



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de
Engenharia

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UMA REDE PARA VEDAÇÃO

Marta do Céu Gomes de Aguiar

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Orientador académico:

Belmira de Almeida Ferreira Neto

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

Porto, Outubro de 2011

CANDIDATO	Marta do Céu Gomes de Aguiar	Código 100508029
TÍTULO	Avaliação do Ciclo de Vida de uma Rede para Vedação	
DATA	12 de Outubro de 2011	
LOCAL	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F103 - 09:30h	
JÚRI	Presidente Professor Doutor Fernando Jorge Mendes Monteiro	DEMM/FEUP
	Arguente Professor Doutor Fernando António Portela Sousa Castro	DEM/EEUP
	Orientador Professora Doutora Belmira de Almeida Ferreira Neto	DEMM/FEUP

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas. O meu muito obrigado.

À Professora Doutora Belmira Neto, pelo prestável apoio, pela disponibilidade, pela motivação e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Professor Doutor Luís Filipe Malheiros pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

Ao Professor Doutor Manuel Vieira pela disponibilidade demonstrada.

Aos Engenheiros Ana Polidoro e Victor Rua pela colaboração e disponibilidade demonstrada.

Ao Doutor Sérgio Raposo pelo apoio prestado.

Ao Engenheiro Fernando Faria pela colaboração.

À minha família pelo apoio constante e incondicional.

Resumo

O sector de fabrico de rede para vedação, parte integrante do sector metalúrgico e metalomecânico, tem desenvolvido esforços no sentido de minimizar os impactes ambientais que estão associados aos seus processos e produtos. Na tentativa de melhorar esse mesmo desenvolvimento, novas metodologias de gestão ambiental têm sido adoptadas pelos vários sectores da indústria metalúrgica e metalomecânica.

Este estudo tem como principal objectivo avaliar o impacte ambiental associado ao ciclo de vida de uma rede para vedação em aço macio galvanizado revestido a PVC de cor verde. A escolha deste produto reside no facto de se tratar de um produto comercial importante de uma empresa nacional - a Só-Redes, Lda. Este produto, no sector da rede elástica integra 20% dos produtos produzidos na empresa responsáveis por 80% das vendas totais.

As etapas consideradas na avaliação dos impactes ambientais incluem a extracção das matérias-primas (incluindo o minério de ferro usado na produção de aço, o minério de zinco-chumbo usado na galvanização e o PVC), a produção dos materiais usados na rede, a produção da rede propriamente dita e os transportes associados à distribuição do produto pelos retalhistas e consumidor final.

A informação usada na avaliação das etapas de produção do arame e da rede reporta a 2009 e foi fornecida por duas empresas nacionais que integram a cadeia de valor da rede para vedação. A restante informação necessária à Avaliação do Ciclo de Vida é recolhida na bibliografia disponível e em bases de dados.

Para a avaliação dos impactes ambientais é usado o SimaPro versão 7.3 (Pré Consultants, 2011), sendo usada a metodologia de avaliação de impactes CML 2 baseline 2000 versão 2.05 (Pré Consultants, 2010) conduzida através das etapas Classificação, Caracterização e Normalização.

Os resultados obtidos na etapa de Caracterização permitem concluir que a etapa de extracção e produção de matérias-primas desempenha um papel preponderante para as dez categorias de impacte ambiental, nomeadamente para a Depleção Abiótica, a Acidificação, a Eutrofização, o Aquecimento Global, a Depleção da Camada de Ozono, a Toxicidade Humana, a Ecotoxicidade Aquática (água doce), a Ecotoxicidade Aquática (marinha), a Ecotoxicidade Terrestre e a Oxidação Fotoquímica.

Após Normalização, verifica-se que a maior contribuição da etapa de extracção e produção de matérias-primas, está associada à grande contribuição em cinco categorias de impacte ambiental, nomeadamente, a Ecotoxicidade Terrestre, a Depleção Abiótica, a Ecotoxicidade Aquática (marinha), o Aquecimento Global (com um horizonte temporal de 100 anos) e a Acidificação. O impacte para a categoria Ecotoxicidade Terrestre, na etapa de extracção e

produção de matérias-primas, deve-se essencialmente à emissão de mercúrio proveniente da produção do aço em forno eléctrico a arco, devido ao uso de carvão (o mercúrio encontra-se associado a este tipo de hidrocarboneto), gás natural (da combustão do gás natural resultam emissões de mercúrio) e energia eléctrica como fonte de energia (na produção de energia eléctrica são emitidas emissões de mercúrio). O impacte para a categoria Depleção Abiótica, na etapa de extracção e produção de matérias-primas, deve-se essencialmente ao consumo de recursos como o gás natural, o petróleo bruto e o carvão (hulha). O impacte para a categoria Ecotoxicidade Aquática (marinha), na etapa de extracção e produção de matérias-primas, deve-se essencialmente às emissões dos metais vanádio e níquel associadas à produção do aço não ligado ou fracamente ligado em forno eléctrico a arco e à produção do zinco primário. Na categoria de Aquecimento Global, na etapa de extracção e produção de matérias-primas, constata-se que o impacte está essencialmente associado à emissão do dióxido de carbono de origem fóssil proveniente da polimerização por suspensão do policloreto de vinilo e da produção de gusa. Finalmente o impacte para a categoria Acidificação, na etapa de extracção e produção de matérias-primas, deve-se essencialmente às emissões do dióxido de enxofre e de óxidos de azoto provenientes da polimerização por suspensão do policloreto de vinilo e da produção do zinco primário.

Abstract

The manufacturing sector of fences part of the metallurgical and mechanical industry has made efforts to minimize the environmental impacts are associated with their processes and products. In an attempt to improve this same development, new methods of environmental management have been adopted by various sectors of the metals and metalworking industry. This study main objective is to assess the environmental impact associated with the lifecycle of a chain link fencing galvanized and coated with green PVC. This product is one of the most commercialized products of a Portuguese national company - Só-Redes, Lda. In the sector of the chain link fencing, this product is part of the 20% of the products produced that accounts for 80% of the total fence sales.

The evaluation of the environmental impacts include the extraction of raw materials (including iron ore used in steelmaking, the zinc-lead ore used in galvanizing and PVC), the production of materials used in the chain link fencing, the production of the fence and the transport associated with product distribution to retailers and end users.

The information used from the production process of the wire and fence reports to 2009 being and was provided by two national companies' part of the supply chain of the fence. The remaining information required is collected from the available literature and databases. For the assessment of the environmental impacts SimaPro Version 7.3 (Pre Consultants, 2011) is used. The methodology to impact assessment is the CML 2 baseline 2000 version 2.05 (Pré Consultants, 2010) conducted through the phases: Classification, Characterization and Normalization.

The results obtained in step Characterization showed that the step of extraction and production of raw materials plays an important role for the ten categories of environmental impact, particularly for Abiotic Depletion, Acidification, Eutrophication, Global Warming, The Depletion Ozone Layer, Human Toxicity, Aquatic Ecotoxicity (fresh water), Aquatic Ecotoxicity (marine), the Terrestrial Ecotoxicity and Photooxidation. After Normalization, it appears that the major contribution of the extraction stage and production of raw materials, is associated with major contribution in five categories of environmental impact, in particular, the Terrestrial Ecotoxicity, Abiotic Depletion, Aquatic Ecotoxicity (marine) Global Warming (Global Warming for time horizon of 100 years) and Acidification. The impact for the category Terrestrial Ecotoxicity in step extraction and production of raw materials is mainly due to the emission of mercury from the production of steel in electric arc furnace, due to the use of coal (mercury is associated this type of hydrocarbon), natural gas (combustion of natural gas resulting mercury emissions) and electricity as an energy source (electricity production emissions of mercury are emitted). The

impact for the category Abiotic Depletion, the stage of extraction and production of raw materials is mainly due to the consumption of resources such as natural gas, crude oil and hard coal. The impact to the Aquatic Ecotoxicity (marine) category, the stage of extraction and production of raw materials, due mainly to emissions of the metals vanadium and nickel associated with the production of non-alloy steel or low-alloy in electric arc furnace and primary zinc production. In the category of Global Warming, the stage of extraction and production of raw materials, it appears that the impact is essentially associated with the emission of carbon dioxide from fossil by suspension polymerization of polyvinyl chloride and the production of pig iron. Finally, the impact for the category Acidification in step extraction and production of raw materials, due mainly to emissions of sulfur dioxide and nitrogen oxides from the suspension polymerization of polyvinyl chloride and the production of primary zinc.

Índice

Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Caracterização do Sector de Rede para Vedação	2
1.2. Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada ao Sector de Rede para Vedação	5
1.3. Objectivos e Âmbito do Trabalho	9
1.4. Estrutura e Organização da Dissertação	9
Capítulo 2. Descrição das Etapas do Ciclo de Vida da Rede para Vedação	11
2.1. Extracção e Produção das Matérias-Primas	12
2.1.1. Extracção do Minério de Ferro e Produção do Aço Macio	12
2.1.2. Extracção e Produção do Zinco Metálico	13
2.1.3. Extracção da Matérias-Primas e Produção do PVC	14
2.2. Produção do Arame de Aço Macio Galvanizado Revestido a PVC	15
2.2.1. Trefilagem e Galvanização	15
2.2.2. Revestimento com PVC	16
2.3. Produção da Rede para Vedação	16
2.4. Distribuição da Rede para Vedação	16
Capítulo 3. Avaliação do Ciclo de Vida da Rede para Vedação	18
3.1. Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida	18
3.2. Definição do Objectivo e do Âmbito	20
3.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida	22
3.3.1. Extracção e Produção das Matérias-Primas	23
3.3.2. Produção do Arame de Aço Macio Galvanizado Revestido a PVC	24
3.3.3. Produção da Rede para Vedação	27
3.3.4. Distribuição da Rede para Vedação	29
3.4. Avaliação de Impactes do Ciclo de Vida (AICV)	30

Capítulo 4. Análise de Resultados	32
4.1. Etapa da Caracterização	32
4.2. Etapa da Normalização	34
4.3. Análise de Sensibilidade	36
Capítulo 5. Conclusões e Limitações Recomendações para Trabalhos Futuros	38
Referência Bibliográficas	41
Anexos	45
Anexo A. Factores de Emissão para Fontes de Combustão Móveis	45
Anexo B Factores de Emissão para Fontes de Combustão Estacionárias	46

Índice das Figuras

Figura 1 - Repartição do valor de vendas dos produtos do sector Fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos pelo Mercado Nacional, União Europeia e Países Terceiros, em 2009.	2
Figura 2 - Repartição do valor de vendas dos produtos do subsector Fabricação de produtos de arame, correntes e molas metálicas pelo Mercado Nacional, União Europeia e Países Terceiros, em 2009.	3
Figura 3 - Comércio externo do produto grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), no período de 2006 a 2009.	4
Figura 4 - Principais clientes externos de grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), no período de 2006 a 2009.	4
Figura 5 - Principais fornecedores externos de grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), no período de 2006 a 2009.	5
Figura 6 - Etapas do ciclo de vida associadas à produção da rede elástica plastificada 50 14/11verde.	11
Figura 7 - Fluxograma do processo produtivo do policloreto de vinilo.	15
Figura 8 - Rede elástica plastificada 50 14/11 verde.	16
Figura 9 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida definidas segundo a norma NP EN ISO 14040: 2008.	19
Figura 10 - Etapas do ciclo de vida associadas à produção da rede para vedação.	22
Figura 11 - Resultados da etapa de Caracterização para a rede para vedação e para cada categoria de impacte ambiental.	33
Figura 12 - Resultados da etapa de Normalização para a rede para vedação e para cada categoria de impacte ambiental.	34

