

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2019/2020

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM RADIADOR ELÉTRICO

ISABELLA TONIAL TOMASI

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri:

Cidália Botelho

(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico:

Belmira de Almeida Ferreira Neto

(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais da Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto)

Orientador na empresa:

Carla Gonçalves

(Diretora Geral da WEEECYCLE - Associação de Produtores de EEE)

Setembro, 2020

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2019/2020

Tel. +351-22-508 1673

✉ catc@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - 2019/2020 - Departamento de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM RADIADOR ELÉTRICO

AGRADECIMENTOS

Dedico esta tese e agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, me apoiaram e me motivaram.

Aos meus pais, Maria Isabel e Luís Alberto, sem os quais não poderia ter chegado até aqui, pelo apoio incondicional, pelos conselhos, por confiarem em mim e por sempre vibrarem a cada conquista minha. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu namorado João Paulo, pelo apoio, incentivo e positividade de sempre. Por me fazer sentir capaz de tudo e por me apresentar pessoas incríveis. Agradeço aos seus pais, Graça e Manuel, por também fazerem do Porto o meu lar, por vibrarem com as minhas conquistas e por serem a minha família portuguesa.

Ao meu irmão Pedro e à minha cunhada Raíssa, por incentivarem esta aventura desde o início. Obrigada por dividirem o vosso sonho comigo.

Aos meus avós Rita e Alberto, por se dedicarem às novas tecnologias com o objetivo de se manterem próximos. Por não falharem um único dia o envio do “Bom dia e um *strucon*”. Vocês são a base da nossa família.

À minha “*Fat Family*”, pelo apoio incondicional. Por estarem ao meu lado sempre. Obrigada. São a melhor família que eu poderia ter.

À melhor turma da ambiental da UPF, principalmente aos amigos Vanieli, Karen, Thalison e Jonatas, pela troca de conhecimentos e pelas experiências fora da Universidade. À minha amiga Elisa, que iniciou esta caminhada connosco, obrigada por todos os ensinamentos de vida e pela inspiração. Ao meu amigo Diego, que se infiltrou neste grupo para nunca mais sair. Obrigada pela amizade e pelas conversas.

Ao Professor Iziqel Cecchin, pelas palavras de incentivo na altura de buscar esta nova experiência. Nunca esquecerei. Esta conquista também é sua.

À Gabi e à Elis, por estarem comigo diariamente, mesmo a quase 9.000 km de distância. Obrigada pelo apoio, incentivo e inspiração.

Aos meus cariocas preferidos, Luiz e Bia, por tornarem tudo mais simples, pelos desabafos quase diários, pelo apoio e incentivo.

À Professora Belmira Neto, pela disponibilidade e paciência demonstradas durante a execução da tese. Pela exigência e conhecimentos transmitidos. Pelas sugestões, orientação e motivação durante todo o percurso. Muito obrigada.

Às Engenheiras Carla Gonçalves e Carolina Duque, da empresa “WEEECYCLE”, por todo empenho, simpatia e eficiência. Um agradecimento especial por resolverem de forma rápida o pequeno contratempo com o tema desta tese.

À Engenheira Ana Duarte, da empresa “FOURSTEEL Lda.”, pelo auxílio, disponibilidade e paciência. Por tornar a realização desta tese possível.

A todos, o meu muito obrigada! Esta conquista é nossa!

RESUMO

A saúde das populações está diretamente ligada à temperatura, ventilação e renovação do ar do ambiente em que se inserem. Ao longo dos anos, a mortalidade causada pelo frio tem vindo a aumentar como consequência das variações de temperatura provocadas pelas alterações climáticas.

Na procura de um maior conforto térmico, os portugueses, ao longo dos últimos anos, têm aumentado o consumo de equipamentos aquecedores que são, na sua maioria, equipamentos elétricos. O aumento deste consumo influencia diretamente o aumento da sua produção. Desta forma, dada a importância destes equipamentos e a carência de estudos relacionados com o tema, é importante avaliar quais são as consequências ambientais inerentes ao ciclo de vida destes aquecedores.

Nesta dissertação, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é aplicada ao radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, produzido pela empresa “FOURSTEEL Lda.”, de forma a avaliar o seu impacto ambiental. O método estudado inclui diversas etapas: “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”; “Transporte”; “Fabricação”; “Utilização” e “Fim de Vida”. Segundo a mesma metodologia, os dados referentes a cada uma das etapas incluídas no sistema são inventariados com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e no consumo de recursos naturais associados. Os dados utilizados foram estimados de acordo com as informações disponibilizadas pela empresa fabricante do equipamento. Recorrendo ao *software SimaPro* versão 8.5.2, com a utilização da metodologia de avaliação de impactes *CML-IA baseline* (versão 3.04), é avaliado o potencial impacto ambiental de cada uma das fases supracitadas para cada uma das seguintes onze categorias: “Depleção Abiótica”, “Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis)”, “Aquecimento Global (GWP 100a)”, “Depleção da Camada de Ozono”, “Toxicidade Humana”, “Ecotoxicidade em Água Doce”, “Ecotoxicidade Marinha”, “Ecotoxicidade Terrestre”, “Oxidação Fotoquímica”, “Acidificação” e “Eutrofização”.

Os resultados obtidos demonstram que a fase de “Utilização” do equipamento é a que mais contribui para a maioria das categorias de impacto. Através da consideração dos principais países importadores do radiador (nomeadamente, Alemanha, Bélgica, Espanha, França, Holanda, Rússia e Reino Unido) e considerando as mesmas condições de instalação e o mesmo período de tempo de vida dos equipamentos, conclui-se que a Alemanha é o país que apresenta maiores impactes ambientais associados à fase de “Utilização” do radiador elétrico.

PALAVRAS-CHAVE: Radiador Elétrico, Avaliação do Ciclo de Vida, SimaPro, Equipamentos Elétricos e Eletrónicos, Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos, Impacte Ambiental.

ABSTRACT

Population health is directly linked to temperature conditions, ventilation and air renewal. Over the years, due to climate change and its effects on global temperature, mortality caused by cold has been increasing.

Seeking greater thermal comfort, the Portuguese, over the last few years, have increased the consumption of heating equipment, which are mostly electrical equipment. The increase in this consumption directly influences the increase in production. Therefore, given the importance of these equipment and the lack of studies related to the subject, it is important to assess what are the environmental consequences inherent in the life cycle of such heaters.

In this dissertation, the Life Cycle Assessment (LCA) methodology is applied to the “*Steel Glam 800*” electric radiator, produced by “FOURSTEEL Lda.”, in order to assess its environmental impact. The studied method includes the stages of: “Extraction of Raw Materials and Component Production”; “Transport”; “Manufacturing”; “Use”; and “End-of-life”. According to the same methodology, the data for each of the steps included in the system are inventoried on the basis of the identification and quantification of pollutant emissions and the consumption of associated natural resources. The used data was estimated according to the information provided by the equipment manufacturer.

Using *SimaPro* software version 8.5.2 and the CML-IA baseline impact assessment methodology (version 3.04), the potential global environmental impact is evaluated for each of the eleven categories of impact: “Abiotic Depletion”; “Abiotic Depletion (Fossil Fuels)”; “Global Warming (GWP 100a)”; “Ozone Layer Depletion”; “Human Toxicity”; “Freshwater Ecotoxicity”; “Marine Ecotoxicity”; “Terrestrial Ecotoxicity”; “Photochemical Oxidation”; “Acidification”; and “Eutrophication”.

The results obtained show that the “Use” phase of the equipment is the most impacting. When comparing this phase among the main importing countries of the product (namely Germany, Belgium, Spain, France, Netherlands, Russia and United Kingdom), considering the same conditions of the installation and life time of the radiator, Germany is the country with the greatest environmental impacts associated with the “Use” phase of the electric radiator.

KEYWORDS: Electric Radiator, Life Cycle Assessment, SimaPro, Electrical and Electronic Equipment, Waste Electrical and Electronic Equipment, Environmental Impact.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE GERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE QUADROS	xiii
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS.....	xv
 1	 1
INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE	7
2	9
EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS E O AMBIENTE.....	9
2.1. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS (EEE) E RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÓNICOS (REEE)	9
2.1.1. LEGISLAÇÃO VIGENTE	10
2.1.2. COMPOSIÇÃO DOS EEE E REEE	12
2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS RADIADORES ELÉTRICOS.....	12
2.2.1. VARIEDADE DOS RADIADORES	13
2.2.2. FUNCIONAMENTO DOS RADIADORES ELÉTRICOS	15
2.2.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASSOCIADA AO CICLO DE VIDA DOS RADIADORES ELÉTRICOS	15
2.2.4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE RADIADORES ELÉTRICOS	17
2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – NORMAS PARA A REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	20
3	25
FASES DO CICLO DE VIDA DO RADIADOR ELÉTRICO	25
3.1. DESCRIÇÃO DA “WEEECYCLE – ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE EEE”	25
3.2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA NACIONAL PRODUTORA DO EQUIPAMENTO DO RADIADOR ELÉTRICO: “FOURSTEEL® LDA.”.....	26
3.3. DESCRIÇÃO DAS FASES DO CICLO DE VIDA DO RADIADOR ELÉTRICO.....	26
3.3.1. EXTRAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUÇÃO DOS COMPONENTES.....	27
3.3.2. TRANSPORTE	35
3.3.3. FABRICAÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO	37

3.3.4.	FIM DE VIDA.....	39
4		43
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO RADIADOR ELÉTRICO		43
4.1.	INTRODUÇÃO	43
4.2.	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA À PRODUÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO	43
4.2.1.	DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO	43
4.2.2.	UNIDADE FUNCIONAL E FRONTEIRAS DO SISTEMA.....	44
4.3.	ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	47
4.3.1.	MATÉRIA-PRIMA	47
4.3.2.	TRANSPORTE	48
4.3.3.	FABRICAÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO	50
4.3.4.	UTILIZAÇÃO	51
4.3.5.	FIM DE VIDA.....	52
5		55
RESULTADOS E DISCUSSÃO		55
5.1.	RESULTADO E AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS	55
5.2.	IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO IMPACTE	63
6		69
CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PERSPETIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS		69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		73
ANEXOS		81
ANEXO I – PLANTA E CORTES DA INSTALAÇÃO SANITÁRIA		81
ANEXO II – VALORES ABSOLUTOS REFERENTES À COMPARAÇÃO DA FASE DE “UTILIZAÇÃO” NOS PRINCIPAIS PAÍSES DE EXPORTAÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO “STEEL GLAM 800”.		83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variação mensal da mortalidade devido ao frio para vários países. Valores médios referente a um período de 2-57 anos, de acordo com cada país.....	3
Figura 2: Taxa de posse de equipamentos de aquecimento por tipo de habitação em Portugal. 2011.....	5
Figura 3: Média de Recolha de REEE pelos países membros da UE. 2014.....	11
Figura 4: Frações dos componentes mais comuns dos REEE.....	12
Figura 5: Radiador Elétrico "Steel Glam 800".	14
Figura 6: Transmissão de calor no radiador elétrico.	15
Figura 7: Fontes de energia para a produção de eletricidade. Portugal 2019.....	16
Figura 8: Entradas e saídas para cada uma das fases do ciclo de vida de um produto... 20	
Figura 9: Fases da metodologia de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida.	21
Figura 10: Matérias-primas e processos usados na fabricação do aço inox.	29
Figura 11: Resistência elétrica.....	30
Figura 12: Processo de obtenção do óleo lubrificante.....	35
Figura 13: Esquema de fabricação do radiador elétrico na empresa "FOURSTEEL Lda."	37
Figura 14: Destinos dos óleos lubrificantes usados.....	42
Figura 15: Fronteiras do sistema.	46
Figura 16: Transportes.....	49
Figura 17: Processo de regeneração dos óleos lubrificantes usados.	53
Figura 18: Impactes ambientais associados ao ciclo de vida do radiador elétrico "Steel Glam 800" de acordo com a metodologia CML-IA baseline versão 3.04, resultados da caracterização no SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017).....	57
Figura 19: Comparação do Impacte dos vários materiais na fase de "Transporte" de acordo com a metodologia CML-IA baseline versão 3.04, (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017)).....	60
Figura 20: Comparação da fase de "Utilização" entre os países de exportação do radiador "Steel Glam 800".	62
Figura 21: Comparação impactes da fase de "Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes" de acordo com a metodologia CML-IA baseline versão 3.04, (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017)).	64

Figura 22: Comparação da fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes” entre os possíveis materiais usados para a substituição do aço inox 304.	66
Figura 23: Esquema representativo do tratamento de águas sugerido para a empresa “FOURSTEEL Lda.”	68

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1: Condições das habitações em diferentes países, no ano de 2003, em percentagem das habitações.....	4
Tabela 2: Revisão bibliográfica de estudos de ACV sobre radiadores elétricos e equipamentos similares.....	18
Tabela 3: Processos e matérias-primas incluídos na produção do aço inox.	28
Tabela 4: Materiais que constituem a resistência elétrica e seus respectivos países de origem.	31
Tabela 5: Minerais utilizados na resistência elétrica.	32
Tabela 6: Características Radiador Elétrico “Steel Glam 800”.	44
Tabela 7: Componentes do radiador elétrico “Steel Glam 800” e suas respectivas massas, em kg.....	44
Tabela 8: Inventário da fase de "Transporte".	50
Tabela 9: Inventário fase de “Fabricação” do radiador elétrico “Steel Glam 800” na empresa “FOURSTEEL Lda.” Valores reportados à unidade funcional (UF=1 radiador elétrico).	51
Tabela 10: Inventário da fase de ”Utilização” do radiador elétrico “Steel Glam 800” numa moradia modelo.	52
Tabela 11: Inventário fase de ”Fim de Vida” do radiador elétrico “Steel Glam 800”. ..	52
Tabela 12: Inventário fase de “Fim de Vida” do óleo lubrificante, associado ao processo de regeneração.	54
Tabela 13: Descrição das categorias de impactes ambientais.....	56
Tabela 14: Resultados dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida do radiador elétrico, etapa da caracterização.	58
Tabela 15: Fontes de energia para a produção de eletricidade nos países de exportação do radiador elétrico “Steel Glam 800” nos anos de 2012 e 2018.	61
Tabela 16: Materiais passíveis de serem utilizados na fabricação do radiador (volume = 7,0E-04 m ³).	65
Tabela II.1: Comparação etapa de "Utilização" nos diferentes países de exportação do radiador "Steel Glam 800".	83

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

°C – Graus Celsius
Cm – Centímetros
Cm³ - centímetros cúbicos
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Dióxido de Carbono
g – Gramas
g/cm³ - gramas por centímetro cúbico
H₂SO₄ – Ácido Sulfúrico
Kg – Quilogramas
Kg/hab/dia - Quilogramas por habitante por dia
Kg/m³ - Quilogramas por metro cúbico
Km – Quilómetros
KW – Quilowatt
KWh– Quilowatt-hora
L – Litros
Lda – Limitada
Mm – Milímetros
MWh – Megawatt-hora
m² - Metros Quadrados
m³ - Metros cúbicos
nº - número
NO – Monóxido de Azoto
NO₂- Dióxido de Azoto
O₂ – Oxigénio
Pt- Pontuação
SO₂ – Dióxido de Enxofre
Tkm - tonelada-quilómetro
V - Volt
W – Watt

SIGLAS

3E – *Energy, Economy, Environment*

a.C. – Antes de Cristo

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AOD – *Argon Oxygen Decarburization*

ASHP – Bomba de calor de fonte de ar

CE – Comissão Europeia

DGAE – Direção Geral das Atividades Económicas

ECHA – European Chemicals Agency

EEE – Equipamentos Elétricos Eletrónicos

GEE – Gases de Efeito Estufa

GWP – Potencial de Aquecimento Global

IEC – Comissão Eletrónica Internacional

IP – Grau de Proteção

PBB – Bifenilos polibromados

PBDE – Éter de difenilo polibromado

PCI – Placa de Circuito Interno

PCB – Bifenilpoliclorado

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

REEE – Resíduos de Equipamentos Elétricos Eletrónicos

SGRU – Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos

UE – União Europeia

UF – Unidade Funcional

VOD – *Vacuum Oxygen Decarburization*

ACRÓNIMOS

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BOF – *Basic Oxygen Furnace*

ETARI – Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais

ISO – International Organization for Standardization

MIT - Metilisotiazolinona

NOx – Óxidos de Azoto

OLU – Óleos Lubrificantes Usados

PAG – Potencial de Aquecimento Global

RAP – Responsabilidade Alargada do Produtor

RoHS – *Restriction of Hazardous Substances*

SIGREEE- Sistema Integrado de Resíduos Elétricos e Eletrónicos

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

É de conhecimento geral que as pessoas passam grande parte dos seus dias em locais fechados, como em casa, no trabalho ou desfrutando de momentos de lazer. Por este motivo torna-se necessário e imprescindível criar condições de conforto no interior destas edificações, no que se refere a factores como a temperatura, a ventilação e a renovação do ar. Alguns factores como a idade avançada de imóveis com carências construtivas e o crescimento populacional acelerado das grandes cidades portuguesas, têm provocado uma necessidade rápida de execução de novos projetos construtivos. Esta urgência faz com que os imóveis sejam executados de forma pouco planeada e precipitada, sem grandes estudos sobre os seus possíveis comportamentos energéticos e térmicos [1], sendo necessária a utilização de equipamentos que produzam estas condições de conforto. Além disso, o facto de Portugal ser um país com uma economia de poucos recursos e com pouca margem de investimento, faz com que se torne pouco propenso a grandes melhorias no setor da construção.

O primeiro documento legal que impôs requisitos aos projetos de construção de novos edifícios e de grandes remodelações, para garantir o cumprimento das condições de conforto térmico, foi aprovado no ano de 1990. Após alguns anos, foi substituído pelo Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril [2] que afirma que *“As condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento”*¹.

O Decreto-Lei nº 243/86 de 20 de Agosto aprova o regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritórios e Serviços, e afirma que os locais de trabalho devem oferecer boas condições de temperatura e humidade, de modo a proporcionar o bem-estar e defender a saúde dos trabalhadores. Ainda, cita que *“a temperatura dos locais de trabalho deve, na medida do possível, oscilar entre 18°C e 22°C, salvo em determinadas condições climáticas, em que poderá atingir os 25°C”*². Para atingir estas condições, podem ser utilizados dispositivos artificiais que não sejam poluentes, sendo recomendados por este Decreto-Lei os sistemas

¹ Diário da República. “Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril”. Capítulo V. Artigo 14º. Pp 2474.

² Diário da República. “Decreto-Lei nº 243/86 de 20 de Agosto”. Secção II. Artigo 11º. Pp 2101.

de ar condicionado, os radiadores, os convectores ou as tubagens de aquecimento central [3].

Num contexto ambiental e histórico, as alterações climáticas e os seus efeitos na temperatura global e na saúde humana têm sido analisadas ao longo dos anos. As primeiras associações entre o clima e a saúde humana foram realizadas em 2697 a.C. pelo Imperador chinês Huang Ti, que relatou os primeiros factos relacionando o clima e saúde da população do seu país [4]. No século IV a.C., na Europa, Hipócrates descreveu a envolvente ambiental e a sua relação com a saúde no “Tratado *De ares, águas e lugares*” e relacionou alguns elementos do clima, como as condições térmicas e exposição solar, ao estado de saúde dos residentes [5].

Relativamente ao clima, sendo um país com uma pequena extensão territorial, Portugal apresenta muita variação nas temperaturas mínimas entre os seus municípios. Em 2019, no distrito de Bragança foi registada a menor temperatura do Inverno português, $-0,6^{\circ}\text{C}$. No município do Porto, a menor temperatura registada foi de $5,9^{\circ}\text{C}$. Já os distritos do Sul do país, Lisboa e Faro, apresentaram as temperaturas mínimas mais elevadas deste Inverno, tendo sido registados, respetivamente, $8,4^{\circ}\text{C}$ e $7,5^{\circ}\text{C}$ [6]. Embora os Invernos portugueses não sejam muito rigorosos e apresentem temperaturas mais suaves, Portugal revela uma alta taxa de mortalidade provocada pelo frio. Este facto pode ser explicado em virtude da ausência de isolamento térmico, de sistemas ineficientes de aquecimento e do alto custo energético das construções portuguesas.

Alguns estudos identificaram os limiares térmicos onde os índices de mortalidade aumentam em cada país. Estes índices correspondem a temperaturas inferiores a 5°C e superiores a 30°C . O frio tem efeito direto na mortalidade, independentemente da saúde dos indivíduos, mas as mortes causadas pelas baixas temperaturas estão associadas principalmente às doenças cardíacas e respiratórias [7]. A Figura 1 revela que alguns países europeus, como Espanha, Itália e Grécia, entre os meses de Novembro e Abril, ou seja, períodos mais frios, registam as maiores taxas de mortalidade [8].

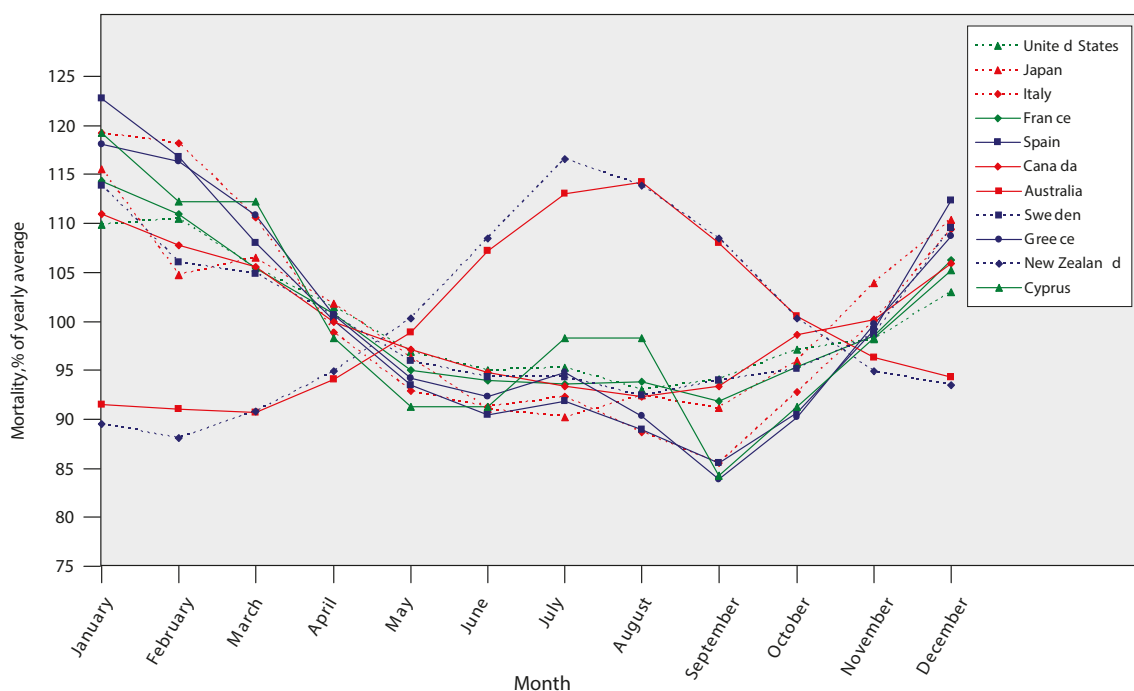


Figura 1: Variação mensal da mortalidade devido ao frio para vários países. ³Valores médios referente a um período de 2-57 anos, de acordo com cada país

A taxa de mortalidade relacionada com o frio pode estar associada a diversos factores. Em primeiro lugar, destacam-se os factores macroeconómicos, sendo facilmente perceptível que os países com menor PIB *per capita* apresentam as maiores taxas de mortalidade durante o Inverno. Prova disso são países como a Grécia, a Espanha, Portugal e a Irlanda, que são abrangidos pelo Fundo de Coesão Europeu e revelam altas taxas de mortalidade. Além deste factor, o baixo fornecimento de programas públicos de saúde e factores socioeconómicos, como a pobreza e a desigualdade social, estão ligados ao aumento da taxa mencionada. Nestes dois factores, Portugal figura novamente, em conjunto com a Irlanda e Grécia, na lista dos países com maiores carências. Um dos principais factores associado a este fenómeno é a ineficiência térmica das habitações, tendo os países do sul europeu, especialmente Portugal e Grécia, as menores taxas de utilização de isolamento nas paredes, tetos e pisos, e o menor recurso a vidros duplos [9], conforme apresentado na Tabela 1.

³ Falagas, M., et al. "Seasonality of mortality: the September phenomenon in Mediterranean countries". Canadian Medical Associations Journal. Setembro de 2009. Pp 2.

Tabela 1: Condições das habitações em diferentes países, no ano de 2003, em percentagem das habitações⁴.

País	Isolamento das paredes (%)	Isolamento do teto (%)	Isolamento do piso (%)	Vidro duplo (%)
Portugal	6	6	2	3
Grécia	12	16	6	8
Bélgica	42	43	12	62
França	68	71	24	52
Alemanha	24	42	15	88
Holanda	47	53	27	78
Inglaterra	25	90	4	61

Estima-se que a cada ano, na Europa, ocorram 250 mil excessos de mortes durante o Inverno [10]. Entre os países europeus, conforme demonstrado, Portugal apresenta todos os factores propícios ao aumento do número de mortes associados ao frio, sendo identificado como o país que apresenta a maior taxa de variação de mortalidade, aumentando, em épocas de Inverno, cerca de 28% [11].

O conforto térmico mostra-se essencial para preservar a saúde da população, podendo ser obtido a partir de diversos equipamentos e sistemas, tal como através do uso de biomassa, gases de combustão ou eletricidade. Existem diversos tipos de equipamentos elétricos usados com esta finalidade. Um dos mais utilizados é o ar-condicionado que revela boa eficiência em relação à geração de calor e consumo energético. É, também, bem visível o recurso a aquecedores elétricos móveis que apresentam, desde logo, a desvantagem de retirar a humidade do ambiente, podendo tornar a atmosfera seca e desconfortável. Além destes, existem aparelhos fixos, como os radiadores elétricos, que funcionam através de uma resistência elétrica que aquece o fluido térmico e este, ao circular pela estrutura do equipamento, aquece-a. A estrutura, já aquecida, troca calor com o ambiente circundante, aquecendo o espaço. Um dos sistemas mais comuns é o dos radiadores ligados ao aquecimento central, que promove o aquecimento do ambiente através da passagem de água quente pela sua estrutura e da troca de calor com a atmosfera envolvente [12].

Entre os 27 países da União Europeia, Portugal é o quinto país em que a população apresenta maiores dificuldades em manter as suas habitações confortáveis durante os períodos de Inverno. De acordo com dados de 2017, 20,4% dos portugueses não eram capazes de aquecer as suas casas, o que equivale, em valores absolutos, a aproximadamente 2 milhões de habitantes. Esta falta de eficácia deve-se aos altos consumos energéticos dos equipamentos e ao alto custo da energia elétrica no país [13]. Mesmo que o valor apresentado seja consideravelmente alto, comprova-se, através de um

⁴ Healy, J.D.; “Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors”. Research report: J Epidemiol Community Health, 2003, 57: 784-789. Pp. 787.

estudo realizado nos anos de 2007 e 2012, que o número de habitações com equipamentos como radiadores elétricos, aquecedores a gás e similares, quase triplicou. No ano de 2007, somente 4,7% das habitações portuguesas apresentavam estes equipamentos, enquanto que no ano de 2012, mais de 13% possuíam este tipo de comodidade [14] [15]. Desta forma, é possível afirmar que o consumo de radiadores elétricos em Portugal vem aumentando ao longo dos últimos anos.

Conforme ilustrado na Figura 2, a população portuguesa tem preferência pelo recurso a equipamentos elétricos para promover o aquecimento das habitações, categoria na qual os radiadores elétricos estão incluídos. Independentemente do tipo de habitação, unifamiliar ou coletiva, os equipamentos mais utilizados para atingir o conforto térmico são os elétricos, seguidos das lareiras abertas para habitações unifamiliares e aquecimento central a partir de gás natural para as habitações coletivas.

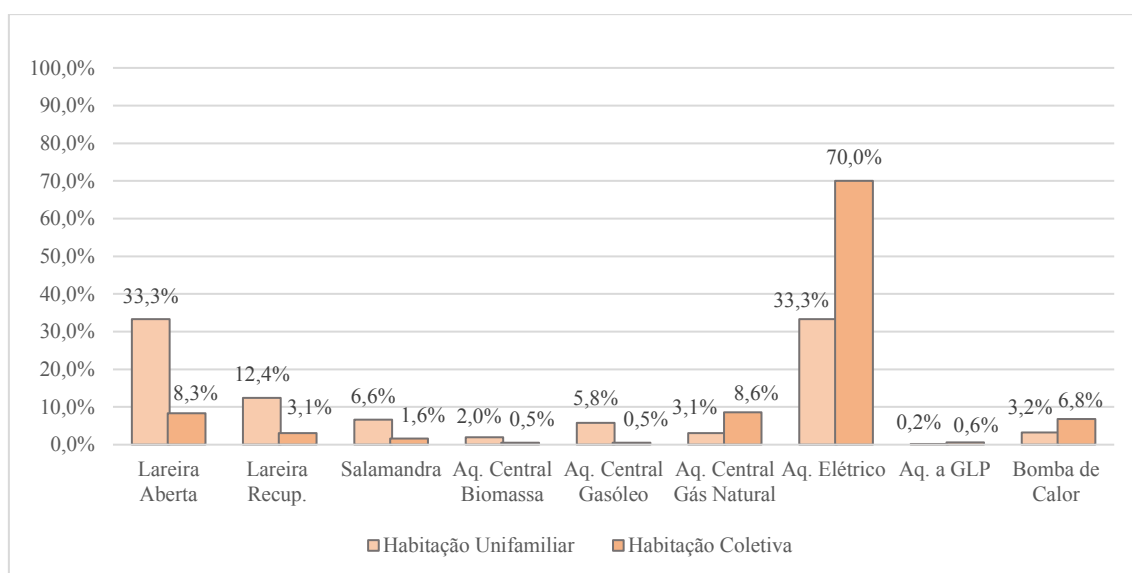


Figura 2: Taxa de posse de equipamentos de aquecimento por tipo de habitação em Portugal. 2011⁵.

