se um melhor desempenho ambiental no processo de tratamento, deve-se dar atenção aos fatores que promovem o aquecimento global/alterações climáticas por ser tratar de categorias de impacte ambiental que se fizeram presente nos dois métodos analisados, como também aos carcinogénicos e eutrofização (Figura 4.7).

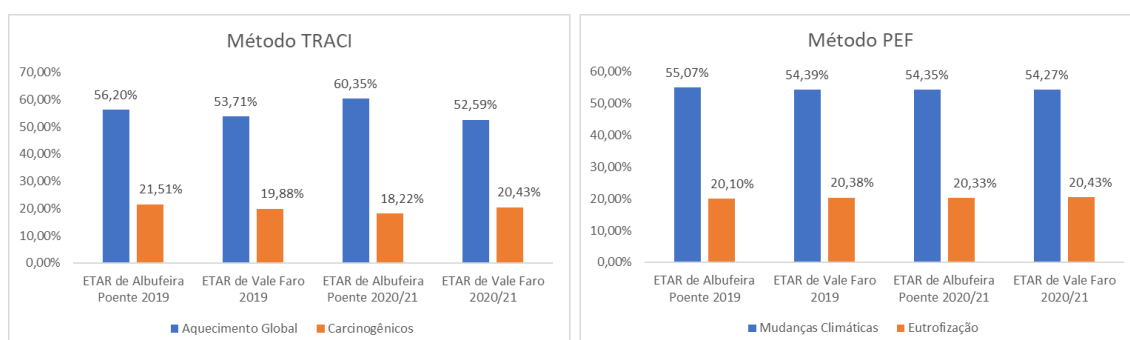


Figura 4.7- Percentual de impacte ambiental por categoria/método

Aquecimento Global/Alterações Climáticas

O aquecimento global responsável pelo aumento da temperatura da terra a longo prazo, é uma consequência das alterações climáticas que vem acontecendo no planeta. Logo, são categorias de impacto ambiental interligadas dentro do tratamento das águas residuais, que são decorrentes da liberação dos gases de efeito estufa. O potencial de aquecimento global é calculado em kg CO₂ equivalentes (kg CO₂-eq.) (Pituco, 2017).

Segundo Santos (2019), os principais compostos de azoto em águas residuais em sequência de grau de oxidação, são o azoto orgânico (fórmula é variável), azoto amoniacal (NH₃ e NH₄), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) e o azoto gasoso dissolvido (N₂) que podem ser oriundos da atmosfera ou do processo de desnitrificação (redução do nitrato). Recentemente, muitas pesquisas em sistemas de tratamento de águas residuais vem incluindo o protóxido de azoto (N₂O) gerado tanto na etapa de nitrificação quanto na desnitrificação, dentro dos impactos ambientais decorrentes de uma ETAR.

Em virtude da contribuição significativa do potencial de efeito estufa do N₂O ser 300 vezes maior quando comparado ao dióxido de carbono (CO₂) num horizonte temporal de 100 anos, é atualmente o terceiro gás que mais contribui para este impacto presente na atmosfera (IPCC, 2007).

Neste estudo, o N₂O e CH₄ foram considerados como output na fase sólida (desidratação das lamas por centrífuga) e na fase líquida (tratamento biológico e decantação secundária). Na fase gasosa (desodorização) foram considerados o NH₃, CH₄ e COTNM.

Carcinogénicos

A desinfecção da água residual consiste na destruição ou inativação de organismos patogénicos, capazes de produzir doenças ou outros organismos indesejáveis. O processo de desinfecção não implica, necessariamente, na destruição completa de todas as formas vivas (esterilização), embora muitas vezes o processo de desinfecção seja levado até o ponto de esterilização. Existem muitos agentes desinfetantes utilizados no tratamento das águas residuais, tais como o hipoclorito de sódio (NaClO), que é o reagente mais utilizado nas ETAR por se tratar de uma técnica de desinfecção de baixo custo. A presença de compostos orgânicos nas águas que sofrem o processo de cloração, resulta na formação dos trihalometanos, que são considerados compostos carcinogénicos, logo sua presença na água deve ser evitada. Há estudos epidemiológicos relacionando a concentração dos

trihalometanos com a morbidade e a mortalidade por câncer, evidenciaram associações positivas em alguns casos de carcinomas. Sendo assim, como forma de minimizar a formação de substâncias cancerígenas, pode-se recorrer a processos de desinfecção alternativos, como por exemplo o tratamento por UV ou a substituição do produto desinfetante, tendo em consideração para a segunda sugestão que o uso do hipoclorito de sódio pode representar mais benefícios do que risco, uma vez que a diminuição da incidência de doenças transmissíveis pela água somente foi alcançada com a difusão do emprego da técnica de cloração, pois o cloro é agente oxidante com capacidade de causar a lise celular (ruptura da parede celular) dos microorganismos (Meyer, 1994).

Nos processos de desinfecção da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale, apresentaram a categoria de impacte carcinogénicos quando analisadas pelo método TRACI. O potencial de carcinogénicos é avaliado pela Unidade Comparativa de Toxicidade Humana (CTUh).

Eutrofização

A eutrofização corresponde ao aumento da concentração de nutrientes, em especial o azoto (N) e fósforo (P), no ambiente aquático e terrestre, cujo efeitos são muito preocupantes. Também conhecido como fertilização excessiva de corpos aquáticos, uma vez que acelera descontroladamente o crescimento de algas e plantas aquáticas, o que impede a passagem de luz. No meio aquático, o aumento destes macronutrientes provoca uma cadeia de efeitos adversos ao meio ambiente e a saúde, tais como o impacte visual, diminuição da quantidade de oxigénio dissolvido pela decomposição da biomassa (CBO), mortandade de peixes, assoreamento, maus odores, produção de toxinas, etc. No meio terrestre, em solos eutrofizados, há uma maior vulnerabilidade das plantas para doenças e pragas, além de que, se o nível de nutrientes exceder a quantidade de azoto necessário para as plantas, poderá ocorrer enriquecimento de nitrato no solo e, através da lixiviação, aumentar o teor destes nas águas subterrâneas. O potencial de eutrofização é avaliado em kg de fosfato equivalente (kg PO₄-eq.) (Pituco, 2017).

A eutrofização pode ser natural ou artificial. Quando natural, é um processo lento e contínuo que resulta dos nutrientes trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem e lavam a superfície terrestre, pode ser considerada como o “envelhecimento natural” do meio aquático. Quando ocorre artificialmente, ou seja, quando é induzida pelo homem, a eutrofização é denominada de artificial, cultural ou antrópica. Neste caso, os

nutrientes podem ter diferentes origens, como: águas residuais domésticas, industriais, urbanas, entre outras (Esteves, 2011).