Índice das Tabelas

Tabela 1 - Selecção de estudos de ACV aplicados aos materiais que compõem a rede para vedação em estudo.	8
Tabela 2 - Distribuição nacional da rede para vedação, por tipo de transporte e de cliente e local de entrega.	17
Tabela 3 - Elementos obrigatórios e opcionais da fase de Avaliação de Impactes Ambientais.	20
Tabela 4 - Composição do arame de aço macio galvanizado revestido a PVC utilizado na produção da rede para vedação em estudo.	21
Tabela 5 - Inventário da etapa de extracção e produção das matérias-primas expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m ² de rede para vedação).	23
Tabela 6 - Inventário da etapa de produção do arame de aço macio galvanizado 14/11 revestido a PVC verde expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m ² de rede para vedação).	25
Tabela 7 - Inventário da etapa de produção da rede para vedação expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m ² de rede para vedação).	28
Tabela 8 - Inventário da etapa de distribuição da rede para vedação expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m ² de rede para vedação).	30
Tabela 9 - Gama de variação dos parâmetros usados e resultados obtidos na análise de sensibilidade.	37
Tabela A1 - Valores dos factores de emissão para fontes de combustão móveis (empilhadores com combustível a diesel e a GPL (propano))	45
Tabela B1 - Valores dos factores de emissão para fontes de combustão estacionárias (forno de recozimento e tina de galvanização)	46

Abreviaturas

CAE - Código da Actividade Económica

CBO₅ - Carência Bioquímica de Oxigénio

CML - (Institute of Environmental Science, Faculty of Science, Leiden University) - Instituto de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências, Universidade de Leiden

COVNM – Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos

CQO - Carência Química de Oxigénio

EN - Norma Europeia

GPL - Gás de Petróleo Liquefeito

GWP - (Global Warming Potential) - Potencial de Aquecimento Global

INE - Instituto Nacional de Estatística

ISO - (International Organization for Standardization) - Organização Internacional de Normalização

PCDD/F - (Polychlorinated Dibenzodioxin / Polychlorinated Dibenzofuran) - Policlorodibenzo-p-dioxinas e Policlorodibenzo-furanos

PST - Partículas Suspensas Totais

PVC - Policloreto de Vinilo

SST - Sólidos Suspensos Totais

TCDD - 2,3,7,8 Tetraclorodibenzo-p-dioxina

UF - Unidade Funcional

Capítulo 1. Introdução

A crescente relevância da protecção ambiental e dos possíveis impactes associados aos produtos e serviços produzidos ou consumidos, tem aumentado o desenvolvimento de métodos que permitem uma abordagem integrada aos impactes ambientais. Na tentativa de melhorar esse mesmo desenvolvimento, novas metodologias de gestão ambiental têm sido adoptadas pelos vários sectores da indústria metalúrgica e metalomecânica.

O sector de fabrico de rede para vedação, parte integrante do sector metalúrgico e metalomecânico, evidencia esforços no sentido de minimizar os impactes ambientais que estão associados aos seus processos e produtos. Em relação à gestão ambiental dos processos produtivos verifica-se que a prática corrente assenta na implementação de sistemas de gestão ambiental seguindo os requisitos na norma NP EN ISO 14001: 2004 (ISO, 2004). No entanto, quando o objectivo é a avaliação ambiental de produtos constata-se que existem metodologias que melhor se adequam a este propósito. A metodologia que melhor se adequa a estes objectivos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O termo “Ciclo de Vida” refere-se às actividades que ocorrem no decurso da vida do produto ou serviço, desde os processos necessários à obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento no fim-de-vida, reciclagem e deposição final (do berço ao túmulo ou *cradle-to-grave*). A Avaliação do Ciclo de Vida considera então as entradas e saídas de materiais e energia de um sistema de produto ou serviço e, com base nestes dados avalia quantificando os potenciais impactes causados pelo uso de recursos naturais e emissão de poluentes no ambiente e na saúde humana (Ferreira, 2004). A norma NP EN ISO 14040: 2008 (ISO, 2008) descreve a metodologia a seguir para a aplicação da ferramenta de ACV (princípios e enquadramento), sendo complementada com os requisitos e linhas directrizes da NP EN ISO 14044: 2010 (ISO, 2010).

Como o sector metalúrgico e metalomecânico abrange uma diversidade considerável de actividades industriais e processos produtivos, os problemas ambientais constituem um somatório dos problemas inerentes a cada processo utilizado. De uma forma geral, pode afirmar-se que as indústrias deste sector são consideradas como problemáticas, em relação a todos os descritores ambientais (MAOT, 2004).

O presente trabalho foca sobre os impactes ambientais associados a uma rede para vedação de arame em aço macio galvanizado revestido com PVC de cor verde. Esta rede é aplicada essencialmente em vedações industriais, terrenos, casas, corte de ténis, instituições públicas e privadas.

Em seguida, é caracterizado o sector de rede para vedação e enquadrado o tema tendo por base a análise de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida realizados sobre as matérias-primas que compõem a rede para vedação, reflectindo práticas de produção na China, Tailândia, Singapura e Estados Unidos. Esta revisão permite uma análise dos principais impactes associados aos materiais usados na rede para vedação metálica plastificada.

1.1. Caracterização do Sector de Rede para Vedação

O sector metalúrgico e metalomecânico é um dos sectores industriais mais representativos a nível nacional. A maioria das empresas deste sector situa-se nas regiões Norte (contribui actualmente para 36% das empresas nacionais) e Vale do Tejo (30% das empresas nacionais). Nas restantes regiões (Algarve e Alentejo) a percentagem das empresas não é significativa (MAOT, 2004).

Segundo dados do INE para 2009, o sector que inclui o subsector de rede para vedação (Fabricação de Produtos Metálicos excepto Máquinas e Equipamentos), registou o segundo maior valor de vendas de produtos produzidos. Atingiu um valor 3 521 milhões de euros, representando cerca de 7% do total das vendas das Indústrias Transformadoras (INE, 2010).

Repartindo o valor de vendas deste sector pelo Mercado Nacional, União Europeia e Países Terceiros, conclui-se que estes mercados representavam em 2009, respectivamente, cerca de 58%, 32% e 10% do valor das vendas deste sector (Figura 1) (INE, 2010).

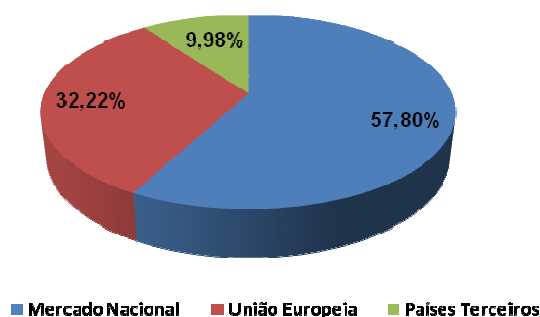


Figura 1 – Repartição do valor de vendas dos produtos do sector Fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamento pelo Mercado Nacional, União Europeia e Países Terceiros, em 2009 (INE, 2010).

Conclui-se ainda que o subsector Fabricação de produtos metálicos, correntes e molas metálicas (CAE 25930 que inclui o fabrico de rede para vedação) contribuiu em 2009, com cerca de 6% para o valor de vendas dos produtos do sector Fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos (INE, 2010).

O subsector referido (CAE 25930) possuía em 2009, cotas de vendas para Mercado Nacional (34%), União Europeia (51%) e Países Terceiros (16%). Assim, a União Europeia é o principal mercado de destino dos produtos desta actividade (Figura 2) (INE, 2010).

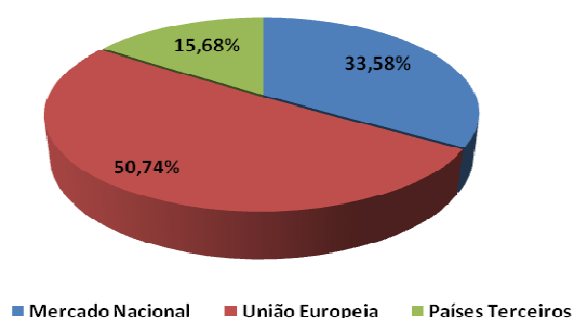


Figura 2 – Repartição do valor de vendas dos produtos do subsector Fabricação de produtos de arame, correntes e molas metálicas pelo Mercado Nacional, União Europeia e Países Terceiros, em 2009 (INE, 2010).

No que concerne ao subsector de rede para vedação, o valor das vendas dos produtos grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), nos quais está inserida a rede em estudo neste trabalho, apresentou um valor de 4 895 milhares de euros, contribuindo assim com cerca de 2% para o valor das vendas dos produtos produzidos no subsector Fabricação de produtos metálicos, correntes e molas metálicas (INE, 2010).

A análise das vendas da empresa nacional (Só-Redes, Lda.) fabricante da rede para vedação em estudo neste trabalho, permite concluir que esta empresa possui, para 2009, uma cota de 0,50% no valor total de vendas dos produtos produzidos no subsector de redes para vedação.

Em termos quantitativos, a empresa citada comercializou cerca de 18 toneladas da rede em estudo, contribuindo assim com cerca de 0,50% para a quantidade nacional de produtos vendidos pelo subsector de redes para vedação.

A análise do comércio externo do produto grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais) permite concluir que a evolução das exportações e importações no período de 2006 a 2009 é um reflexo da turbulência económica que se assistiu e, ainda se assiste, a nível mundial.

O ano de 2009 foi um ano de viragem em que as exportações e as importações (embora um pouco menos) interromperam um ciclo de crescimento para apresentar uma quebra de, respectivamente, 19% e 13%. Assim, nesta actividade reduziram-se as compras e vendas ao exterior (Figura 3) (AIMMAP, 2010).

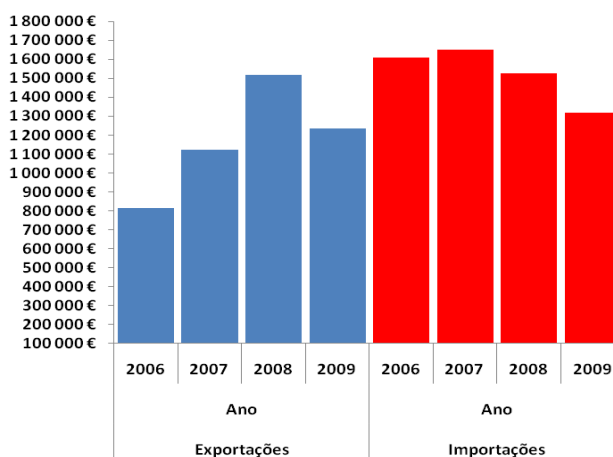


Figura 3 – Comércio externo do produto grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), no período de 2006 a 2009 (AIMMAP, 2010).

Os parceiros comerciais de Portugal são diferentes consoante os subsectores em questão, mas no caso das grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), a Espanha surge como principal cliente e principal fornecedor. No entanto, no ano de 2009, ocorreu uma redução da quota de exportação para este país em detrimento do Reino Unido (Figura 4). Verifica-se também que o grande crescimento dos países designados por outros (que inclui Itália, China, Alemanha e Holanda) ocupa lugar de destaque como fornecedores externos (Figura 5) (AIMMAP, 2010).