Como consequência do aumento da procura de aquecedores elétricos, surge o aumento da produção destes equipamentos, que resulta em impactes ambientais ao longo de todo o ciclo de vida dos mesmos. Os radiadores elétricos a óleo, categorizados, segundo a Diretiva n.º. 2012/19/UE de 4 de Julho, “Equipamentos de Regulação de Temperatura”, são considerados meios indispensáveis e cada vez mais utilizados nas habitações portuguesas.

Mesmo que existam alguns estudos referentes aos radiadores ligados aos sistemas de aquecimento central, radiadores convectores e alguns referentes a outros aquecedores elétricos, há a ausência de estudos que tenham como foco principal o radiador elétrico que funciona com fluido térmico. Estes equipamentos são produzidos através de

⁵ Adaptado de: PALMA, P. “Mapeamento das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ao nível das freguesias em Portugal: implicações para a análise do conforto térmico nas habitações.” Universidade Nova de Lisboa, 2017. Pp. 14.

diferentes matérias-primas, consomem eletricidade e funcionam a partir da circulação de um óleo mineral derivado do petróleo, que causa impactes ambientais desde a sua extração até ao seu fim de vida.

Tratando-se de um equipamento cada vez mais consumido pelos portugueses, é fundamental o desenvolvimento de um estudo para avaliar os impactes ambientais associados ao ciclo de vida destes aparelhos, com o objetivo de compreender e analisar os processos de produção, incluindo as fases de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, “Transporte”, “Fabricação”, “Utilização” e “Fim de Vida”, de modo a alcançar a melhoria das fases do processo produtivo e desenvolver soluções para a redução dos impactes em todas as fases do seu ciclo de vida.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar os impactes ambientais associados ao ciclo de vida do radiador elétrico modelo “*Steel Glam 800*”, produzido pela empresa “FOURSTEEL Lda”, utilizando a metodologia de “Avaliação do Ciclo de Vida” (ACV), que permite uma abordagem completa de toda a cadeia produtiva, do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*), onde são analisados os impactes ambientais desde a extração das matérias-primas até o fim de vida do radiador elétrico. Esta abordagem possibilita a avaliação completa das diversas fases da vida destes equipamentos, sendo esta extremamente necessária e importante dada a reduzida quantidade de estudos existentes relacionados com o tema.

As informações utilizadas no desenvolvimento desta dissertação foram disponibilizadas pela empresa fabricante de radiadores, “FOURSTEEL Lda.” em cooperação com a “WEEECYCLE”, uma entidade gestora de resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos.

O inventário do ciclo de vida compreende todas as fases associadas à produção do radiador. Cada uma das etapas do inventário é alvo de um estudo de avaliação dos impactes ambientais, com recurso à utilização do *software SimaPro* versão 8.5.2, sendo usada a metodologia de avaliação *CML-IA baseline* versão 3.04 conduzida através das etapas de “Caracterização” e “Classificação”.

As contribuições de cada etapa do ciclo de vida são aferidas para as várias categorias de impacto ambiental, possibilitando a identificação das etapas mais impactantes e, através destas, a indicação de possíveis melhorias no que diz respeito ao ciclo de vida do radiador elétrico.

1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução

Este capítulo tem como objetivo enquadrar o tema, definir os objetivos do trabalho, a estrutura e a organização dos capítulos seguintes.

- Capítulo 2 – Equipamentos Elétricos e Eletrônicos e o Ambiente

No segundo capítulo, são apresentadas as características gerais dos equipamentos elétricos e eletrônicos nos quais se enquadra o radiador elétrico. Com o auxílio da legislação vigente é realizada uma breve descrição sobre os equipamentos elétricos e eletrônicos como também sobre os resíduos provenientes dos mesmos. Além disso, é realizada a caracterização dos radiadores, tanto dos que se encontram ligados ao sistema de aquecimento central quanto dos elétricos, e descritas as problemáticas ambientais associadas a estes equipamentos. Neste mesmo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os estudos de “Avaliação do Ciclo de Vida” já realizados para equipamentos similares e citadas as Normas ISO da “Avaliação do Ciclo de Vida” e a sua metodologia.

- Capítulo 3 – Fases do Ciclo de Vida do Radiador Elétrico

No capítulo 3 é realizada a apresentação da “WEEECYCLE - Associação de produtores de EEE” e da empresa “FOURSTEEL Lda.”. Posteriormente, no seguimento desta pequena introdução, são descritas as fases do ciclo de vida do equipamento, desde a extração da matéria-prima necessária para o seu fabrico até ao seu fim de vida.

- Capítulo 4 – Avaliação do Ciclo de Vida do Radiador Elétrico

O quarto capítulo Exibe uma breve introdução ao tema e descreve a metodologia utilizada no presente estudo focando o “Objetivo e Escopo”, a “Unidade Funcional” e as “Fronteiras do Sistema”. Inclui também a análise do inventário a partir das bases de dados disponíveis no *software SimaPro* e dos dados disponibilizados pela empresa “FOURSTEEL Lda.”.

- Capítulo 5 – Resultados e Discussão

No capítulo 5 são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos para as diferentes categorias de impacto ambiental relativas às fases do ciclo de vida do radiador elétrico. São aferidas as contribuições de cada etapa do ciclo de vida para as várias categorias, de modo a determinar quais as fases com maiores impactos ambientais. Com base nas conclusões deste estudo, são sugeridas algumas medidas preventivas que possam reduzir os danos associados ao ciclo de vida do radiador estudado.

- Capítulo 6 – Conclusões, Limitações e Perspectivas para Trabalhos Futuros

Por fim, são apresentadas as conclusões com base nos resultados obtidos ao longo do trabalho, as limitações a que o mesmo é sujeito e a apresentação de propostas e sugestões para trabalhos futuros.

2

EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS E O AMBIENTE

2.1. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (EEE) E RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (REEE)

O crescimento populacional e o desenvolvimento das sociedades contribuem para a mudança nos padrões de consumo que, consequentemente, provocam o aumento da produção de bens. Este aumento ocorre, principalmente, quando se trata de equipamentos elétricos e eletrônicos, já que são, na sua maioria, equipamentos ligados à tecnologia, que sofre alterações e é desenvolvida diariamente. Estes equipamentos estão presentes nos mais diversos momentos do cotidiano e podem ser encontrados nos mais distintos setores: saúde, educação, segurança, comunicação e habitação.

A velocidade do avanço tecnológico faz com que este mercado continue em expansão, tornando os seus ciclos de inovação cada vez mais curtos e a substituição destes produtos cada vez mais acelerada, trazendo como consequência o aumento da geração de resíduos elétricos e eletrônicos. Ao longo do presente ano de 2020, prevê-se que a quantidade de REEE produzida pelos países membros da União Europeia seja de cerca de 12,3 milhões de toneladas que, não sendo estas tratadas devidamente, podem causar inúmeros problemas ambientais [16], já que são constituídos por materiais muito diversificados e complexos, onde são encontradas substâncias perigosas.

Segundo o Artigo 3º da Diretiva nº 2012/19/ EU de 4 de Julho, os equipamentos elétricos e eletrônicos, designados EEE, são “(...) os equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1 000 V para corrente alterna e 1 500 V para corrente contínua”⁶[17], e os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, REEE, são definidos, segundo o Artigo 3º da mesma Diretiva como “equipamentos elétricos e eletrônicos que constituem resíduos na aceção do artigo 3º, ponto 1, da Diretiva 2008/98/CE, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte integrante do produto no momento em que este é descartado”⁷ [18].

⁶ Jornal Oficial da União. “Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de Julho. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE)”. Artigo 3º. Pp 43.

⁷ Jornal Oficial da União Europeia. “Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos”. Artigo 3º. Pp 43.

2.1.1. LEGISLAÇÃO VIGENTE

Nesta secção é abordada a legislação vigente para os equipamentos elétricos e eletrónicos a nível europeu. O conhecimento destas normas e regulamentações é de fulcral importância para este setor, pois muitos dos seus produtos são grandes consumidores de matérias-primas e apresentam componentes considerados perigosos a nível ambiental. As legislações tornam-se relevantes para o incentivo de produções e consumos mais sustentáveis e visam a redução da geração de resíduos, de modo a desenvolver e melhorar os meios de recuperação e reciclagem dos mesmos. Desta forma, é demonstrado nesta secção, as Diretivas e Decretos-Lei que têm como objetivo contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor dos EEE.

A nível legal, foi publicada a Diretiva nº 2012/19/EU de 4 de Julho que tem como objetivo contribuir para meios de produção e consumos mais sustentáveis através da reutilização, reciclagem e outras formas de valorização. Esta Diretiva, que foi transposta para Portugal pelo Decreto-Lei nº 152-D/2017 de 11 de Dezembro, é seguida por todos os Estados Membros e visa regular a colocação de EEE nos seus respetivos mercados, de modo a garantir que a sua gestão é equitativa em todo o espaço europeu, garantindo uma harmonização de procedimentos em todos os países para evitar assimetrias de mercado [19]. Esta Diretiva incentiva a redução da quantidade de resíduos gerados, a contribuição para a utilização eficiente dos recursos, a recuperação das matérias-primas e o controlo dos transportes dos resíduos recolhidos, além de impor regras para a gestão dos REEE, tanto para o sistema individual quanto para o sistema integrado.

A mesma Diretiva propõe a melhoria do desempenho ambiental das operações envolvidas no ciclo de vida dos equipamentos e prevê o princípio da “Responsabilidade Alargada do Produtor” (RAP), que responsabiliza diretamente o produtor pelos danos ambientais causados pelos seus produtos. Nesta legislação é dada prioridade à prevenção, reutilização e valorização destes resíduos, bem como é incentivada a produção de equipamentos que facilitem a reparação, a eventual atualização, reutilização, desmontagem e reciclagem [20] [21]. Ainda, no Artigo 5º do Decreto-Lei nº 152-D/2017 de 11 de Dezembro, é determinado que a responsabilidade do produtor pode ser assumida pelo próprio, através de um sistema individual ou através de um sistema integrado, por uma entidade gestora licenciada para a coordenação de um sistema integrado de gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos.

Atualmente existem três entidades que realizam a gestão dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos: “Electrão”, “ERP-Portugal” e “WEEECYCLE” [22], autorizadas pela “Agência Portuguesa do Ambiente” (APA) e pela Direção Geral das Atividades Económicas – DGAE. Estas entidades são responsáveis pela gestão dos resíduos gerados pelos equipamentos elétricos e eletrónicos e encaminhamento dos mesmos ao seu tratamento adequado. Além de assumirem estas responsabilidades, as entidades gestoras desenvolveram processos de logística inversa, em que criaram pontos de recolha onde os

utilizadores individuais também podem depositar os seus resíduos e daí, serem encaminhados para o tratamento adequado.

Entre os anos de 2010 e 2014, Portugal apresentou a oitava maior percentagem de recolha seletiva de REEE na União Europeia [23]. Este valor é contabilizado através da comparação entre a quantidade de equipamentos elétricos e eletrónicos que são colocados no mercado e os seus resíduos recolhidos [24]. De acordo com o Artigo 5º do Decreto-Lei nº 67/2014 de 7 de Maio, foi estabelecido que, até 31 de dezembro de 2015, os países membros da UE deveriam recolher no mínimo 4 kg/hab/dia de REEE [25], meta superada por Portugal, que, em 2014, foi capaz de recolher até 5,8 kg/hab/dia, correspondendo a um aumento de 22% quando comparado com o ano de 2010 [26], como demonstrado na Figura 3.

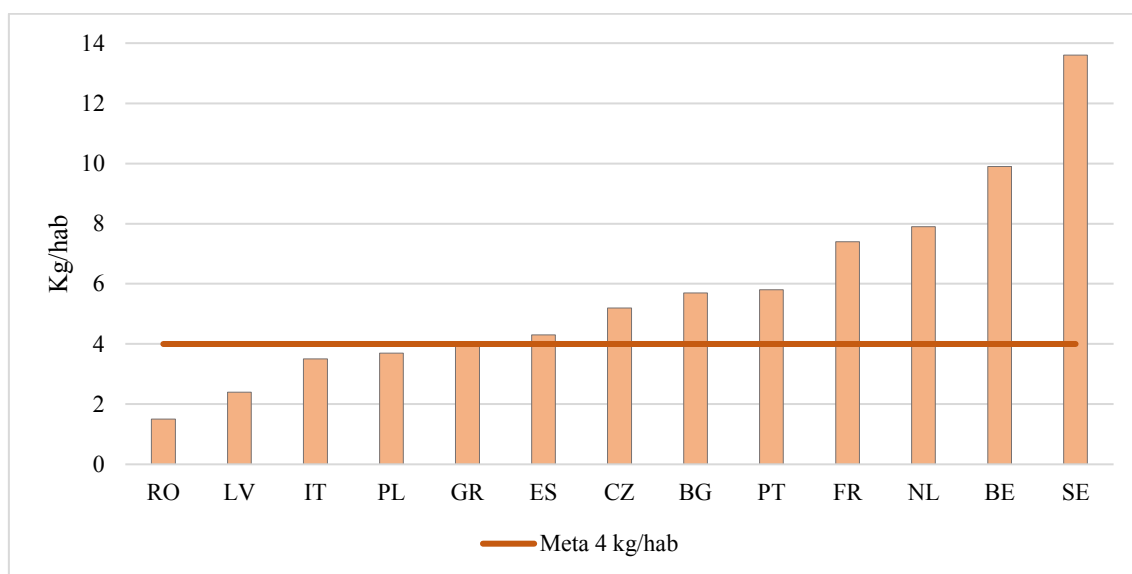


Figura 3: Média de Recolha de REEE pelos países membros da UE. 2014⁸.

Ainda no panorama legislativo, o Decreto-Lei nº 79/2013 de 11 de Junho estabelece regras quanto à restrição da utilização de determinadas substâncias perigosas nos EEE [27]. Este decreto visa contribuir para a proteção da saúde humana e do ambiente, incluindo a valorização e eliminação correta dos resíduos. Transpõe para a Diretiva nº 2011/65/UE de 8 de Junho, também conhecida como Diretiva RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*), que tem como objetivo primordial a restrição da utilização de seis substâncias perigosas: chumbo, mercúrio, cádmio, crómio hexavalente, bifenilos polibromados (PBB) e éter de difenilo polibromado (PBDE) [28].

⁸ Adaptado de: Publications Office of the EU. “WEEE compliance promotion exercise”. Dezembro de 2017. Pp 46.

2.1.2. COMPOSIÇÃO DOS EEE E REEE

Sendo considerados bens essenciais e imprescindíveis na vida dos seres humanos, os EEE apresentam cada vez maior relevância, disparando o seu consumo e a consequente produção de resíduos. Desta forma, é fundamental ter conhecimento das frações de cada um dos materiais presentes nestes equipamentos, já que muitos apresentam componentes considerados danosos ao meio ambiente.

A grande diversidade de materiais torna muito difícil a definição da composição global dos resíduos. A Figura 4 apresenta as frações dos componentes mais comuns neste tipo de resíduos [29].

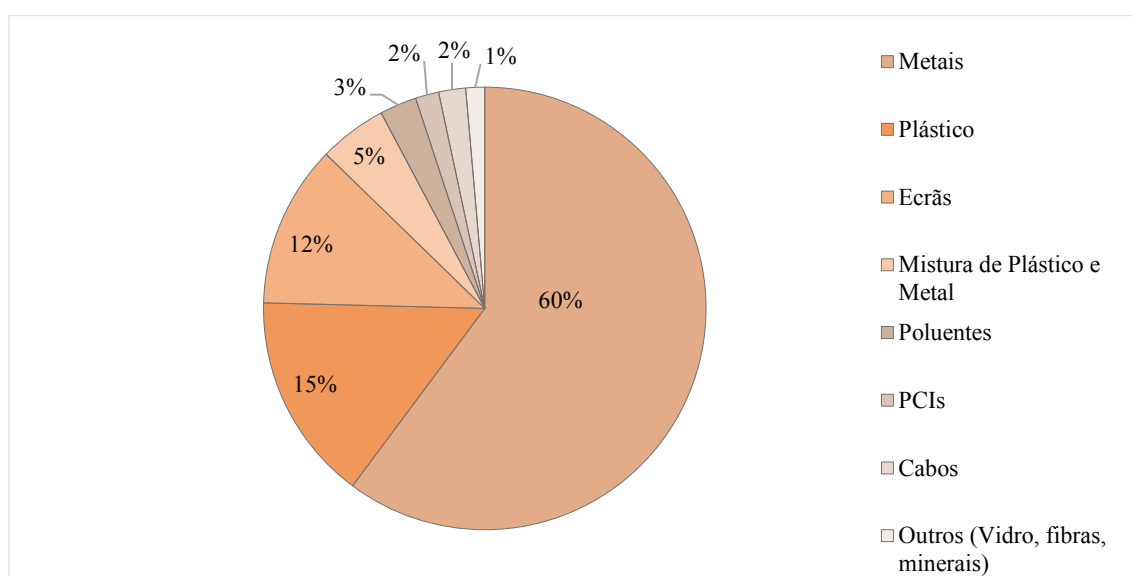


Figura 4: Frações dos componentes mais comuns dos REEE⁹.

A composição definitiva dos REEE é muito diversificada devido à constante evolução tecnológica e de materiais. Assim sendo, novos elementos podem ser introduzidos e outros podem ser retirados do mercado. Além dos componentes já apresentados, os REEE apresentam enormes quantidades de substâncias nocivas que necessitam de uma gestão adequada para que não causem danos, algumas vezes irreversíveis, ao meio ambiente. Deste modo, é fundamental que o tratamento e eliminação destes componentes seja feito de forma correta, cumprindo todas as normas e as regulamentações aplicáveis.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS RADIADORES ELÉTRICOS

Nesta secção são ilustrados os diferentes tipos de radiadores que se diferenciam por serem elétricos ou, em alternativa, estarem ligados ao sistema central de aquecimento, pelo

⁹ Adaptado de Wildmer, R. et al. “*Global perspectives on e-waste*”. Pp 445. Figura 7.

fluido que usam para a transferência de calor, pelo material que os compõe e pelo formato no qual são fabricados.

Ainda, na mesma secção, são demonstrados os problemas associados a estes equipamentos, principalmente por utilizarem um fluido térmico no circuito, derivado do petróleo, e pelo elevado consumo de energia elétrica durante a fase de utilização. Deve-se ter uma atenção redobrada nesta fase, pois em Portugal cerca de 22% da eletricidade consumida nas habitações é destinada à climatização, sendo que a maioria, 21,5%, é destinado ao aquecimento [30].

No seguimento desta secção, são analisados estudos ambientais que têm como foco o equipamento avaliado. Em virtude da falta de estudos disponíveis, analisaram-se trabalhos com foco noutros equipamentos para além dos radiadores elétricos, incluindo radiadores ligados ao sistema de aquecimento central e aquecedores elétricos.

2.2.1. VARIEDADE DOS RADIADORES

Os radiadores podem desempenhar a sua função estando ligados ao sistema central de aquecimento de uma habitação ou diretamente à corrente elétrica. Os que se encontram conectados ao sistema central trabalham a partir da passagem da água quente pelo seu interior. A água é, normalmente, aquecida por uma caldeira que pode funcionar a gás, lenha ou óleo, por uma bomba de calor ou por painéis solares.

Ao invés dos radiadores ligados ao sistema de aquecimento central, o equipamento analisado na presente dissertação é um radiador elétrico, ou seja, não depende da circulação de água quente para o seu funcionamento, apenas de eletricidade. Estes aparelhos, além de se diferenciarem pelos formatos e materiais nos quais são produzidos, distinguem-se por apresentarem tecnologia seca ou de fluidos.

Os radiadores elétricos mais comuns revelam dois tipos: os convectores e os emissores térmicos, sendo estes últimos diferenciados de acordo com as suas tecnologias de funcionamento, que podem ser de fluido ou seca. Ambos os modelos funcionam a partir da utilização de uma resistência elétrica. Os radiadores do tipo convectores funcionam a partir do aquecimento da resistência que, nestas circunstâncias, devido às propriedades do ar, permite que o ar frio entre pela parte inferior do equipamento, aqueça através do contato com a peça elétrica e saia pela parte superior. Em relação aos emissores térmicos de fluido, a resistência aquece o óleo térmico, enquanto que nos de tecnologia seca, aquece a placa cerâmica contida no interior do aparelho. Tanto o óleo como a cerâmica apresentam capacidade de absorver o calor gerado pela resistência elétrica e transferi-lo para a estrutura do equipamento que, quando aquecida, é a responsável por dissipar o calor pelo ambiente circundante.

Os radiadores elétricos podem ser caracterizados pelo material e pelo formato em que são fabricados. Existe uma gama muito grande de materiais que podem ser utilizados para a fabricação destes equipamentos, desde os mais comuns, como ferro fundido, aço e

alumínio, aos materiais mais nobres como o vidro, Olycale®¹⁰, pedra natural, Silexpol¹¹, entre outros. Cada material apresenta uma condutividade térmica, sendo esta a característica que expressa a capacidade de condução de calor. Entre os citados, o ferro fundido e o alumínio revelam-se como sendo os que apresentam melhor inércia térmica, ou seja, os que melhor conservam e libertam calor durante um longo período, mesmo depois de serem desligados. Em relação aos formatos, os radiadores elétricos podem apresentar variadíssimas formas, dimensões e espessuras [31].

O radiador elétrico avaliado, “Steel Glam 800”, representado na Figura 5, é fabricado em aço inox e tem formato retangular. Trata-se de um radiador toalheiro, ou seja, além de ser utilizado para aquecer o espaço de banho, é utilizado para a secagem e aquecimento das toalhas. Este equipamento é proposto para espaços pequenos e bem isolados, dada a sua fabricação em aço inox, material que apresenta condutividade térmica inferior à do ferro e do alumínio, ou seja, aquece e transfere calor de forma muito rápida.



Figura 5: Radiador Elétrico “Steel Glam 800”¹².

¹⁰ Olycale® stone: este material é uma rocha naturalmente branca, provinda das montanhas dos Pirenéus, no sul de França. A rocha é quebrada no processo inicial e depois reestruturada de modo a promover uma difusão de calor excepcional. Disponível em: <https://www.cinier.com/en/olycale/> acesso em 27 de março de 2020.

¹¹ Silexpol®: material patenteado por empresa espanhola, composto por areia, silicone, quartzo e poliuretano. Disponível em: https://www.internimagazine.com/last_news/news_people/pietra-e-tecnologia/ acesso em 27 de março de 2020.

¹² Disponível em: “Book’16: Heating Products Designed and Developed by FOURSTEEL”. 2016. Pp 66.

2.2.2. FUNCIONAMENTO DOS RADIADORES ELÉTRICOS

Ao longo dos últimos anos, as máquinas e ferramentas sofreram grandes evoluções, o que tornou possível a descoberta de novas tecnologias e fontes de energia. Um exemplo disso é a utilização da energia elétrica, que é considerada uma energia de fornecimento confiável, econômica e, se proveniente de fontes renováveis, limpa. Este tipo de energia possibilitou melhorias associadas aos equipamentos e produtos já existentes, tornando-os ainda mais eficientes e ecológicos. Os sistemas de aquecimento também beneficiaram dessa evolução, uma vez que, inicialmente, funcionavam à base de carvão, passaram a exercer as suas funções a partir da utilização de gases e óleos e, atualmente, a partir de energia elétrica.

Os radiadores elétricos são considerados equipamentos emissores, ou seja, libertam calor, que pode ser transmitido de três formas: condução, convecção e radiação. A primeira consiste na transferência de calor de um corpo para o outro, a convecção resume-se à transmissão de calor por deslocação de moléculas e na radiação essa transmissão é feita através de ondas, sem corpos em contato. A propagação do calor nos radiadores elétricos ocorre a partir do fluido térmico, que se encontra a uma temperatura elevada e circula pelo interior do equipamento. Ao circular pela estrutura do radiador, aquece-a através da condução. Esta, quando aquecida, transfere o calor, através da radiação, ao ar circundante que, devido às suas propriedades, se desloca pelo ambiente através do processo de convecção. A Figura 6, demonstra o processo de transferência de calor que ocorre no radiador elétrico.

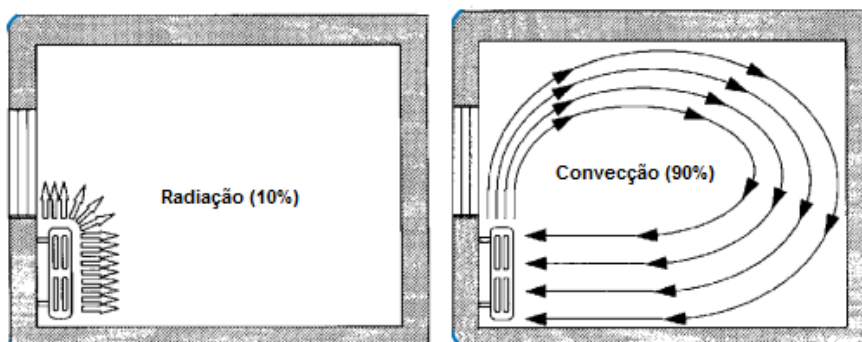


Figura 6: Transmissão de calor no radiador elétrico¹³.

2.2.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASSOCIADA AO CICLO DE VIDA DOS RADIADORES ELÉTRICOS

É notório que o contínuo aumento do consumo de equipamentos elétricos gera, como consequência, o aumento da produção dos mesmos. Estas indústrias são grandes consumidoras de matérias-primas e, estes equipamentos, ao atingirem o seu fim de vida,

¹³ Adaptado de: Unopor. “Sistema de canalização e aquecimento: Manual Técnico”. Pp 63.

são responsáveis pela geração de resíduos, alguns dos quais considerados perigosos. Deste modo, deve ser entendida a problemática ambiental associada às diferentes fases do ciclo de vida de tais equipamentos.

É possível afirmar que o radiador elétrico avaliado no presente trabalho não apresenta grande variedade de matérias-primas, sendo formado, basicamente, por uma estrutura metálica, por uma resistência elétrica e pelo fluido térmico. Ao tratar-se de um equipamento com tecnologia de fluido, a grande problemática ambiental está associada à utilização do óleo mineral lubrificante, sendo as restantes matérias-primas, metais, consideradas materiais quase 100% recicláveis.

O óleo mineral é um hidrocarboneto obtido através do refino do petróleo, composto por cadeias com 19 a 23 átomos de carbono, podendo ser nafténico (cadeia em anéis) ou parafínico (cadeia linear). Este fluido difere-se dos demais derivados do petróleo por não ser completamente consumido ao longo da sua vida útil, ou seja, depois de atingido o seu fim de vida e de tornar-se um resíduo, o óleo lubrificante, que não é biodegradável, deve ser corretamente tratado e depositado de forma a não causar danos ambientais [32].

O radiador elétrico é um grande consumidor de eletricidade durante o seu período de utilização. Este elevado consumo é um dos principais problemas deste equipamento no que diz respeito à sua relação com o meio ambiente, já que grande parte da energia elétrica consumida nas habitações portuguesas é destinada ao aquecimento [33]. Em Portugal, de acordo com a Figura 7, no ano de 2019, a produção de energia elétrica era realizada a partir de 55% de fontes renováveis e 45% de fontes renováveis.