Neste estudo, podemos considerar que o tratamento das águas residuais é um mecanismo de eutrofização artificial, uma vez que as ETAR sofrem influencia do aumento da população humana, da industrialização, uso de fertilizantes químicos na agricultura e da produção de produtos de limpeza contendo compostos polifosfatos. Esses fatores estimulam a eutrofização através da liberação de nutrientes como fosfatos e azoto.

4.2. Contribuição relativa dos processos na linha sólida, líquida e gasosa nas ETAR

Considerando que os processos de tratamento das ETAR em estudo estão divididos pelas fase líquida com as etapas de gradagem mecânica, desarenamento/desengorduramento, tratamento biológico, decantação secundária, desinfecção e filtração; fase sólida com o espessamento gravítico e desidratação de lamas; e gasosa com a desodorização, para além da avaliação geral das instalações (análise de todas as fases em simultâneo), também foram analisadas as fases de forma individual com o objetivo de identificar a mais impactante.

Na figura 4-8 e figura 4-9, apresentam-se os resultados normalizados da avaliação dos impactes da fase da exploração das ETAR em estudo através dos métodos TRACI e PEF, onde é possível identificar que as fases líquidas e sólidas são mais impactantes que a fase gasosa.

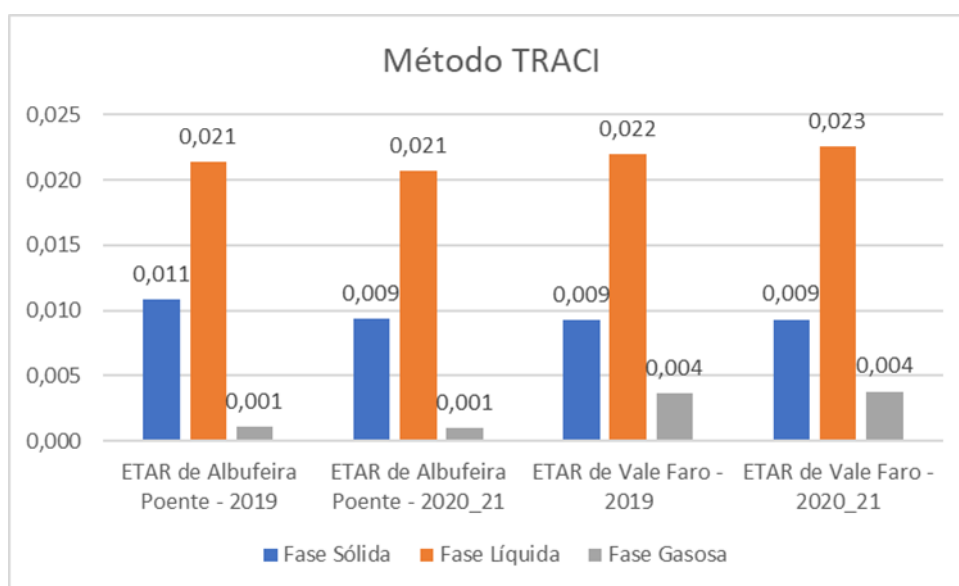


Figura 4.8 - Percentual de impacto ambiental por categoria/método TRACI

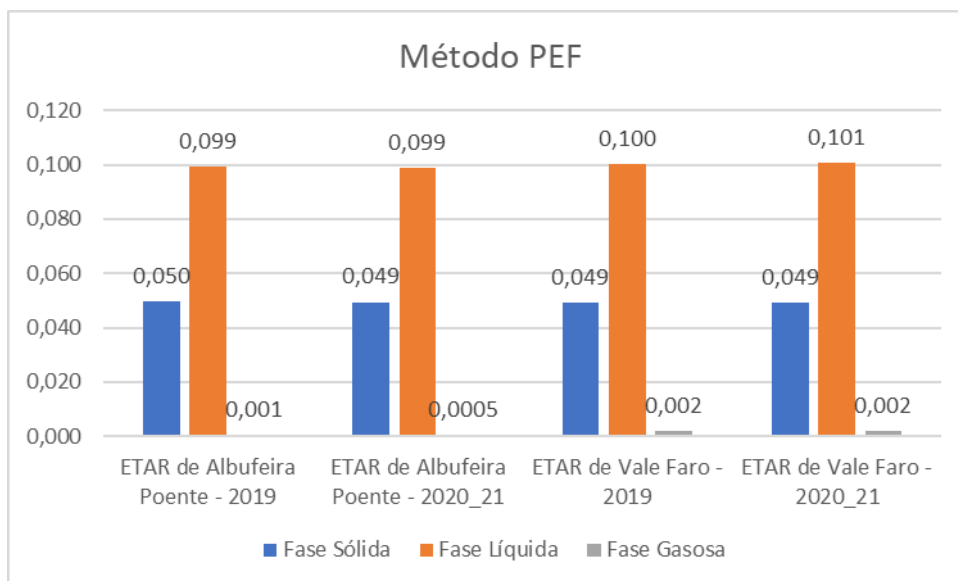


Figura 4.9 - Percentual de impacte ambiental por categoria/método TRACI

No que se refere aos impactes ambientais resultantes do percentual acumulado da Análise de Pareto para as fases em separado, destacam-se para as operações/processos da linha líquida e sólida o aquecimento global, carcinogénicos e ecotoxicidade pelo método TRACI e alterações climáticas, eutrofização e formação do ozono fotoquímico pelo método PEF. De forma menos impactante, destacam-se as categorias de carcinogénicos e ecotoxicidade para linha gasosa pelo método TRACI e eutrofização e uso de recursos. formação fotoquímica da camada de ozónio pelo método PEF (Tabela 4.1 a Tabela 4.4).