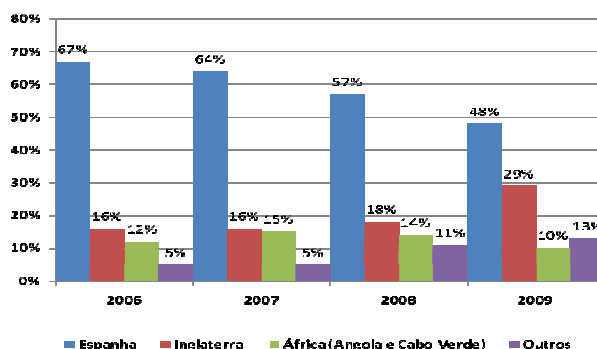


Figura 4 – Principais clientes externos de grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), no período de 2006 a 2009 (AIMMAP, 2010).

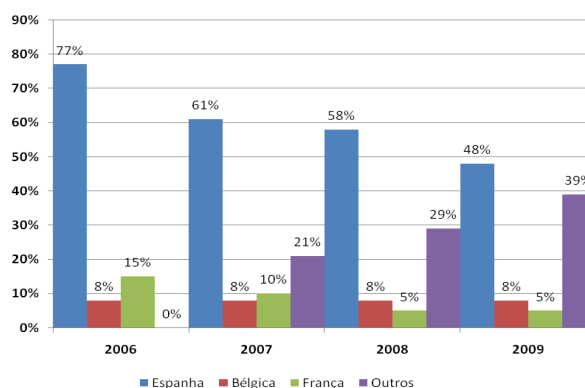


Figura 5 – Principais fornecedores externos de grades e redes, de fios de ferro ou aço, não soldadas nos pontos de intercepção, revestidas de plástico (excepto de malhas hexagonais), no período de 2006 a 2009 (AIMMAP, 2010).

1.2. Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada ao Sector de Rede para Vedação

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que tem como objectivo avaliar os potenciais impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um produto ou serviço, que inclui as etapas de extracção/obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento no fim-de-vida, reciclagem e deposição final (do berço ao túmulo ou *cradle-to-grave*). A Avaliação do Ciclo de Vida considera então as entradas e saídas de materiais e energia de um sistema de produto ou serviço e, com base nestes dados avalia os potenciais impactes causados pelo consumo de recursos naturais e emissão de poluentes no ambiente e na saúde humana (Ferreira, 2004). A Norma NP EN ISO 14040: 2008 (ISO, 2008) descreve a metodologia a seguir para a aplicação da ACV (princípios e enquadramento), sendo complementada com os requisitos e linhas directrizes da NP EN ISO 14044: 2010 (ISO, 2010). A ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida permite determinar quais as etapas do ciclo de vida que apresentam maior impacte e qual a sua contribuição para as categorias de impacte ambiental (Ferrão, 2009).

Como referido anteriormente, os estudos recolhidos na bibliografia revista, aplicam a ACV aos materiais constituintes da rede para vedação. Focou-se então nos materiais que compõem a rede em estudo, nomeadamente, o aço macio galvanizado e o policloreto de vinilo (PVC).

A Tabela 1 apresenta uma selecção desses estudos realizados com o intuito de avaliar e melhorar o desempenho ambiental dos processos de produção e produtos, bem como identificar e avaliar os impactes ambientais que lhe estão associados.

A revisão dos estudos é feita relativamente aos tipos e objectivos de estudo, ao local de produção do aço, do zinco e do PVC, à unidade funcional estipulada, ao tipo de abordagem,

às etapas do ciclo de vida consideradas, à metodologia de avaliação de impactes, às etapas de avaliação de impactes ambientais e às categorias de impacte ambiental identificadas. Por fim, são identificadas as etapas e os pontos críticos relativos aos aspectos ambientais e apresentadas as conclusões retiradas destes estudos.

De entre os cinco estudos analisados, dois estudos focam a ACV do aço (Tongpool, 2010; Li, 2002), dois estudos focam a ACV do zinco (Xueyi, 2002; Tan, 2005) e um outro estudo foca a ACV do PVC (Brinkley, 1996). No que diz respeito à abordagem, quatro dos cinco estudos utilizam a abordagem berço-portão (*cradle-to-gate*) (Tongpool, 2010; Li, 2002; Tan, 2005; Brinkley, 1996). A exceção é o estudo de Xueyi (2002), efectuado para o zinco, que recorre a uma abordagem berço-túmulo (*cradle-to-grave*).

Os diferentes estudos recorrem predominantemente à metodologia Eco-indicator 99, como a metodologia usada para a avaliação dos impactes ambientais (Tongpool, 2010; Tan, 2005). O estudo do ACV do aço (Tongpool, 2010) recorre também ao método IPCC 2007 com um horizonte temporal de 100 anos, para avaliar unicamente a categoria de impacte que se refere ao potencial de aquecimento global.

Através da utilização do método de avaliação de impactes Eco-Indicador 99, foram identificadas as seguintes categorias de impacte ambiental para o aço: Saúde Humana (inalação de substâncias cancerígenas e inalação de substâncias inorgânicas), Ecossistema (Ecotoxicidade) e Recursos (uso de minerais e combustíveis fósseis) (Tongpool, 2010; Tan, 2005).

No que diz respeito ao zinco, este contribui para as categorias de Saúde Humana (inalação de substâncias inorgânicas e Inalação de substâncias orgânicas), Alteração Climática (devido por exemplo à emissão de gases com efeito estufa durante o seu ciclo de vida) e Ecossistema (Acidificação e Ecotoxicidade) (Xueyi, 2002; Tan, 2005).

Para o PVC apenas foi realizada uma análise de inventário do ciclo de vida (Brinkley, 1996). Conclui-se que o processo de moldação tem uma contribuição significativa na produção de resíduos, nas emissões gasosas e no consumo de energia.

Em suma, os diferentes autores identificam como pontos críticos para o aço, a galvanização pois uma pequena quantidade de entrada de zinco provoca enormes impactes ambientais (Tongpool, 2010). As categorias com maior impacte ambiental são a Ecotoxicidade (Ecossistema) e o consumo de Recursos Minerais. O processo de produção do ferro e aço no Alto-forno é também apontado como um dos processos mais contribuidores para o impacte ambiental, devido ao consumo intensivo de energia, recursos e materiais. (Li, 2002). Em relação ao zinco ambos os estudos referem que o consumo de energia eléctrica (decorrente da sua produção) e o processo de fusão do zinco são uma das principais

causas dos danos ambientais, contribuindo assim para o Potencial de Aquecimento Global (devido à emissão de gases com efeito de estufa), Potencial de Acidificação (o principal responsável é o SO₂), a Toxicidade de Metais Pesados (tais como Pb, Hg, Cd, Ar) e a Sobrecarga de Resíduos Sólidos (Xueyi, 2002; Tan, 2005). O estudo de Xueyi (2002) indica também que a destilação do zinco é um outro processo causador de danos ambientais.

Por fim em relação ao PVC o estudo revisto indica que a moldação do PVC é o processo mais poluente devido ao consumo de energia necessário para moldar o PVC e consequentemente a utilização de recursos tais como o carvão. Assim considerou como impactes ambientais associados ao processo de moldação, o consumo de energia, a produção de emissões gasosas e a produção de resíduos (sucata) (Brinkley, 1996).

Tabela 1 – Selecção de estudos de ACV aplicados aos materiais que compõem a rede para vedação em estudo.

Estudo	Tongpool (2010)	Li (2002)	Xueyi (2002)	Tan (2005)	Brinkley (1996)
Tipo de Estudo	ACV da produção do aço (aço laminado a frio, aço laminado a quente, aço galvanizado e aço eletrozincado)	Avaliação comparativa do Ciclo de Vida da produção do ferro e aço nos dois processos típicos (Alto-Forno e Forno Eléctrico)	ACV da produção do zinco e chumbo	ACV da fusão de liga de zinco	Inventário do Ciclo de Vida do PVC
Objectivos	Melhorar o desempenho ambiental na indústria siderúrgica	Avaliar e melhorar o desempenho ambiental dos processos de produção do ferro e aço alternativos	Melhorar o desempenho ambiental dos processos de produção do zinco e chumbo alternativos	Avaliar o desempenho ambiental de um produto fundido de zinco	Avaliar os impactes ambientais associados à utilização do PVC na estrutura de computadores pessoais
Local da Produção do Produto	Tailândia	China	China	Singapura	EUA
Unidade Funcional	1 Tonelada de aço	Não especificada	1 Tonelada de zinco; 1 Tonelada de chumbo	1 Tonelada de fundido de zinco	Tampa superior de um computador pessoal que representa uma massa de 1,72 kg de PVC
Abordagem e Etapas do Ciclo de Vida Consideradas	Berço-portão (<i>cradle-to-gate</i>) Aquisições de matérias-primas e energia; Produção de produtos de aço; Recolha, Transporte e processamento de sucata	Berço-portão (<i>cradle-to-gate</i>) Extracção de matérias-primas; Produção de ferro e aço	Berço-túmulo (<i>cradle-to-grave</i>)	Berço-portão (<i>cradle-to-gate</i>) Aquisição de matéria-prima; Processo de fundição do zinco; Inspeção; Transporte de sucata e reciclagem; Metal reciclado é devolvido à empresa por camião	Berço-portão (<i>cradle-to-gate</i>)
Método	a) IPCC 2007 GWP 100 ^a ; b) Eco-indicator 99	Apenas foi realizado um modelo acumulativo	Não mencionado	Eco-indicator 99	Apenas foi realizada a análise de inventário
Etapas da AICV Consideradas	Classificação; Caracterização	Não realizado	Não foram mencionadas no caso de estudo	Classificação; Caracterização; Normalização; Ponderação	Inventário
Categorias de Impacte Ambiental	a) Potencial de aquecimento global; b) Saúde humana (inalação de substâncias cancerígenas e inalação de substâncias inorgânicas); Ecossistema (ecotoxicidade); Recursos (minerai e combustíveis fósseis)	Não avaliadas	Potencial de aquecimento global; Potencial de acidificação; Consumo de energia; Toxicidade Humana (metais pesados) Resíduos Sólidos	Alteração climática; Ecossistema (acidificação e ecotoxicidade); Saúde Humana (inalação de substâncias inorgânicas e Inalação de substâncias orgânicas)	Não avaliadas
Etapas / Pontos Críticos	Produção do aço galvanizado	Produção do ferro e aço no Alto-forno	Produção de electricidade; Fundição do zinco; Destilação do zinco	Produção de electricidade; Fusão e Fundição do zinco;	Moldação do PVC
Conclusões / Categorias com Maior Impacte	O aço galvanizado apresenta o maior impacte para todas as categorias. As categorias com maior impacte são a Ecotoxicidade (ecossistema) e o consumo de recursos minerai.	Os resultados comparativos indicam que o desempenho ambiental do processo Forno Eléctrico é melhor que o do processo Alto-forno	O processo que mais contribui para o Potencial de aquecimento global é a produção de energia. A emissão de SO ₂ em baixa concentração é o principal responsável pelo potencial de acidificação.	O processo de fusão contribui com até cerca de 70-80% dos impactos ambientais totais no ciclo	O processo de moldação tem uma contribuição significativa na produção de resíduos, nas emissões gasosas e no consumo de energia

- a) O método IPCC 2007 apenas avalia a categoria de impacte ambiental Aquecimento Global (GWP100), a que se refere o potencial de aquecimento global.
b) O método Eco-indicator 99 avalia três categorias de impactes ambientais, nomeadamente, Saúde Humana, Ecossistema e Recursos.