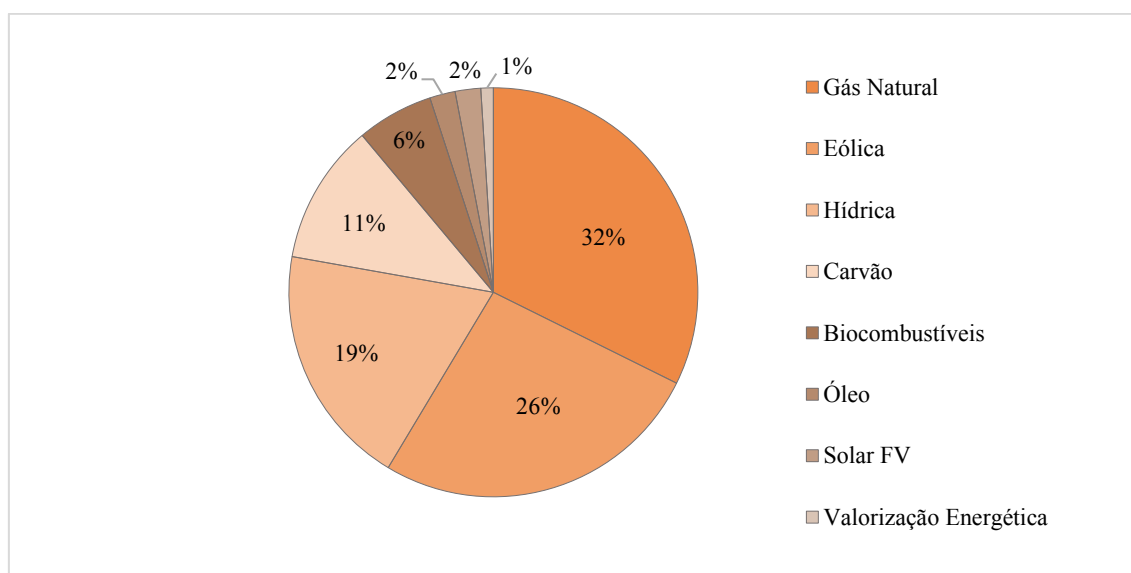


Figura 7: Fontes de energia para a produção de eletricidade. Portugal 2019¹⁴.

Dependendo das fontes de energia utilizadas para a produção de eletricidade, a fase de uso do equipamento pode ser mais ou menos impactante para o meio ambiente. É notório

¹⁴ Disponível em: <https://www.iea.org/countries/portugal> acesso em 17 de setembro de 2020.

que as fontes renováveis causam impactos ambientais muito reduzidos quando comparados com os causados pelas fontes não renováveis. Sendo assim, é possível afirmar que os danos associados ao consumo energético da fase de utilização, estão diretamente ligados ao tipo de fonte de energia utilizada para a produção da eletricidade.

Desta forma, a problemática ambiental gerada pelos radiadores elétricos está diretamente ligada ao consumo de matérias-primas, de recursos energéticos durante a fase de utilização e à necessidade do uso de um óleo mineral lubrificante como fluido de funcionamento. Torna-se necessário, portanto, a realização de um estudo de avaliação do ciclo de vida destes equipamentos, de modo a promover a melhoria contínua de toda a sua cadeia de produção, investigando-se soluções para os impactos ambientais associados ao radiador elétrico e analisando-se medidas que potenciem a redução do consumo de matérias-primas e da produção de resíduos.

2.2.4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE RADIADORES ELÉTRICOS

Foram identificados estudos de ACV na bibliografia com particular incidência nos radiadores elétricos com o objetivo de avaliar o estado da arte. Ao longo desta etapa verificou-se que estes são escassos, sendo necessário analisar estudos referentes a outros tipos de aquecedores elétricos, além dos radiadores ligados ao sistema de aquecimento central. A Tabela 2 apresenta o resumo da revisão bibliográfica realizada para o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao analisar estes estudos em torno dos equipamentos aquecedores, verifica-se que grande parte utiliza a metodologia da ACV para avaliar a fase de utilização dos mesmos. Nestes trabalhos normalmente são comparados diferentes sistemas de aquecimento e fontes de energia, possibilitando a compreensão da influência destas variáveis nos impactos ambientais da etapa de utilização.

No trabalho intitulado “*Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study*” é mostrada a fase de produção de um ventiloconvetor e de sistemas de radiadores e tubos de diferentes materiais. A partir deste estudo, é possível determinar que um radiador de aço, que integra o sistema constituído por radiador e tubos de aço, representa maior impacto do que um radiador de alumínio, pertencente ao sistema de radiador de alumínio e tubos de cobre.

O trabalho “*Life cycle assessment LCA of electric space heater*” avalia as fases do ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até à produção de um aquecedor elétrico, sendo a fronteira determinada para este trabalho a “*cradle- to- gate*”. Tal estudo demonstra que a fase de “Extração das Matérias-primas” é a que apresenta maiores impactos associados às emissões de GEE.

Tabela 2: Revisão bibliográfica de estudos de ACV sobre radiadores elétricos e equipamentos similares.

Autor	Título	País	Objeto(s) de estudo	Objetivo de estudo	Unidade Funcional	Etapas ACV incluídas
Prek, M. (2004) [34]	<i>Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study</i>	Eslovénia	Radiador de alumínio e tubos de cobre; Radiador e tubos de aço; Piso radiante e tubos de polibuteno; Ventiloconvetor.	Analisar o efeito das escolhas dos sistemas de aquecimento como parte dos impactos ambientais da edificação.	Serviço prestado pelo sistema de aquecimento até atingir os 21°C de uma moradia modelo.	Produção do equipamento;
Shah, V. et al. (2007) [35]	<i>Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States</i>	Estados Unidos da América	Aquecimento central por forno a gás e sistema convencional de ar-condicionado; Radiadores ligados ao sistema de aquecimento central por caldeira a gás e sistema de ar-condicionado; Sistema convencional de ar-condicionado e bomba de calor ar-ar.	Comparar três sistemas de aquecimento e resfriamento em habitações de quatro regiões diferentes dos EUA: Minnesota, Pensilvânia, Oregon e Texas. O objetivo principal é entender a performance ambiental de cada sistema em cada região analisada.	1 unidade de ar-condicionado Carrier modelo 24ACR3; 1 unidade de bomba de calor ar-ar York modelo EIRA 90; 1 unidade de caldeira a gás Burnham; 1 unidade de forno de aquecimento central Carrier modelo 58DLA; 1 unidade <i>Fan Coil</i> de ar-condicionado Carrier modelo FA4C.	Uso; Transporte do equipamento desde a fábrica até o local de instalação.
Latorre-Biel J. (2018) [37]	<i>Replacement of electric resistive space heating by an air-source heat pump in a residential application. Environmental amortization.</i>	Espanha	Caldeira elétrica; Bomba de calor;	Analisar a influência do clima de diferentes regiões (Florença e Bilbao) e das diferentes fontes de energia na substituição de uma caldeira elétrica por uma bomba de calor ar-ar (ASHP) associada a diferentes sistemas de aquecimento através da metodologia ACV.	A troca de um sistema de aquecimento por caldeira elétrica por um sistema de ASHP complementado com três diferentes sistemas: piso radiante, radiadores convencionais e de baixa temperatura, para um espaço de 375m³ atingir 21°C durante o período de um ano,	Extração da matéria-prima; Transporte; Processo para a produção dos componentes da ASHP; Uso.
Sasnauskaitė, V. et al. (2007) [38]	<i>A sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study</i>	Lituânia	Caldeira de ferro fundido com funcionamento a gás e radiador de aço; Caldeira condensadora a gás com piso radiante; Caldeira condensadora a gás com radiador de aço.	Comparar três sistemas de aquecimento através da metodologia ACV com foco nos impactos ambientais, consumo energético e na economia.	Aquecer 1 m² da habitação	Extração e processamento da matéria-prima; Produção; Transporte e distribuição; Uso
Latpate, A. (2019) [36]	<i>Life cycle assessment LCA of electric space heater</i>	Irlanda	Aquecedor elétrico	Avaliar os impactos ambientais de um aquecedor elétrico através da metodologia ACV.	Consumo residencial em 1MWh de calor	Extração e processamento da matéria-prima; Produção dos componentes; Transporte; Montagem do equipamento.

Etapas ACV excluídas	Abordagem ACV	Método usado para a quantificação das Categorias de Impacte	Resultados Obtidos/Conclusões	Processos críticos
Extração da matéria-prima; Uso; Deposição final.	Gate-to-gate	<i>Eco-indicator 95</i> . Danos aos recursos; Danos aos ecossistemas; Danos à saúde humana.	O piso radiante foi o sistema de aquecimento que causou o menor impacto. O sistema associado aos tubos de cobre foi o mais impactante. A utilização do ventiloincubador obteve valores intermédios entre os sistemas mais e menos impactantes.	Não especificado.
Extração da matéria-prima; Produção do equipamento; Deposição final.	-	<i>Software SimaPro 5.0</i> e base de dados <i>The Franklin USA 98</i> e <i>ETH-ESU 96</i> . Método <i>Impact 2002+</i> . Gases inorgânicos; Ecotoxicidade aquática; Aquecimento global; Energias não renováveis; Danos à saúde humana; Mudanças climáticas; Qualidade de Ecossistema; Danos aos recursos.	O sistema formado pela caldeira a gás e ar-condicionado foi o mais impactante quando associado aos ductos de distribuição. A bomba de calor ar-ar teve o maior impacto nas regiões onde a eletricidade provém de combustíveis fósseis, nestas regiões, o sistema menos impactante foi o do forno a gás e ar-condicionado. Em Oregon, onde grande parte da eletricidade provém da energia hídrica, a bomba de calor demonstrou ser o sistema menos impactante.	Transporte do forno a gás (800 km); Transporte da caldeira a gás (400 km); Transporte do ar-condicionado (800 km); Transporte da Unidade <i>Fan Coil</i> (800 km).
Deposição final.	Cradle-to-use	<i>V3.04/EU25</i> , <i>Ecoinvent 3.3</i> e <i>software SimaPro 8.3</i> . Potencial de degradação abiótica de recursos não fósseis; Potencial de degradação abiótica de recursos fósseis; Potencial de aquecimento global; Potencial de destruição da camada de ozono; Toxicidade humana; Toxicidade em água doce; Toxicidade em água do mar; Toxicidade terrestre; Potencial de acidificação; Oxidação fotoquímica; Eutrofização.	O maior impacto ambiental está associado a duas unidades funcionais: 1 kg de ASHP e de óleo. Na troca da caldeira elétrica pelo ASHP o impacto ambiental positivo corresponde às operações de fabricação e o negativo à economia de energia. Os impactos ambientais são mais altos para a ASHP associada aos radiadores convencionais, seguido dos radiadores de baixa temperatura e de piso radiante.	Não especificado.
Design; Embalagem; Reuso, reciclagem e deposição final.	Cradle-to-gate	<i>3E criteria</i> . Consumo energético; Emissões de dióxido de carbono;	A fase de produção dos radiadores avaliados é que mais emite CO ₂ . A produção dos radiadores e dos tubos é a mais impactante devido às suas massas. É comprovado, neste estudo, que os elementos utilizados para a emissão de calor não são tão importantes quando o gerador de calor.	Não especificado.
Extração e produção do combustível; Instalação, operação e manutenção do equipamento; Reciclagem e deposição final.	Cradle-to-gate	<i>Ecoinvent 3.1</i> , <i>Eio-LCA</i> e <i>Open LCA</i> -Emissão de gases causadores de efeito estufa; Uso de combustíveis fósseis; Aquecimento global; Potencial de acidificação; Toxicidade do solo e da água; Eutrofização; Danos aos recursos; Uso da água.	A planta de extração de minério de ferro e de produção de polietileno apresentam os maiores impactos ambientais. As emissões de GEE são superiores nas fases de extração mineral e na produção de PEAD. A emissão de CO ₂ é a maior em comparação com os restantes gases.	Extração do minério de ferro, cobre, ferro-níquel; Produção de polietileno de alta densidade e do motor elétrico; Transporte da planta de mineração até planta de produção dos metais; da planta de produção do plástico até o local de produção das partes plásticas; e entre estas até a planta de produção do produto.

2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – NORMAS PARA A REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A metodologia da avaliação do ciclo de vida identifica e quantifica a energia e os materiais utilizados, bem como os resíduos e emissões provenientes desde a extração da matéria-prima até à deposição final do produto. Tal metodologia tem como principal objetivo avaliar o impacto ambiental de todas as entradas e saídas de materiais e energia, em cada uma das fases do ciclo de vida de um produto, conforme ilustrado na Figura 8 [39]. O ciclo de vida é também considerado no Decreto-Lei nº 152-D/2017 de 11 de Dezembro, que define como prioridade da política pública de resíduos, a promoção da prevenção e da gestão de resíduos, considerando o ciclo de vida dos produtos, nomeadamente para equipamentos elétricos e eletrónicos e resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos [40].

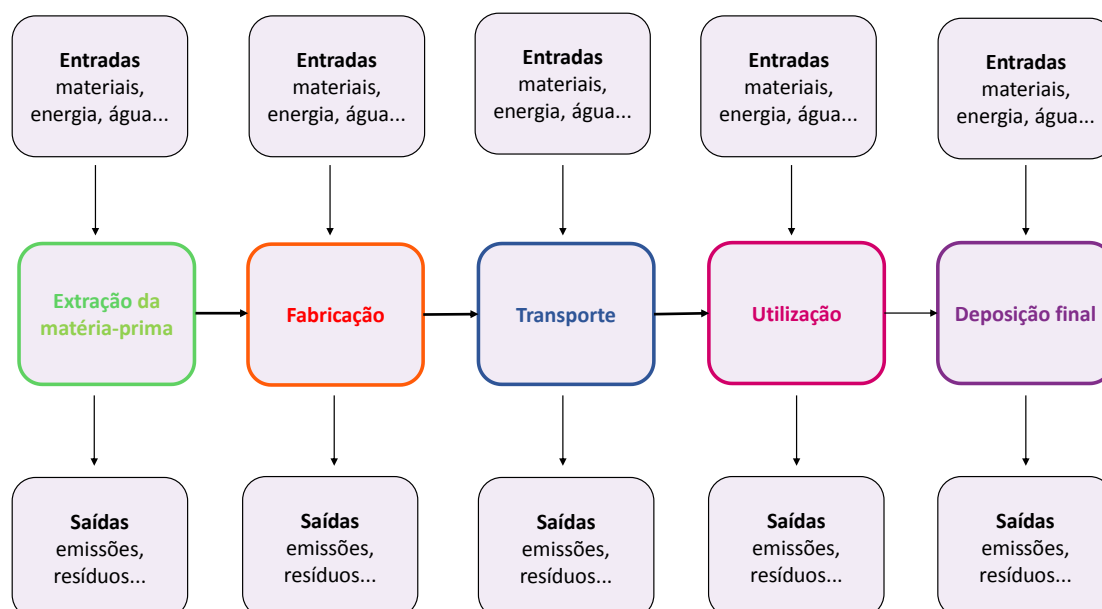


Figura 8: Entradas e saídas para cada uma das fases do ciclo de vida de um produto¹⁵.

A metodologia da avaliação do ciclo de vida está definida e descrita nas normas da família ISO 14000, sendo amplamente utilizada para a avaliação e quantificação dos impactos ambientais. Com esta intenção, as normas NP EN ISO 14040:2000, 14044:2010, descrevem os princípios e a estrutura para conduzir um estudo de ACV. As normas citadas complementam-se, sendo que a NP EN ISO 14040:2008 descreve a metodologia a seguir para a aplicação da ACV, apresenta as fases desta metodologia (Figura 9) e dita os princípios e a estrutura de uma ACV. A Norma NP EN ISO 14044:2010 apresenta os requerimentos e diretrizes para a realização da ACV, foca na análise do inventário, desde

¹⁵ Adaptado de: Coltro, L. “Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão”. CETEAL/ITAL. 2007. Pp 9.

a preparação para a recolha dos dados até ao refinamento das fronteiras do sistema, e na avaliação dos impactes do ciclo de vida, desde a determinação das categorias de impacto até aos modelos de caracterização. Para além disso, esta Norma relaciona os elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV [41]. Ambas as Normas afirmam que uma “Avaliação de Ciclo de Vida” deve incluir a definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação dos danos causados e a interpretação dos resultados [42].

Estas normas ISO afirmam que a ACV pode contribuir para vários aspectos, incluindo [43][42]:

- A identificação de oportunidades para reduzir os danos ambientais causados pelos produtos em diversos pontos do seu ciclo de vida;
- O nível de informação dos decisores na indústria, em organizações governamentais e não governamentais (por exemplo, no planeamento estratégico, definição de prioridades, *design* ou *redesign* de produtos ou processos);
- O *marketing* (por exemplo, na implementação de um esquema de rotulagem ambiental, elaboração de uma alegação ambiental ou na elaboração de declaração ambiental de produto).

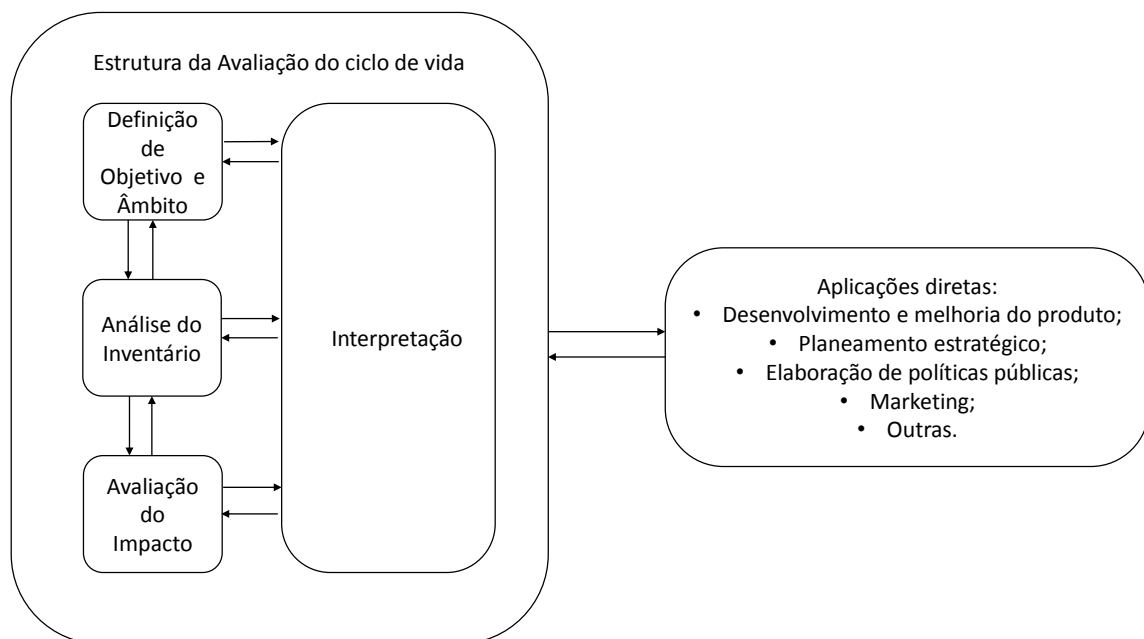


Figura 9: Fases da metodologia de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida¹⁶.

A primeira fase, denominada “Definição de Objetivo e Escopo”, deve especificar os objetivos e os procedimentos da avaliação. Os objetivos devem indicar a aplicação pretendida, as razões para a elaboração do estudo e a identificação do público-alvo.

¹⁶ Adaptado de: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, ISO 14044, International Organization for Standardization. “ISO 14040:2006”. Pp 8.

A estrutura da avaliação deve respeitar alguns passos, sendo que os mais relevantes são a identificação da unidade funcional e das fronteiras do sistema. Ao definir a unidade funcional, determina-se o que está a ser estudado e onde as entradas e saídas de materiais e energia estão relacionadas. Ao identificar as fronteiras do sistema relaciona-se um sistema de produto com o meio ambiente ou com outros sistemas de produtos. A definição das fronteiras serve para estabelecer os limites do estudo, podendo ser definidas em diversas dimensões [43] [42] [44]:

- Fronteira entre o sistema técnico e o meio ambiente. No caso de estudo a fronteira é definida como *cradle-to-grave*, ou seja, serão avaliadas todas as fases do ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria-prima ao fim de vida;
- Fronteira geográfica: tem como objetivo a delimitação da área espacial do sistema estudado;
- Fronteira temporal: relativa ao tempo de estudo;

Na segunda etapa da metodologia, denominada “Análise do Inventário”, são recolhidos os dados e realizados os procedimentos de cálculos para quantificar as entradas e saídas de materiais e de energia de cada sistema de produto, incluindo o uso dos recursos e as emissões para o ar, a água e o solo.

A terceira fase da ACV é a “Avaliação de Impactes Ambientais”, onde são quantificados os potenciais impactes a partir dos dados do inventário, identificados na etapa anterior. Envolve a associação dos dados do inventário com os danos ambientais específicos e a sua análise e interpretação. Esta fase deve incluir os seguintes passos obrigatórios [45]:

- Seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização;
- Correlação dos dados do inventário por categorias de impacto (classificação);
- Modelagem dos dados do inventário por categorias de impacto (caracterização).

E opcionais:

- Ordenamento e possível classificação das categorias de impacto (agrupamento);
- Cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria (normalização);
- Possível agregação dos resultados em casos específicos, quando significativos (ponderação);

Nesta fase de avaliação deve ser realizada a caracterização do impacto, dos indicadores de categoria e dos modelos de caracterização, que devem ser justificados e consistentes com o objetivo e escopo da ACV. Existem diversas metodologias que podem ser utilizadas na avaliação dos impactes, como por exemplo: *CML*, *Eco-Indicador*, *Ecological Scarcity*, *EDIP*, *EPS*, *Impact*, *ReCIpe*, *TRACI* [45], no presente estudo é utilizada a *CML-IA baseline* versão 3.04.

A “Avaliação do Ciclo de Vida” de um radiador elétrico, realizada na presente dissertação, é feita a partir da utilização de um programa informático, o *software SimaPro*. Este programa é um excelente auxílio para a realização de estudos de ACV e é

a ferramenta indicada para recolher dados e analisar o desempenho ambiental de sistemas e produtos. Possibilita, ainda, a modelação e análise de ciclos de vida complexos de maneira sistemática e transparente [46].

A última fase da ACV é a fase da “Interpretação”, onde são analisados os resultados dos impactes ambientais e retiradas as conclusões e as recomendações para os decisores.

3

FASES DO CICLO DE VIDA DO RADIADOR ELÉTRICO

3.1. DESCRIÇÃO DA “WEEECYCLE – ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE EEE”

A “WEEECYCLE” é a associação de produtores de equipamentos elétricos e eletrônicos, licenciada pelos Ministros de Economia e Ambiente segundo o Despacho n°. 5256/2018 de 25 de Maio. Esta Entidade exerce a gestão de um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos Elétricos e Eletrônicos (SIGREEE) e os seus associados são as empresas que fabricam, mandam fabricar sob nome ou marca própria, importam, distribuem, revendem, entre outros.

Os principais objetivos da “WEEECYCLE” são contribuir para a sustentabilidade do setor, colaborar com uma gestão rigorosa na cadeia de valor dos equipamentos elétricos e eletrônicos e intervir nos processos de recolha seletiva, transporte, tratamento e valorização deste tipo de equipamentos. Esta entidade gestora realiza ações permanentes de educação, comunicação e sensibilização dos intervenientes no ciclo de vida dos EEE (produtores, utilizadores, operadores de gestão de resíduos, etc.) para a importância da correta gestão (separação, deposição, recolha e tratamento) deste tipo de resíduos [47].

Com pontos de recolha em 9 distritos, esta Entidade Gestora expande-se um pouco por todo o país, de norte a sul. A “WEEECYCLE” desenvolveu um “Plano de Prevenção” onde define atividades relacionadas com a prevenção da produção de REEE durante o seu ciclo de vida. Este plano está direcionado, sobretudo, para os processos produtivos deste tipo de equipamentos, ou seja, o seu principal objetivo passa por explorar o ciclo de vida dos EEE na sua globalidade, de modo a identificar as medidas de prevenção que podem ser tomadas em cada uma das etapas do mesmo (matérias-primas, transporte, fabricação, utilização e fim de vida), bem como ações que podem ser realizadas em prol da diminuição do impacto ambiental associado ao produto.

Desta forma, a participação desta entidade no desenvolvimento da presente dissertação é fundamental, já que o “Plano de Prevenção” desenvolvido pela “WEEECYCLE” está direcionado à exploração do ciclo de vida dos EEE, sendo este, também, o principal objetivo do presente trabalho.

3.2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA NACIONAL PRODUTORA DO EQUIPAMENTO DO RADIADOR ELÉTRICO: “FOURSTEEL® LDA.”

A “FOURSTEEL Lda.” é uma empresa sediada na zona industrial de Mamodeiro, no distrito de Aveiro, em Portugal. Fundada em 2004, integra-se no setor industrial da metalomecânica e tem como principal atividade o fabrico de radiadores e secadores de toalhas. A sustentabilidade e o crescimento desta empresa no mercado nacional e internacional devem-se muito ao desenvolvimento de produtos de aquecimento únicos, diferenciados pela sua estética, eficiência energética e qualidade de acabamentos, adaptados às reais necessidades do mercado.

A empresa possui cerca de 40 funcionários e, além de produzir equipamentos de aquecimento eficientes, conta com a colaboração de arquitetos e *designers* de renome internacional como Eduardo Souto Moura, Gonçalo Byrne, Manuel Aires Mateus, entre outros. Os referidos arquitectos, foram contratados para desenvolver produtos de estética apurada e diferenciada, sustentando assim, o seu desenvolvimento a nível mundial.

A gama de formas e modelos produzidos pela “FOURSTEEL Lda.”, conta com oito coleções de toalheiros e radiadores e diversas opções de acessórios no que diz respeito ao controlo do equipamento, tornando cada aparelho único e pessoal, de acordo com a escolha do consumidor. Os modelos variam entre os mais comuns, como os radiadores verticais e horizontais, até aos mais específicos e singulares, como os radiadores de chão, equipamentos com elementos de pequenas e grandes espessuras, curvos, retilíneos e até mesmo em forma de diamantes. Os equipamentos produzidos pela empresa podem estar ligados ao sistema de aquecimento central, elétrico ou misto e são produzidos em aço inox ou aço carbono com diversas opções de acabamentos como aço polido, aço escovado, pintado ou com acabamento em titânio [48].

3.3. DESCRIÇÃO DAS FASES DO CICLO DE VIDA DO RADIADOR ELÉTRICO

O ciclo de vida do radiador em análise, o “*Steel Glam 800*”, inclui as etapas de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, “Transporte”, “Fabricação”, “Utilização” e “Fim de vida”, que são descritas no decorrer desta secção.

O radiador avaliado não apresenta grande complexidade no que diz respeito às matérias-primas utilizadas na sua fabricação, sendo que as principais são o aço inox 304 e o fluido térmico. Uma outra componente essencial para o funcionamento deste equipamento é a resistência elétrica, responsável pela produção de calor no aparelho. Esta pode ser considerada a peça mais complexa, já que é composta por diversos materiais.

Os transportes são realizados, principalmente, por via marítima e rodoviária, sendo contabilizadas somente as distâncias entre os locais de fabricação dos componentes e/ou locais de distribuição e a empresa fabricante do radiador avaliado.

A fabricação do equipamento é realizada no município de Aveiro, em Portugal, e o equipamento é, na sua maioria, vendido para países europeus e norte-americanos. Estes, ao atingirem o seu fim de vida, devem ser encaminhados para os destinos adequados, de modo a serem tratados e evitar danos ambientais.

3.3.1. EXTRAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUÇÃO DOS COMPONENTES

O radiador elétrico pode ser considerado um equipamento simples. É formado, basicamente, por uma estrutura metálica onde circula o fluido térmico aquecido através da resistência elétrica.

Nesta secção, são apresentadas as matérias-primas necessárias para a produção dos componentes e fluidos utilizados na fabricação do equipamento.

3.3.1.1. Aço Inox

A estrutura do radiador elétrico, fabricada em aço inox 304, é a responsável pela troca de calor entre o fluido térmico e o ambiente. Este material é formado a partir de uma mistura de ferro e ligas de ferro-crómio e níquel, cuja produção passa por vários processos.

O ferro gusa é originado a partir da mistura de óxido de ferro e carbono, que é inserido na mistura sob a forma de coque de carvão, obtido através da destilação do carvão mineral [49]. Este processo, que ocorre no interior de um alto forno, tem como objetivo remover o oxigénio do óxido de ferro, que, por sua vez, se liquefaz e origina o ferro gusa, considerado a principal matéria-prima para a produção de aço [50].

O níquel possui grande resistência a corrosão e oxidação, por isso é utilizado na produção do aço inox. Normalmente, nesta fase, é usado uma mistura de ferro-níquel que contém 20 a 96% do metal puro [51]. Graças à sua resistência ao calor, oxidação, corrosão e fadiga, o ferro-crómio é indispensável para a produção desta matéria-prima [52].

Resumidamente, pode-se afirmar então que o ferro, o coque de carvão, o níquel e o crómio são as principais matérias-primas necessárias para a fabricação de aço inoxidável. Assim sendo, quando estas já se encontram disponíveis na empresa siderúrgica, inicia-se o processo de produção do aço inox, que pode ser resumido como o equilíbrio termodinâmico das reações do oxigénio com o carbono e o crómio.

Atualmente, os dois principais métodos de produção de aço inox são o AOD (*Argon-Oxygen-Decarburization*) e o VOD (*Vacuum-Oxygen-Decarburization*). Ambos visam reduzir, através de processos de oxidação, o teor de carbono da mistura metálica. A grande problemática destes métodos é a perda do crómio que, por ser muito reativo, se combina rapidamente com o oxigénio, sendo facilmente incorporado pela escória, que é o resíduo do processo. Assim, é possível afirmar que o rendimento da produção do aço inox depende diretamente das reações do crómio.

As matérias-primas são fundidas num forno de arco elétrico, muitas das vezes em conjunto com sucata, e a proporção de cada material utilizado é definida pelo tipo de aço inox que será produzido, com exceção do carbono. A Tabela 3 demonstra, resumidamente, quais são os metais utilizados para a fabricação do aço inox, as suas matérias-primas e os processos para obtenção dos mesmos.