Tabela 4.1 - Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR Albufeira Poente 2019

Desempenho Ambiental ETAR Albufeira Poente 2019	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	-	4,41E-03	2,76E-03	5,48E-02	-	1,98E-02
Fase Sólida	6,23E-03	2,28E-03	-	2,74E-02	1,00E-02	-
Fase Gasosa*	-	4,64E-04	3,47E-04	-	2,10E-04	1,08E-04

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; AC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Tabela 4.2 - Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR Albufeira Poente 2020/21

Desempenho Ambiental ETAR Albufeira Poente 2020/21	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	-	4,08E-03	2,53E-03	5,48E-02	-	1,98E-02
Fase Sólida	6,23E-03	1,14E-03	-	2,74E-02	9,88E-03	-
Fase Gasosa*	-	4,25E-04	3,19E-04	-	1,94E-04	9,65E-05

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; AC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Tabela 4.3 - Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR de Vale Faro 2019

Desempenho Ambiental ETAR de Vale Faro 2019	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	1,25E-02	4,12E-03	-	5,49E-02	2,03E-02	-
Fase Sólida	6,22E-03	1,25E-03	-	2,73E-02	-	9,89E-03
Fase Gasosa*	-	1,57E-03	1,23E-03	-	7,06E-04	3,78E-04

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; MC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Tabela 4.4 - Desempenho Ambiental por fases do processo de tratamento da ETAR de Vale Faro 2020/21

Desempenho Ambiental ETAR de Vale Faro 2020/21	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	1,25E-02	4,37E-03	-	5,49E-02	2,04E-02	-
Fase Sólida	6,22E-03	1,27E-03	-	2,74E-02	-	9,89E-03
Fase Gasosa*	-	1,64E-03	1,25E-03	-	7,40E-04	3,88E-04

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; MC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Desta forma, para além das categorias de impacte mencionadas no item 4.1 deste trabalho, quando considerada a análise geral das ETAR em estudo, agrega-se também a ecotoxicidade, formação do ozono fotoquímico e uso de recursos ao tratamento de águas residuais quando analisadas as fases do tratamento em separado.

Ecotoxicidade

A ecotoxicidade está relacionada as substâncias tóxicas emitidas para o ambiente (ar, água e solo) com potencial de impactar os ecossistemas aquáticos e terrestres, com efeitos nocivos sobre a flora e fauna, em especial, aos reflexos causados em cultivos

agrícolas. O potencial de ecotoxicidade é calculado em termos da substância 1,4 Diclorobenzeno (kg 1,4 DCB-eq.) (Pituco, 2017).

Formação de Ozono Fotoquímico

A formação de oxidante fotoquímico está relacionada com o impacto resultante de emissões gasosas como o monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COVs, incluindo o metano). Esses componentes são capazes de reagir com os radicais hidroxilo e peroxilo, e na presença de óxidos de azoto (NO_x) e luz solar, levam à formação de ozono troposférico, ou seja, promoverem o efeito de “smog fotoquímico”. Este indicador é expresso em etileno equivalente (kg etileno-eq.) (Pituco, 2017).

Uso de Recursos

O uso de recursos dentro da ACV é uma categoria de impacto que está associada a necessidade de utilização de recursos naturais para realização de um determinado processo. Pode-se chamar de recursos naturais as florestas, a energia solar, o movimento dos ventos, o solo, os animais, os vegetais, os minérios e a água.

Nesta ACV, a categoria de uso de recursos apareceu de forma significativa apenas na fase gasosa do processo de tratamento das ETAR em estudo. Este impacto está associado principalmente ao input energia, em virtude do consumo de combustíveis fósseis para sua geração.

A seguir a esta fase, foram analisadas as folhas de cálculos geradas no *SimaPro* com os resultados por fase de tratamento para ambos métodos utilizados, onde foi possível identificar que no processo da linha líquida, a etapa de tratamento biológico é a mais impactante; da linha sólida destaca-se a desidratação de lamas; e da gasosa a desodorização.

A identificação dos fatores de contribuição e sugestões de correções e melhorias para as categorias de impacto abordadas neste tópico, serão desenvolvidas no próximo item.

4.3. Impactes Ambientais das fases de tratamento da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro e identificação dos fatores de contribuição

A avaliação do ciclo de vida por meio da análise dos valores caracterizados dos impactes ambientais, permitiu identificar os impactes ambientais mais relevantes dentro do processo de tratamento de águas residuais da ETAR de Albufeira Poente e ETAR de

Vale Faro, como também os fatores de contribuição (inputs/outputs) por fase de tratamento através na análise dos valores impacte caracterizados (Tabela 4.5 a 4.8).

Tabela 4.5 - Fatores relevantes de contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Albufeira Poente 2019

ETAR Albufeira Poente 2019	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	-	Consumo de Reagentes	Consumo de Reagentes	Emissões Gasosas	-	Emissões Gasosas
Fase Sólida	Consumo de Energia	Consumo de Energia Geração de Resíduos	-	Emissões Gasosas	Emissões Gasosas	-
Fase Gasosa*	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; AC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Tabela 4.6 - Fatores relevantes de Contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Albufeira Poente 2020/21

ETAR Albufeira Poente 2020/21	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	-	Consumo de Reagentes	Consumo de Reagentes	Emissões Gasosas	-	Emissões Gasosas
Fase Sólida	Consumo de Energia	Consumo de Energia Geração de Resíduos	-	Emissões Gasosas	Emissões Gasosas	-
Fase Gasosa*	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; AC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Tabela 4.7 - Fatores relevantes de contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Vale Faro 2019

ETAR de Vale Faro 2019	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	Emissões Gasosas	Consumo de Energia	-	Emissões Gasosas	-	Emissões Gasosas
Fase Sólida	Emissões Gasosas	Emissões Gasosas Consumo de Energia	-	Emissões Gasosas	Emissões Gasosas	-
Fase Gasosa*	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; MC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Tabela 4.8 - Fatores relevantes de contribuição do impacte ambiental por fase de tratamento da ETAR de Vale Faro 2020/21

ETAR de Vale Faro 2020/21	TRACI			PEF		
	AG	CAR	ECO	AC	EUT	FOF/UR*
Fase Líquida	Emissões Gasosas	Consumo de Energia	-	Emissões Gasosas	-	Emissões Gasosas
Fase Sólida	Emissões Gasosas	Emissões Gasosas Consumo de Energia	-	Emissões Gasosas	Emissões Gasosas	-
Fase Gasosa*	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia	-	Consumo de Energia	Consumo de Energia

AG: Aquecimento Global; CAR: Carcinogénicos; ECO: Ecotoxicidade; MC: Alterações Climáticas; EUT: Eutrofização; FOF: Formação do Ozónio Fotoquímico; UR: Uso de Recursos.

Na linha líquida, considerando do tratamento biológico como referência, pelo método TRACI destaca-se o consumo de energia, o consumo de reagentes (sulfato de alumínio) e às emissões de gases para a atmosfera (metano) como fatores de maior interferência. Quanto que o PEF, dá mais ênfase as emissões de gases para atmosfera (metano e protóxido de azoto).