1.3. Objectivos e Âmbito do Trabalho

Este estudo tem como principal objectivo avaliar o impacte ambiental associado ao ciclo de vida de uma rede para vedação em aço macio galvanizado revestido a PVC de cor verde. A escolha deste produto reside no facto de se tratar de um produto comercial importante de uma empresa nacional - a Só-Redes, Lda. Este produto, no sector da rede elástica integra 20% dos produtos produzidos na empresa responsáveis por 80% das vendas totais. As etapas consideradas na avaliação dos impactes incluem a extracção da matéria-prima (incluindo o minério de ferro usado na produção de aço, o minério de zinco-chumbo usado na galvanização e o PVC), a produção dos materiais usados na rede, a produção da rede propriamente dita e os transportes associados à distribuição do produto pelos retalhistas e consumidor final.

A informação recolhida é relativa ao processo de produção do arame e da rede reportando ao ano de 2009 sendo fornecida por empresas nacionais que integram a cadeia de valor da rede. A restante informação necessária à Avaliação do Ciclo de Vida é recolhida na bibliografia disponível e bases de dados. Para a avaliação dos impactes ambientais é usado o SimaPro versão 7.3 (Pré Consultants, 2011), sendo usada a metodologia de avaliação de impactes CML 2 baseline 2000 versão 2.05 (Pré Consultants, 2010) conduzida através das etapas: Classificação, Caracterização e Normalização.

Finalmente, serão identificadas as contribuições do produto em análise para as várias categorias de impacte ambiental bem como as etapas do ciclo de vida que apresentam a maior contribuição para o impacte ambiental. Serão também visadas alternativas para a redução do impacte ambiental da rede para vedação.

1.4. Estrutura e Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. O capítulo 1 caracteriza o sector de rede para vedação e revê os estudos de ACV disponíveis na bibliografia para os materiais que compõem a rede para vedação. Em seguida são identificados os objectivos e âmbito do trabalho e é descrita a estrutura e organização da dissertação.

O capítulo 2 descreve as etapas do ciclo de vida incluindo a extracção da matéria-prima, a sua produção, produção do arame e da rede para vedação bem como a distribuição da rede pelos canais de distribuição (retalhistas e clientes finais).

No capítulo 3 descreve a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida e o programa informático usado na avaliação ambiental (SimaPro versão 7.3). Nesta etapa é usado para a avaliação de impactes ambientais a metodologia CML 2 baseline 2000 (versão 2.05).

O capítulo 4 apresenta, analisa e discute os resultados obtidos para as categorias do impacte ambiental e para as várias etapas do ciclo de vida consideradas. Inclui ainda uma análise de sensibilidade, de forma a avaliar a influência de alguns parâmetros, considerados significativos, no impacte ambiental.

O capítulo 5 apresenta as conclusões retiradas deste trabalho e as suas limitações, bem como algumas recomendações para trabalhos futuros.

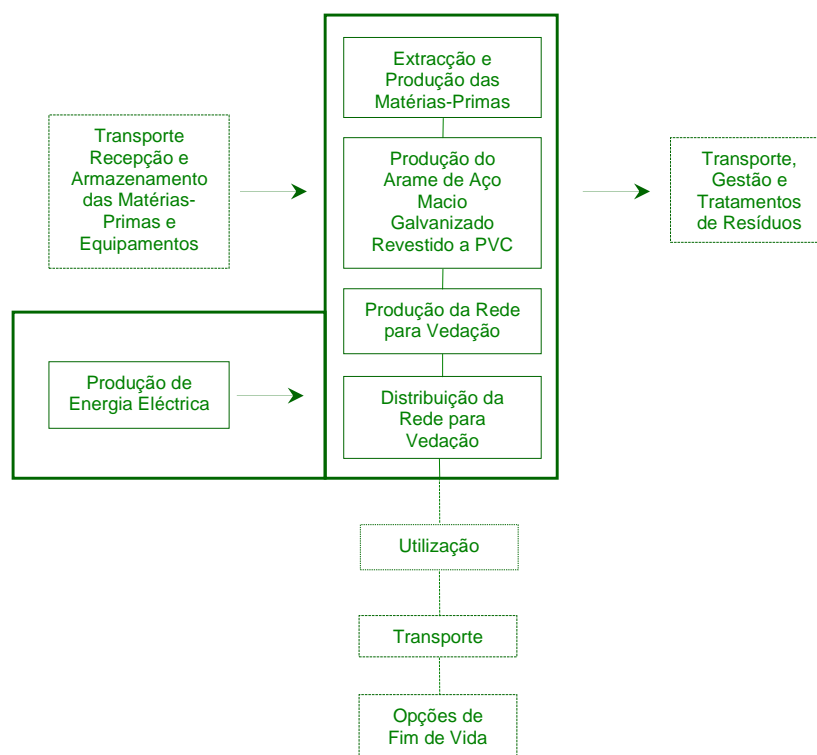
Capítulo 2. Descrição das Etapas do Ciclo de Vida da Rede para Vedação

As etapas do ciclo de vida consideradas são a extracção das matérias-primas e a produção dos materiais que compõem a rede que incluem o aço macio galvanizado e o PVC, a produção da rede propriamente dita e a sua distribuição pelos retalhistas e clientes finais.

Mais especificamente, internamente na empresa Só-Redes Lda., a rede é designada por rede elástica plastificada 50 14/11 verde. A esta especificação corresponde o arame macio galvanizado possuindo um diâmetro de 2 mm revestido com policloreto de vinilo verde de modo a perfazer um diâmetro de 3 mm. A referência 14 provém da Birmingham Wire Gauge (BWG) e corresponde a um diâmetro de 2 mm e a referência 11 provém da Birmingham Wire Gauge que corresponde a um diâmetro de 3 mm.

Após a extracção e produção das matérias-primas, o aço macio é galvanizado e revestido a PVC numa empresa nacional, o que após numa outra unidade industrial nacional (Só-Redes Lda.) é transformado em rede para vedação recorrendo a processos mecânicos de produção de espirais (com passo de 50 mm). Em seguida a rede é distribuída essencialmente por via rodoviária (camião) tendo como destino o mercado nacional.

As etapas do ciclo de vida associadas à produção da rede elástica plastificada 50 14/11 verde são indicadas na Figura 6.



Legenda:
— Fronteira do sistema em estudo
— Etapas do ciclo de vida incluídos no estudo
- - - Etapas do ciclo de vida excluídos no estudo

Figura 6 – Etapas do ciclo de vida associadas à produção da rede elástica plastificada 50 14/11 verde.

As secções seguintes descrevem e caracterizam de forma sucinta, as etapas consideradas neste estudo, que incluem a extracção e produção das matérias-primas, a produção do arame em aço macio galvanizado e revestido com PVC de cor verde, a produção da rede para vedação e a sua distribuição para comercialização.

2.1. Extracção e Produção das Matérias-Primas

Nesta secção descreve-se e caracteriza-se, a extracção do minério de ferro, a produção do aço macio, a extracção e a produção do zinco metálico usado na galvanização e, por último, a produção do policloreto de vinilo a partir do etileno.

2.1.1. Extracção do Minério de Ferro e Produção do Aço Macio

A maior parte do minério de ferro (os mais exploráveis por razões económicas são os óxidos, hematite (Fe_2O_3) e magnetite (Fe_3O_4)) é extraído de minas, seja a céu aberto ou em galerias. Depois de extraído o minério sofre a respectiva preparação que compreende basicamente operações de fragmentação, moagem, classificação e concentração. Após concentração, os minérios poderão ser alvo de tratamentos pré-metalúrgicos.

Do ponto de vista industrial, o estado físico do minério apresenta uma grande importância. O recurso a concentrados de ferro com elevado teor obriga normalmente a moagens finas, as quais são de tratamento mais difícil e oneroso do que as partículas de elevado calibre.

Deste modo, os altos-fornos modernos de elevado desempenho requerem uma preparação adequada da carga onde se inclui a aglomeração que visa o aumento do tamanho médio das partículas do concentrado e, conseqüentemente, a permeabilidade da carga. O alto-forno continua a ser o processo mais importante na produção de gusa.

A produção do aço inicia-se no alto-forno (via clássica) a partir da redução da matéria-prima (minério de ferro). A carga do alto-forno, constituída por minério, coque (agente de redução) e fundentes, é carregada na parte superior, descendo em contra corrente através de um gás redutor resultante da combustão, na zona das tubeiras, do coque com ar eventualmente sobreoxigenado e pré-aquecido. Os diferentes óxidos são reduzidos, em maior ou menor extensão, em resultado da variação da temperatura e do potencial químico de oxigénio do gás redutor e do leito de fusão.

O produto final da redução do minério de ferro é designado por gusa, havendo ainda lugar à obtenção de subprodutos: escória e lamas de despoeiramento. A gusa líquida sangrada do alto-forno é transferida para um convertidor, onde ocorre a afinação. Após afinação o aço necessita de ser desoxigenado, dado que o seu teor em oxigénio é demasiado elevado.

Em seguida o aço é sangrado para uma panela, onde são feitas algumas adições de ferro-ligas ou de agentes desoxigenantes, como o ferro-silício, ferro-manganês e o silício-manganês respectivamente, para o acerto da composição química ou diminuição do teor de oxigénio. Segue-se o respectivo vazamento, essencialmente em unidades de vazamento contínuo.

Os billetes então obtidos são encaminhados para a secção de laminagem onde, eventualmente após um aquecimento (1000 a 1200 °C) em forno contínuo, se processa a sua conformação a fio.

O fio laminado é posteriormente enrolado em rolos e expedido para uma empresa trefiladora.

No caso de o aço ser produzido num forno eléctrico a arco (processo moderno e o mais utilizado actualmente), a carga (essencialmente constituída por sucata que contribui para um menor consumo de energia e redução de emissões de dióxido de carbono) é introduzida numa cuba sobre a qual descem eléctrodos de grafite. A tensão eléctrica estabelecida entre os eléctrodos e a carga provoca o escorvamento de um arco, que será responsável pela fusão desta. Em seguida tal como no processo do alto-forno é sangrado para uma panela para se concluir a sua afinação (Althaus, 2009; Krauss, 1990; Smith, 1993).

2.1.2. Extração e Produção do Zinco Metálico

Os minérios de zinco-chumbo são extraídos na maioria das vezes do subsolo. O zinco é obtido a partir de sulfuretos (a blenda (ZnS) é o mais explorável economicamente) (Classen, 2009).

Depois de extraído, o minério é submetido a uma operação de concentração gravítica. Posteriormente é realizada uma operação de concentração por flutuação separando-se a ganga dos sulfuretos (Classen, 2009).

O zinco primário pode ser obtido através dos processos pirometalúrgicos, que contribuem com 20% para a produção mundial de zinco e dos hidrometalúrgicos com uma contribuição de 80%.

Apesar dos processos pirometalúrgicos perderem gradualmente a sua importância, o processo pirometalúrgico *Imperial Smelting* ainda tem algum relevo na União Europeia, pois permite obter concentrados complexos de zinco e chumbo (Classen, 2009). Neste processo o zinco é refinado por destilação em colunas (destilação *New Jersey*). As extremidades inferiores das colunas são aquecidas externamente por gás natural, enquanto as superiores não; assim os vapores dos metais são condensados (Classen, 2009).

O processo de destilação *New Jersey* ocorre em duas etapas. A primeira consiste na separação do zinco e do cádmio, do chumbo e a segunda separa o cádmio do zinco. Na primeira etapa, o zinco fundido é alimentado numa coluna, na qual todo o cádmio e uma grande quantidade de zinco são destilados. A mistura é condensada e alimentada directamente na segunda coluna, que se encontra a uma temperatura ligeiramente mais baixa, destilando-se principalmente cádmio, o qual é condensado como uma liga de zinco-cádmio.