Tabela 3: Processos e matérias-primas incluídos na produção do aço inox¹⁷.

Metal	Matéria-prima	Processo
Ferro/Aço	Minério de Ferro (64% Fe)	Alto-forno e BOF (<i>Basic Oxygen Furnace</i>)
Níquel	Minério de Sulfureto (2,3% Ni)	<i>Flash smelting</i> e <i>Sherritt-Gordon refining</i>
Ferro-cromo	Minério de Cromita (27,0% Cr, 17,4% Fe)	Peletização/sinterização/pré-redução/forno de arco submerso
Ferro-níquel	Minério de Laterite (2,4% Ni, 13,4% Fe)	Forno rotatório/ Forno elétrico
Aço Inox	Ferro gusa (94% Fe, 4,4%C) Ferro-cromo (55% Cr, 30% Fe) Ferro-níquel (23% Ni, 69% Fe) Níquel (100% Ni)	AOD (<i>Argon Oxygen Decarburization</i>) / VOD (<i>Vacuum Oxygen Decarburization</i>)

De entre os métodos de produção citados, o AOD é o mais utilizado. Este método consiste em injetar, em duas fases, uma mistura de oxigénio e argon diretamente na mistura metálica. Esta injeção forma bolhas de monóxido de carbono com pressão parcial muito baixa e tem como objetivo reduzir a pressão na panela. Na fase inicial, o oxigénio é inserido para realizar a oxidação total do silício e parcial do carbono, manganês, enxofre e fósforo. Após esta fase de descarburização máxima, é realizado novamente o sopro de gás argon e oxigénio. Depois deste processo, o aço segue para a fase de refino secundário, onde são ajustadas a temperatura e algumas características químicas da composição [53].

O método VOD é indicado para a produção de aços com baixas concentrações de carbono, azoto e hidrogénio. A diferença deste processo para o AOD, é que neste o oxigénio é inserido sob vácuo, o que permite atingir rendimentos de crómio acima de 97% e teores de carbono inferiores a 0,012% [54].

A Figura 10 esquematiza os processos necessários para a produção do aço inox, tendo em consideração a extração e a produção das matérias-primas necessárias para tal.

¹⁷ Adaptado de: T.E. Norgato, S. Jahanshahi e W.J. Rankin. “*Alternative Routes to Stainless Steel – A Life Cycle Approach*”. Pp 694.

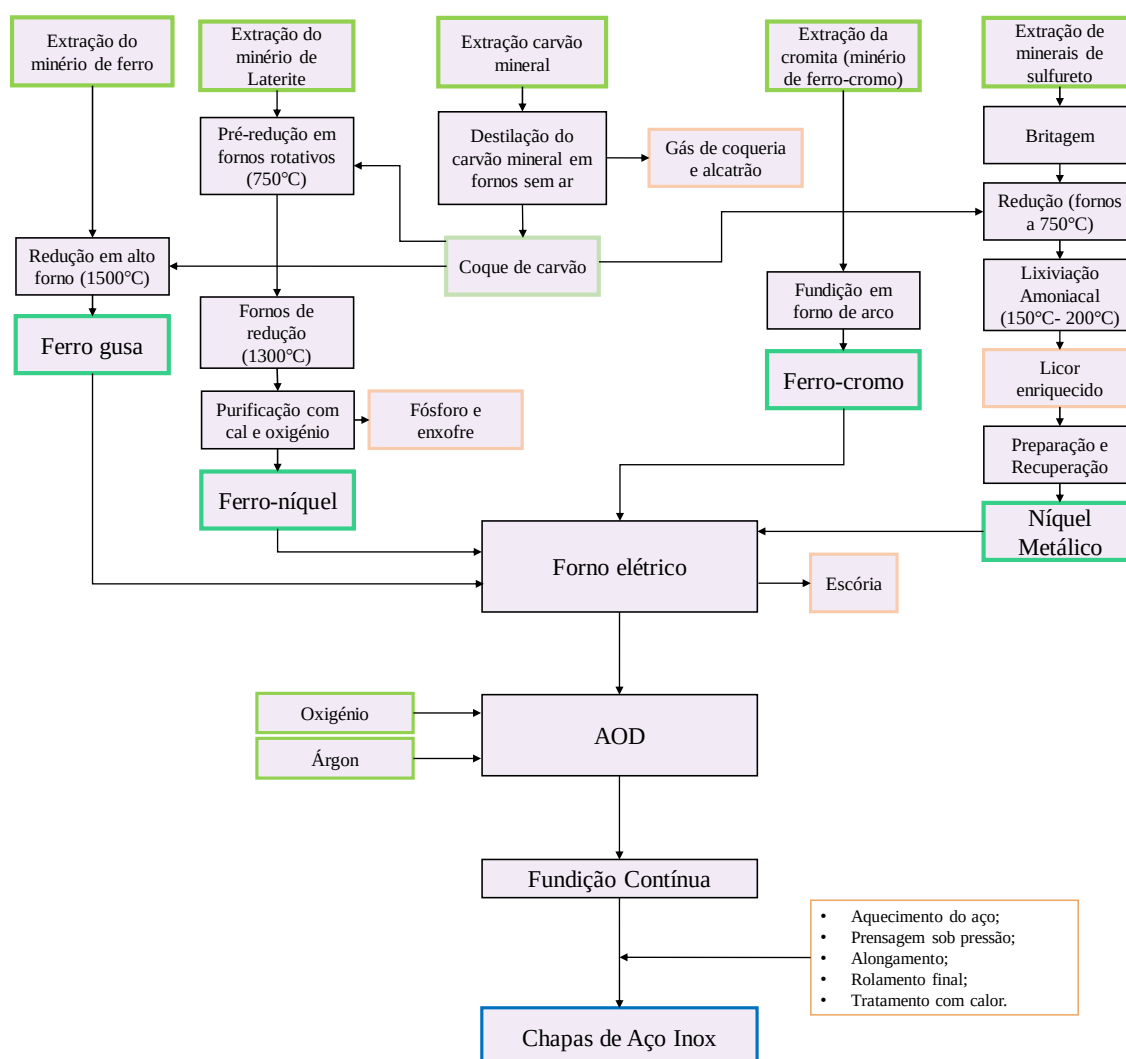


Figura 10: Matérias-primas e processos usados na fabricação do aço inox.

Destaca-se que os aços são classificados por meio de normas criadas pela AISI (*American Iron and Steel Insititute*), de acordo com a composição química de cada um. O aço inox que compõe o equipamento analisado é, segundo a AISI, o Aço Inox 304, equivalente ao “X5CrNi18-10” do padrão europeu. Este apresenta uma excelente resistência à corrosão quando está em contato com o ambiente e com outros materiais, devido à sua composição, composto por 18% de cromo e 8% de níquel. Estas características tornam-no o mais versátil e consumido em todo o mundo [55].

3.3.1.2. Resistência Elétrica

A resistência elétrica é a responsável pela transformação da energia elétrica em térmica. Esta componente cria uma espécie de barreira onde os elétrons colidem e, como consequência desta agitação, aumentam o atrito entre si, gerando o acréscimo da

temperatura. O óleo térmico, em contato com a resistência aquecida, absorve o calor e transfere-o para a estrutura metálica.

O radiador em foco possui a Resistência Elétrica Classe II IP64. A Classe II refere-se ao isolamento do equipamento elétrico, classificado pela Norma IEC 61140:2016: *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*, que significa que apresentam isolamento duplo e nenhuma simples falha causará tensões elétricas no aparelho [56]. O grau de proteção (IP) é um padrão definido pela “Comissão Eletrotécnica Internacional” (IEC), através da Norma IEC 60529:2004: *Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)* onde o valor “6” representa que a resistência elétrica utilizada é à prova de poeiras e o “4”, demonstra que a resistência está protegida contra jatos de água [57].

A resistência elétrica utilizada no radiador é fabricada por uma empresa italiana. É composta por diversos materiais, sendo que os principais são o cobre, a fibra de vidro, alguns minerais e borracha, que cumprem as regras do Regulamento (CE) nº 1907/2006 de 18 de Dezembro, especialmente os anexos XIV e XVII, que representam a “Lista das Substâncias Sujeitas a Autorização” e “Restrições Aplicáveis ao Fabrico, à Colocação no Mercado e à Utilização de Determinadas Substâncias e Preparações Perigosas e de Certos Artigos Perigosos” respetivamente, e estão de acordo com a Diretiva RoHS. Tais materiais são melhor especificados em seguida.

De forma a compreender melhor esta constituinte tão importante para a produção de calor no radiador elétrico, a Figura 11 e a Tabela 4 apresentam os materiais que compõem a resistência elétrica.

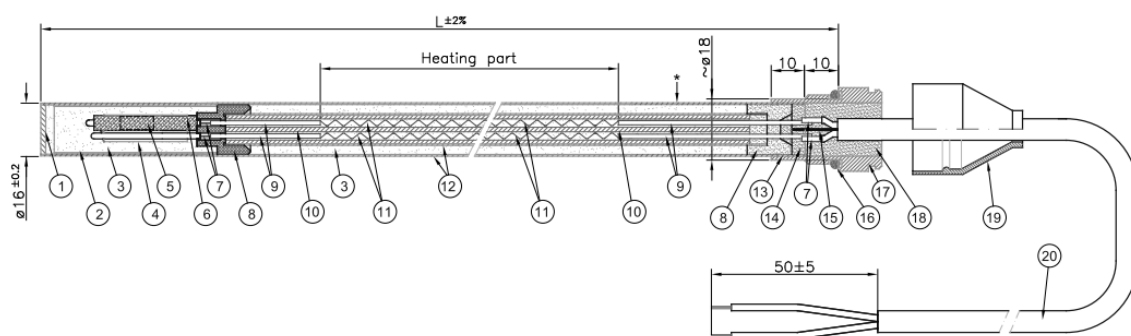


Figura 11: Resistência elétrica¹⁸.

¹⁸ Advanced heating solutions. “Ficha técnica resistência elétrica”

Tabela 4: Materiais que constituem a resistência elétrica e seus respectivos países de origem.

	Descrição	Material
1	Disco Final Soldado	Aço Inox 321 - Aço Inox 316
2	Tubo Isolantes	MYLAR® ¹⁹
3	Isolante	Óxido de Magnésio
4	Termostato	-
5	Fusível Térmico	-
6	Manta Isolante	Silicone com Fibra de Vidro
7	Conectores	Aço Inox 304
8	Capsula envolvente	Borracha de Silicone
9	Terminais	Aço laminado a frio
10	Isolante do núcleo da Resistência	Estatito– Cordierita
11	Fio da Resistência	DSD
12	Tudo de Inox	Aço Inox 304
13	Vedante	Borracha de Silicone
14	Vedante Anaeróbio para Altas Temperaturas	-
15	Espaçador	Mica
16	O-Ring	Borracha
17	Nipple	Aço Macio
18	Vedante	Resina Epoxy®
19	Manta Cromada	Novodur P2MC
20	Cabos H05 VV-F	Cobre e PVC

3.3.1.2.1. Cobre

O cobre é apenas utilizado como metal de condução na resistência elétrica. A indústria deste metal organiza-se através dos diferentes tipos de produtos originados nas etapas de extração, fundição e refino.

O minério de cobre, extraído diretamente da mina, passa por uma fase de moagem para reduzir o seu tamanho. Nesta fase, também são adicionados alguns reagentes para dar origem ao concentrado de cobre que, para a obtenção do metal puro, deve passar por processos de pirometalurgia ou hidrometalurgia. O primeiro processo consiste na utilização de fornos para aquecer o concentrado, enquanto que o segundo conta com uma etapa de beneficiamento do minério que consiste na lixiviação a partir da utilização de

¹⁹ MYLAR: película de poliéster com resistência térmica e propriedades de isolamento. Disponível em: https://www.grafixplastics.com/grafix-plastics/plastic-film-plastic-sheet-faq/mylar_what/ acesso em 05 de maio de 2020.

solventes adequados, entre os quais se destaca o ácido sulfúrico, como o mais utilizado [58] [59] [60].

3.3.1.2.2. Fibra de Vidro

A principal função da fibra de vidro na resistência elétrica é isolar o fusível. Este dispositivo de segurança serve para interromper a passagem de corrente elétrica quando esta ultrapassa os limites permitidos, de modo a evitar um curto-circuito.

A fibra de vidro é composta por filamentos muito finos, flexíveis e reforçados por uma resina de poliéster, silicones, fenóis e outros compostos solúveis em solventes orgânicos. É muito leve e apresenta alta resistência à tração, flexão e impacto.

Este material é formado por uma mistura de 70% de areia, 14% de sódio, 14% de cálcio e 2% de componentes químicos, sendo obtida através do mesmo processo de fabricação do vidro. É aquecida em forno industrial até atingir os 1500°C, para que os componentes se fundam. A formulação destes materiais é dependente da aplicação, do processo de produção e da disponibilidade de matérias-primas [61].

3.3.1.2.3. Minerais

Os principais minerais utilizados para a obtenção de algumas matérias-primas utilizadas na resistência elétrica são: a dolomita, mineral de obtenção de óxido de magnésio; a moscovita, para a obtenção da mica; e as rochas ígneas e metamórficas, para a obtenção do mineral esteatito (talco). Nesta componente, os minerais são utilizados, sobretudo, pelos seus altos índices de isolamento térmico e elétrico. A Tabela 5 apresenta os métodos de obtenção e as funções dos principais minerais utilizados na resistência elétrica.

Tabela 5: Minerais utilizados na resistência elétrica.

Mineral	Obtenção	Função/Características
Óxido de Magnésio	Decomposição térmica do magnésio metálico, obtido através da redução, em altas temperaturas (1150°C), da dolomita calcinada juntamente com o ferrosilício [62].	Isolante térmico, devido a sua boa estabilidade em altas temperaturas [63].
Esteatito (Pedra de Talco)	Quebra da Pedra Sabão, onde o minério de talco é separado e enviado para a estação de beneficiamento até a obtenção do talco puro [64].	Boa resistência térmica, mecânica e elétrica em altas temperaturas [65].
Mica (Moscovita em folhas) [66].	Obtida de um tipo de rocha denominado pegmatito através de processos de mineração e flotação.	Resistência mecânica e baixa densidade aparente.

3.3.1.2.4. Borracha de Silicone

A borracha de silicone apresenta ótimo isolamento térmico, por isso é utilizada na resistência elétrica para envolver os conectores e os terminais. A formulação típica deste material contém silicone, caulino calcinado, aditivos especiais e um ou mais peróxidos que auxiliam na resistência ao calor. O silicone é obtido através de átomos de silício combinado com átomos de oxigênio e radicais orgânicos [67] e o caulino calcinado, amplamente utilizado devido à resistência mecânica, é um mineral fabricado a partir da calcinação do silicato de alumínio, extraído de jazidas e beneficiado para se obter a granulometria desejada [68].

3.3.1.3. Fluido Térmico

O radiador elétrico analisado opera a partir de um fluido que, quando aquecido pela resistência elétrica, circula pelo interior do equipamento de modo a aquecer a sua estrutura e consequentemente, o ambiente circundante. O fluido utilizado no radiador é um óleo mineral lubrificante, desenvolvido a partir de bases parafínicas altamente refinadas e de aditivos especialmente selecionados.

O fluido utilizado no equipamento apresenta o número CAS “64742-65-0”, que segundo o Regulamento EC 1272/2008 de 16 de Dezembro, corresponde a “*Destilados (petróleo), parafínicos pesados desparafinados com solvente; óleo base - não especificado. [Uma combinação complexa de hidrocarbonetos obtida por remoção de parafinas normais de uma fracção petrolífera por cristalização com solvente. É constituída predominantemente por hidrocarbonetos com números de átomos de carbono predominantemente na gama de C_{20} até C_{50} e produz um óleo acabado com uma viscosidade mínima de $19 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$.]*”²⁰.

De acordo com o Regulamento EC 1272/2008 de 16 de Dezembro, conhecido como Regulamento CLP, este fluido é considerado uma substância perigosa, classificado pelo “Código das Classes e Categorias de Perigo” como cancerígeno 1B, sendo-lhe conferido o código H350 no que diz respeito à classe de “Advertência de Perigo”. Isto significa que este fluido é uma substância potencialmente cancerígena para o ser humano, como comprovam os testes feitos em animais [69]. Além disso, as companhias que fabricam ou importam este óleo lubrificante afirmam que esta substância pode ser fatal quando engolida ou inalada [70].

A matéria-prima utilizada para a produção do fluido térmico é o crude, que constitui uma matriz complexa formada por hidrocarbonetos que podem ser agrupados em 3 famílias:

²⁰ REGULAMENTO (CE) N.º 1272/2008 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de Dezembro de 2008 relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas, que altera e revoga as Directivas 67/548/CEE e 1999/45/CE, e altera o Regulamento (CE) n.º 1907/2006. Quadro 3.2. Pp. 1334.

parafinicos, naftênicos e aromáticos. Esta matéria-prima não é útil no seu estado natural, por isso deve ser processada nas refinarias. A composição e as características do óleo lubrificante dependem do petróleo e do processo utilizado na sua preparação, sendo, normalmente, produzido através de processos de fracionamento e destilação.

Os óleos parafinicos são os mais recomendados para os sistemas de aquecimento já que apresentam uma menor pressão de vapor. Esta característica é muito importante pois, para serem utilizados nestes sistemas, os fluidos devem apresentar baixa volatilidade e boa viscosidade, que são características diretamente ligadas à pressão de vapor, já que quanto menor a pressão de vapor, menor a volatilidade e maior a viscosidade do fluido [71].

A obtenção do óleo lubrificante inicia a partir da extração do petróleo que, após ser retirado do reservatório, é enviado, através de ductos, até à linha de produção, sob temperaturas próximas aos 70°C. Durante este trajeto ocorre a solidificação da parafina, devido à diferença de temperatura entre o petróleo e o ducto, e a partir deste momento, quando aparecem os primeiros cristais de parafina, inicia-se o processo de precipitação e posteriormente, de deposição [72] [73].

A refinação é um processo que consiste em tratamentos físicos e químicos que visam a separação do crude em diversos componentes. Este processo é baseado nos pontos de ebulição de cada composto que, ao passarem para a fase de vapor, resfriarem e retornarem para a fase líquida, separam-se nos diferentes derivados do petróleo.

O refino do petróleo ocorre na torre de fracionamento, onde a matéria-prima bruta é aquecida até que todos os seus componentes sejam completamente volatilizados. Os mais voláteis, ou seja, mais leves, vaporizam mais rapidamente e sobem em direção ao topo da torre, enquanto que os menos voláteis descem, de modo a que cada composto condense em diferentes alturas. Este processo de destilação possibilita que os componentes tenham sempre a mesma composição química, já que a temperatura, em cada altura da torre, é sempre constante.

O óleo lubrificante é formulado a partir de um óleo mineral base (75-80%), aditivos (10-20%), produtos para melhorar a viscosidade (5-10%) e alguns inibidores (<1%) [74]. A Figura 12 demonstra o processo de refino, onde, conforme a altura da torre, é possível verificar a obtenção dos diferentes produtos derivados do petróleo [75].

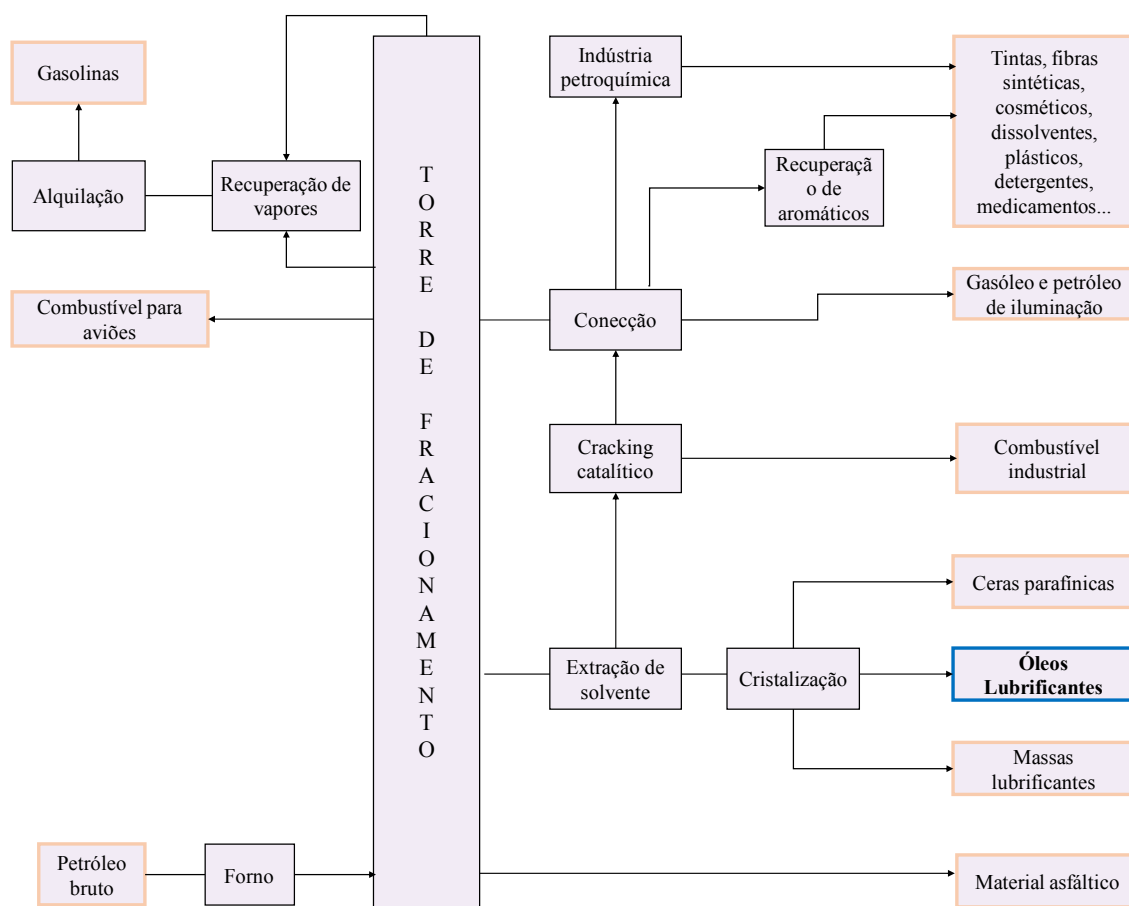


Figura 12: Processo de obtenção do óleo lubrificante²¹.

3.3.2. TRANSPORTE

As operações de transporte ocorrem entre as várias fases do ciclo de vida do radiador elétrico. O transporte inclui as deslocações realizadas desde os locais de extração e beneficiamento das matérias-primas até aos locais de fabricação dos componentes. Estes, quando finalizados, são encaminhados para os centros de distribuição e, seguidamente, para a empresa fabricante do equipamento em estudo. O radiador elétrico é, posteriormente, encaminhado para os seus locais de venda ao público e, em seguida, para o consumidor. Quando o radiador atinge o fim de vida, é transferido da habitação em que está instalado para um ponto de recolha, centro de receção ou operador de tratamento de resíduos.

O aço inox é um componente que necessita, para ser produzido, de várias matérias-primas. As principais são o ferro, o coque de carvão, o níquel e o crómio, que são extraídos em diferentes locais. O minério de ferro, utilizado para a produção de ferro gusa, é encontrado principalmente em reservas na Austrália, no Brasil e na Rússia [49]. O

²¹Adaptado de: Autoridade da Concorrência. “Relatório Final sobre os Sectores dos Combustíveis Líquidos e Gás Engarrafado em Portugal”. Pp. 64.

mineral cromita, utilizado para a produção de ferro-crómio, é extraído na África do Sul, no Cazaquistão e na Índia [76]. Por último, a obtenção do ferro-níquel ocorre através de minerais lateríticos e sulfetados, presente em grandes reservas situadas na Austrália, na Indonésia e no Brasil [77]. A produção do aço inox ocorre principalmente na China que, no ano de 2019, foi responsável por mais de 56% da produção mundial. A Ásia, com exceção da China e da Coreia do Sul, foi responsável por pouco mais de 15% da produção mundial de aço, enquanto que a Europa foi responsável por cerca de 13% dessa produção [78].

É notório que as matérias-primas utilizadas na produção do aço provêm de diferentes países e que os processos de produção deste metal ocorrem em diferentes locais, sobretudo situados na Ásia. Estas informações ainda não são suficientes para quantificar o transporte entre os locais de extração das matérias-primas e o local de fabricação e deste, até ao distribuidor.

É de conhecimento geral que o petróleo, matéria-prima utilizada para a produção do fluido térmico utilizado no radiador, é um recurso que não está disponível em todos os locais do planeta. Em Espanha, local de origem da empresa produtora do fluido térmico, há disponível uma reserva de 150 milhões de barris de petróleo, sendo considerada a 62^a maior reserva a nível mundial [79]. Assim sendo, torna-se necessário que a exploração do petróleo seja realizada em locais que apresentem maiores volumes disponíveis e que estes sejam transportados até o local de refino. A empresa em questão tem as suas principais unidades de exploração no Médio Oriente, no Norte de África e na América Latina [80].

Não existem informações disponíveis sobre o local de exploração do petróleo utilizado para a fabricação do óleo lubrificante e nem sobre o local de produção do mesmo, mas sabe-se que o transporte entre estes locais é realizado a partir de navios petroleiros e/ou camiões cisternas.

3.3.3. FABRICAÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO

A Figura 13 ilustra as etapas do processo de fabricação do radiador “*Steel Glam 800*” produzido pela empresa “FOURSTEEL Lda.” As etapas abaixo demonstradas foram determinadas através de uma visita técnica à empresa em questão.

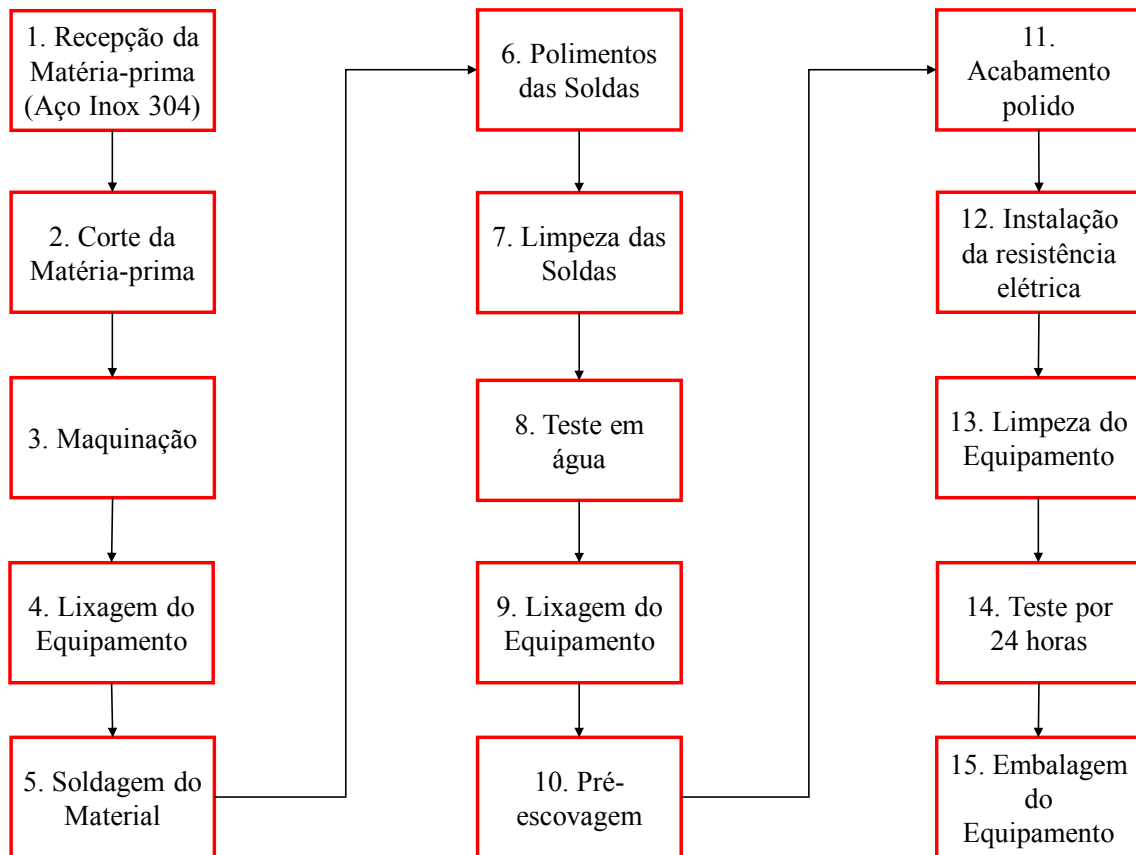


Figura 13: Esquema de fabricação do radiador elétrico na empresa “FOURSTEEL Lda.”

O aço inox 304 é enviado até a empresa “FOURSTEEL Lda.” (**recepção da matéria-prima**) no formato de tubos quadrados, com secção de 30x30 mm e comprimento de 6 m, que devem ser cortados nas dimensões necessárias para a produção do radiador elétrico. Após determinadas as medidas necessárias para o equipamento, os tubos de aço são cortados com um serrote eléctrico (**corte da matéria-prima**). Após esta fase, onde o material adquire os tamanhos exatos, é realizada a perfuração dos tubos verticais, onde serão encaixados os tubos horizontais (etapa de **maquinação**). Posteriormente, são retiradas algumas saliências escuras que aparecem devido aos longos períodos de armazenamento dos tubos de aço, através da **lixagem do material**.