Na linha sólida, considerando a desidratação das lamas por centrífuga como referência, destaca-se quando avaliados pelo método TRACI o consumo de energia, das emissões de gases para atmosfera (metano) e geração de resíduos (cromo, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel, maior contribuição). Pelo método PEF as emissões de gases para atmosfera (metano e protóxido de azoto).

Na linha gasosa, tendo a etapa da desodorização como referência, tanto pelo método TRACI, quanto pelo método PEF, destaca-se pelo consumo de energia.

A identificação destes fatores, permite um direcionamento na tomada de decisões que visam a melhoria do processo de tratamento de águas residuais, de forma a minimizar os impactes ambientais oriundos das ETAR.

O consumo de energia teve grande representatividade no contributo dos impactes ambientais, e dentro deste contexto, como forma de otimizar o consumo de energia na ETAR de Vale Faro e ETAR de Albufeira Poente, sugere-se algumas ações ou pontos a analisar/melhorar.

Na linha líquida, no tratamento biológico das ETAR em estudo, uma sugestão é a otimização do processo biológico, através do controlo de oxigénio (*Setpoints* O₂), pois a injeção reduzida de oxigénio, reflete na redução do tempo de funcionamento dos arejadores de superfície na ETAR de Albufeira Poente e dos sopradores na ETAR de Vale Faro, conseqüentemente promovem a redução do consumo de energia, mas para tal, é necessário fazer ensaios de forma a não comprometer o tratamento.

Uma outra alternativa para ambas as instalações é a garantia da calibração das sondas fixas de oxigênio por parte da operação, pois este equipamento se estiver a ler por defeito (menos oxigênio) ou por excesso (mais oxigênio), passa a exigir mais dos equipamentos no processo.

O controlo da matéria sólida no tratamento biológico, também é uma questão a ser verificada, pois quanto maior a quantidade de matéria sólida, mais se exige dos equipamentos. Neste sentido, a gestão operacional da ETAR é fundamental.

Através de estudos internos pelo prestador de serviço, responsável atualmente pela exploração da ETAR de Albufeira Poente, foi dada como sugestão, a substituição do sistema de arejamento de superfície por uma nova tecnologia de sistema de sopradores com rede de difusores por levitação magnética, uma vez que, no modelo atual, cada arejador consome 55kW e uma linha de tratamento dispõe de 4 equipamentos, considerando que a ETAR dispõe de três linhas, totaliza-se um consumo de 660kW quando se encontra com todas as linhas em funcionamento. Com o sistema de sopradores por difusores, faz-se necessário um equipamento por linha, que opera com uma economia de aproximadamente 65kW em relação ao modelo atual. Na ETAR de Vale Faro, os sopradores por rede de difusores são equipamentos antigos e menos eficientes a nível de processo e consumo de energia, logo a substituição por equipamentos mais modernos, também é uma opção para garantia da eficiência energética.

A manutenção preventiva dos equipamentos, também é uma grande aliada na otimização do recurso energético, pois evita o aparecimento de qualquer tipo de falha, prevenindo desta forma as avarias.

Na linha sólida, no processo de desidratação de lamas por centrífuga, para ambas instalações, a gestão operacional sobre o processo de desidratação das lamas pode ser uma alternativa a redução do consumo de energia. Atualmente, diferente da ETAR de Vale Faro, a ETAR de Albufeira Poente faz uso de reagente (polímero) na forma líquida e tem se observado um melhor resultado no que se refere a sicidade das lamas, logo estando as lamas numa condição mais propícia a desidratação, exige-se menos deste processo e conseqüentemente reduz o tempo de funcionamento das centrífugas. Desta forma, substituir o uso do polímero em pó por líquido na ETAR de Vale Faro, é uma forma de otimizar o consumo de energia nesta fase do tratamento.

Na fase gasosa, no processo de desodorização, apesar do consumo de energia ser responsável numa maior proporção pelas categorias de impactes ambientais identificadas nesta fase, dentro da avaliação geral do ciclo de vida, esta fase não foi identificada como

significativa no tratamento de águas residuais. Ainda assim, de forma a minimizar o consumo de energia, sugere-se a manutenção preventiva do sistema de desodorização, contemplando a limpeza das tubagens, grelhas, ventiladores e filtros, pois estas partes tendem a acumular gorduras ao longo do tratamento e quando sujas, exigem mais do funcionamento dos equipamentos. Uma outra sugestão, seria instalar variadores de frequência nos ventiladores, pois permitem baixar a rotação do motor elétrico e consequentemente também pode vir a contribuir para redução do consumo de energia.

Os impactes ambientais oriundos das emissões gasosas, são decorrentes das emissões de metano (CH_4) e protóxido de azoto (N_2O) na fase líquida (tratamento biológico) e fase sólida (desidratação de lamas por centrífuga), dentro deste contexto e tendo em vista que a capacidade calorífica do metano (CH_4) é 24 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2) e que sua contribuição enquanto gás de efeito estufa deve ser atenuada, sugere-se a sua transformação via queima ou lavagem de um gás menos danoso ao meio ambiente. No que se refere ao protóxido de azoto (N_2O), uma alternativa seria submeter os gases a um processo de desodorização mais eficiente, onde a lavagem permita a remoção do protóxido de azoto (N_2O).

A adição do reagente sulfato de alumínio é realizada na ETAR de Albufeira Poente na saída dos tanques de arejamento/biológicos para garantir o cumprimento da licença de descarga para o parâmetro do fósforo (1mg/l) que é exigido uma vez que a descarga do efluente tratado ocorre na Lagoa dos Salgados que é uma área sensível e está proposta para ser classificada como Reserva Natural. Diferente da ETAR de Vale Faro que não realiza a sua descarga em área sensível, logo não há condicionante para o controlo do parâmetro do elemento de fósforo na sua licença de descarga.

Desta forma, a utilização do reagente foi uma alternativa para a minimização de possíveis impactes ambientais que poderiam vir a ser causados pela presença do elemento fósforo acima do limite suportado pelo meio hídrico

O fator geração de resíduos como contributo para o impacto ambiental, mostrou-se presente na ACV apenas na fase sólida, quando avaliadas pelo método TRACI, na ETAR de Albufeira Poente foi indicado em ambos períodos em estudo, enquanto na ETAR de Vale Faro apenas no período de 2020/21. Dentro de todos os elementos considerados nos tipos de resíduos gerados, o crómio, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel foram mais relevantes.