Na segunda coluna de destilação, obtém-se zinco com elevada pureza (99,994%) e na primeira obtém-se zinco de qualidade inferior que é usado principalmente nos processos de galvanização (Classen, 2009). O zinco utilizado no processo de galvanização da rede de vedação é de elevada pureza (99,995%).

2.1.3. Extracção da Matérias-Primas e Produção do PVC

O cloreto de vinilo, monómero utilizado na produção do PVC, é principalmente obtido a partir do etileno. Este por sua vez é produzido a partir do petróleo por refinação e craqueamento.

A refinação consiste numa série de tratamentos físicos e químicos que visam separar o petróleo nos seus derivados. Depois de refinado, por destilação fraccionada, as fracções mais pesadas são convertidas em fracções mais leves através do processo de craqueamento que decompõe por aquecimento e/ou por catálise as substâncias pesadas, em moléculas de menor dimensão. Segue-se a polimerização por suspensão, que consiste em misturar o monómero com um catalisador e em seguida dispersá-lo numa solução aquosa, formando-se o policloreto de vinilo (Hischier, 2007; Santos, 2010).

O policloreto de vinilo tem limitada estabilidade térmica degradando-se por aquecimento e libertando ácido clorídrico. Simultaneamente, quando fundido tem viscosidade elevada, o que dificulta o processamento. Por isso é normalmente aditivado com lubrificantes, plasticizantes e estabilizadores (Buekens, 1996; Hischier, 2007; Marques, 1997).

A Figura 7 apresenta o processo de produção do policloreto de vinilo.

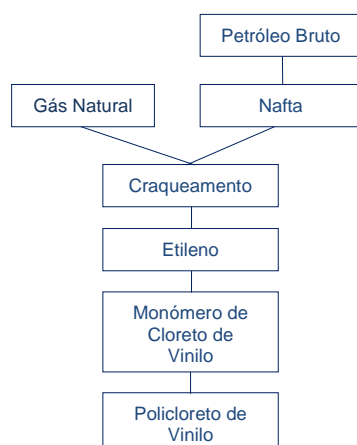


Figura 7 – Fluxograma do processo produtivo do policloreto de vinilo (Hischier, 2007).

2.2. Produção do Arame de Aço Macio Galvanizado Revestido a PVC

A trefilagem, a galvanização e o revestimento com PVC do fio de aço macio laminado ocorrem numa unidade trefiladora.

2.2.1. Trefilagem e Galvanização

Após recepção, o fio de aço macio laminado é encaminhado para o tratamento superficial de decapagem mecânica, na qual o fio passa através de vários conjuntos de roletes com diâmetro apropriado e dispostos em planos diferentes. Liberta-se a película superficial de óxidos (calamina) produzida durante a laminagem em siderurgia, sendo que, esta eliminação de óxidos é necessária para permitir a operação subsequente, a trefilagem.

A trefilagem consiste em alongar a frio o fio laminado, puxando-o através de uma ferramenta apropriada a que se chama “fieira” para lhe dar a forma de arame. A trefilagem visa reduzir sucessivamente o diâmetro do fio laminado até ao diâmetro final pretendido.

O arame cru da trefilagem sofre um recozimento de amaciamento (num forno aquecido a gás natural) de modo a melhorar a aptidão à deformação por maquinagem por promoção da sua estabilidade dimensional. Após recozimento, o arame é arrefecido em água e submetido a uma decapagem química com solução de ácido clorídrico, que remove os óxidos gerados no tratamento térmico e a um banho de fluxagem com solução de cloreto duplo de zinco e amónia. Em seguida, o arame é imerso num banho de zinco fundido aquecido a gás natural ocorrendo a galvanização. Deste modo o zinco reveste a superfície do aço por difusão conferindo ao arame uma elevada resistência à corrosão (Socitrel, 2008).

2.2.2. Revestimento com PVC

O processo de plastificação consiste em aplicar, por extrusão, um revestimento de PVC (liquefeito) sobre o arame de aço macio galvanizado, arrefecendo-o em seguida com água. No final, o arame é enrolado e expedido para comercialização (Socitrel, 2008).

2.3. Produção da Rede para Vedação

O arame de aço macio galvanizado revestido a PVC, acondicionado em rolos de 500 kg, é transportado na empresa Só-Redes, Lda., por um empilhador movido a gás propano. O arame alimenta a máquina de rede solta que produz espirais com passo de 50 mm (malha 50 mm). Neste equipamento e, à medida que a rede é produzida (ligação de espirais) esta é enrolada formando-se a rede para vedação (a Figura 8 apresenta várias fotos da rede de vedação em foco neste estudo). Quando o rolo de rede atinge um comprimento de 25 metros, este é removido e embalado em ambas as extremidades usando polietileno de baixa densidade. A rede é armazenada para posteriormente ser expedida e distribuída pelos retalhistas e clientes finais.

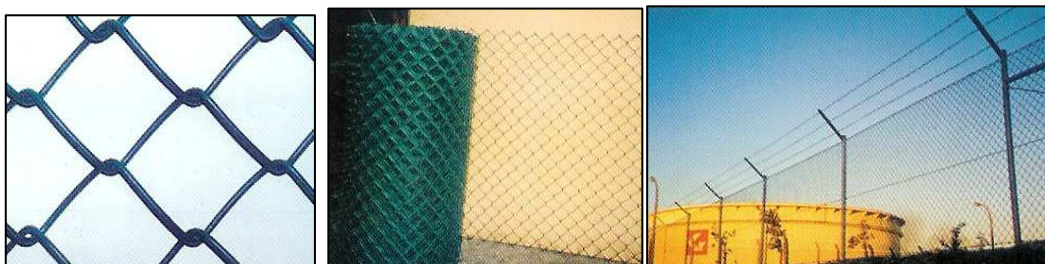


Figura 8 – Rede elástica plastificada 50 14/11 verde.

2.4. Distribuição da Rede para Vedação

A rede é distribuída essencialmente por via rodoviária por 11 regiões geográficas do mercado nacional. Uma quantidade significativa é expedida para o continente (94%), sendo que o restante (6%) é enviado para a Ilha de São Miguel – Açores. Apenas se considera a distribuição efectuada pela Só-Redes, Lda., que distribui apenas para cinco regiões

geográficas nacionais, nomeadamente, Lisboa, Castelo Branco, Leça da Palmeira, Almada e Braga.

A Tabela 2 apresenta a distribuição da rede para vedação pelos diferentes tipos de cliente, considerando o tipo de transporte e o local de entrega da mercadoria. (Crespo de Carvalho, 2002). A rede é essencialmente distribuída para o retalhista localizado em Lisboa (60% da rede comercializada pela empresa), sendo o transporte da responsabilidade da Só-Redes, Lda.

Tabela 2 – Distribuição nacional da rede para vedação, por tipo de transporte e de cliente e local de entrega.

Zona de Distribuição da Rede para Vedação	Distribuição da Rede (%)	Tipo de Transporte	Entrega da Mercadoria		Tipo de Cliente
			Mercadoria Transportada pela Só-Redes, Lda.	Mercadoria Transportada pelo Cliente	
Lisboa	60	Rodoviário (camião)	X		Retalhista
Porto	10	Rodoviário		X	Cliente Final
Vila do Conde	8	Rodoviário		X	Retalhista
Castelo Branco	6	Rodoviário (camião)	X		Retalhista (65%) Cliente Final (35%)
Maia	6	Rodoviário		X	Cliente Final
Ilha de São Miguel (Açores)	6	Rodoviário (camião) / Marítimo		X	Cliente Final
Matosinhos	2	Rodoviário		X	Cliente Final
Leça da Palmeira	1	Rodoviário (camião)	X		Cliente Final
Almada	<1	Rodoviário (camião)	X		Cliente Final
Vila Nova de Gaia	<1	Rodoviário		X	Cliente Final
Braga	<0,5	Rodoviário (camião)	X		Cliente Final

Capítulo 3. Avaliação do Ciclo de Vida da Rede para Vedação

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) avalia o impacto ambiental associado a um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida (desde os processos necessários à obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento no fim-de-vida, reciclagem e eliminação final). Esta avaliação ambiental completa e que inclui as várias etapas do ciclo de vida é designada como sendo uma abordagem do tipo berço ao túmulo (*cradle-to-grave*).

A avaliação dos impactos tem por base uma quantificação das entradas e saídas de materiais e energia do sistema de produto ao longo de todo o ciclo de vida. Com base nessa informação são avaliados os potenciais impactos causados no ambiente e na saúde humana.

Neste capítulo é descrita a metodologia associada à Avaliação do Ciclo de Vida e as características mais importantes do *software* SimaPro (versão 7.3.) usado na avaliação ambiental. O SimaPro permite modelar sistemas de produtos ou serviços numa perspectiva de ciclo de vida. O SimaPro inclui bases de dados que disponibilizam informação sobre os materiais, energia e emissões associadas aos materiais e processos que integram o ciclo de vida da rede para vedação. A avaliação de impactos ambientais é realizada utilizando o método CML 2 baseline 2000 (versão 2.05) disponível no SimaPro.

3.1. Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida

Os estudos de ACV compreendem quatro fases, realizadas iterativamente (Figura 9). As fases são a Definição do Objectivo e do Âmbito, Inventário de Ciclo de Vida, Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida e Interpretação do Ciclo de Vida. Em seguida são caracterizadas cada uma das fases.

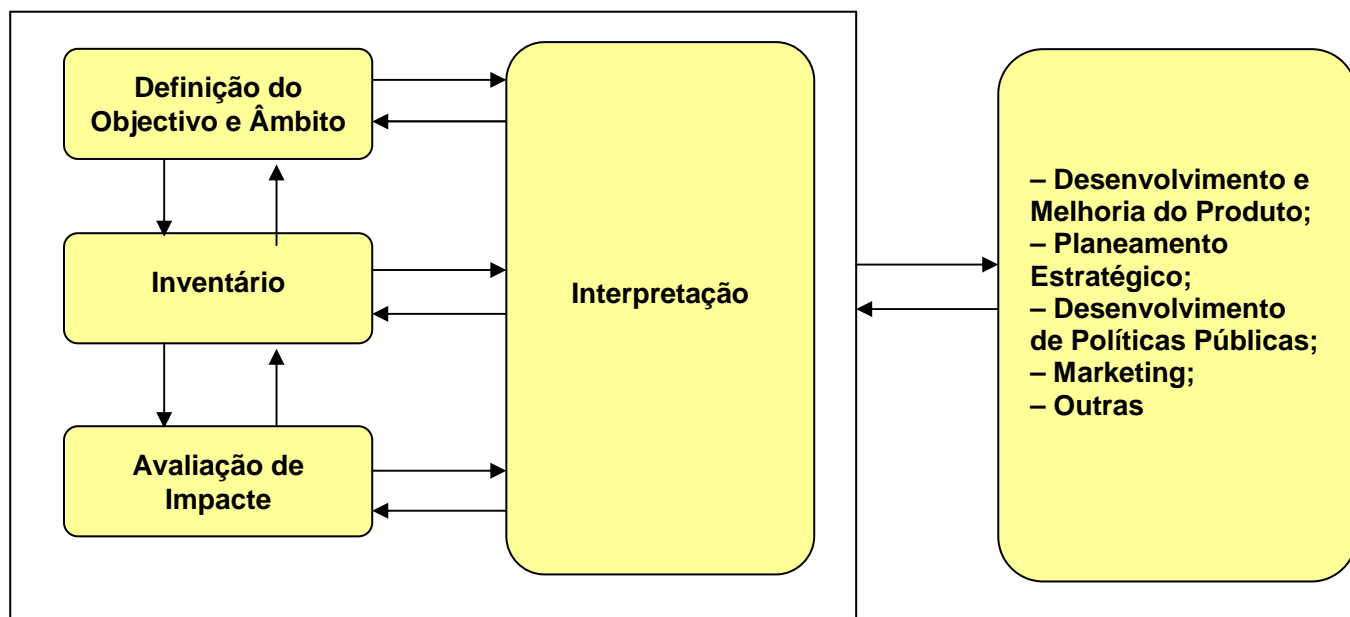


Figura 9 – Fases da Avaliação do Ciclo de Vida definidas segundo a norma NP EN ISO 14040:2008 (ISO, 2008).