Em seguida é feita a junção de dois ou mais elementos metálicos por aquecimento e/ou pressão, através do processo de **soldadura**, com ou sem adição de material complementar [81]. Este processo pode ser realizado de forma manual ou robotizada.

Normalmente durante o processo de fabricação do radiador, a soldadura ocorre manualmente, pelos métodos de soldadura TIG e MIG. O método TIG (*Tungsten Inert Gas*) é um processo de soldadura por arco elétrico, que tem como função principal fornecer calor para criar o banho de fusão e fundir o material de adição. O arco elétrico é estabelecido através de um eletrodo não consumível de tungstênio. Em relação ao método MIG (*Metal Inert gas*), são utilizados gases inertes de proteção onde, através de um arco elétrico, os metais são aquecidos até ao ponto de fusão. O gás inerte utilizado neste processo, é o gás árgon, amplamente utilizado em processos de soldadura, já que apresenta baixa energia de ionização e um preço reduzido, quando comparado com outros gases [82]. Ambos os métodos de soldadura são utilizados durante a produção do equipamento, mas, normalmente, o TIG é o mais utilizado. Este é realizado manualmente para agregar os tubos horizontais aos tubos verticais.

Outra parte do processo de soldadura é realizada de forma automática, ou seja, de forma robotizada. Tal tecnologia é utilizada devido à necessidade de uma maior precisão das soldas nas partes inferiores e superiores do radiador, onde são encaixados os quatro apoios, que na fase de instalação, serão fixados à parede. Estas extremidades do radiador exigem maior precisão por conterem a ligação de vários elementos.

No final da realização de todas as soldas, inicia-se o **polimento** das mesmas. Esta etapa é essencial, já que nestes locais, devido ao aquecimento do material, criam-se imperfeições em alto relevo. O polimento é realizado com o auxílio de robôs, através do processo MIG, com gás árgon.

O processo de soldadura tende a deixar as juntas escuras. Sendo assim, é necessário realizar a **limpeza das soldas** de forma a tornar o equipamento uniforme em termos de coloração. O ácido fosfórico, utilizado para a limpeza das soldas, é libertado, em pequenas quantidades, por uma máquina específica. O produto é depositado diretamente no local de tom mais escuro e enxaguado, posteriormente, com água. A água utilizada nesta fase provém da rede doméstica, ou seja, apresenta qualidade de água potável. O efluente gerado neste processo é diretamente encaminhado para a rede de esgotos domésticos, não passando por nenhum tipo de tratamento antes de ser descartado. A empresa afirma que foram realizadas análises de água e que as mesmas não demonstraram nenhum valor fora dos Limites de Emissão na descarga de águas residuais, presentes no Anexo XVIII do Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto [83], logo não existe a necessidade de instalar uma ETARI no local.

Posteriormente é realizado o **teste das soldas em água**, de forma a verificar a existência de possíveis defeitos ou fugas da peça. Este teste é realizado para garantir que não ocorre nenhum vazamento de óleo lubrificante ao longo da vida útil do equipamento. Esta fase consiste na imersão do radiador num tanque de água. Quando o equipamento se encontra totalmente submerso, é inserido, no interior da sua estrutura, ar comprimido. Caso ocorra, durante o teste, a libertação de ar, facilmente perceptível pela eventual formação de bolhas na água, é deduzido que existe algum tipo de deficiência nas soldas e o equipamento deve ser reencaminhado para a **soldadura** de forma a que estes pormenores e imperfeições sejam devidamente resolvidos e corrigidos. A água utilizada neste teste é reaproveitada

para testar aproximadamente 15 equipamentos e, finda esta análise de eventuais imperfeições, é diretamente encaminhada para a rede de esgotos domésticos.

Uma vez testada, comprovada e eventualmente corrigida a qualidade do produto, garantindo-se que o equipamento não apresenta qualquer tipo de vazamentos, o mesmo é encaminhado, de novo, para a **lixagem**. Esta etapa é necessária para a uniformização superficial do aparelho. Depois de concretizada esta uniformização, onde as soldas são devidamente inspecionadas e conferidas, o equipamento é enviado para a fase de **pré-escovagem**, de modo a prepara-lo para receber o **acabamento final polido**, que consiste em passar, por toda a sua estrutura, a pasta de brilho. A estrutura do radiador deve estar devidamente escovada de modo a facilitar a absorção do produto de polimento.

Terminada a execução de todas estas fases, no momento em que o radiador se encontra devidamente preparado e produzido, no seu estado ideal, são inseridos o óleo térmico e a resistência elétrica, de modo a finalizar o processo de fabricação do mesmo. Destaca-se que os cabos elétricos já estão acoplados à resistência elétrica, tornando desnecessária qualquer tipo de instalação específica.

Finalizados todos estes passos essenciais na produção do equipamento, o mesmo é **testado por um período de 24 horas**, onde permanece em funcionamento de forma a detectar possíveis anomalias. Caso este período seja concretizado com sucesso, ou seja, se se verificar que o radiador não apresenta qualquer problema, quer do ponto de vista estético, quer do ponto de vista de funcionamento, o mesmo é **embalado** em material plástico e inserido numa caixa de cartão, que é envolvida com filme plástico para preservar a integridade do produto ao longo do seu transporte e durante a sua permanência nos locais de venda.

3.3.4. FIM DE VIDA

Atingindo o seu fim de vida, os radiadores elétricos, seguem o destino dado aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos. Em Portugal, de acordo com a legislação em vigor, os comerciantes são obrigados a assegurar a receção dos resíduos de EEE de forma gratuita para os utilizadores finais, na razão de 1 por 1, seguindo o princípio de que o utilizador deve adquirir um equipamento equivalente, ou seja, que desempenhe a mesma função do equipamento em fim de vida que está a deixar no local [20].

Em Portugal, existem, também, sistemas gratuitos de recolha de REEE, onde os cidadãos podem contactar os serviços municipais de modo a que os seus resíduos eletrónicos domésticos sejam recolhidos diretamente nas suas casas e enviados para os destinos adequados. Além destes serviços disponibilizados pelos diferentes municípios, os cidadãos podem entregar os seus REEE nos pontos de recolha das entidades gestoras do fluxo dos REEE, como é o caso da “WEEECYCLE”, “ERP-Portugal” e “Electrão”. Em 2018, recolheram-se nestas empresas aproximadamente 36.146 toneladas de REEE da categoria 1 (equipamentos reguladores de temperatura) na qual estão inseridos os radiadores elétricos a óleo [84] [85].

No caso avaliado, quando o radiador elétrico atinge o seu fim de vida, é encaminhado para um centro de recepção ou diretamente para um “Operador de Tratamento de REEE”. Nestes locais, é realizada uma triagem, onde os equipamentos são devidamente separados por categorias. Após este processo, são desmontados e separados por frações de diversas tipologias de materiais, sendo posteriormente encaminhados para tratamento. Dependendo do tipo de material, estes podem ser enviados para valorização energética, reutilização, reciclagem, eliminação, incineração, deposição em aterro, entre outros.

3.3.4.1. Aço Inox

Os aços inox são considerados materiais totalmente recicláveis, ou seja, não se tornam resíduos quando chegam ao seu fim de vida. Desta forma, é possível afirmar que os processos de produção e reciclagem não são etapas separadas do ciclo de vida, mas sim, que fazem parte da mesma. A sucata de aço inoxidável é dividida em categorias referentes às suas fases de geração. Durante o ciclo de vida do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, esta sucata é produzida nas fases de fabricação e fim de vida. Na primeira das fases mencionadas, a etapa de fabricação, é produzida “Sucata Nova”, proveniente das sobras da fase de corte dos tubos de aço. Ao atingir o seu fim de vida, quando o radiador passa a ser considerado resíduo, a sua estrutura de aço passa a ser considerada uma “Sucata Velha”, que, de um modo geral, é a mais difícil de tratar devido às suas variedades de tamanhos, composições e densidades.

A estrutura de aço, após ser separada no “Operador de Tratamento de Resíduos”, é enviada para empresas de reciclagem. Nestes locais a sucata de aço é, normalmente, processada, de modo a que os seus tamanhos sejam reduzidos e as suas densidades sejam aumentadas. Os principais processos para obter estas características são o corte, enfardamento, cisalhamento, prensagem e retalhamento. Quando a sucata se encontra em boas condições no que diz respeito ao seu tamanho e densidade, é encaminhada para uma siderurgia de forma a ser reintroduzida no processo de produção do aço. Estima-se que todo o aço inox produzido atualmente contenha até 60% de aço reciclado, sendo que cerca de 42% deste valor é proveniente de produtos no seu fim de vida e os restantes 58% provêm da sucata nova e doméstica [86].

3.3.4.2. Óleo Lubrificante

O óleo lubrificante é retirado do radiador na fase de separação das frações do equipamento. Este fluido necessita de cuidados específicos, já que se trata de um derivado do petróleo que pode causar graves danos ambientais e à saúde humana, se for encaminhado de forma incorreta.

Ao atingirem o fim da vida, os óleos lubrificantes recebem a denominação de óleos lubrificantes usados (OLUs), definidos como lubrificantes minerais ou sintéticos que sejam considerados resíduos, podendo ser provenientes de motores de combustão, de

sistemas de transmissão, usados em turbinas e em sistemas hidráulicos ²² [20]. Em cada ano, somente no setor industrial, são produzidos mais de 35 milhões de toneladas de OLU [87]. Estes resíduos são altamente poluidores devido à sua elevada quantidade de produção, aliada ao facto de serem constituídos por ácidos orgânicos e inorgânicos, restos de aditivos, partículas metálicas e hidrocarbonetos. Estima-se que apenas um litro de óleo lubrificante usado é capaz de causar danos irreversíveis a 1000 m³ de água, podendo demorar até cerca de 300 anos a degradar-se [88].

Este resíduo, após ser separado pelo “Operador de Tratamento de Resíduos”, pode ser encaminhado para os possíveis destinos finais:

- Regeneração: operação de reciclagem que permite produzir óleos base mediante o reprocessamento de óleos usados. Visa a remoção de contaminantes, produtos de oxidação e aditivos que os referidos óleos contenham. Este processo é realizado a partir da destilação instantânea, com o objetivo de remover água e produtos mais leves e separar os lubrificantes dos compostos residuais pesados [89];
- Reciclagem: operação de valorização, incluindo o reprocessamento de materiais orgânicos, através do qual materiais constituintes do óleo usado são novamente transformados em produtos, materiais ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins que não incluem a valorização energética e nem o reprocessamento;
- Valorização energética: óleos lubrificantes usados utilizados como meio de produção de energia calorífica, normalmente em caldeiras e em cimenteiras, onde podem ser queimados sem tratamentos prévios. Alguns estudos indicam que petróleo, óleos e lubrificantes usados podem ser eficientemente queimados em queimadores e caldeiras, mas esta técnica apresenta alguns problemas no que se refere à incrustação do queimador, emissão de materiais particulados e cinza residual.

Por exemplo, quando se compara o OLU do radiador elétrico com um óleo lubrificante utilizado em engrenagens, compressores, motores ou automóveis, que está muito mais exposto à humidade, ao oxigénio e às altas temperaturas, causadores do envelhecimento e da oxidação do óleo [32], o óleo lubrificante do radiador apresenta melhores condições para poder ser reciclado e/ou regenerado.

De acordo com os dados da APA, no primeiro trimestre de 2020 foram recolhidas 6.821 toneladas de óleos lubrificantes usados, sendo que deste total, 4.573 toneladas foram regeneradas e somente 899 toneladas foram recicladas [90]. A partir destes valores, é possível afirmar que a grande maioria do volume de OLUs recolhidos no país é regenerado.

Na Figura 14, pode-se visualizar os possíveis processos de tratamento dos óleos lubrificantes usados.

²²Diário da República 1ª. Série de 11 de dezembro de 2017. “Decreto-Lei n.º. 152-D/2017. Artigo 3º. Alínea dd)”. Pp 92.

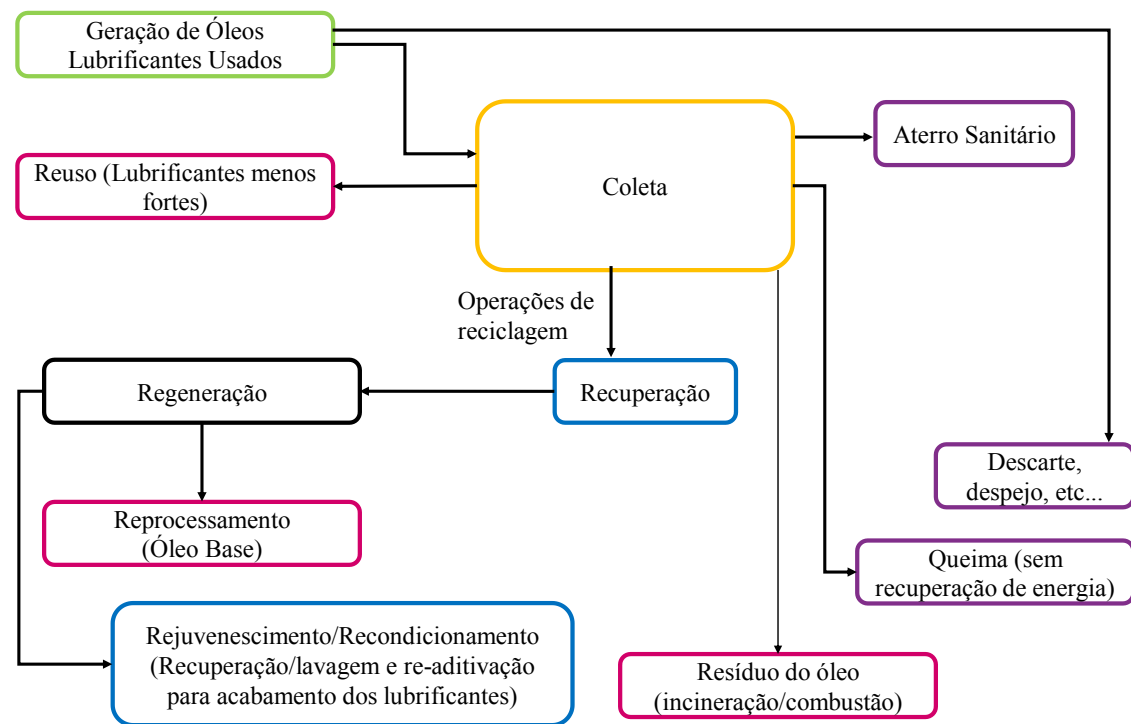


Figura 14: Destinos dos óleos lubrificantes usados²³.

²³ Adaptado de: Collins, M. "Life Cycle Assessment of Used Oil Management". 2017. Pp 12.

4

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO RADIADOR ELÉTRICO

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são definidos o objetivo e o escopo, bem como determinadas a unidade funcional e as fronteiras do sistema. Estas definições são necessárias pois possibilitam a realização da análise do inventário para avaliar quais são os impactos ambientais associados a cada etapa do ciclo de vida do radiador toalheiro elétrico designado por “*Steel Glam 800*”. Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar os impactos ambientais causados durante o ciclo de vida deste aquecedor, recorrendo exclusivamente às informações disponibilizadas pela empresa produtora do equipamento, a “FOURSTEEL Lda.”, com base numa unidade produzida (um radiador), relativa aos fluxos de materiais e energia, bem como através de informações bibliográficas utilizadas para os processos de extração de matérias-primas e produção dos componentes. A “WEEECYCLE”, disponibilizou informações sobre as operações de gestão de fim de vida dos componentes do radiador elétrico.

4.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA À PRODUÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO

Esta secção tem como objetivo aplicar a metodologia de “Avaliação do Ciclo de Vida”, seguindo as Normas ISO 14040:2008 e ISO 14044:2010, partindo da definição do objetivo e escopo, da unidade funcional e das fronteiras do sistema.

4.2.1. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

Na “Definição do Objetivo e Escopo” deve-se declarar as razões para a condução do estudo, o público-alvo a que se pretende comunicar os resultados e colocar a hipótese de utilizar estes resultados em afirmações comparativas que poderão ser divulgadas publicamente. Na definição do escopo devem ser considerados e claramente descritos alguns itens, tais como a unidade funcional e as fronteiras do sistema [41] [91].

Sendo assim, tal como já referido ao longo da presente dissertação, o objetivo da realização deste estudo é avaliar os impactos ambientais associados ao ciclo de vida de

uma unidade do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, fabricado pela empresa “FOURSTEEL Lda.”. Esta avaliação inclui a caracterização das categorias de impacto ambiental, as contribuições de cada etapa para o impacto ambiental global e a identificação da etapa com a maior contribuição.

4.2.2. UNIDADE FUNCIONAL E FRONTEIRAS DO SISTEMA

A “Unidade Funcional” pode ser definida como uma medida de desempenho das saídas funcionais do sistema de produto e tem como objetivo fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas estão relacionadas. A Unidade Funcional (UF) definida para esta dissertação é uma unidade do **Radiador Toalheiro Elétrico “*Steel Glam 800*”**, fabricado pela empresa “FOURSTEEL Lda.”. Este radiador foi desenvolvido pelo conceituado arquiteto Gonçalo Byrne, para um edifício de luxo localizado em Cascais, com o objetivo de dar resposta às necessidades de aquecimento de espaços de banho, com recurso a um equipamento de climatização moderno, de acordo com os requisitos do cliente, com estética apurada e requintada, de linhas simples e minimalistas. Apresenta uma configuração retilínea, com perfis quadrados, tornando este equipamento uma aposta ganha do seu fabricante na concepção de aquecedores com *design* contemporâneo. O equipamento em estudo é produzido em aço inox 304 e tem acabamento em aço polido. Enquadra-se, ainda, na versão Elétrica II, ou seja, apresenta o seu elemento de controlo de funcionamento oculto. As dimensões do equipamento são as apresentadas na Tabela 6. Tendo em consideração a “Unidade Funcional”, na Tabela 7 estão apresentadas as massas de cada um dos componentes que fazem parte do radiador elétrico avaliado.

Tabela 6: Características Radiador Elétrico “*Steel Glam 800*”.

Altura (mm)	Distância entre Eixos (mm)	Largura Total (mm)	Profundidade (mm)	Capacidade (l)	Potência (W)
800	450	480	90	2,8	300

Tabela 7: Componentes do radiador elétrico “*Steel Glam 800*” e suas respetivas massas, em kg.

Componentes	Massa (kg)
Aço Inox 304 (Estrutura)	5,5
Resistência Elétrica	± 0,3
Óleo Lubrificante	2,2

As “Fronteiras do Sistema” determinam quais unidades de processos devem ser incluídas na ACV. Para além disso, deve-se identificar e justificar os critérios utilizados para determiná-las [41] [91]. Sendo a abordagem considerada do tipo *cradle-to-grave*, os limites das fronteiras do sistema incluem:

- A extração das matérias-primas e a produção dos tubos de aço inox 304 e do fluido térmico;
- O transporte desde a fábrica/distribuidor dos componentes até à empresa fabricante do radiador elétrico, desta para a habitação do consumidor e mais tarde, para o ponto de recolha;
- O processo de fabricação do radiador elétrico;
- A utilização do equipamento durante o seu período de vida útil (estimado em 12 anos), numa habitação modelo;
- As opções que decorrem quando o equipamento atinge o seu fim de vida.

E excluem:

- O transporte entre os locais de extração das matérias-primas e o local de produção das chapas de aço inox, deste até à unidade de fabricação dos tubos metálicos e, posteriormente, até ao local de distribuição;
- O transporte do petróleo bruto desde o seu local de extração até à unidade de destilação e desta até ao centro de distribuição;
- O transporte do equipamento em fim de vida, a partir do ponto de recolha;
- As fases de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, “Fabricação” e “Fim de Vida” da resistência elétrica;
- As emissões de efluentes líquidos e gasosos da etapa de “Fabricação”.

Todas as exclusões são consequência da falta de informação disponível. A resistência elétrica só é contabilizada na fase de “Transporte”. As demais fases são excluídas pois não é possível determinar com exatidão as massas dos materiais que a compõem.

Considerando a fronteira temporal, os dados utilizados para a realização do inventário da fase de “Fabricação” correspondem ao período de um ano, enquanto que os dados referentes à fase de “Utilização” correspondem a 12 anos. A fronteira geográfica considera os componentes que são encaminhados desde Espanha e Itália até a empresa produtora do radiador elétrico, localizada em Aveiro, Portugal. A Figura 15 apresenta um esquema com os limites das fronteiras.

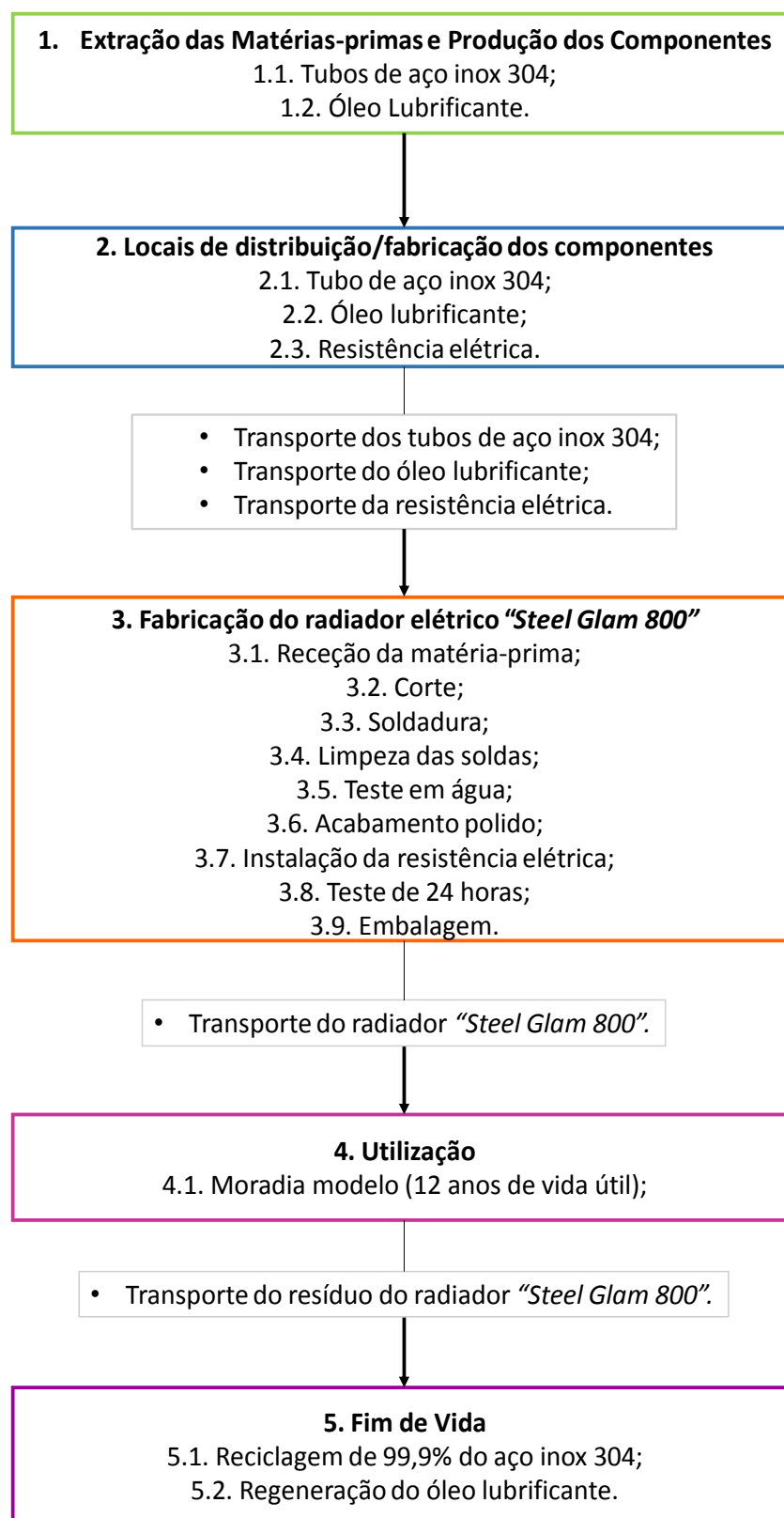


Figura 15: Fronteiras do sistema.

4.3. ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

O “Inventário do Ciclo de Vida” envolve a recolha de dados e a realização de cálculos para quantificar as entradas e saídas, incluindo o uso de recursos e as libertações na água, ar e solo, para cada etapa do ciclo de vida do equipamento em estudo. A análise destes dados é imprescindível para realizar a avaliação dos impactes ambientais associados a cada uma das fases do ciclo de vida do radiador elétrico [41] [91].

Nesta secção são quantificados os materiais e a energia associados às etapas de “Fabricação”, “Transporte” e “Utilização” do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”. As informações referentes à “Extração da matéria-prima e Produção dos Componentes” e “Fim de Vida” foram obtidas com o auxílio das bases de dados presentes no *software SimaPro*. As informações e dados relativos à fase de “Fabricação” foram obtidos, exclusivamente, através da empresa produtora. As distâncias, referentes à fase de “Transporte”, foram contabilizadas com o auxílio da aplicação *Google Maps*. Em seguida, foram inventariados o consumo energético e a produção de calor do equipamento numa moradia modelo. Os destinos finais dos diferentes componentes do equipamento são desconhecidos, por isso, apenas é contabilizada a entrega do resíduo num ponto de recolha e os tratamentos são determinados de acordo com informações da bibliografia.

4.3.1. MATÉRIA-PRIMA

De forma a ser possível realizar o inventário e a posterior avaliação dos impactes associados, é imprescindível que se tenha conhecimento à cerca das matérias-primas e das respetivas quantidades utilizadas para a produção do determinado equipamento.

No caso em estudo, sabe-se que a massa do equipamento finalizado é igual a 8 kg. De acordo com a ficha técnica do radiador, o aparelho avaliado apresenta uma capacidade igual a 2,8 litros, sendo que deste total cerca de 90% é ocupado pelo óleo lubrificante, o que equivale a 2,5 litros. Ao analisar a ficha técnica do fluido térmico, determina-se que a densidade do óleo lubrificante utilizado é igual a 0,8741 g/cm³ e, desta forma, calcula-se a massa de fluido que corresponde, então, a 2,2 kg. De acordo com informações disponibilizadas pela empresa produtora do equipamento, a resistência elétrica apresenta uma massa de aproximadamente 300 gramas. Assim sendo, considerando a massa de lubrificante e da resistência elétrica, assume-se que o peso da estrutura metálica do radiador corresponde a cerca de 5,5 kg.

Na fase de “Fabricação” do equipamento, são desperdiçados, em média, 2% da massa total de aço utilizada no radiador, totalizando aproximadamente 110 gramas. Desta forma, são necessários 5,6 kg de aço para produzir um equipamento com a massa anteriormente calculada de 5,5 kg.

A resistência elétrica pode ser considerada uma componente bastante complexa, já que é constituída por diversos materiais provindos dos mais variados locais. Esta componente é enviada para “FOURSTEEL Lda.” já finalizada, ou seja, a empresa produtora do

radiador elétrico não apresenta qualquer intervenção e relação com o ciclo de vida desta componente. Desta forma, esta peça é desconsiderada na fase de inventariação por não ser possível ter acesso e conhecimento à cerca do seu processo produtivo e dos procedimentos associados.

4.3.2. TRANSPORTE

No que se refere ao transporte, apenas foram contabilizadas as distâncias percorridas entre os locais de produção/distribuição dos componentes e a unidade de fabricação do radiador elétrico, localizada em Aveiro. Algumas fases do ciclo de vida foram excluídas, da fase de “Transporte”, na realização do inventário, como por exemplo, os trajetos entre os locais de extração das matérias-primas e de produção e deste para os locais de distribuição, quer do aço inox, quer do óleo lubrificante, bem como entre o ponto de recolha do equipamento em fim de vida, o “Operador de Tratamento de Resíduos” e os locais de tratamento e reciclagem.

O aço, quando comparado com outros metais como o cobre, o latão e o bronze, não apresenta uma densidade muito elevada, variando entre 7.850 kg/m^3 e 8.000 kg/m^3 . Ainda assim, necessita de meios de transporte resistentes e que suportem grandes cargas. Desta forma, determinou-se que os veículos que realizam o transporte do aço inox são camiões de dimensão média, que suportam cargas entre 10 e 20 toneladas. No que diz respeito ao trajeto percorrido pelos mesmos, os tubos de aço inox são produzidos numa empresa espanhola, de acordo com as informações disponibilizadas pela empresa fabricante do radiador elétrico, mas não é possível determinar a origem do material. Considera-se, portanto, no presente trabalho, apenas o transporte dos tubos de aço, desde o centro de distribuição, em Pontevedra - Espanha, até à unidade de fabricação do radiador elétrico.