Estes elementos, fazem parte de um grupo de elementos químicos com propriedades metálicas que existem naturalmente na crosta terrestre e sua perigosidade para os seres

vivos e meio ambiente está associada ao fato de não serem degradados nem física, nem biologicamente, tendendo a acumular-se nos organismos vivos. O mercúrio (Hg), o chumbo (Pb) e o cádmio (Cd) são metais tóxicos, uma vez que não possuem função no organismo humano, vindo a causar doenças graves por não serem assimilados pelos seres vivos. Dentro deste contexto, uma gestão de resíduos completa e eficaz no que se refere as operações de recolha, transporte, armazenamento, triagem, tratamento, valorização e eliminação, incluindo a monitorização e planeamento de todas as operações e destinação final, é uma forma de impedir a dispersão incorreta destes elementos no meio ambiente.

A realização das análises anuais das amostras dos resíduos sem outras especificações (Código LER 190899), de gradados (Código LER 190801), de areias (Código LER 190802) e das lamas (Código LER 190805), também é uma alternativa ao controlo das emissões destes elementos no meio ambiente, uma vez que para serem enviados para o destino final, precisam estar dentro dos parâmetros legais permitidos.

4.4. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade, realizada na fase de interpretação da avaliação do ciclo de vida, objetiva estimar os efeitos das escolhas efetuadas, dos métodos e dados, nos resultados calculados do impacte ambiental. Focar-se em todos os aspetos relevantes, que possam influenciar as técnicas, métodos e dados utilizados.

A análise dos aspetos relevantes por ser realizada por diversas maneiras: elaboração de diagramas em forma de tornado, que representam alterações no valor final, aplicando variações iguais em diferentes parâmetros; análise de parâmetros individuais, através da variação de um parâmetro com outros fixos; análise de cenários que descrevem futuras situações e podem ser caracterizadas por diferentes escolhas de fronteiras, alocações, tecnologias, tempo, espaço, caracterização, pesos, etc (Carvalho, 2015).

Segundo Carvalho (2015), a metodologia a seguir para Análise de Sensibilidade (Figura 2.10), deve-se obedecer as seguintes etapas:

1. Identificar os parâmetros críticos;
2. Variar esses parâmetros e calcular os impactos ambientais;
3. Apresentar gráficos de análise dos valores apresentados;
4. Tirar conclusões quanto à robustez dos resultados.

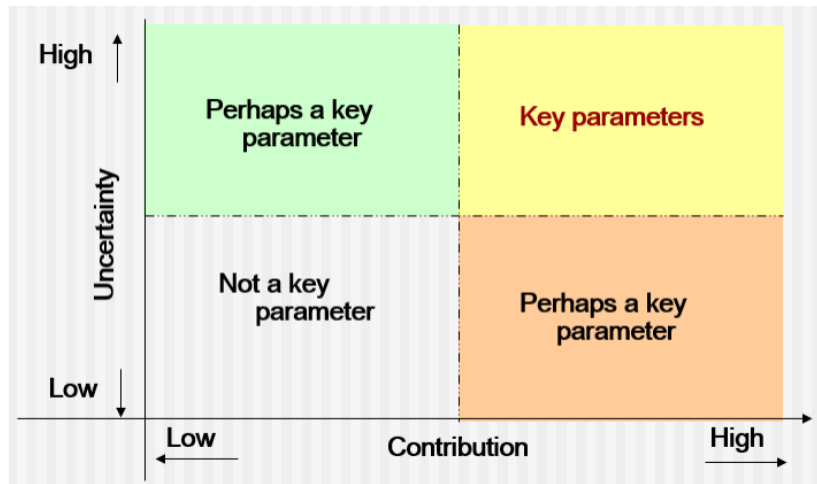


Figura 4.10 - Matriz de Análise de Sensibilidade (Fonte: Carvalho, 2015)

Neste estudo, uma análise de sensibilidade de parâmetros individuais foi realizada por introdução deliberada de variações percentuais ($\pm 10\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 30\%$) do parâmetro consumo de energia, uma vez que, o consumo das instalações apresenta variações aproximadas entre 10%, 20% e 30% de acordo com as estações do ano em virtude da sazonalidade/população turística.

Desta forma, foram aplicadas as referidas variações nos processos de tratamento mais críticos (tratamento biológico, desidratação das lamas e desodorização) e uma nova análise foi realizada das ETAR sem estudo, de forma a identificar se a oscilação do consumo de energia poderia interferir no resultado obtido nesta ACV (Figura 4-11 a Figura 4-14).

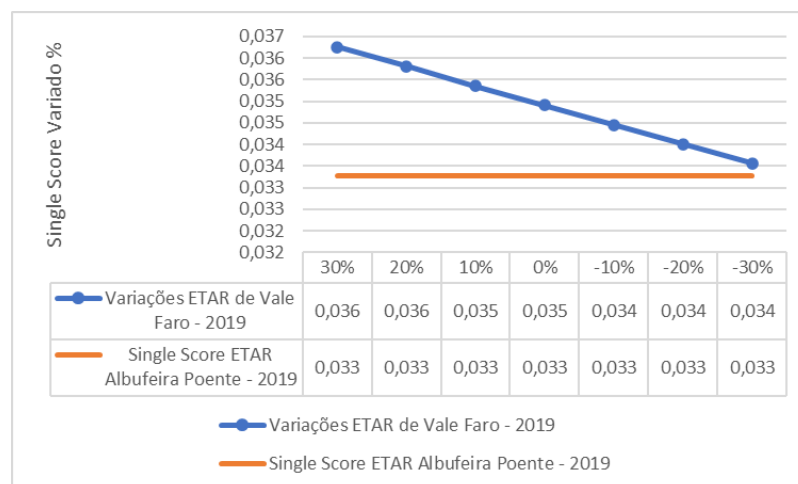


Figura 4-11 - Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2019 – Método TRACI

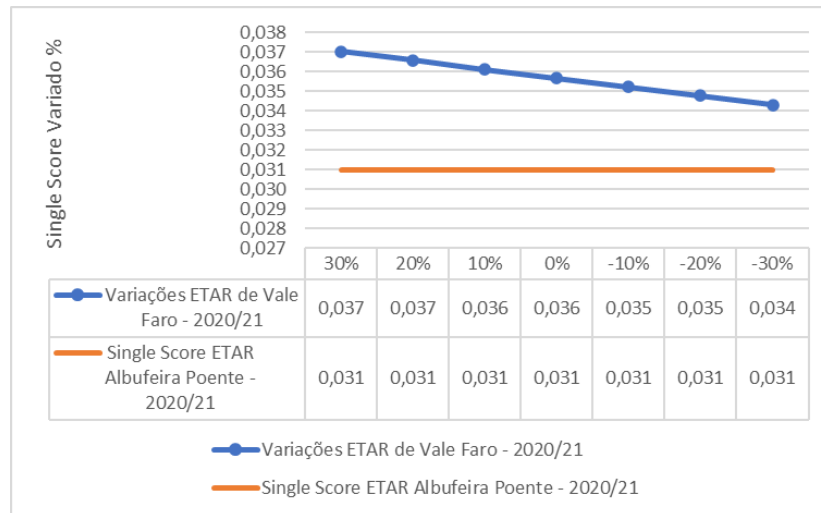


Figura 4-12 - Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2020/21 – Método TRACI