Fase 1. Definição do Objectivo e Âmbito – Define e identifica a aplicação pretendida, as motivações para a realização do estudo, o sistema de produto em análise, a unidade funcional (UF), a fronteira do sistema e identifica e expõe os critérios de inclusão e exclusão de processos.

Fase 2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV) – Envolve a compilação e quantificação de entradas e saídas de materiais e energia ao longo do ciclo de vida de um produto. O inventário quantifica os consumos de recursos naturais e a emissão de poluentes para o ar, solo e água, reportando-os à unidade funcional.

Fase 3. Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV) – Quantifica os impactes ambientais potenciais causados ao longo do ciclo de vida de um produto causados pelo consumo de recursos naturais e emissão de poluentes para os diversos compartimentos ambientais. Nesta fase os consumos de recursos e emissões de poluentes são relacionados com as respectivas categorias de impacte ambiental ao que se segue a quantificação de indicadores que expressam a contribuição potencial para determinada categoria de impacte. Os passos a realizar incluem a Classificação, Caracterização, Normalização, Agregação e Ponderação. Estes passos são, segundo a norma NP EN ISO 14040: 2008 (ISO, 2008), classificados como elementos obrigatórios ou opcionais. Os elementos obrigatórios

(Classificação, Caracterização) e os opcionais (Normalização, Agregação e Ponderação) que são identificados e descritos na Tabela 3.

Os passos obrigatórios são realizados de modo a seleccionar as categorias de impacte, indicadores de categoria de impacte e modelos de caracterização, de acordo com o objectivo e o âmbito definidos. Os resultados obtidos nesta etapa expressam a contribuição potencial para determinada categoria de impacte ambiental. Os passos opcionais são realizados de modo a normalizar, agrupar ou pesar os resultados dos indicadores de categorias de impacte.

Tabela 3 – Elementos obrigatórios e opcionais da fase de Avaliação de Impactes Ambientais.

Elementos Obrigatórios da Fase de Avaliação dos Impactes Ambientais
Classificação: Imputação dos resultados do inventário do ciclo de vida às categorias de impacte seleccionadas.
Caracterização: Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria de impacte através do uso de factores de caracterização, de acordo com o modelo de caracterização seleccionado.
Elementos Opcionais da Fase de Avaliação dos Impactes Ambientais
Normalização: Cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria em relação à informação de referência (país, região ou mundo). Deste modo, é avaliada a extensão do impacte ambiental para uma determinada categoria face a um determinado intervalo de tempo e um determinado local geográfico.
Agregação: Atribuição das categorias de impacte a uma ou mais séries ou ordenar numa dada hierarquia, por exemplo, de acordo com o grau de importância.
Ponderação: Atribuição de pesos ou valores relativos às diferentes categorias de impacte com base na sua importância ou relevância. Desta etapa resulta a obtenção de um indicador único agregado para o impacte ambiental.

Fase 4. Interpretação do Ciclo de Vida – Avalia os resultados do Inventário e da Avaliação de Impacte de acordo com o objectivo e âmbito definidos, com vista à elaboração de conclusões e recomendações. Nesta fase é realizada uma análise de sensibilidade de modo a conhecer a influência de alguns parâmetros usados no estudo. Por fim são identificadas as limitações do estudo realizado.

3.2. Definição do Objectivo e do Âmbito

O principal objectivo deste estudo consiste, na identificação e avaliação dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida de uma rede para vedação. A avaliação inclui a determinação da contribuição de cada uma das etapas do ciclo de vida deste produto para o impacte ambiental global. Considera-se como referência a rede elástica plastificada com a

referência interna da empresa - 50 14/11 verde, que corresponde a uma malha de 50 mm e de cor verde, produzida pela empresa Só-Redes, Lda., sendo este um produto comercial importante da empresa, pois integra os 20% dos produtos produzidos pela empresa responsáveis por 80% das vendas totais associadas ao sector da rede elástica. Esta avaliação permitirá caracterizar as categorias de impacte ambiental associadas à rede para vedação evidenciando simultaneamente as etapas do ciclo de vida às quais estão associadas os impactes ambientais mais significativos.

A unidade funcional (UF) seleccionada é 1 m² de rede plastificada de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC de cor verde. A abordagem a considerar será do tipo berço - portão (*cradle-to-gate*) ou seja, serão analisadas e avaliadas as etapas do ciclo de vida que incluem a extracção e produção das matérias-primas (processos associados à extracção e produção dos materiais usados na rede para vedação (aço macio, zinco utilizado na galvanização e o PVC)), a produção do arame e a produção e a distribuição da rede para vedação pelos retalhistas e pelo cliente final. A composição do arame é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição do arame de aço macio galvanizado revestido a PVC utilizado na produção da rede para vedação em estudo (Socitrel, 2008). **Nota:** Para se produzir 1 m² de rede para vedação são necessários 1,25 kg de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC

Composição do Arame de Aço Macio Galvanizado Revestido a PVC	Peso (%)
Aço (origem minério (10%) e reciclado (90%))	84,7
PVC	14,6
Zinco	0,7

Este estudo excluiu algumas etapas, nomeadamente as que se relacionam com a utilização e gestão de fim-de-vida da rede para vedação. Não são também consideradas as actividades associadas ao transporte, recepção e armazenamento de matérias-primas, à fabricação dos equipamentos usados, as actividades associadas à construção, gestão e manutenção de edifícios e infra-estruturas, as obras de construção civil, a manutenção e utilização de viaturas comerciais e as actividades administrativas. A Figura 10 esquematiza as etapas consideradas no estudo, identificando as principais etapas excluídas. A produção de energia eléctrica, devido à sua importância para o ciclo de vida da rede para vedação, é considerada como parte integrante do sistema em estudo, apesar de não ser uma actividade da responsabilidade directa das unidades industriais que fazem parte da cadeia de produção da rede para vedação.

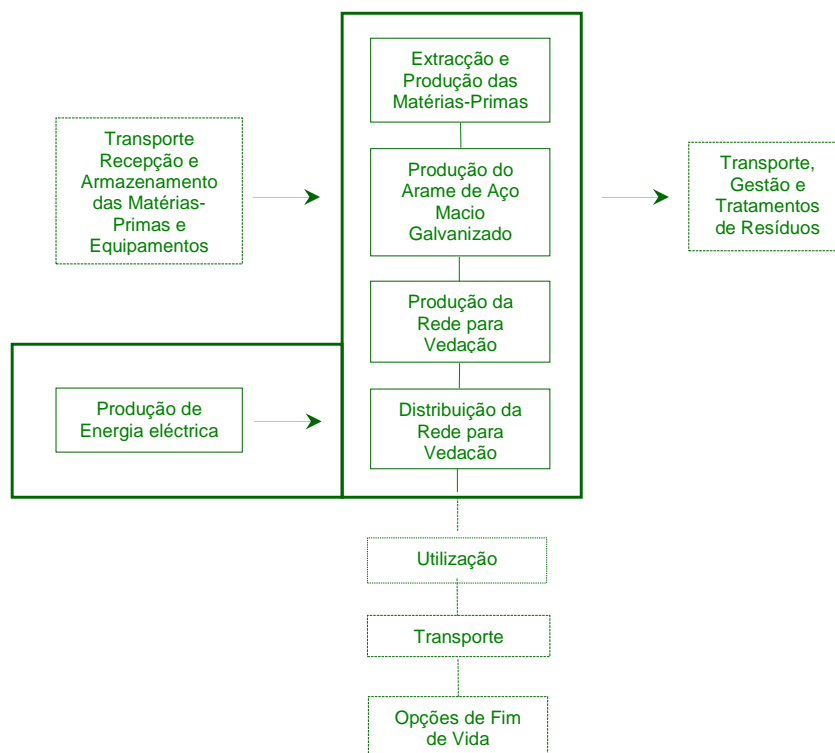


Figura 10 – Etapas do ciclo de vida associadas à produção da rede para vedação.

Legenda:

Fronteira do sistema em estudo

Etapas do ciclo de vida excluídos do estudo

Etapas do ciclo de vida incluídos no estudo

3.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida

Foi dada prioridade, sempre que possível, à informação sobre os materiais, energia, emissões gasosas e resíduos sólidos inerentes ao processo de produção e distribuição da rede para vedação. Na sua ausência foi usada informação recolhida na bibliografia e a disponível na base de dados do SimaPro (versão 7.3). A informação relacionada com a extracção e produção das matérias-primas usada foi a disponível nas bases de dados do SimaPro. A informação relacionada com a produção do arame foi recolhida numa unidade nacional pertencente à cadeia de produção da rede para vedação (unidade trefiladora) para o ano de 2009. A informação relativa à produção da rede para vedação bem como à sua distribuição para comercialização reporta-se ao ano de 2009, e foi fornecida pela Só-Redes, Lda. Em 2009, a empresa Só-redes, Lda. utilizou cerca de 19 toneladas de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC de cor verde, produzindo-se cerca de 14420 m² de rede para vedação. Em seguida é identificado o inventário para cada etapa do ciclo de vida considerada.

3.3.1. Extracção e Produção das Matérias-Primas

A informação sobre os materiais, energia, emissões gasosas, emissões para a água e resíduos sólidos, inerentes ao processo de extracção e produção de matérias-primas da rede para vedação tem como origem informação sobre os fluxos de materiais e energia e sobre os processos disponibilizados na base de dados do SimaPro (versão 7.3). Optou-se na descrição realizada em baixo por se manter a designação em inglês das bases de dados do SimaPro usadas na avaliação

Consideraram-se os processos associados à produção do aço macio (90% da produção foi obtida a partir de sucata e 10% a partir de minério de ferro), ao tratamento térmico de homogeneização, à laminagem a quente a que o aço foi submetido, à produção do zinco (zinco com elevada pureza utilizado na galvanização) e à polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (utilizado no revestimento do arame de aço macio galvanizado). Realça-se que os processos de produção de aço macio (*Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U* e *Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U*) incluem informação sobre os fluxos de materiais e energia usados na extracção de minérios usados na produção do aço. O mesmo acontece para as bases dados usada na produção de zinco e de PVC. Neste caso específico verifica-se que esta base de dados inclui informação sobre a extracção do crude.

A Tabela 5 identifica o inventário associado à etapa de extracção e produção das matérias-primas.

Tabela 5 - Inventário da etapa de extracção e produção das matérias-primas expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m² de rede para vedação). Os valores usados correspondem aos materiais necessários para produzir a rede para vedação.