A empresa fabricante do óleo lubrificante possui, no concelho de Matosinhos do distrito do Porto, uma unidade petroquímica onde é produzido betume e a partir de onde são distribuídos alguns derivados do petróleo, incluindo os óleos lubrificantes. A partir desta análise, é possível afirmar que o óleo térmico utilizado no radiador elétrico é distribuído a partir desta unidade petroquímica [92]. Este fluido lubrificante é distribuído, então, a partir da cidade de Matosinhos, não sendo enviado diretamente até à empresa fabricante do radiador, tornando-se necessário que uma terceira entidade realize este transporte. Esta terceira entidade realiza o transporte do óleo desde a unidade petroquímica até à sua sede, em Aveiro, onde armazena o produto e, quando solicitado, transfere-o até a empresa fabricante do radiador elétrico [93]. Destaca-se que o transporte é realizado em duas etapas e por isso são necessários diferentes tipos de veículos: camiões cisterna e camiões leves (< 10 toneladas), sendo que os primeiros levam o produto até à unidade de armazenamento e os segundos distribuem, em tambores de 200 litros de capacidade, o óleo lubrificante térmico.

A resistência elétrica é fornecida sempre pela mesma empresa italiana. O radiador elétrico é fabricado e enviado da “FOURSTEEL Lda.” para os locais de venda e destes, para a habitação do comprador. Neste caso, foi considerada apenas uma habitação modelo, por

isso, considera-se apenas um caso exclusivo de compra. O radiador, quando atinge o seu fim de vida, é encaminhado diretamente para um ponto de recolha ou para um “Operador de Tratamento de Resíduos” devidamente licenciado. Neste caso específico, considera-se um ponto de recolha gerido pela “WEEECYCLE”, onde ocorre o desmantelamento e o posterior envio das frações para os destinos finais, para reciclagem e, no caso do óleo lubrificante, o mesmo é regenerado. A Figura 16 representa as operações de transportes realizadas ao longo do ciclo de vida do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”. Destaca-se o facto dos trajetos representados pelas setas tracejadas não serem contabilizados.

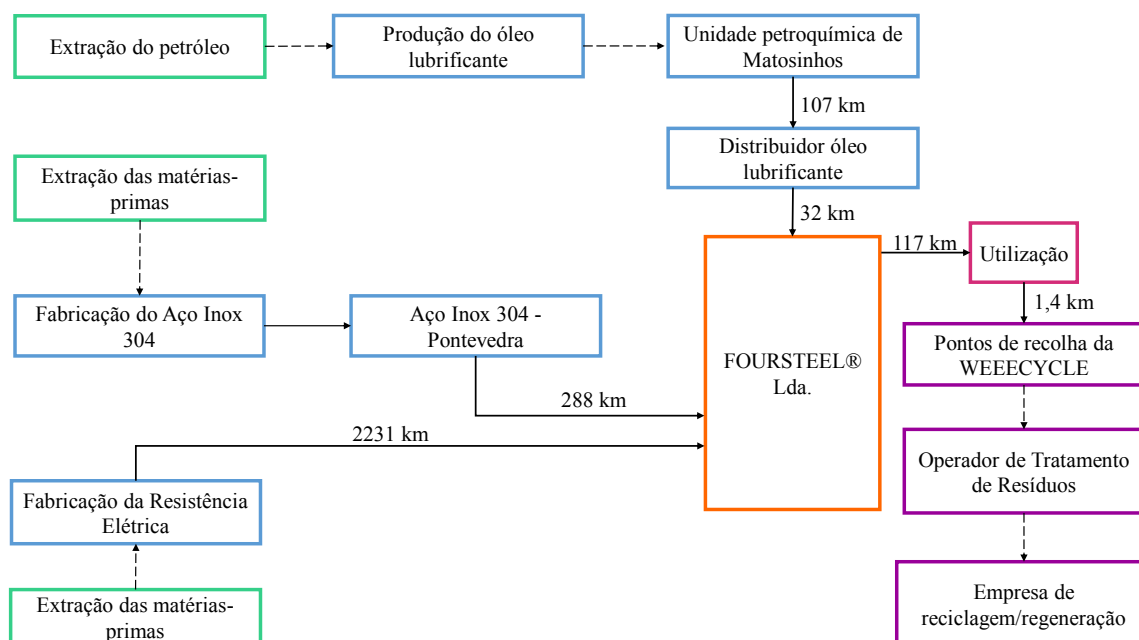


Figura 16: Transportes.

A Tabela 8 representa a inventariação associada aos tipos de transporte do ciclo de vida do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”. A unidade (tkm) corresponde à massa transportada, em toneladas, multiplicada pela distância percorrida pelo meio de transporte, em quilómetros. Estas distâncias foram contabilizadas com o auxílio da aplicação *Google Maps* e adaptadas com a maior precisão e rigor possibilitado uma vez que não é, de todo, possível ter conhecimento exato da rota efetuada pelos veículos de transporte. Com o intuito de ultrapassar esta limitação, foi acrescida uma margem de cerca de 20% sobre cada distância aferida entre o ponto de partida e de chegada. É de importância relevante destacar, também, que todos os camiões avaliados nesta etapa pertencem à categoria EURO 5, determinada de acordo com a data de fabricação de grande parte da frota dos camiões europeus, o que corresponde ao ano de 2009.

Tabela 8: Inventário da fase de "Transporte".

Rota	Distância Percorrida (km)	Tipo de veículos	Parâmetro de modelação da distância (tkm)
Aço Inox			
Pontevedra – Aveiro	288	Camião Médio	1,61
Óleo lubrificante térmicos			
Unidade Petroquímica de Matosinhos – Distribuidor	107	Camião Cisterna	0,24
Distribuidor– “FOURSTEEL Lda.”	32	Camião Pequeno	0,08
Resistência Elétrica			
Itália – “FOURSTEEL Lda.”	2231	Camião Médio	0,82
Utilização			
FOURSTEEL – Distribuidor – Comprador (Porto) ²⁴	117	Camião Pequeno	1,08
Fim de Vida			
Comprador – Centro de receção ou Ponto de Recolha	1,4	Automóvel particular	0,01

4.3.3. FABRICAÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO

Nesta secção consta o inventário da fase de “Fabricação” do radiador elétrico “*Steel Glam 800*” por parte da “FOURSTEEL Lda.”. Nesta etapa predomina o consumo de energia elétrica associada ao funcionamento das máquinas que realizam os processos de corte, lixagem, soldadura, limpeza das soldas e teste final. Nestes processos, além da energia elétrica, são consumidos outros materiais como por exemplo: lixas de cartão no processo de lixagem; um produto à base de ácido fosfórico na limpeza das soldas; e a pasta de brilho no polimento do produto.

A água é um recurso consumido tanto na fase de limpeza do equipamento como na primeira fase de testes, onde o equipamento é mergulhado num tanque contendo água. Após realizado o teste final e estando em boas condições estéticas e de funcionamento, o equipamento segue para a etapa de embalagem, onde é utilizado plástico e cartão.

Na Tabela 9 é apresentado o inventário da fase de fabricação do radiador. Destaca-se que a mesma não apresenta saídas de efluentes líquidos e gasosos devido ao facto de os níveis de poluentes serem muito baixos, a ponto de não necessitarem nenhum tipo de tratamento.

²⁴Destaca-se que para este resultado, foi considerado apenas um destino final de venda. Neste sentido, foi contabilizada a distância desde a empresa produtora, em Aveiro, até um único destino de instalação, no concelho do Porto.

Tabela 9: Inventário fase de “Fabricação” do radiador elétrico “*Steel Glam 800*” na empresa “*FOURSTEEL Lda.*” Valores reportados à unidade funcional (UF=1 radiador elétrico).

Entradas		
	Quantidade	Unidade
Aço Inox 304	5,60	Kg
Óleo térmico	2,18	Kg
Pasta de polimento	15	g
Energia Elétrica	1,86	KWh
Produto de limpeza a base de ácido fosfórico	5	ml
Água	0,2	m ³
Plástico	15	g
Soldas	2,4	m
Cartão Branqueado	1,14	Kg
Saídas		
	Quantidade	Unidade
Aparas de Aço Inox 304	110	g
Óleo das máquinas	5	ml
Plásticos	5	g
Madeiras (<i>pallets</i>)	3	Kg
Cartão	1	Kg

4.3.4. UTILIZAÇÃO

A fase de “Utilização” pode ser resumida ao consumo de energia elétrica. Para calcular tal consumo, é imprescindível conhecer as necessidades de calor do espaço onde o equipamento é instalado. Tratando-se de um radiador toalheiro, este equipamento “*Steel Glam 800*” é instalado por norma no espaço de banho, que está melhor detalhado no Anexo I.

Para estimar o consumo de eletricidade durante a vida útil do radiador, foi necessário realizar algumas considerações. Assumiu-se que na habitação analisada vivem duas pessoas adultas. Desta forma, é determinado que o equipamento funciona 3 horas por dia, durante todos os dias dos seis meses mais frios do ano, ou seja, entre Setembro e Março. Ao considerar o tempo de utilização, sabendo que a potência do equipamento corresponde a 300 W, obtém-se um consumo elétrico igual a 190,8 kWh/ano. No caso estudado, é estimado que o radiador apresente uma vida útil de 12 anos e, como consequência, um consumo total de 2289,6 kWh ao longo de todo o seu período de utilização.

A Tabela 10 apresenta os valores totais referentes ao consumo elétrico para geração do calor necessário para o espaço de banho avaliado. Destaca-se que a fase de utilização é apenas inventariada para um único exemplo de moradia modelo e que o mesmo será considerado para os demais países para onde o equipamento pode ser exportado.

Tabela 10: Inventário da fase de "Utilização" do radiador elétrico "Steel Glam 800" numa moradia modelo.

Entradas		
	Quantidade	Unidade
Energia Elétrica	2289,6	kWh/vida útil
Saídas		
	Quantidade	Unidade
Calor	8242,6	GJ/vida útil

4.3.5. FIM DE VIDA

O radiador elétrico, ao atingir o seu fim de vida, não é encaminhado para o mesmo destino dos resíduos sólidos urbanos, devendo seguir para um ponto de recolha apropriado para estes fins. Os resíduos, após conduzidos para os centros de receção e posteriormente para um "Operador de Tratamento de Resíduos", são desmantelados e as suas frações são devidamente separadas e enviadas para os locais adequados para a reciclagem/reaproveitamento.

Normalmente os metais podem ser completamente reciclados. O aço inox, após ser submetido a alguns processos que promovem a diminuição do seu tamanho e o aumento da densidade, pode ser encaminhado para uma empresa produtora de aço e ser reinserido no processo de fabricação. No presente estudo, é considerado que 99,9% da massa total do aço inox é reciclada.

A Tabela 11 demonstra o inventário da fase de fim de vida do radiador elétrico, onde o aço inox é reciclado e o óleo lubrificante é regenerado.

Tabela 11: Inventário fase de "Fim de Vida" do radiador elétrico "Steel Glam 800".

Entradas		
	Quantidade	Unidade
Reciclagem do Aço Inox 304	5,5	Kg
Regeneração do Óleo Lubrificante	2,2	Kg

No que diz respeito à operação de regeneração dos óleos lubrificantes usados, não existe qualquer base de dados de referência presente no *software SimaPro*. Sendo assim, esta etapa é modelada recorrendo às informações disponíveis na bibliografia. A operação de regeneração, que transforma o óleo usados em óleo base, ocorre conforme o esquema apresentado na Figura 17 [94].

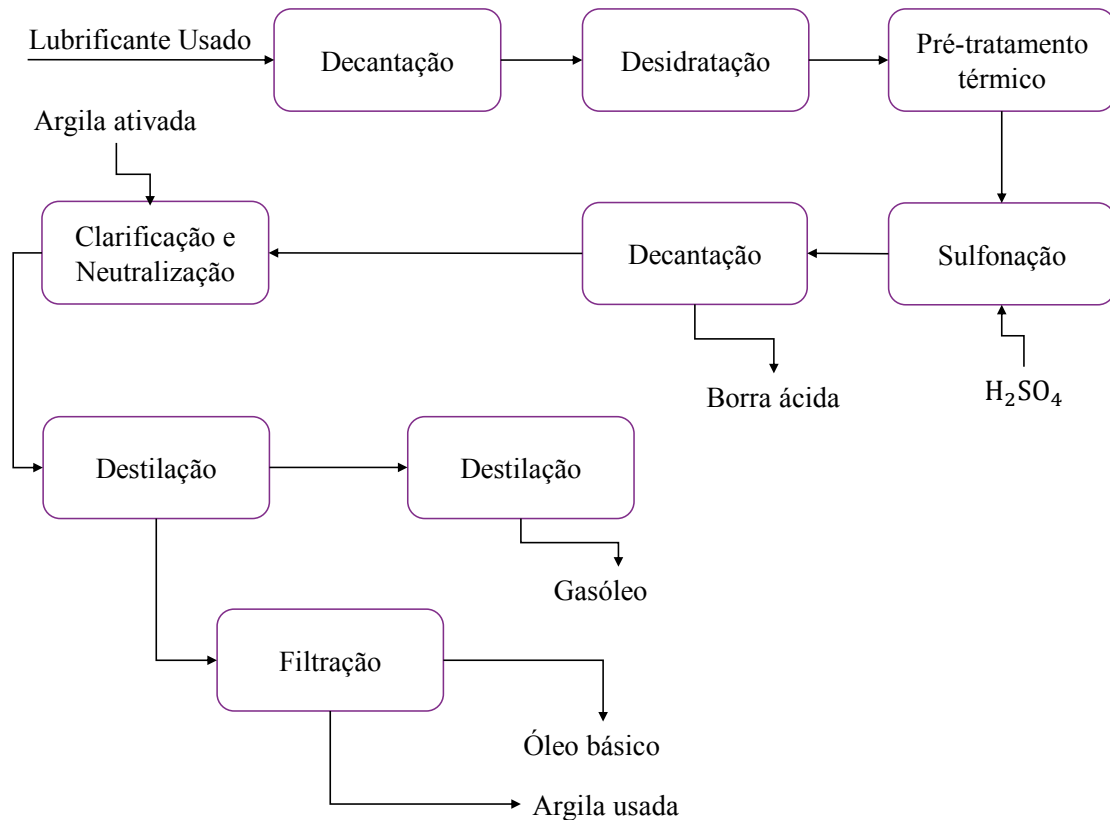


Figura 17: Processo de regeneração dos óleos lubrificantes usados²⁵.

²⁵ Adaptado de: Nunes, H. “Avaliação da Viabilidade Econômica e Ambiental da Regeneração do Óleo Lubrificante: Estudo de caso no Setor de Manutenção de Equipamentos da Mina de Carajás, Pará.” Instituto Tecnológico VALE. Pp 94. 2016.

A Tabela 12 apresenta o inventário do processo de regeneração do óleo lubrificante usado, destacando-se que os valores apresentados foram convertidos para a unidade funcional estudada.

Tabela 12: Inventário fase de “Fim de Vida” do óleo lubrificante, associado ao processo de regeneração²⁶.

Entradas		
Matéria prima	Quantidade	Unidade
OLU	2,20	Kg
Ácido sulfúrico	0,08	Kg
Hidróxido de sódio	0,02	Kg
Terra Descorante (Terra Fuller)	0,11	Kg
Cal hidratada	0,02	Kg
Fontes energéticas de produção		
Óleo combustível	0,0027	Kg
Eletricidade	0,0023	Kwh
Saídas		
Argila e terras ativadas	0,16	Kg
Compostos orgânicos (asfalto)	0,16	Kg
Compostos orgânicos (Borracha neutralizada)	0,19	Kg
Água		
Água residuais	0,0035	m ³
Ar		
Material particulado	0,0012	Kg
SOx	0,0044	Kg
NOx	0,00069	Kg

²⁶ Adaptado de: Canchumani, G. “Óleos Lubrificantes Usados: Um estudo de caso de Avaliação de Ciclo de Vida do Sistema de Refino no Brasil”. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.

5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. RESULTADO E AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS

Nesta secção são quantificados os impactes ambientais associados a cada uma das fases do ciclo de vida do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, tendo por base os valores apresentados no inventário. O método de avaliação dos impactes ambientais utilizado no presente trabalho é o *CML-IA baseline* versão 3.0, sendo avaliadas onze categorias de impacto de acordo com este método *CML*.

Na presente dissertação foram consideradas, então, todas as fases do ciclo de vida do radiador elétrico, sendo elas: “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, “Fabricação”, “Transporte”, “Utilização” e “Fim de Vida”. Os resultados obtidos com o auxílio do *software SimaPro* permitem conhecer quais as contribuições de cada uma das etapas associadas ao ciclo de vida do radiador elétrico para cada uma das categorias de impacto avaliadas.

Assim, ao longo deste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos para a avaliação comparativa das diferentes etapas do ciclo de vida e avaliação dos impactes ambientais associados a cada uma delas.

Na Tabela 13 é apresentado uma breve descrição sobre as categorias de impactes ambientais e suas respetivas unidades [95][96].

Tabela 13: Descrição das categorias de impactos ambientais.

Nomes	Descrição	Unidades
Potencial de Aquecimento Global	Média de emissões de gases do efeito estufa. Estas emissões causam as mudanças climáticas.	Kg CO ₂ eq.
Depleção da camada de Ozono	Clorofluorcarbonetos libertados causam perda da camada de ozono que protege o planeta da radiação UV.	Kg de CFC-11
Toxicidade humana	Caracterização dos impactos sobre os seres humanos.	Kg 1,4-DB eq
Oxidação fotoquímica	Medidas emissões de precursores que contribuem para a formação de Smog a nível do solo (O ₃), produzido pela reação de VOC e CO na presença de óxidos de nitrogénio e luz UV.	Kg C ₂ H ₄ eq
Acidificação terrestre	Acidificação de emissões poluentes, tais como SO ₂ ou NO _x para a atmosfera. Impactes negativos para solo, água e ar.	Kg 1,4-DB eq
Eutrofização	Libertação de macronutrientes, principalmente N e P.	Kg de PO ₄
Ecotoxicidade terrestre	Caracterização dos impactos ecotóxicos das emissões na ACV e dos produtos químicos e dos seus riscos. Causa danos a litosfera.	Kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade aquática	Caracterização dos impactos ecotóxicos das emissões na ACV e dos produtos químicos e dos seus riscos.	Kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade marinha	Caracterização dos impactos ecotóxicos das emissões na ACV e dos produtos químicos e dos seus riscos.	Kg 1,4-DB eq
Depleção abiótica	Refere-se à extração de recursos naturais abióticos. Impactes derivados da extração de minerais.	Kg eq Sb
Depleção abiótica (combustíveis fósseis)	Refere-se à extração de recursos naturais abióticos. Impactes derivados da extração de combustíveis fósseis.	MJ

Com base nos resultados obtidos no *SimaPro*, foi possível proceder à avaliação dos impactos ambientais associados a cada etapa do ciclo de vida do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”. A Figura 18 apresenta estes impactos e a Tabela 14 demonstra os valores absolutos para cada uma destas categorias.

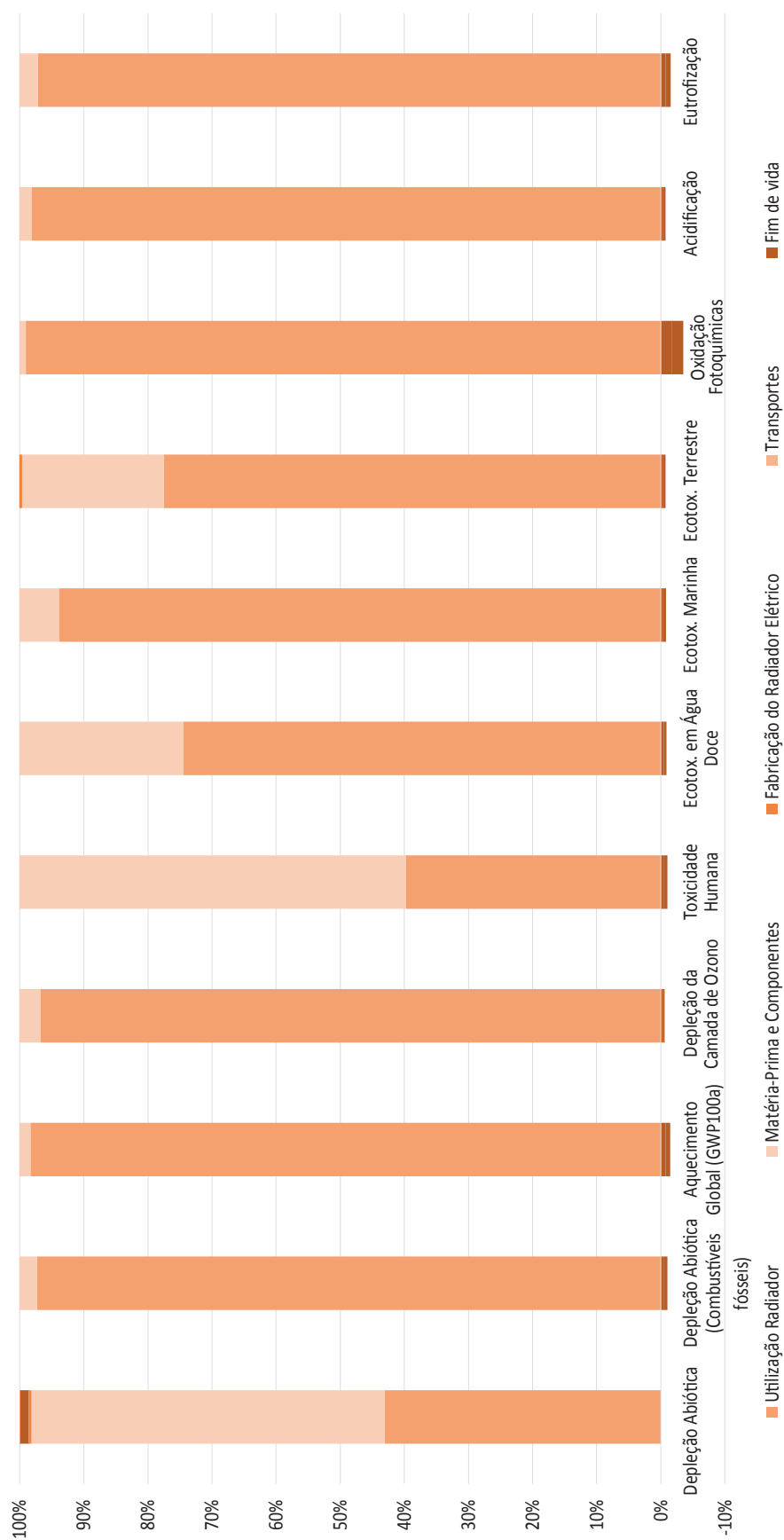


Figura 18: Impactes ambientais associados ao ciclo de vida do radiador elétrico "Steel Glam 800" de acordo com a metodologia CML-IA baseline versão 3.04, resultados da caracterização no SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017).

Tabela 14: Resultados dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida do radiador elétrico, etapa da caracterização.

Categoria de impacte	Unidade	Matéria-prima e componentes	Transporte	Fabricação	Utilização	Fim de vida
Depleção Abiótica	kg Sb eq	7,29E-04	7,16E-08	5,47E-06	5,71E-04	1,88E-05
Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis)	MJ	4,33E+02	1,04E+01	2,82E+01	1,42E+04	-7,87E+01
Aquecimento Global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	2,66E+01	7,33E-01	2,36E+00	1,20E+03	-9,19E+00
Depleção da Camada de Ozono	kg CFC-11 eq	3,55E-06	2,05E-09	2,08E-07	1,02E-04	-3,32E-07
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	4,25E+02	3,90E-02	3,04E+00	2,80E+02	-3,78E+00
Ecotox. em Água Doce	kg 1,4-DB eq	8,35E+01	5,12E-03	1,10E+00	2,42E+02	-1,47E+00
Ecotox. Marinha	kg 1,4-DB eq	9,17E+04	1,46E+01	4,08E+03	1,39E+06	-5,85E+03
Ecotox. Terrestre	kg 1,4-DB eq	8,51E-01	4,51E-04	2,98E-02	2,98E+00	-1,51E-02
Oxidação Fotoquímicas	kg C ₂ H ₄ eq	8,39E-03	1,62E-04	7,20E-04	3,37E-01	-6,00E-03
Acidificação	kg SO ₂ eq	1,69E-01	3,00E-03	1,34E-02	8,29E+00	-3,17E-02
Eutrofização	kg PO ₄ eq	4,72E-02	6,84E-04	4,01E-03	1,41E+00	-1,11E-02

Como expectável, a fase de “Utilização” é a que apresenta maiores contribuições para grande parte das categorias de impacte, com exceção das categorias de “Depleção Abiótica” e “Toxicidade Humana”. Logo após esta fase, surge a fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, como sendo a segunda que mais apresenta contribuições para todas as categorias de impacte. O seu maior valor absoluto está enquadrado na categoria de “Ecotoxicidade Marinha”, seguido da “Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis)” e “Toxicidade Humana”, categoria na qual se distingue, em particular, por apresentar maiores valores absolutos que a própria fase de “Utilização”. No seguimento destas, as fases de “Fabricação” e “Transporte” são as que apresentam as maiores contribuições para as categorias de impacte analisadas. Ainda, a fase de “Fim de Vida” apresenta valores de impactes negativos, ou seja, contribui para a redução dos impactes causados durante as demais etapas através dos processos de reciclagem do aço inox e de regeneração do óleo lubrificante.

De acordo com os estudos referidos na revisão bibliográfica apresentada no Capítulo 2, a fonte de energia utilizada para a produção de eletricidade é a grande responsável pelos impactes associados à fase de “Utilização” do equipamento. Em Portugal, as principais fontes de energia utilizadas para a produção de eletricidade são não renováveis [97], facto que, associado ao longo período de utilização, explica os altos valores de impactes

ambientais relacionados com o uso do radiador. Desta forma, é possível afirmar que o impacto causado por esta fase está diretamente ligado à utilização de fontes não renováveis, derivadas do petróleo, que é extraído e transportado, quase exclusivamente, em ambientes marinhos.

A fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, segunda etapa mais impactante, apresenta contribuições elevadas para todas as categorias de impacto. As principais matérias-primas utilizadas na fabricação do radiador elétrico são o aço inox e o óleo lubrificante. O metal, presente em maior quantidade no equipamento, necessita de grandes volumes de água nas fases de extração e produção, gerando efluentes e lamas tóxicas [98] que podem contaminar os meios aquáticos e, por consequência, os seres humanos. O óleo lubrificante, por sua vez, é um derivado do petróleo (combustível fóssil), que para ser produzido necessita ser submetido a diversos processos de destilação. Estes processos consistem no aquecimento do petróleo cru e para tal, são necessárias reações de combustão, que libertam uma grande variedade de poluentes para a atmosfera, provocando, também, danos irreversíveis para a saúde humana.

A terceira fase de maior impacto é a de “Fabricação” do radiador elétrico, que demonstra não contribuir significativamente para as categorias analisadas, por comparação com as restantes. Os impactos associados a esta fase podem estar relacionados com o consumo de água e energia, provenientes de fonte doméstica. No entanto, destaca-se como limitação o facto de não serem contabilizadas as emissões para os meios hídricos e atmosféricos, por ausência de informação disponível. O processo de fabricação é bastante simples. Além dos impactos associados ao consumo dos recursos citados anteriormente, existe a produção de aproximadamente 100 gramas de resíduos de aço inox, que são diretamente encaminhados para a reciclagem. Já o óleo lubrificante é utilizado diretamente no radiador, não havendo nenhum tipo de desperdício.

A fase de “Transporte” não apresenta contribuições muito significativas para as categorias de impacto avaliadas no ciclo de vida do radiador elétrico em questão. Estes valores tão baixos podem refletir o facto de nenhum dos componentes e bens transportados provir de locais muito distantes, nem apresentar uma massa muito elevada. Deve-se considerar, ainda, que devido às incertezas e menor fiabilidade da informação, nem todas as etapas de transporte foram contabilizadas. É imprescindível ressaltar que o transporte do equipamento finalizado, entre a empresa produtora e a habitação do consumidor, é realizado de forma pontual, contabilizando-se apenas a moradia onde o equipamento é instalado, desconsiderando, portanto, os demais locais de exportação do produto. Sabe-se que os danos ambientais associados à fase de “Transporte” estão diretamente ligados à distância percorrida, à massa transportada e ao tipo de veículo considerado. Conforme apresentado na Figura 19, o transporte referente ao aço inox é o que representa a maior contribuição em sete das onze categorias avaliadas. Estes valores estão associados ao facto de que a massa desta matéria-prima é a mais alta e que a distância percorrida, desde Pontevedra até Aveiro, corresponde à segunda maior distância. Naturalmente, nesta fase os impactos ambientais estão, na sua maioria, diretamente associados ao consumo de combustíveis fósseis, sendo as categorias de

“Ecotoxicidade Marinha” e “Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis)”, as mais afetadas por esta fase.