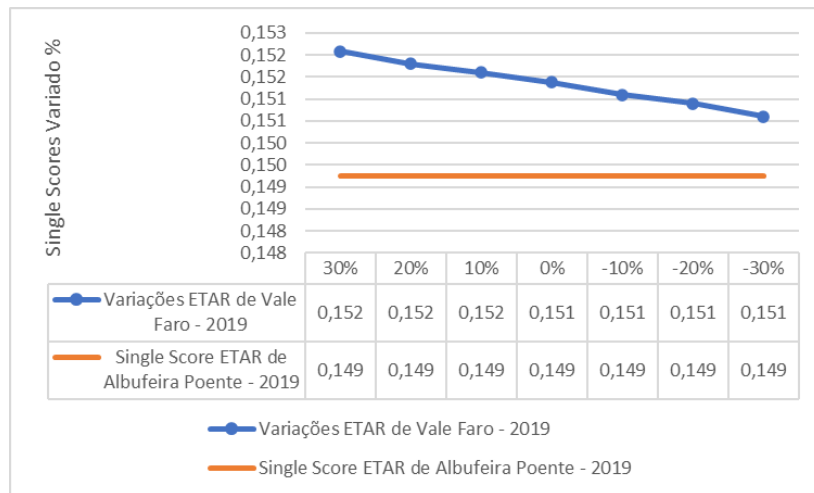


Figura 4-13 - Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2019 – Método PEF

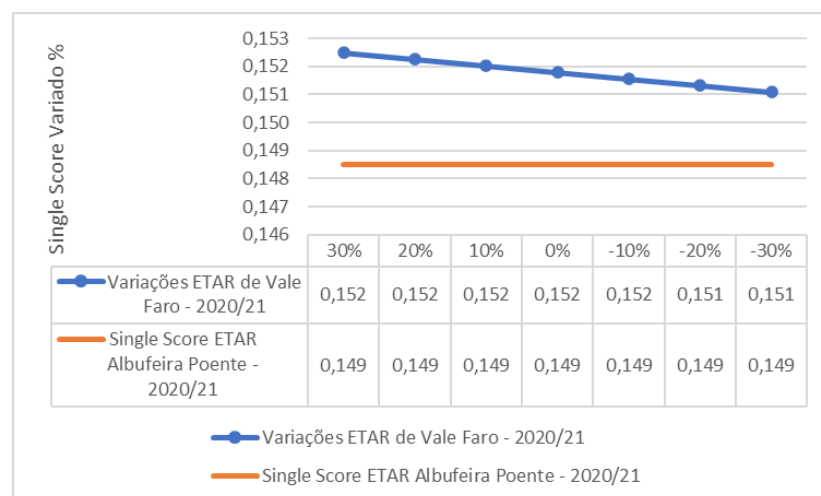


Figura 4-14 - Resultado da Análise de Sensibilidade para variação do parâmetro (energia) da ETAR de Vale Faro 2020/21 – Método PEF

A análise de sensibilidade para os resultados deste estudo, permitiu identificar que o parâmetro “consumo de energia” é pouco suscetível a variação, pois não há uma tendência de encontro/cruzamento entre os Single Scores da ETAR de Albufeira Poente 2019 e 2020/21 (linha com resultado não variado) com os Single Scores da ETAR de Vale Faro 2019 e 2020/21 (linha de dispersão variada) respetivamente.

Desta forma, uma vez que, não ocorreu cruzamentos entre os Single Scores analisados nos distintos métodos, é possível concluir, que é pouco provável que haja alteração do resultado obtido nesta ACV por oscilação do consumo de energia.

5. Considerações Finais e Recomendações Futuras

Neste capítulo, apresenta-se as principais conclusões obtidas a partir da observação dos resultados desta Avaliação do Ciclo de Vida, juntamente a Avaliação de Sensibilidade, de forma a obter-se o fechamento dos principais resultados, conclusões e identificar um conjunto de recomendações e desafios que poderão servir de apoio a estudos futuros.

Foi objeto de estudo duas estações de tratamento de águas residuais (ETAR), a ETAR de Albufeira Poente e ETAR de Vale Faro, as quais foram analisadas e comparadas através da técnica de avaliação do ciclo de vida, aplicada aos sistemas de tratamento de águas residuais urbanas, através do software *Simapro*.

Através do estudo realizado conclui-se que a ETAR de Vale Faro tem maior impacto ambiental que a ETAR de Albufeira Poente. No que se refere a interferência da pandemia no processo de tratamento de águas residuais no concelho de Albufeira, a ETAR de Albufeira Poente demonstrou ser sensível ao período vivenciado, enquanto a ETAR de Vale Faro não apresentou grande diferença entre os resultados nos distintos períodos analisados.

Apesar das duas ETAR apresentarem single scores distintos, o que representa níveis de impactes ambientais diferentes entre as instalações, verifica-se que as contribuições das suas fases de operação (sólida, líquida e gasosa) para os impactes ambientais são comuns. Este fato justifica-se pelo fato das duas instalações apresentarem processos de tratamento similares, dentro de um formato geral de etapas de tratamento realizadas nas mesmas, como também pelo fato de disporem de uma infraestrutura que serve

aproximadamente o mesmo número de habitantes equivalentes e capacidade aproximada de tratamento de caudal médio diário.

Relativamente ao sistema de tratamento, considerando a ACV pelo método TRACI e PEF, foi possível identificar que as etapas mais impactantes dentro do sistema de tratamento das ETAR em estudo, foi o tratamento biológico na fase líquida, desidratação das lamas por centrífuga na fase sólida e a desodorização na fase gasosa.

Das categorias de impactes ambientais identificados como mais significativas a nível do ciclo de vida das ETAR, pode-se mencionar o aquecimento global/alterações climáticas, carcinogénicos e eutrofização, cujo fatores de contribuição estão associados as emissões atmosféricas, consumo de energia e geração de resíduos. Sendo o parâmetro da energia o maior responsável pelas categorias de impactes apresentadas, logo é necessário dar uma maior atenção à eficiência energética das instalações.