ENTRADAS			
	Quantidade	Unidade / UF	
Bases de dados Consideradas	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	0,954 ^{a)}	kg
	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	0,106 ^{b)}	kg
	Heat treatment, hot impact extrusion, steel/RER U	1,06 ^{c)}	kg
	Hot rolling, steel/RER U	1,06 ^{c)}	kg
	Special high grade zinc, primary production, production mix, at plant GLO S	0,02	kg
	Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U	0,189	kg

a) Calculado considerando que 90% da produção do aço macio foi obtida a partir de sucata (aço reciclado). Corresponde a 90% de 1,06 kg de aço macio. Considera-se que a produção do aço foi obtida a partir de 90% de aço reciclado e 10% com origem no minério.

b) Calculado considerando que 10% da produção do aço foi obtida a partir de minério. Corresponde a 10% de 1,06 kg de aço macio.

c) Quantidade total de aço macio produzido que é submetido ao tratamento térmico de homogeneização e ao processo de laminagem a quente.

3.3.2. Produção do Arame de Aço Macio Galvanizado Revestido a PVC

Os valores de inventário foram obtidos através de origens distintas. Os valores das entradas do inventário, bem como os valores da emissão de partículas, emissões para a água e resíduos foram fornecidos por uma unidade industrial parte integrante da cadeia de produção da rede para vedação (unidade trefiladora). Os restantes dados do inventário são incluídos com base em base de dados disponíveis no SimaPro. Foram também incluídas bases de dados associadas ao consumo de alguns materiais usados e fontes de energia usados no processo e as associadas aos processos de reciclagem.

As bases de dados usadas estão associadas aos processos desta etapa e, incluem nomeadamente, os associados ao abastecimento da água para a actividade industrial que provém de um poço, à extracção do calcário e à produção e embalagem de cal hidratada (usada como um pó lubrificante na trefilagem), à extracção da vermiculite (usada na superfície da tina de zinco (galvanização) como isolante térmico), à produção do ácido clorídrico (usado na decapagem química), à produção do cloreto de amoníaco (usado no banho de fluxagem), à produção e distribuição da electricidade, à produção de diesel (usado no empilhador), à distribuição de gás natural (usado no forno de recozimento e na tina de zinco (galvanização)) e à reciclagem dos materiais (nomeadamente, os metais ferrosos, o policloreto de vinilo e os metais não ferrosos).

As emissões gasosas associadas à produção de energia eléctrica foram estimadas através da base de dados do SimaPro (versão7.3). As emissões gasosas associadas à combustão do diesel (usado no empilhador que movimentam as matérias-primas) e do gás natural (usado no forno de recozimento e tina de zinco da galvanização) foram calculadas usando os factores de emissão disponibilizados na EMEP/EEA (2010) e na IPCC (2006). A Tabela 1 e 2 do Anexo A apresentam os valores usados nos cálculos.

Os efluentes líquidos resultam dos banhos de decapagem química, enquanto que os resíduos (resíduos de aço, de zinco e de PVC, escórias de zinco, lamas, poeiras e o pó lubrificante usado (cal hidratada)) são decorrentes dos processos de trefilagem, galvanização e plastificação.

Os resíduos sucata de aço macio galvanizado revestido a PVC, sucata de aço macio galvanizado, sucata de aço macio e a calamina são encaminhados para a reciclagem. As escórias de zinco são enviadas para tratamento sendo daí retirado o metal zinco para reciclagem. Finalmente os resíduos de PVC (“bolachas” de PVC produzidas durante o processo de extrusão) são encaminhados para a reciclagem. As lamas produzidas na estação de tratamento de águas residuais industriais e o pó lubrificante usado (cal hidratada) são recolhidos por uma empresa licenciada e têm como destino final a deposição

em aterro. Como limitação realça-se que não foram contabilizadas, devido à indisponibilidade de informação, as quantidades de óleo lubrificante e de massa consistente utilizadas nos equipamentos. A Tabela 6 identifica, o inventário associado à etapa de produção do arame de aço macio galvanizado revestido a PVC.

Tabela 6 - Inventário da etapa de produção do arame de aço macio galvanizado 14/11 revestido a PVC verde expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m² de rede para vedação).

ENTRADAS			
Recursos		Quantidade	Unidade / UF
	Água	7,8E-01 ^{a)}	l
Bases de dados Consideradas	Limestone, at mine/CH U	2,2E-03 ^{b)}	kg
	Lime, hydrated, packed, at plant/CH U	2,2E-03 ^{b)}	kg
	Vermiculite, at mine/ZA U	2,5E-04 ^{c)}	kg
	Hydrochloric acid, 30% in H ₂ O, at plant/RER U	1,5E-02 ^{d)}	kg
	Ammonium chloride, at plant/GLO U	3,1E-04 ^{e)}	kg
	Electricity, medium voltage, at grid/PT U	2,8E-01 ^{f)}	kWh
	Diesel, at refinery/RER U	3,1E-04 ^{g)}	kg
	Natural gas, at consumer/RNA U	0,38 ^{h)}	MJ
	Natural gas, at long-distance pipeline/RER U	9,2E-03 ^{h)}	l
SAÍDAS			
Origem	Poluente	Quantidade	Unidade / UF
Emissões Gasosas	Partículas	6,6E-05	kg
	NO _x	4,4E-05 ^{i) j) l)}	kg
	CO	1,9E-05 ^{j) l)}	kg
	CH ₄	3,9E-07 ^{j) l)}	kg
	CO ₂	2,2E-02 ^{j) l)}	kg
	N ₂ O	8,0E-08 ^{j) l)}	kg
	NH ₃	2,5E-09 ^{l)}	kg
	COVNM	1,6E-06 ^{j) l)}	kg
	SO _x	1,1E-07 ^{j) m)}	kg
	Partículas < 10 µm	3,4E-07 ^{j)}	kg
	Partículas < 10 µm	6,6E-07 ^{l)}	kg
	Partículas < 2,5 µm	1,0E-06 ^{j) l)}	kg
	PST	1,0E-06 ^{j) l)}	kg
	Cd	1,9E-10 ^{j) l)}	kg
	Cu	6,9E-10 ^{j) l)}	kg
	Cr	2,8E-10 ^{j) l)}	kg
	Ni	4,0E-10 ^{j) l)}	kg
	Se	6,9E-12 ^{j) l)}	kg
	Zn	5,5E-09 ^{j) l)}	kg
	Pb	7,5E-11 ^{j)}	kg
	Hg	3,8E-11 ^{j)}	kg
	As	3,4E-11 ^{j)}	kg
	Benzo[a]antraceno, 12 metil	2,5E-11 ^{l)}	kg
	Benzo(b)fluoranteno	1,6E-11 ^{j) l)}	kg
	Benzo(k)fluoranteno	3,0E-13 ^{j)}	kg
	Dibenzo(a,h)antraceno	3,1E-12 ^{l)}	kg
	Benzo(a)pireno	9,8E-12 ^{j) l)}	kg
	Criseno	6,2E-11 ^{l)}	kg
	Fluoranteno	1,4E-10 ^{l)}	kg

	Fenantreno	7,9E-10 ^{l)}	kg
	Indeno (1,2,3-cd)pireno	3,0E-13 ^{j)}	kg
	2, 3, 7, 8 Tetraclorodibenzo-p-dioxina	1,2E-16 ^{u)}	kg
Efluente líquido tratado	CBO5	1,2E-06 ⁿ⁾	kg
	CQO	1,4E-05 ⁿ⁾	kg
	SST	5,8E-06 ⁿ⁾	kg
	Zn	1,2E-07 ⁿ⁾	kg
	Fe	1,2E-07 ⁿ⁾	kg
	NH4+	1,8E-06 ⁿ⁾	kg
	Fósforo total	2,4E-06 ⁿ⁾	kg
Resíduos	Resíduos de aço	1,6E-02 ^{o)}	kg
	Resíduos de PVC	1,9E-03 ^{p)}	kg
	Resíduos de Zinco	1,1E-04 ^{q)}	kg
	Escórias de Zinco	1,5E-02 ^{k)}	kg
	Lamas	1,4E-02 ^{r)}	kg
	Pó Lubrificante Usado (cal hidratada)	1,9E-03 ^{s)}	kg
	Poeiras	3,2E-03 ^{t)}	kg
Bases de dados consideradas	Recycling steel and iron/RER U	1,9E-02 ^{v)}	kg
	Recycling PVC/RER	9,4E-04 ^{x)}	kg
	Recycling non-ferro/RER U	1,5E-02 ^{z)}	kg
	Disposal, refinery sludge, 89.5% water, to sanitary landfill/CH U	1,4E-02 ^{y)}	kg
	Disposal, limestone residue, 5% water, to inert material landfill/CH U	1,9E-03 ^{w)}	kg

a) A água da instalação para a actividade industrial provém de um poço.

b) Consideraram-se as bases de dados referentes à extracção do calcário e produção da cal de modo a considerar todos os impactes ambientais associados à produção deste químico.

c) A vermiculite mineral laminar é um silicato hidratado de ferro, alumínio e magnésio usado por ser um excelente isolante térmico. É aplicado na superfície da tina zinco fundido no processo de galvanização, evitando a perda de zinco por oxidação e minimizando emissões difusas de gases.

d) Solução aquosa de ácido clorídrico usada na decapagem química.

e) O Cloreto duplo de zinco e amónia é usado no banho de fluxagem. A base de dados do SimaPro não inclui este composto. Considerou-se na análise o cloreto de amónia.

f) Energia eléctrica estimada com base no consumo de energia da produção do arame de aço macio galvanizado 14/11 revestido a PVC verde.

g) Combustível consumido pelo empilhador (fonte móvel) no transporte dos rolos de fio de aço macio laminado do parque de matérias-primas para a unidade de produção.

h) Combustível consumido no forno de recozimento e na tina de zinco (galvanização) (fontes estacionárias). Considerou-se como entrada do gás natural, a sua distribuição e consumo de modo a que todos os impactes ambientais sejam considerados. Considerou-se o poder calorífico do gás natural igual a 48 TJ/Gg, com base em IPCC (2006).

i) A base de dados do SimaPro (versão7.3) considera as emissões de NOx como sendo iguais às do NO₂.

j) Valores estimados para fontes de combustão estacionárias (forno de recozimento e tina de zinco (galvanização)), com base em IPCC (2006) e EMEP/EEA (2010).

k) Designadas como escórias de zinco provenientes do banho de zinco (galvanização).

l) Valores estimados para fontes de combustão móveis (empilhador a diesel), com base em EMEP/EEA (2010).

m) A base de dados do SimaPro v.7.3 considera as emissões de SOx como sendo iguais às do SO₂.

n) Águas residuais industriais tratadas na ETARI provenientes da decapagem química, que conjuntamente com as águas pluviais são descarregadas num afluente do Rio Leandro.

o) Calculado considerando que o valor estimado é igual ao somatório de 84,7% (% em peso do aço presente no arame) da quantidade total de sucata de aço macio galvanizado revestido a PVC, com 99,2% (% em peso do aço presente no arame) da quantidade total de sucata de aço macio galvanizado e, com a quantidade total de sucata de aço produzida.