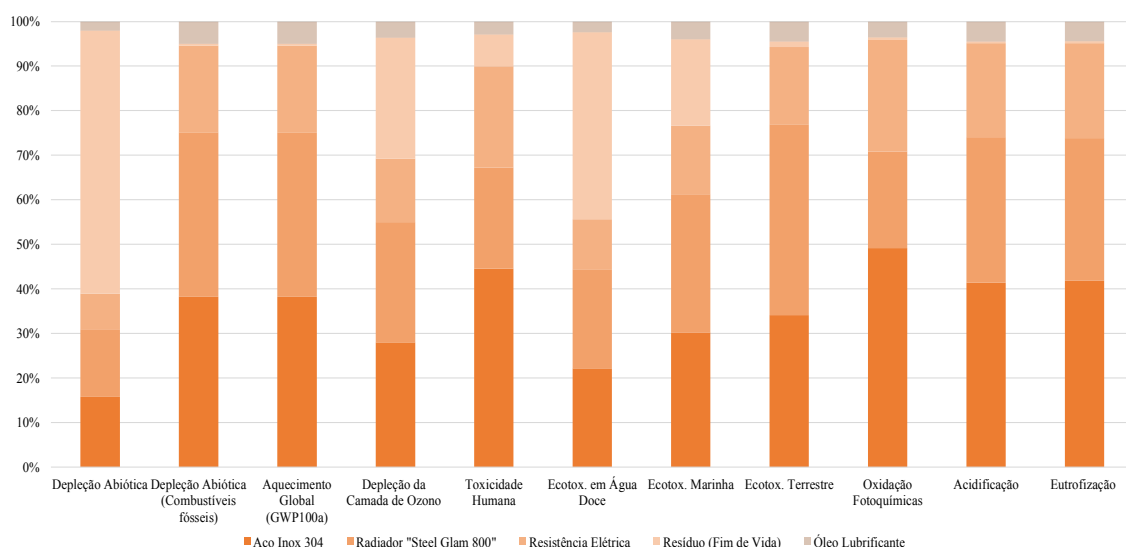


Figura 19: Comparação do Impacte dos vários materiais na fase de "Transporte" de acordo com a metodologia CML-IA baseline versão 3.04, (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017)).

A última fase correspondente ao “Fim de Vida”, tal como expectável, apresentou impactes ambientais negativos em quase todas as categorias. Tal facto é facilmente depreendido uma vez que grande parte dos componentes presentes no radiador elétrico podem ser reciclados ou regenerados, como é o caso do óleo lubrificante. O reaproveitamento das suas componentes, através da regeneração e reciclagem, faz com que esta fase não provoque praticamente danos ambientais, mas pelo contrário, contribua para a redução da depleção de recursos. A única categoria que apresenta valores positivos para a etapa de “Fim de Vida”, é a de “Depleção Abiótica”. Este valor positivo pode estar associado ao processo de regeneração do óleo lubrificante, que faz uso de alguns recursos provindos do meio abiótico.

De acordo com alguns estudos analisados na revisão bibliográfica (Capítulo 2), o clima e as fontes de energia utilizadas nas diferentes regiões e/ou países, determinavam se a fase de “Utilização” do equipamento em questão seria mais ou menos impactante conforme o local/fonte de energia utilizada. Desta forma, conhecendo os principais países para onde o radiador elétrico “Steel Glam 800” é exportado, foram analisados e comparados os impactes da utilização nestes locais, utilizando como base a mesma instalação sanitária modelo e o mesmo período de utilização ao longo da vida útil do radiador. Deve-se sublinhar que este estudo é meramente indicativo e apresenta um grau de incerteza associado ao tempo de utilização do equipamento. O tempo de uso do aquecedor poderá ser superior em países com climas mais frios. Além disso, as condições de isolamento das habitações também influenciam o tempo de utilização dos equipamentos (Tabela 1). Os países que apresentam habitações com maior isolamento nas paredes, no teto e no piso, naturalmente são os que menos uso vão dar ao equipamento.

O mercado norte-americano é um dos grandes consumidores dos produtos fabricados pela “FOURSTEEL Lda.”. No entanto, o modelo estudado na presente dissertação é enviado somente para determinados países, uma vez que para enviar este equipamento para a América do Norte é sempre necessário realizar a alteração da resistência elétrica, que é a componente que determina a potência de cada produto e, consequentemente, a eletricidade consumida pelo mesmo. Evidencia-se, portanto, que somente os países que importam equipamentos exatamente iguais ao avaliado nesta dissertação, tiveram as suas fases de “Utilização” comparadas.

Como já é conhecido, os impactos ambientais associados à fase de “Utilização” dependem diretamente das fontes de energia utilizadas para produzir eletricidade. Assim sendo, é indispensável conhecer as fontes de energia utilizadas nos diferentes países importadores do radiador. Deste modo, a Tabela 15 apresenta os valores correspondentes às fontes energéticas destes principais países nos anos de 2018/2019, anos mais atuais disponíveis, e 2012, ano em que a base de dados apresentada no *SimaPro*, referente ao *mix* energético de cada local, está baseada.

Tabela 15: Fontes de energia para a produção de eletricidade nos países de exportação do radiador elétrico “*Steel Glam 800*” nos anos de 2012 e 2018.

País	Fonte de energia renovável (%)	Fonte de energia não renovável (%)	Fonte de energia renovável (%)	Fonte de energia não renovável (%)
	2018/2019 ²⁷		2012	
Portugal [97]	55	45	51	49
Espanha [99]	38	62	30	70
Bélgica [100]	23	77	16	84
França [101]	20	80	16	84
Alemanha [102]	42	58	25	75
Reino Unido [103]	39	61	12	88
Rússia [104]	18	82	16	84
Holanda [105]	18	82	14	86

A Figura 20 avalia comparativamente os impactos ambientais causados pela utilização do equipamento nos países para os quais o radiador “*Steel Glam 800*” é exportado, incluindo também o impacto para a utilização em Portugal. Os valores absolutos correspondentes a esta fase, estão demonstrados na Tabela II.1 no Anexo II.

²⁷ Apenas os valores referentes à Rússia e à Holanda correspondem ao ano de 2018. As percentagens referentes aos restantes países correspondem às fontes energéticas utilizadas para a produção de eletricidade no ano de 2019.

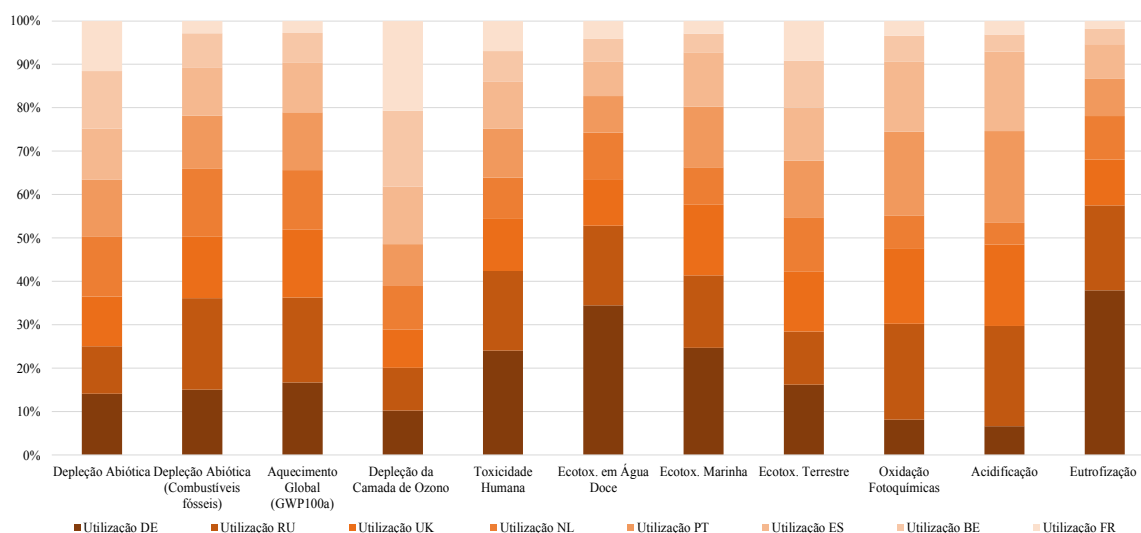


Figura 20: Comparação da fase de “Utilização” entre os países de exportação do radiador “Steel Glam 800”.

Ao observar os resultados apresentados na Figura 20, denota-se que a utilização do equipamento na Alemanha apresenta os maiores impactos associados à fase de “Utilização”. De acordo com os dados revelados pela Tabela 15, é possível concluir que a maioria das fontes de energia utilizadas para a produção de eletricidade neste país, são, assim como nos demais países, fontes não renováveis. Ainda que grande parte dos países apresentem valores superiores aos 50% no que diz respeito às fontes não renováveis, a Alemanha é o país que apresenta a maior percentagem de utilização de carvão para a produção de eletricidade. Esta fonte correspondia a 46% do total das fontes de energia utilizadas nesse país no ano de 2012, ano referente à base de dados disponível no *SimaPro* [102]. A França, por comparação, no mesmo período de tempo, apresentava um valor de utilização de carvão 12 vezes inferior [101]. Portugal, por sua vez, revelava, em 2012, pouco mais de metade desta percentagem, cerca de 24% [97].

A França apresentava o valor de impacto ambiental mais elevado na categoria de “Depleção da Camada de Ozono”, o que pode estar associado ao facto de, em 2012, 74% da eletricidade consumida no país ser proveniente de energia nuclear [101]. No quadro dos países avaliados, Portugal é o único que apresentava, em ambos os anos considerados, uma percentagem de utilização de fontes renováveis superior a 50%, para a produção de eletricidade. Mesmo assim, apresentava valores elevados para as categorias de “Oxidação Fotoquímica” e “Acidificação”, que estão relacionadas com a libertação de monóxido de carbono, óxidos de nitrogénio e dióxido de enxofre, associada ao facto de, em 2012, 44% da eletricidade produzida no país provir da combustão de carvão e gás natural, valor que, no ano de 2019, diminuiu para 43% [97].

De modo a considerar o cenário mais atual, deve-se destacar que o Reino Unido foi o país que apresentou maior aumento na utilização de fontes renováveis de energia, crescendo cerca de 27% entre os anos de 2012 e 2019. Em 2012, o país mencionado era o terceiro com maiores impactos referentes à fase de “Utilização”, estando apenas atrás da

Alemanha e da Rússia. Neste mesmo ano, 40% da energia elétrica produzida no Reino Unido provinha da utilização do carvão, cenário que melhorou em 2019, onde somente 2% da eletricidade produzida provinha da fonte citada.

A Rússia, o segundo país com maiores impactos causados pelo uso do radiador elétrico, aumentou cerca de 2% a utilização de fontes renováveis, entre 2012 e 2018, ou seja, os impactos causados por esta fase, em 2012, podem ser considerados os atuais, dada a insignificante variação no período mencionado.

A Alemanha, país que apresentou maiores impactos ambientais relacionados com a fase de “Utilização” do radiador elétrico, aumentou aproximadamente 17% o uso de fontes renováveis. No entanto, deve-se considerar, ainda, que a produção de energia a partir da combustão do carvão mineral e gás natural, responsável pelo alto valor de impacto, continua a ser muito elevada, correspondendo a cerca de 45% [102].

Portugal, no ano de 2012, ocupava a quarta posição entre os países com maiores impactos ambientais correspondentes à fase de “Utilização”. No cenário mais atual, o consumo de combustíveis fósseis, nomeadamente, carvão mineral e gás natural, diminuiu, apenas, cerca de 1%, podendo-se, assim, considerar que este cenário não apresenta melhoras para o país citado. Este estudo é relevante para comprovar que os impactos associados à fase de “Utilização” do radiador elétrico estão diretamente ligados às fontes de energia utilizadas para a produção de eletricidade.

5.2. IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO IMPACTE

Ao analisar os resultados obtidos a partir da realização da “Avaliação do Ciclo de Vida” do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, verificou-se que as etapas que apresentam as maiores contribuições para a grande maioria das categorias de impactos ambientais, são as fases de “Utilização” e de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”.

A fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes” apresenta uma elevada contribuição relativa às categorias de impacto avaliadas. O equipamento é constituído, basicamente, por aço inox e óleo lubrificante. Ao comparar as duas constituintes do radiador, através da utilização do *software SimaPro*, foi possível determinar que a extração das matérias-primas para a fabricação do aço inox e o processo de transformação das placas de aço em tubos, é mais impactante na sua generalidade do que o processo de extração e produção de óleo lubrificante. A única categoria que constitui uma exceção a esta regra é a de “Depleção da Camada de Ozono”, onde a contribuição do óleo lubrificante é superior à do aço inox. Esta comparação é demonstrada na Figura 21.

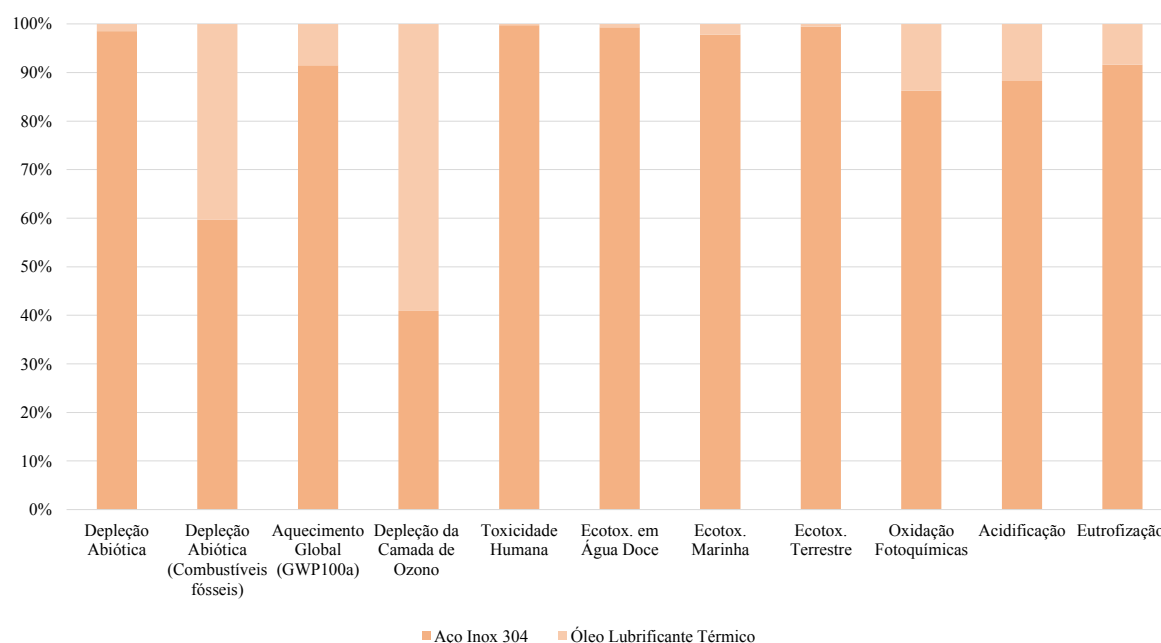


Figura 21: Comparação impactos da fase de "Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes" de acordo com a metodologia CML-IA baseline versão 3.04, (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017)).

O processo de produção do aço inox possui uma significativa contribuição para o impacto ambiental. Este metal é produzido a partir da mistura de diferentes minérios, sendo o principal, o minério de ferro. As etapas de extração e beneficiamento de tais materiais consomem grandes quantidades de energia e elevados volumes de água que, após utilizados, dão origem às lamas e efluentes tóxicos. Tais resíduos necessitam ser controlados e tratados, normalmente, em ETARI.

Mesmo tendo em conta que o aço inox é completamente reciclado e, após tratado, reintroduzido no processo produtivo, deve-se ter em atenção que são extraídos muitos minérios para a produção primária deste metal. A fase de produção do aço é grande consumidora de energia, normalmente gerada através do uso de combustíveis fósseis, principalmente da combustão do coque de carvão, que liberta inúmeros poluentes para a atmosfera. É necessário, portanto, que esses processos sejam mais desenvolvidos, de modo a reciclar e reutilizar maiores quantidades deste material, diminuindo ainda mais a extração de minérios para a produção primária.

O *Ecodesign* é uma ferramenta ambiental que visa o desenvolvimento de produtos e serviços, de forma a reduzir o uso de recursos não renováveis, minimizando os impactos ambientais associados ao ciclo de vida de determinados equipamentos através da substituição de produtos e processos. Conforme apresentado no Capítulo 2, existem diversos modelos de radiadores elétricos que diferem de acordo com o material de fabrico e da tecnologia (seca ou de fluido) e com o *design*.

Ao considerar os parâmetros de diferenciação, tendo em consideração que o aço inox é o material com a maior contribuição relativa para os impactos associados ao ciclo de vida do equipamento avaliado, sugere-se a substituição do mesmo.

Face a esta possibilidade são avaliados, em seguida, as influências que os diferentes materiais, passíveis de substituírem o aço inox 304 no radiador, possuem no impacto ambiental. São comparados o aço inox, o alumínio e o ferro fundido para determinar qual deles induz a uma redução do impacto na fabricação do radiador e, consequentemente, perceber a viabilidade e relevância de uma eventual substituição do aço inox. As massas das matérias-primas necessárias para a fabricação do radiador alteram-se de acordo com a densidade dos materiais utilizados. Tendo em conta que o equipamento apresentará exatamente as mesmas dimensões e capacidades, a Tabela 16 apresenta as massas necessárias, de acordo com cada material, para a produção do radiador.

Tabela 16: Materiais passíveis de serem utilizados na fabricação do radiador (volume = $7,0\text{E-}04 \text{ m}^3$).

Matéria-prima	Densidade (kg/m ³)	Peso do material no radiador (kg)
Aço inox 304 (Original)	8000	5,5
Alumínio	2700 ²⁸	1,9
Ferro Fundido cinzento	7250 ²⁹	5,1

Os resultados do impacto ambiental referente à fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, realizado para os diferentes materiais são apresentados na Figura 22.

²⁸ Disponível em: <http://www.euroaktion.com.br/Tabela%20de%20Densidade%20dos%20Materiais.pdf>. Acesso em 31 de agosto de 2020

²⁹ Disponível em: <http://www.euroaktion.com.br/Tabela%20de%20Densidade%20dos%20Materiais.pdf>. Acesso em 31 de agosto de 2020

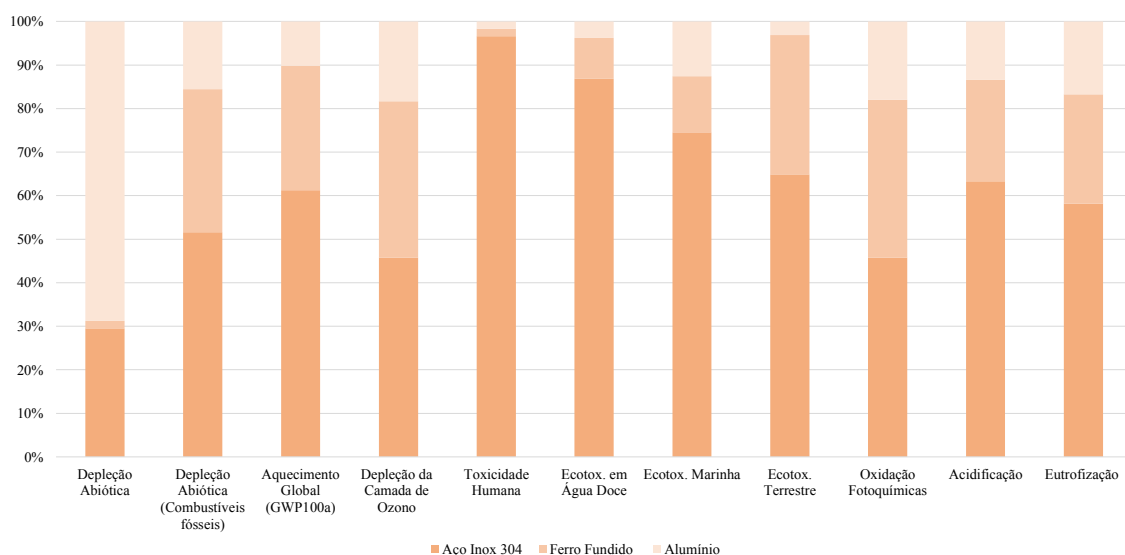


Figura 22: Comparação da fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes” entre os possíveis materiais usados para a substituição do aço inox 304.

Ao observar a Figura 22, é possível depreender que de entre todas as matérias-primas avaliadas, o aço inox 304, utilizado para a fabricação do radiador “*Steel Glam 800*”, é o metal que apresenta os valores de impactos mais elevados em dez das onze categorias avaliadas. O alumínio, por sua vez, apresenta valores mais elevados na categoria de “Depleção Abiótica”, que está associada à extração de recursos naturais abióticos, neste caso específico, está associada, principalmente, à extração da bauxite, principal fonte comercial de alumínio [106].

Quando se substitui o aço inox 304 por alumínio, os impactos associados à fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes” são doze vezes inferiores, quando comparado todo o ciclo de vida do equipamento. Quando se opta pela substituição por ferro fundido, os impactos são, aproximadamente, nove vezes inferiores. Sendo assim, o alumínio é o material que apresenta melhores resultados, ou seja, impactos ambientais inferiores aos do atual material utilizado para a fabricação do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, o aço inox 304.

A diferença entre os valores de impacto ambiental destes materiais pode estar associada à fase de “Fim de Vida”. Os processos de reciclagem dos metais sugeridos para a substituição do aço inox 304 são muito similares. A reciclagem inicia pela separação da sucata, a diminuição do seu volume e, posteriormente, o aquecimento para a fundição, que origina, finalmente, as chapas metálicas, que são utilizadas para a produção dos mais variados bens. O alumínio, na fase de fundição, onde estão incluídas as sucatas, necessita de temperaturas de aproximadamente 700°C, enquanto que relativamente ao ferro fundido, necessita de temperaturas a rondar os 1200°C [107]. Além disso, o processo de reciclagem do alumínio consome menos energia do que a sua produção primária [108], podendo esta ser a grande vantagem da substituição do aço inox por este metal.

Assim sendo, uma possível medida de melhoria e redução dos danos ambientais associados ao ciclo de vida do equipamento avaliado, seria a substituição do aço inox 304 pelo alumínio. Deve-se esclarecer que esta é apenas uma sugestão baseada neste estudo teórico correspondente somente aos impactos ambientais causados por cada um dos materiais, sendo desconsiderados parâmetros como a durabilidade e a resistência, necessidade de tratamento do material e possível necessidade de substituição dos demais constituintes do equipamento, sendo, para isso, imprescindível a realização de pesquisas referentes ao material sugerido.

A “Fabricação” do equipamento não é uma fase que apresenta valores elevados relativos aos impactos ambientais, mas ainda assim algumas medidas simples podem ser adotadas de forma a melhorar o desempenho ambiental do processo. Entre elas destaca-se a possível utilização de águas pluviais, o tratamento dos efluentes líquidos e gasosos e a utilização de uma fonte de energia renovável para produzir a eletricidade consumida na empresa.

Tal como apresentado anteriormente, o consumo elétrico é responsável pelos elevados valores de impactos associados à fase de “Utilização”. Tendo em conta que a empresa, ao produzir o radiador elétrico, consome eletricidade da rede doméstica, seria interessante que houvesse a substituição desta por uma fonte renovável, como forma de redução dos danos ambientais associados a esta fase. Um exemplo disso seria a instalação de painéis fotovoltaicos que podem ser facilmente colocados na cobertura da fábrica ou nas áreas livres localizadas nas traseiras do edifício. É importante sublinhar, uma vez mais, que se trata apenas de uma sugestão, tendo, obviamente, que ser melhor desenvolvida para ser implementada.

Na fabricação do radiador elétrico é utilizado um volume de água, provindo da rede doméstica, de aproximadamente 200 litros por equipamento, ou seja, água potável. Considerando que este recurso é apenas utilizado na fase de limpeza das soldas e de teste do equipamento, parece não ser necessário que este recurso apresente tanta qualidade, podendo ser substituído por água não potável. Sugere-se, portanto, que seja realizado um projeto de recolha e armazenamento de águas pluviais. Deve-se ter em consideração que a água da chuva, muitas vezes, apresenta um nível de acidez elevado, que pode causar a oxidação do metal. Este parâmetro é facilmente tratado através de processos físicos e químicos simples.

Atualmente não é realizado qualquer tipo de tratamento de efluentes líquidos e, mesmo que estes apresentem parâmetros de qualidades que cumpram a legislação, o efluente acaba por conter quantidades pequenas, de aproximadamente 5 ml, de ácido fosfórico. Ao considerar este valor para um ano de produção, são enviados para a rede pública aproximadamente 200 m³ de efluentes líquidos que contêm 0,3 litros de ácido fosfórico. A acidez não é um parâmetro de difícil resolução quando se refere ao tratamento de efluentes, mas ainda assim deve ser tratado para retornar ao saneamento público. É sugerido, portanto, que a empresa desenvolva uma pequena ETARI, que alie o tratamento das águas pluviais e efluentes, já que ambos apresentam características semelhantes em relação à acidez. Sugere-se, ainda, que a água já tratada na ETARI seja reinserida no

processo de produção e consequentemente reutilizada, de forma a reduzir o envio destas águas para a rede pública. O esquema da Figura 23 representa este processo.

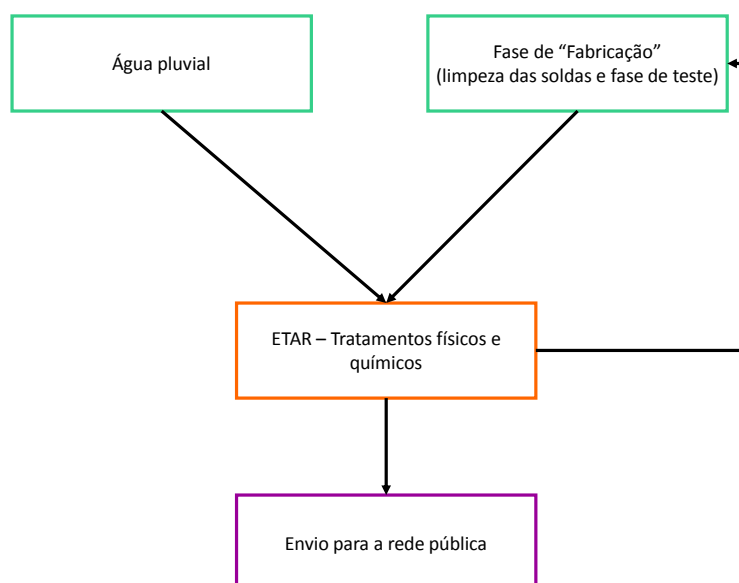


Figura 23: Esquema representativo do tratamento de águas sugerido para a empresa “FOURSTEEL Lda.”

Por último, como complemento a todas estas sugestões apresentadas e devidamente fundamentadas, aconselha-se a monitorização das emissões gasosas na fase de soldadura e, posteriormente, se comprovada a necessidade, o tratamento das mesmas. A bibliografia relacionada informa que neste processo são libertados fumos que contêm ferro, manganês, cromo, níquel, silício, molibdênio e nióbio, que são substâncias cancerígenas e irritantes pulmonares, além da libertação de gases como o ozono, NOx, dióxido e monóxido de carbono, entre outros, considerados responsáveis pelo efeito estufa [109].

6

CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PERSPETIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Na presente dissertação foi caracterizado e avaliado o ciclo de vida do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, produzido pela “FOURSTEEL Lda.”. Este estudo torna-se crucial e de alta relevância face ao aumento constante da presença de radiadores elétricos nas habitações portuguesas. O aumento do consumo deste tipo de equipamentos tem como consequência o aumento da sua produção e com isso, dos impactes ambientais inerentes às diferentes fases do ciclo de vida dos mesmos.

No decorrer do presente trabalho, foi demonstrada e revelada a importância desta empresa no panorama nacional e internacional. A “FOURSTEEL Lda.” representa Portugal globalmente no que diz respeito à produção de radiadores e de toalheiros, devido à qualidade dos seus serviços, aliada a um *design* inovador desenvolvido por grandes nomes da arquitetura portuguesa, todos eles reconhecidos no estrangeiro.

Torna-se interessante avaliar as consequências ambientais inerentes da produção destes radiadores elétricos, dada a sua importância nas habitações portuguesas e o atual crescimento do seu consumo. Sendo assim, este trabalho tem como principal objetivo a avaliação dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida de uma unidade do radiador elétrico “*Steel Glam 800*”, e posterior análise dos resultados obtidos e identificação de ações de mitigação do impacte ambiental.

No sistema em estudo foram incluídas as fases de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes”, “Transporte”, “Fabricação”, “Utilização” e “Fim de Vida”. Seguindo a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), procedeu-se à inventariação dos dados referentes a cada uma das etapas incluídas no sistema, com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e no consumo dos recursos naturais associados. Através do uso do *software SimaPro* versão 8.5.2 (*Pré consultants 2017*) e da metodologia de avaliação de impactes *CML-AI baseline* (versão 3.40), foi possível avaliar o impacte ambiental global do modelo de radiador.

No presente trabalho, conclui-se que a fase de “Utilização” do radiador elétrico é a que acarreta maiores danos para o ambiente, apresentando a maior contribuição em nove de um total de onze categorias de impacte avaliadas. O radiador alvo desta dissertação é exportado para diversos países e por esse motivo, assume-se como sendo importante a comparação desta fase nestes diversos locais. Assim, é possível depreender que dentro do conjunto de países importadores, a Alemanha é o país que revela os maiores impactes na

supracitada fase de “Utilização”, uma vez que revela um enorme índice de energia consumida a partir da combustão do carvão mineral, cerca de 46% do total produzido. Deve-se esclarecer que a avaliação considerou o *mix* energético dos países para o ano de 2012, sendo este correspondente à base de dados existente no *SimaPro*.