Sobre os distintos métodos utilizados para avaliação do ciclo de vida, observou-se que apesar da similaridade dos resultados no que se refere a constatação da ETAR mais impactante, os resultados obtidos pelo método PEF são mais lineares quando comparados ao TRACI. Este fato, é decorrente do PEF ser um método de avaliação de impacto ambiental elaborado pela Comissão Europeia na Bélgica, logo dispõe de uma base de dados mais compatível com o estudo em virtude da fronteira geográfica desta ACV ser Portugal. Enquanto o método TRACI foi projetado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA), logo dispõe de uma base de dados norte americana.

Relativamente à análise de sensibilidade, verificou-se que os resultados revelam-se ser pouco sensíveis a variação do parâmetro energia, demonstrando que os resultados obtidos neste estudo não estão suscetíveis a alterações.

A ferramenta de ACV demonstrou ser uma alternativa valiosa na análise do desempenho ambiental dos sistemas de tratamento de águas residuais, demonstrando que uma gestão ambiental eficiente deve ser parte integrante de qualquer processo de tomada de decisão direcionada para a sustentabilidade dos sistemas de tratamento/ETAR.

Na perspectiva de alinhar este trabalho com estudos futuros, poderá ser interessante aprofundar aspetos como:

- Incluir o transporte de resíduos, reagentes e logística operacional na fronteira da ACV, como também considerar as estações elevatórias vinculadas as respetivas ETAR;

- Abranger fatores de emissões gasosas regionalizados, principalmente no que repercute aos potenciais impactes ao nível de ecotoxicidade e eutrofização no meio hídrico onde ocorre a descarga do efluente final;
- Contemplar o estudo da eficiência energética dos equipamentos vinculados as etapas de tratamento mais significativas;
- Aprofundar as novas tecnologias e métodos alternativos para otimizar os impactes ambientais oriundos do tratamento biológico, desidratação de lamas e desodorização;
- Reduzir o output do resíduo lama, em detrimento do processo de valorização aplicado a este subproduto, que pode vir a ter um aproveitamento florestal ou agrícola;
- Considerar a reutilização do efluente final, no âmbito de uma política de gestão eficiente dos recursos hídricos.

6. Referências Bibliográficas

1. Águas do Algarve - AdA. **Infraestruturas do Sistema Municipal de Saneamento de Água.** Disponível em [Infraestruturas do Sistema Multimunicipal de Saneamento de Água | Águas do Algarve \(aguasdoalgarve.pt\)](https://aguasdoalgarve.pt/infraestruturas-do-sistema-multimunicipal-de-saneamento-de-agua). Acesso em jun/2021.
2. Águas do Algarve - AdA. **Infraestruturas do Sistema Municipal de Saneamento de Água.** Disponível em [Tecnologias de Tratamento | Águas do Algarve \(aguasdoalgarve.pt\)](https://aguasdoalgarve.pt/tecnologias-de-tratamento). Acesso em dez/2021.
3. Giordano, A., & Petta, L. (2005). Lesson C1: **Operation and management of wastewater treatment plants.** Disponível em: https://cgi.tu-harburg.de/awwwweb/wbt/emwater/documents/lesson_c1.pdf. Acesso em dez/2021.
4. Carvalho, A. (2015). "**Chapter VI - Life Cycle Assessment,**" em support slides of the curricular unit "Industrial Management and Environment", Lisbon, Instituto Superior Técnico.
5. Anne, I. (2003). **Caracterização de duas Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas e seu impacte na qualidade da água do meio recetor – alguns aspetos da dinâmica microbiana num sistema de lagunagem.** Universidade do Porto. Disponível em https://sigarra.up.pt/fcup/en/teses.tese?p_aluno_id=101108&p_processo=17499&p_lang=1. Acesso em set/2021.
6. Antunes, R., & Mano, A. P. (2004). **Odores em Estações de Tratamento de Águas Residuais.** 7º Congresso Da Água, 18. Disponível em https://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/R_95.PDF. Acesso em jan/2022
7. Agência Portuguesa do Ambiente-APA (2022). **Sobre o EMAS.** Disponível em: <https://emas.apambiente.pt/content/sobre-o-emas?language=pt-pt>. Acesso em jan/2022.
8. Agência Regional de Energia e Ambiente do Algarve-AREAL. (2020). **Relatório de Auditoria Energética e Plano de Racionalização dos Consumos de Energia da ETAR de Albufeira Poente** disponibilizado pela AdA.
9. Braga, J., & Morgado, E. (2012). **Guia do Ambiente – Desenvolvimento sustentável: Oportunidade inadiável.** 1ª Edição. Lisboa: Monitor: ISBN: 978-972-9413-83-4.
10. Carvalho, I. (2009). **Avaliação do Processo de Implementação de Sistemas De**

- Gestão Ambiental.** Universidade de Aveiro. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/13256/1/Joao_Gomes.pdf. Acesso em jul/2021.
11. Costa, M. L., Kiperstok, A., & Cesar, S. F. (2017). **A Nova ISO 14001:2015, uma ferramenta de gestão e sua contribuição para a construção sustentável.** Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/314086864>. Acesso em set/2021.
 12. De Udo Haes, H. A., Jolliet, O., Finnveden, G., Hauschild, M., Krewitt, W., & Müller-Wenk, R. (1999). **Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, 4(2), 66–74. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/bf02979403>. Acesso em dez/2021.
 13. DRE. (1997). **Decreto-Lei n.º 152/97.** Disponível <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/152-365343>. Acesso em nov/2021.
 14. DRE. (2013). **Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013.** Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia . Disponível em: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-d-2013-2975217>. Acesso em nov/2021.
 15. Esteves, F. D. A. (2011). **Fundamentos da limnologia** (3ª). Interciência. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/download/44491/29183>. Acesso em ago/2021.
 16. European Commission Joint Research Centre (2012). Institute for Environment and Sustainability H08 Sustainability Assessment Unit. **Product Environmental Footprint (PEF) Guide.** Disponível em: <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/355474>. Acesso em: maio/2022.
 17. Farias, M. M. Y. L. (2020). **Avaliação do desempenho ambiental de uma estação de tratamento de águas residuais utilizando a metodologia de análise de ciclo de vida.** Mestrado de dupla diplomação com a UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/22745>. Acesso em out/2021.
 18. Fazio, S., Zampori, L., De Schryver, A., Kusche, O., Thellier, L., & Diaconu, E. (2019). **Guide for EF compliant data sets.** In JRC Technical reports. Disponível em: <https://doi.org/10.2760/30708>. Acesso em fev/2022.
 19. Fernandes, A. F. C. M. B. (2008). **Estimativa de Impactes Ambientais Gerados**

- pela Despoluição de Águas Residuais.** Universidade Nova de Lisboa Faculdade. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/1964>. Acesso em out/2021.
20. Ferrão, P. C. (1998). **Introdução à gestão ambiental: A avaliação do ciclo de vida de produtos.** Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia: Vol. 5. Lisboa: IST Press – Instituto Superior Técnico, Lisboa.
 21. Ferrão, P. C. (2012). **Ecologia industrial: princípios e ferramentas.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, 17(1), IV–V. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522012000100002>.
 22. Eurobarometer, F. (2009). **Europeans’ attitudes towards the issue of sustainable consumption and production.** Flash Eurobarometer, 256, 1-18. Disponível em: http://www.relec.es/RECICLADO_ELECTRONICO/CONCIENCIA_CIUDADANA/Eurobarometerstudysustainableconsumptionandproduction.pdf. Acesso em set/2021.
 23. Furtado, J. M. dos S. (2014). **Comparação de Métodos e Ferramentas de Análise de Impacto de Ciclo de Vida, aplicados a processos químicos alternativos.** Universidade Técnico de Lisboa, Portugal. disponível em <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146463140/Dissertacao%20Jose%20Furtado%2063596.pdf>, acesso em nov/2021.
 24. Golsteijn, L, Lessard, L., et al., (2018). **Developing Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) for Shampoos: The Basis for Comparable Life Cycle Assessments.** Integrated Environmental Assessment and Management - Vol. 14, number 5. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ieam.4064>. Acesso em: maio/2022.
 25. Gomes, J. A. M. (2015). **A aplicação da ISO 14001 em Portugal e consequente relevância da auditoria interna.** Instituto Politécnico de Coimbra. Disponível em : <http://hdl.handle.net/10400.26/13256>. Acesso em set/2021.
 26. IPCC, (2007). **Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
 27. ISO. (2010). **ISO 14042:2000 Environmental management — Life cycle assessment — Life cycle impact assessment.** Disponível em <https://www.iso.org/standard/52075.html>. Acesso em jul/2021.
 28. ISO 14040. (2008). **Norma Portuguesa: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo**

de Vida - Princípios e Enquadramentos.

29. ISO 14044. (2010). **Norma Portuguesa: Gestão Ambiental – Requisitos e Linhas de Orientação.**
30. Jolliet, O., Saadé-Sbeih, M., Shaked, S., Jolliet, A., & Crettaz, P. (2015). **Environmental life cycle assessment.** In PCI-Paint and Coatings Industry. Boca Raton: Taylor & Francis Group. Disponível em : <https://doi.org/10.1007/bf02978949>. Acesso em set/2021.
31. Mendes, N. C. (2013). **Métodos e modelos de caracterização para avaliação de impacto do ciclo de vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil.** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. doi:10.11606/D.18.2013.tde-15102013-085143. www.teses.usp.br. Acesso em nov/2021.
32. Mendes, N. C., Bueno, C., & Ometto, A. R. (2016). **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos.** Production, 26(1), 160–175. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.153213>. Acesso em set/2021.
33. Meyer, S. T. (1994). **O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública.** Cadernos de Saúde Pública, 10(1), 99–110. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x1994000100011>.
34. Neves, J. L. G. (2016). **Aplicação da ACV-Análise Ciclo de Vida, de Soluções Construtivas Simples de Alvenaria.** Universidade do Porto. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/86681>. Acesso em out/2021.
35. Pimentel, M. (2012). **Gestão de resíduos produzidos num sistema de drenagem e tratamento de águas residuais.** Instituto Politecnico do Porto. Disponível em: <http://handle.net/10400.22/4493>. Acesso em jun/2022.
36. Pinto, A. (2005). **Sistemas de Gestão Ambiental–Guia para a sua implementação (1ª).** Lisboa: Edições Sílabo. ISBN: 978-972-618-690-8.
37. Pituco, M. M. (2017). **Sustentabilidade Ambiental de um Sistema de Tratamento de Águas Residuais Urbanas: Uma Avaliação do Ciclo de Vida Mateus.** Instituto Superior de Bragança. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/149344>. Acesso em dez/2021.
38. Remmen, A., Jensen, A. A., & Frydendal, J. (2007). **Life Cycle Management: A Business Guide to Sustainability.** ISBN: 978-92-807-2772-2 DTI/0889/PA.
39. Roberts, G., & Shaw, M. (2016). **ISO 14001 Standard: Lifecycle thinking.** Disponível em: <https://www.shponline.co.uk/legislation-and-guidance/the-new-iso->

- 14001-lifecycle-thinking/. Acesso em dez/2021.
40. RTI. (2010). **Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories: Solid Waste Disposal Wastewater Treatment Ethanol Fermentation.** Disponível em: https://www3.epa.gov/ttnchie1/efpac/ghg/GHG_Biogenic_Report_draft_Dec1410.pdf. Acesso em fev/2021.
 41. Santos, A. B. dos. (2019). **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais.** Fortaleza: Imprece. Disponível em: <http://www.posdeha.ufc.br/livro-caracterizacao-tratamento-e-gerenciamento-de-subprodutos-de-correntes-de-esgotos-segregadas-e-nao-segregadas-em-empresendimentos-habitacionais/>. Acesso em: set/2021.
 42. *SimaPro*. (2022). **Software LCA para sustentabilidade baseada em fatos.** Disponível em <https://simapro.com/about/>, acesso em jul/2021.
 43. Simões, C., Rosmaninho, I., & Henriques, A. G. (2008). **Guia para a Avaliação de Impacte Ambiental de Estações de Tratamento de Águas Residuais.** Disponível em: https://apambiente.pt/sites/default/files/_SNIAMB_A_APA/Publicacoes/Guias_Manuais/guia_ETAR_final.pdf. Acesso em set/2021.
 44. Sousa, A. L. S. (2009). **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.** Universidade do Porto. <https://hdl.handle.net/10216/60534>. Acesso em jan/2022.
 45. Venkatesh, G., & Brattebø, H. (2011). **Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway).** *Energy*, 36(2), 792–800. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.040>.
 46. Vieira, I. (2021). **Environmental and Social Impacts of Cork Products and Forest Bioenergy.** University of Lisbon. Disponível em: <https://www.amorim.com/en/sustainability/environmental/>. Acesso em: set/2021.