Para além disso, foi possível concluir que a fase de “Extração das Matérias-primas e Produção dos Componentes” apresenta valores elevados para as categorias de “Toxicidade Humana” e “Depleção Abiótica”. Quando comparada a obtenção do aço inox 304 com a do óleo lubrificante, verifica-se que o primeiro revela, inequivocamente, maiores impactes em todas as categorias, com exceção da “Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis)” e “Depleção da Camada de Ozono”. Outra conclusão absorvida a partir do presente trabalho diz respeito ao facto de o alumínio apresentar baixos índices de impacte ambiental, sugerindo-se a alteração da fabricação do equipamento avaliado, que ao ser executado com este material permitiria que os impactes fossem, em média, doze vezes menores que os atualmente existentes, consequentes da produção em aço inox 304.

As fases de “Fabricação” e “Transporte” apresentam menores contribuições para as categorias de impacte ambiental, como se pôde verificar, o que se explica pela simplicidade do processo de fabricação, onde as matérias-primas são cortadas, soldadas e lixadas para a criação da estrutura metálica onde apenas se insere o óleo térmico e se instala a resistência elétrica.

O “Transporte”, por sua vez, não foi contabilizado na sua totalidade, sendo excluídas as etapas de transporte das matérias-primas, quer do aço inox, quer do óleo lubrificante, até ao local de produção dos componentes e deste até ao local de distribuição dos mesmos. Além disso, não foram contabilizadas algumas distâncias percorridas na fase correspondente ao “Fim de Vida”, nomeadamente, entre o ponto de recolha e o local de reciclagem. Ao comparar o transporte das diferentes matérias-primas, do produto finalizado e do resíduo, verifica-se que o transporte do aço inox 304 é o que apresenta os valores mais elevados para a maioria das categorias analisadas: “Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis)”; “Aquecimento Global (100a)”; “Depleção da Camada de Ozono”; “Toxicidade Humana”; “Oxidação Fotoquímica”; “Acidificação”; e “Eutrofização”. Este facto pode ser explicado já que a distância percorrida, desde Pontevedra até Aveiro, associada à massa transportada de aço inox, representa o maior valor correspondente à unidade “tkm”.

Em relação à fase de “Fim de Vida”, tal como seria expectável, os valores dos impactes são negativos devido aos processos de reciclagem da estrutura metálica e de regeneração do óleo lubrificante.

As limitações do trabalho estão intrinsecamente ligadas, sobretudo à caracterização das emissões atmosféricas e de efluentes líquidos associados à fase de produção do radiador elétrico. Apesar de os valores destas emissões serem inferiores aos valores legislados e por isso não haver necessidade de tratamento quer dos efluentes formados nas fases de lavagem do equipamento e de teste das soldas, quer dos efluentes gasosos da etapa de

soldadura, seria relevante considerar estas emissões no cálculo do impacto ambiental da fabricação.

Além disso, existem limitações no que diz respeito à pasta de brilho utilizada para promover o acabamento polido do equipamento que, por ausência de base de dados no *SimaPro*, foi modelado a partir das informações disponíveis na ficha técnica do produto, de modo a ser possível contabilizar este produto na fase de “Fabricação”. Destaca-se ainda que a pasta de brilho contém metilcloroisotiazolinona (MIT) em muito baixa concentração ($<0,005\%$), sendo que este composto não foi contabilizado por ausência de informação de inventário - base de dados - relativa ao mesmo. Este produto é amplamente utilizado como biocida em detergentes, produtos industriais, tintas, cosméticos, entre outros. O MIT é caracterizado como neurotóxico, alergénico, genotóxico e ecotóxico. Sabe-se que esta substância não é bioacumulativa nem persistente no meio ambiente. Não há, ainda, muitas pesquisas referentes aos danos ambientais associados a este composto, mas pode-se concluir que, por ser um forte biocida, os microrganismos não se desenvolvem com a sua presença no ambiente, causando assim o desequilíbrio dos ecossistemas [110].

Após a conclusão do presente trabalho, sugere-se que no futuro sejam efetuados trabalhos complementares, associados a um possível alargamento das fronteiras do sistema de forma a complementar o estudo realizado. A título de exemplo, parece adquirir especial importância a realização de um estudo mais aprofundado no que diz respeito à fase de “Transporte”, onde apenas foram contabilizadas algumas das distâncias e trajetos percorridos. Além disso, na fase de “Fim de Vida” apenas se contabilizou o envio até ao ponto de recolha, sendo que os reais destinos finais dos componentes são apenas suposições baseadas em dados bibliográficos e fornecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente. Para tornar mais válido e preciso este estudo, poderia ser efetuado um estudo complementar com maiores detalhes neste ponto mencionado.

Os radiadores elétricos são equipamentos, ainda, muito pouco explorados, de tal forma que existe uma enorme lacuna no que diz respeito a trabalhos sobre o ciclo de vida completo destes equipamentos, tornando-se essencial o desenvolvimento de tais pesquisas, já que o consumo por aquecedores elétricos vem aumentando ao longo dos últimos anos.

Outra sugestão para um trabalho futuro seria a realização de uma comparação de um mesmo modelo de radiador, com diferentes formas de produção de calor: um elétrico e um ligado a um sistema central. Para este estudo comparativo, dever-se-ia ter em consideração todos os equipamentos associados aos dois sistemas e onde fossem incluídas, pelo menos, as fases de produção e utilização, de modo a determinar qual dos

modelos possui uma maior contribuição para o impacto ambiental ao longo do seu período de vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. de O. Fernandes, “A energia e o desenvolvimento,” *FEUP*. Porto, pp. 1–15, 2019.
- [2] Diário da República, *Decreto-Lei nº 80/2006*. Portugal: Diário da República, 2006, pp. 2468–2513.
- [3] “Decreto-Lei nº. 243/86,” Portugal, 1986.
- [4] M. E. F. Freire, “The comfort climatology of Portugal,” University of London, 1996.
- [5] J. Vasconcelos, “Bioclima, saúde e qualidade da habitação em Portugal : papel da exposição ao frio na incidência de doenças coronárias agudas,” Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [6] PORDATA, “Temperatura mínima do ar no mês mais frio do ano,” *Bases de Dados Portugal Contemporâneo*, 2019. [Online]. Available: [https://www.pordata.pt/Portugal/Temperatura+mínima+do+ar+no+mês+mais+frio+do+ano+\(média+mensal\)-1340-10867](https://www.pordata.pt/Portugal/Temperatura+mínima+do+ar+no+mês+mais+frio+do+ano+(média+mensal)-1340-10867). [Accessed: 26-Mar-2020].
- [7] The Eurowinter Group, “Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and hall causes in warm and cold regions of Europe,” *Lancet*, vol. 349, pp. 1341–1346, 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)12338-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)12338-2).
- [8] M. E. Falagas *et al.*, “Seasonality of mortality: The September phenomenon in Mediterranean countries,” *Cmaj*, vol. 181, no. 8, pp. 484–486, 2009, doi: 10.1503/cmaj.090694.
- [9] D. J, “Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors,” *J. Epidemiol. Community Health*, vol. 57, pp. 802–808, 2003, doi: 10.1136/jech.57.10.802.
- [10] J. B. Mercer, “Cold: an underrated risk factor for health,” *Environ Res*, vol. 92, pp. 8–13, 2003.
- [11] J. D. Healy, “Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors,” *J. Epidemiol. Community Health*, vol. 57, pp. 802–808, 2003, doi: 10.1136/jech.57.10.802.
- [12] I. Gaspar, “Que tipos de equipamentos existem, como funcionam e quanto custam?,” *Homify*, 2018. [Online]. Available: https://www.homify.pt/livros_de_ideias/5062767/que-tipos-de-aquecimento-existem-como-funcionam-e-quanto-custam. [Accessed: 26-Mar-2020].
- [13] P. R. Pinto, “Dados revelam que um quinto da população portuguesa não tem capacidade para manter a casa quente de forma adequada,” *Dinheiro Vivo*, 2019. [Online]. Available: <https://www.dinheirovivo.pt/economia/portugal-quinto-pais-onde-e-mais-dificil-manter-a-casa-quente/>. [Accessed: 26-Mar-2020].

- [14] E. Commission, “EU-SILC MODULE 2007 ON HOUSING CONDITIONS,” no. September. Eurostat, Luxemburgo, pp. 10–30, 2009.
- [15] E. Commission, “2012 EU-SILC MODULE ON HOUSING CONDITIONS Assessment of the implementation,” 2012.
- [16] J. Huisman, F. Magalini, R. Kuehr, and C. Maurer, “Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE),” 2008.
- [17] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2012/19/UE*. 2012, p. 43.
- [18] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva nº. 2012/19/UE*. 2012, p. Anexo I.43.
- [19] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2012/19/UE*. 2012.
- [20] Diário da República, *Decreto-Lei n.º 152-D/2017 de 11 de dezembro*. 2017.
- [21] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva nº. 2012/19/UE*. 2012, p. 39.
- [22] Agência Portuguesa do Ambiente, “Resíduos de Equipamento Elétrico e Eletrónico.” [Online]. Available: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=197&sub3ref=290>. [Accessed: 14-Feb-2020].
- [23] Comissão Europeia, M. Kling, F. Zotz, and D. Huranova, “WEEE compliance promotion exercise,” 2017.
- [24] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva 2012/19/UE*. 2012, p. Artigo 7º. 45.
- [25] Diário da República, *Decreto-Lei 67/2014 de 7 de maio*. 2014, p. Artigo 5º. 2674.
- [26] Comissão Europeia, M. Kling, F. Zotz, and D. Huranova, “WEEE compliance promotion exercise. Final Report,” 2017.
- [27] Diário da República, *Decreto-lei 79/2013 de 11 de junho*. 2013, p. Artigo 5º. 3246.
- [28] Parlamento Europeu e do Conselho, *Diretiva nº. 2012/19/UE*. 2012, p. 38.
- [29] R. Widmer, H. Oswald-Krapf, D. Sinha-Khetriwal, M. Schnellmann, and H. Böni, “Global perspectives on e-waste,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, 2005, doi: 10.1016/j.eiar.2005.04.001.
- [30] PORDATA, “Consumo de energia eléctrica per capita: total e por tipo de consumo,” *Bases de Dados Portugal Contemporâneo*, 2017. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+eléctrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230-10020>. [Accessed: 16-Mar-2020].
- [31] ArchiEXPO, “Que radiador a água quente escolher?,” *ArchiEXPO*. [Online]. Available: <http://guide.archiexpo.com/pt/que-radiador-a-agua-quente-escolher/#1>. [Accessed: 27-Mar-2020].
- [32] M. S. Thomaz, I. Alberton, C. A. Romano, I. Luiz, C. C. Stadler, and D. Gueiber, “ASPECTOS SOBRE RESPONSABILIDADE AMBIENTAL E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE ÓLEO ISOLANTE MINERAL EM UMA EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA DO SUL DO BRASIL,” Ponta Grossa,

- 2005.
- [33] BPIE, “Europe ’ s buildings under the microscope,” *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*. pp. 10–132, 2011, doi: ISBN: 9789491143014.
- [34] M. Prek, “Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study,” *Energy and Buildings*, vol. 36, no. 10 SPEC. ISS. ELSEVIER, pp. 1021–1027, 2004, doi: 10.1016/j.enbuild.2004.06.008.
- [35] V. P. Shah, D. C. DeBella, and R. J. Ries, “Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States,” *Energy Build.*, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.04.004.
- [36] A. Latpate, “Life cycle assessment lca of electric space heater,” 2019.
- [37] J. Latorre-biel, E. Jiménez, J. L. García, E. Martínez, E. Jiménez, and J. Blanco, “Replacement of electric resistive space heating by an air-source heat pump in a residential application . Environmental amortization,” *Build. Environ.*, vol. 141, no. May, pp. 193–205, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.05.060.
- [38] V. Sasnauskaitė, L. Užsilaitytė, and A. Rogoža, “A sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study,” *Int. J. Strateg. Prop. Manag.*, vol. 11, no. 3, pp. 143–155, 2007, doi: 10.1080/1648715X.2007.9637566.
- [39] L. Coltro, *Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão*. 2007.
- [40] Diário da República, *Decreto-Lei nº. 152-D/2017*. Portugal, 2017.
- [41] The International Standards Organisation, “ISO 14044,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2006, doi: 10.1007/s11367-011-0297-3.
- [42] ISO, “14040: Environmental management—life cycle assessment—Principles and framework,” *Int. Organ. Stand.*, 2006.
- [43] ISO, “ISO 14044:2006,” *Environ. Manag. - Life cycle assesement - Requir. Guidel. ISO 14044, Int. Organ. Stand.*, 2006, doi: 10.1007/s11367-011-0297-3.
- [44] S. Leitão, “Análise comparativa dos métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida na sua aplicação a processos químicos,” Técnico Lisboa, 2016.
- [45] J. Miguel dos Santos Furtado, “Comparação de Métodos e Ferramentas de Análise de Impacto de Ciclo de Vida, aplicados a processos químicos alternativos Engenharia e Gestão Industrial,” Técnico Lisboa, 2014.
- [46] T. Ligthart, “SimaPro 8,” *Pre Sustainability*, 2015. .
- [47] Equipe Weecycle, “Weecycle: Quem somos.” [Online]. Available: <https://www.weecycle.pt/p407-quem-somos-pt>. [Accessed: 11-Mar-2020].
- [48] “Foursteel.” [Online]. Available: <http://www.foursteel.eu/>. [Accessed: 20-Mar-2020].

- [49] P. S. L. de Carvalho, M. M. da Silva, M. A. R. Rocio, and J. Moszkowicz, “Minério de ferro,” *Biblioteca Bndes Setorial 39*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, pp. 197–234, 2014.
- [50] Instituto Aço Brasil, “Processo siderúrgico,” *Instituto Aço Brasil*, 2015. [Online]. Available: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>. [Accessed: 20-Apr-2020].
- [51] B. F. Souza and M. P. Miranda, “Influência dos diferentes tipos de minérios para produção de ferro níquel e o uso de aditivos no processo Rotary Kilns – Electric Furnaces .,” Goiânia, 2013.
- [52] M. D. M. Gonçalves, “Cromo.” *Balanço Mineral Brasileiro 2001*, pp. 1–28, 2001.
- [53] T. Norgate, S. Jahanshahi, and W. Rankin, “Alternative routes to stainless steel—a life cycle approach,” *Proc. Tenth Int. Ferroalloys Congr.*, vol. 1, pp. 694–704, 2004.
- [54] L. A. Araújo, *Manual de Siderurgia*, 1st-1997th ed. 1997.
- [55] Thyssenkrup, “Stainless Steel 304.” Thyssenkrup, pp. 1–3, 2018.
- [56] The European Standart, “IEC 61140:2001.” pp. 24–25, 2001.
- [57] Internationa Eletrotechnical Commission, “ANSI/IEC 60529-2004,” 2004.
- [58] V. A. Oliveira, “Metalurgica Extrativa: Ustulação.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/metalurgiaextrativa/home/operacoes-pirometalurgicas/ustulacao>. [Accessed: 18-Mar-2020].
- [59] M. L. A. de Andrade, J. R. M. Vieira, M. da C. Keller, R. S. Fulda, and L. M. da S. Cunha, “Indústria Do Cobre,” 1997.
- [60] Instituto Geológico e Mineiro, “Portugal - Indústria Extrativa,” 2000. [Online]. Available: https://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/ind_extractiva/texto. [Accessed: 13-Mar-2020].
- [61] M. Akerman, “Natureza , Estrutura e Propriedades do Vidro.” CETEV - Centro Técnico de Elaboração do Vidro, pp. 1–37, 2000.
- [62] D. R. Araújo, “Síntese e caracterização de óxido de magnésio obtido por diferentes técnicas e sua aplicação na produção de Biodiesel,” Universidade de Brasília, 2011.
- [63] J. Furtado and A. Martins, “ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PLACAS À BASE DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO APLICADAS NO SISTEMA LIGHT STEEL FRAME,” Universidade Estadual de Campinas, 2018.
- [64] I. F. Pontes and S. L. M. de Almeida, “Talco,” *Rochas e Minerais Industriais – CETEM/2005*. pp. 607–628, 2005.
- [65] M. Teixeira, “Estudo da viabilidade da utilização de rejeitos de pedra-sabão na produção de materiais cerâmicos.,” Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

- [66] P. Cavalcante, C. A. Baltar, and J. Sampaio, “Mica.” Rochas Minerais Industriais - CETEM 2005, pp. 531–543, 2005.
- [67] D. C. Bezerra, “Revestimento De Isoladores Elétricos Utilizando Borracha De Silicone / Alumina Trihidratada / Nanosílica,” Universidade Federal de Campina Grande, 2014.
- [68] Minérios Ouro Branco, “Caulim Calcinado,” *Minérios Ouro Branco*. [Online]. Available: <http://www.ourobranco.com.br/caulim-calcinado.php>. [Accessed: 20-May-2020].
- [69] European Commission, *Commission Regulation (Regulamento (CE)) N.º 1272/2008 de 16 de Dezembro de 2008 relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas*. 2008, pp. 897–1334.
- [70] European Chemicals Agency, “Distillates (petroleum), solvent-dewaxed heavy paraffinic,” *ECHA - European Chemicals Agency*. [Online]. Available: <https://echa.europa.eu/pt/substance-information/-/substanceinfo/100.059.227>. [Accessed: 12-Sep-2020].
- [71] B. R. G. Couto, “Dimensionamento de uma caldeira a termofluido,” Universidade do Porto, 2009.
- [72] E. D. Burger, T. K. Perkins, and J. H. Striegler, “STUDIES OF WAX DEPOSITION IN THE TRANS ALASKA PIPELINE.,” *JPT, J. Pet. Technol.*, 1981, doi: 10.2118/8788-PA.
- [73] Túlio Rafael Nascimento Porto and Antonio Gilson Barbosa Lima, “Escoamento de Óleo Parafínico em Dutos: Um Estudo Numérico,” in *Anais do IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2016, doi: 10.20906/cps/con-2016-0519.
- [74] M. Collins, “Life Cycle Assessment of Used Oil Management,” 2017.
- [75] Autoridade da Concorrência, “Análise Aprofundada sobre os Sectores dos Combustíveis Líquidos e do Gás Engarrafado em Portugal Relatório Final.” Autoridade da Concorrência, Portugal, p. 498, 2009.
- [76] J. M. de Lima, “MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL.” J.Mendo Consultoria, p. 11, 2010.
- [77] McRae Michele/United Stated Geological Survey, “Nickel Statistic and Information.” p. 2, 2020.
- [78] “Stainless and heat resisting steel melt shop production,” 2019. [Online]. Available: <https://www.worldstainless.org/statistics/stainless-steel-meltshop-production/2019/>. [Accessed: 09-Sep-2020].
- [79] Central Intelligence Agency, “Crude Oil - Proved Reserves,” *CIA - Central Intelligence Agency*, 2017. [Online]. Available: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/264rank.html>. [Accessed: 04-May-2020].

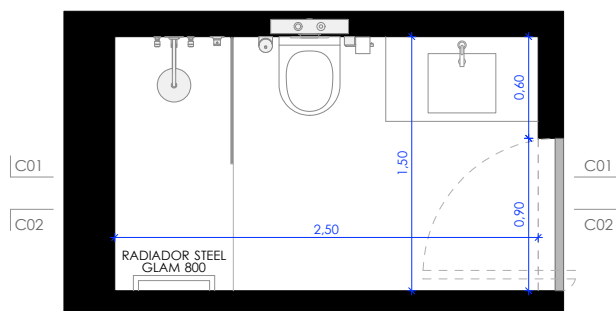
- [80] N. M. C. M. Alvarez, “Caracterização da Indústria Petrolífera e do Georrecurso petróleo,” Nova de Lisboa, 2009.
- [81] K. Weman, *Welding processes handbook*. 2003.
- [82] C. Pereira, “Contribuição para a caracterização da emissão de nanopartículas em processos de soldadura e avaliação de riscos decorrentes do processo,” Instituto Superiores de Engenharia de Lisboa, 2014.
- [83] A. Afonso and Agência Portuguesa do Ambiente, “Regime de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais.” Agência Portuguesa do Ambiente, pp. 1–6, 2019.
- [84] European Recycling Platform, “Relatório Anual De Actividades De REEE,” 2017.
- [85] Electrão: a rede da Amb3e, “Relatório Anual de Actividades,” 2018.
- [86] Team Stainless, “Recycling Ferritic Stainless Steel.” Team Stainless, p. 8, 2013.
- [87] V. Kanokkantapong, W. Kiatkittipong, B. Panyapinyopol, P. Wongsuchoto, and P. Pavasant, “Used lubricant oil management options based on live cycle thinking,” Tailândia, 2009.
- [88] M. El-Fadel and R. Khoury, “Strategies for vehicle waste-oil management: a case study,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 33, no. n.2, pp. 75–91, 2001.
- [89] B. Boughton and A. Horvath, “Environmental Assessment of Used Oil Management Methods,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 2, pp. 353–358, 2004, doi: 10.1021/es034236p.
- [90] SOGILUB, “Análise dos resultados obtidos no 1º trimestre de 2020.” SOGILUB, pp. 2019–2020, 2020.
- [91] The International Standards Organisation, *ISO 14040:2006*. 2006.
- [92] Cepsa, “Cepsa in Portugal.” [Online]. Available: <https://www.cepasa.com/en/activities/exploration-production#map-PT>. [Accessed: 31-May-2020].
- [93] C. P. Petróleos and S. A. J. Rev, “INFORMAÇÃO A COMUNICAR AO PÚBLICO NO ÂMBITO do nº 1 do art. 30 do DL 150 / 2015 Estabelecimento: Parque de Armazenamento de Matosinhos,” vol. 2019. pp. 1–6, 2019.
- [94] H. da S. Nunes, “Avaliação da viabilidade económica e ambiental da regeneração do óleo lubrificante: estudo de caso no setor de manutenção de equipamentos da mina de Carajás, Pará,” Instituto Tecnológico Vale, 2016.
- [95] E. T. de Oliveira, “Avaliação do Impacto Ambiental na Produção das Cédulas de Cinquenta Reais Através da Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida,” Universidade Federal Fluminense, 2017.
- [96] J. S. de M. M. Lira, “Depleção Abiótica e Potencial de Aquecimento Global no Ciclo de Vida de um Telhado Verde Comparativamente a um telhado convencional,” Universidade de Brasília, 2011.

- [97] “Electricity generation by source, Portugal 1990-2018,” *IEA - International Energy Agency*, 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/countries/portugal>. [Accessed: 09-Sep-2020].
- [98] E. Price, “Global Stainless Steel Life Cycle Inventory,” no. April. ISSF-International Stainless Steel Forum, Bruxelas, pp. 1–5, 2003.
- [99] “The energy mix of Spain,” *GlobalPetrolPrices*, 2017. [Online]. Available: https://www.globalpetrolprices.com/energy_mix.php?countryId=223. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [100] “Electricity generation by source, Belgium 1990-2018,” *IEA - International Energy Agency*, 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/countries/belgium>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [101] “Electricity generation by source, France 1990-2018,” *IEA - International Energy Agency*, 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/countries/france>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [102] “Electricity Generation by Source, Germany 1990-2018,” *IEA - International Energy Agency*, 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/regions/europe>. [Accessed: 10-Sep-2020].
- [103] “Electricity generation by source, United Kingdom 1990-2018,” *IEA - International Energy Agency*, 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/countries/united-kingdom>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [104] “Electricity Generation by source, Russia 1990-2019,” *IEA - International Energy Agency*, 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/regions/europe>. [Accessed: 10-Sep-2020].
- [105] “Electricity generation by source, Netherlands 1990-2018,” *IEA - International Energy Agency*, 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/countries/the-netherlands>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [106] F. Marques, “A PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO NO BRASIL,” Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [107] F. Machado, “FERRO FUNDIDO CINZENTO E NODULAR: PROPRIEDADES, PROCESSOS E IMPACTOS AMBIENTAIS,” *Monografias Brasil Escola*. [Online]. Available: https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/ferro-fundido-cinzento-nodular-propriedades-processos-impactos.htm#indice_14. [Accessed: 13-Sep-2020].
- [108] “Confira o passo a passo da reciclagem do alumínio e gere renda,” *VGRESÍDUOS*, 2018. [Online]. Available: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/confira-o-passo-a-passo-da-reciclagem-do-aluminio-e-gere-renda/>. [Accessed: 13-Sep-2020].
- [109] J. Almeida, “Exposição a Fumos De Soldaduras : Quais Os Factores De Risco ?,” Instituto Politécnico de Lisboa, 2013.
- [110] M. Nowak, K. Zawadzka, and K. Lisowska, “Occurrence of methylisothiazolinone

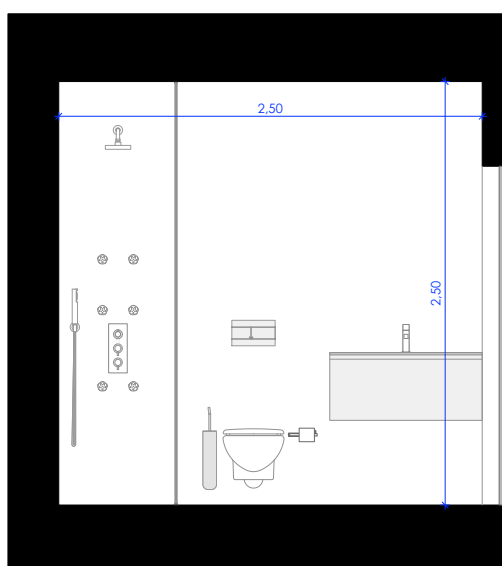
in water and soil samples in Poland and its biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium*,” *Elsevier*. Elsevier, p. 11, 2020.

ANEXOS

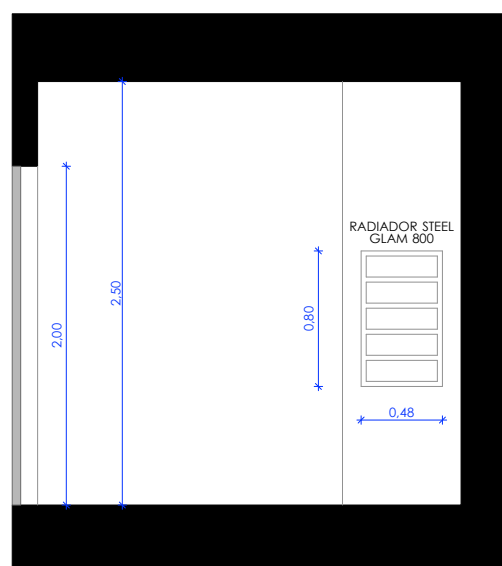
ANEXO I – PLANTA E CORTES DA INSTALAÇÃO SANITÁRIA!



PLANTA



CORTE 01



CORTE 02

ANEXO II – VALORES ABSOLUTOS REFERENTES À COMPARAÇÃO DA FASE DE “UTILIZAÇÃO” NOS PRINCIPAIS PAÍSES DE EXPORTAÇÃO DO RADIADOR ELÉTRICO “STEEL GLAM 800”.

Tabela II.1: Comparação etapa de "Utilização" nos diferentes países de exportação do radiador "Steel Glam 800".

Categoria de impacto	Unidade	Utilização DE	Utilização RU	Utilização UK	Utilização PT	Utilização NL	Utilização ES	Utilização BE	Utilização FR
Depleção Abiótica	kg Sb eq	6,17E-04	4,83E-04	5,03E-04	5,71E-04	6,09E-04	5,21E-04	5,83E-04	5,06E-04
Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis)	MJ	1,75E+04	2,45E+04	1,66E+04	1,42E+04	1,81E+04	1,30E+04	9,11E+03	3,30E+03
Aquecimento Global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	1,51E+03	1,77E+03	1,41E+03	1,20E+03	1,25E+03	1,04E+03	6,11E+02	2,51E+02
Depleção da Camada de Ozono	kg CFC-11 eq	1,08E-04	1,05E-04	9,26E-05	1,02E-04	1,07E-04	1,41E-04	1,85E-04	2,20E-04
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	5,97E+02	4,56E+02	3,02E+02	2,80E+02	2,33E+02	2,69E+02	1,75E+02	1,72E+02
Ecotox. em Água Doce	kg 1,4-DB eq	9,93E+02	5,28E+02	3,10E+02	2,42E+02	3,08E+02	2,31E+02	1,49E+02	1,19E+02
Ecotox. Marinha	kg 1,4-DB eq	2,46E+06	1,67E+06	1,62E+06	1,39E+06	8,62E+05	1,25E+06	4,26E+05	2,93E+05
Ecotox. Terrestre	kg 1,4-DB eq	3,69E+00	2,81E+00	3,18E+00	2,98E+00	2,85E+00	2,80E+00	2,48E+00	2,10E+00
Oxidação Fotoquímicas	kg C ₂ H ₄ eq	1,41E-01	3,87E-01	3,04E-01	3,37E-01	1,32E-01	2,84E-01	1,03E-01	5,93E-02
Acidificação	kg SO ₂ eq	2,58E+00	9,04E+00	7,32E+00	8,29E+00	1,94E+00	7,13E+00	1,56E+00	1,21E+00
Eutrofização	kg PO ₄ eq	6,24E+00	3,22E+00	1,75E+00	1,41E+00	1,65E+00	1,31E+00	5,85E-01	3,00E-01