- p)** Calculado considerando que o valor estimado é igual ao somatório de 14,6% (% em peso do PVC presente no arame) da quantidade total de sucata de aço macio galvanizado revestido a PVC, com a quantidade total resíduos de PVC produzidos (“bolachas” produzidas durante o processo de extrusão).
- q)** Calculado considerando que o valor estimado é igual ao somatório de 0,8% (% em peso do zinco presente no arame) da quantidade total de sucata de aço macio galvanizado revestido a PVC com 0,8% (% em peso do zinco presente no arame) da quantidade total de sucata de aço macio galvanizado.
- r)** Lamas da ETARI.
- s)** Considerou-se que o pó lubrificante usado (cal hidratada) é semelhante a resíduos de calcário.
- t)** Considerou-se como poeiras a calamina produzida durante o processo de decapagem mecânica.
- u)** Dado que a base de dados do SimaPro (versão 7.3) não inclui a dioxina PCDD/PCDF (Policlorodibenzo-p-dioxinas e Policlorodibenzo-furanos) considerou-se a 2, 3, 7, 8 Tetraclorodibenzo-p-dioxina. Valores estimados para fontes de combustão estacionárias (forno de recozimento e tina de zinco (galvanização)), com base em EMEP/EEA (2010).
- v)** Calculado considerando que o valor é igual ao somatório da sucata de aço macio galvanizado revestido a PVC, com a sucata de aço macio galvanizado, com a sucata de aço macio e com a calamina.
- x)** Calculado considerando que o valor é igual à quantidade total de restos de PVC “bolachas” produzidas durante a extrusão.
- z)** Calculado considerando que o valor é igual à quantidade de escórias de zinco produzidas no processo de galvanização.
- y)** As lamas produzidas na ETARI de uma unidade industrial parte integrante da cadeia de produção da rede para vedação (unidade trefiladora) foram encaminhados para aterro sanitário. Neste caso o processo Disposal, refinery sludge, 89.5% water, to sanitary landfill/CH U é o mais adequado da base de dados do SimaPro (versão 7.3).
- w)** O pó lubrificante usado (cal hidratada) numa unidade industrial parte integrante da cadeia de produção da rede para vedação (unidade trefiladora), foi encaminhado para aterro de materiais inertes. Neste caso, o processo Disposal, limestone residue, 5% water, to inert material landfill/CH U é o mais adequado da base de dados do SimaPro (versão 7.3).

3.3.3. Produção da Rede para Vedação

A informação sobre as quantidades de materiais, energia e resíduos sólidos, inerentes ao processo de produção da rede para vedação foram fornecidos por uma unidade industrial produtora da rede para vedação, a empresa SÓ-REDES, Lda. Esta informação foi complementada com as bases de dados do SimaPro. (versão 7.3) para os dados associados aos consumos de matérias-primas, energia, reciclagem e emissões gasosas associadas ao consumo de electricidade. Consideraram-se os processos associados à produção do óleo de corte, à produção do óleo lubrificante, à produção da massa consistente, à produção dos rótulos em papel e do filme de polietileno de baixa densidade usados na embalagem, à produção e distribuição da electricidade e à produção do GPL (propano).

Os valores de inventário foram obtidos através de origens distintas. O consumo de energia eléctrica foi estimado, para 2009, através da facturação mensal do consumo de energia inerente à produção da rede para vedação. As emissões gasosas associadas à produção de energia eléctrica foram estimadas através da base de dados do SimaPro (versão 7.3).

As emissões gasosas associadas à combustão do GPL (propano) no empilhador foram obtidas através de EMEP/EEA (2010), referindo-se ao transporte dos rolos de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC (matéria-prima) do armazém para a secção de produção e do transporte da rede para vedação (produto final) para a zona de expedição. A Tabela 1 do Anexo A apresenta os valores usados nos cálculos.

O óleo de corte usado (emulsão de óleo e água) vai-se impregnando na rede, ficando apenas no reservatório da máquina uma quantidade de lamas. Estas lamas são armazenadas em bidões e entregues a um gestor de resíduos para subsequente tratamento. Em relação à sucata de arame de macio galvanizado revestido a PVC, esta é recolhida por um sucateiro e enviada para reciclagem. No inventário considerou-se separadamente, os três tipos de materiais que compõem o aço galvanizado e revestido com PVC.

A Tabela 7 identifica o inventário associado à etapa de produção da rede para vedação. Realça-se que para se produzir 1 m² de rede são necessários 1,25 kg de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC verde.

Tabela 7 - Inventário da etapa de produção da rede para vedação expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m² de rede para vedação).

ENTRADAS				
Recursos		Quantidade	Unidade / UF	
	Água	2,7E-03 ^{a)}	l	
Bases de dados consideradas	Lubricating oil, at plant/RER U	1,5E-04 ^{b)}	kg	
	Lubricating oil, at plant/RER U	1,4E-04 ^{c)}	kg	
	Lubricating oils and greases	2,1E-04 ^{d)}	kg	
	Paper, woodfree, uncoated, at integrated mill/RER U	1,2E-04 ^{e)}	kg	
	Packaging film, LDPE, at plant/RER U	5,0E-03 ^{f)}	kg	
	Electricity, medium voltage, at grid/PT U	1,6E-01 ^{g)}	kWh	
	Propane / butane, at refinery/RER U	1,0E-03 ^{h)}	kg	
SAÍDAS				
Origem	Poluente	Quantidade	Unidade / UF	
Emissões gasosas	GPL (propano)	CH ₄	3,5E-07 ⁱ⁾	kg
		CO	4,8E-06 ⁱ⁾	kg
		CO ₂	3,0E-03 ⁱ⁾	kg
		N ₂ O	1,6E-07 ⁱ⁾	kg
		NH ₃	1,0E-08 ⁱ⁾	kg
		COVNM	6,7E-06 ⁱ⁾	kg
		NO _x	6,1E-05 ^{i)j)}	kg
		Partículas < 10 µm	2,2E-07 ⁱ⁾	kg
		Partículas < 2,5 µm	2,2E-07 ⁱ⁾	kg
		PST	2,2E-07 ⁱ⁾	kg
Resíduos	Sucata de aço	5,9E-02 ^{k)}	kg	
	Resíduos de PVC	1,0E-02 ^{l)}	kg	
	Sucata de Zinco	4,9E-04 ^{m)}	kg	
	Lamas	6,9E-05 ⁿ⁾	kg	
Bases de dados Considerada	Recycling steel and iron/RER U	7,0E-02 ^{o)}	kg	

a) O abastecimento da água da instalação para a actividade industrial provém de um poço.

b) Óleo de corte utilizado na máquina de rede elástica plastificada (óleo mineral e aditivos).

c) Óleo lubrificante utilizado na máquina de rede elástica plastificada (óleo 100% sintético e aditivos).

d) Óleo mineral refinado com aditivos (massa consistente).

e) Rótulos em papel de identificação da rede para vedação quando é expedida.

f) Filme de embalagem em Polietileno de baixa densidade da rede para vedação quando é expedida.

- g) Energia eléctrica estimada com base no consumo de energia inerente à produção da rede para vedação.
- h) Combustível (GPL (propano)) consumido pelo empilhador (fonte móvel) no transporte dos rolos de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC (matéria-prima) e da rede para vedação (produto final).
- i) Valores estimados para fontes de combustão móveis, com base em EMEP/EEA (2010).
- j) A base de dados do SimaPro (versão 7.3) considera as emissões de NOx como emissões de NO₂.
- k) Calculado considerando que o valor é igual a 84,7% da quantidade de resíduos totais (84,7% de 0,07 kg de resíduos de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC).
- l) Calculado considerando que o valor é igual a 14,6% da quantidade de resíduos totais (14,6% de 0,07 kg de resíduos de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC).
- m) Calculado considerando que o valor é igual a 0,7% da quantidade de resíduos totais (0,7% de 0,07 kg de resíduos de arame de aço macio galvanizado revestido a PVC).
- n) Calculado considerando que o valor é igual a 3% da quantidade total de emulsão (mistura imiscível de água e óleo de corte).
- o) Os resíduos sólidos produzidos (0,07 kg) ou seja os restos de arame macio galvanizado revestido a PVC, são recolhidos por um sucateiro para posterior reciclagem.

3.3.4. Distribuição da Rede para Vedação

A empresa Só-Redes, Lda. distribui a rede por cinco regiões geográficas, nomeadamente, Lisboa, Castelo Branco, Leça da Palmeira, Almada e Braga. A distribuição pelas restantes regiões (Porto, Vila do Conde, Ilha de São Miguel Açores, Maia, Matosinhos e Vila Nova de Gaia) que representam um total de cerca de 33% da rede distribuída é da responsabilidade do cliente e não foram incluídas no inventário e avaliadas em relação ao impacte ambiental devido à indisponibilidade de informação. Na distribuição da rede para as regiões de Lisboa, Castelo Branco e Almada é usado um camião com capacidade máxima de carga de 10000 kg. Relativamente às restantes regiões geográficas (Leça da Palmeira e Braga) a distribuição é realizada num camião com capacidade de carga máxima de 1100 kg.

A informação sobre os materiais, energia, emissões gasosas, emissões para a água e resíduos sólidos, inerentes ao processo de distribuição da rede para vedação tem como origem informação sobre os fluxos de materiais e energia e sobre os processos disponibilizados na base de dados do SimaPro. (versão 7.3). A Tabela 8 identifica os processos associados ao transporte e à produção de diesel inerentes à etapa de distribuição da rede para vedação. O transporte da rede para vedação foi modelizado utilizando uma base de dados do SimaPro que considera o fabrico, manutenção e tratamento de fim de vida do veículo e da via rodoviária. Em resumo, o inventário considera todo o ciclo de vida do transporte. O combustível usado é o diesel e, as emissões resultantes da queima do combustível são estimadas pela base de dados disponível no SimaPro. Os valores usados foram obtidos pela multiplicação da distância percorrida até ao local pela carga transportada (Spielmann, 2007).

Tabela 8 - Inventário da etapa de distribuição da rede para vedação expresso em função da unidade funcional (U.F = 1 m² de rede para vedação).

ENTRADAS			
	Quantidade	Unidade / UF	
Bases de dados consideradas	Transport, lorry 7.5-16t,EURO3/RER U	3434,4 ^{a)}	tkm ^{f)}
	Transport, lorry 7.5-16t, EURO3/RER U	332,2 ^{b)}	tkm ^{f)}
	Transport, lorry 7.5-16t, EURO3/RER U	52,5 ^{c)}	tkm ^{f)}
	Transport, van <3.5t/RER U	4,1 ^{d)}	tkm ^{f)}
	Transport, van <3.5t/RER U	3,0 ^{e)}	tkm ^{f)}
	Diesel, at refinery/RER U	5,3E-03 ^{a)}	kg
	Diesel, at refinery/RER U	4,7E-02 ^{b)}	kg
	Diesel, at refinery/RER U	3,7E-01 ^{c)}	kg
	Diesel, at refinery/RER U	1,6E-01 ^{d)}	kg
	Diesel, at refinery/RER U	9,0E-03 ^{e)}	kg

a) Considerou-se uma distância média de 318 km (Porto – Lisboa). Houve consolidação de cargas no transporte da rede para vedação com outras mercadorias em camião com carga máxima de 10 toneladas. Consumo médio de 17 l de diesel / 100 km.

b) Considerou-se uma distância média de 302 km (Porto – Castelo Branco). Houve consolidação de cargas no transporte da rede para vedação com outras mercadorias em camião com carga máxima de 10 toneladas. Consumo médio de 17 l de diesel / 100 km.

c) Considerou-se uma distância média de 328 km (Porto – Almada). Houve consolidação de cargas no transporte da rede para vedação com outras mercadorias em camião com carga máxima de 10 toneladas. Consumo médio de 17 l de diesel / 100 km.

d) Considerou-se uma distância média de 66,6 km (Porto – Braga). Houve consolidação de cargas no transporte da rede para vedação com outras mercadorias em camião com carga máxima de 1,1 toneladas. Consumo médio de 14 l de diesel / 100 km.

e) Considerou-se uma distância média de 13,5 km (Porto – Leça da Palmeira). Houve consolidação de cargas da rede para vedação com outras mercadorias em camião com carga máxima de 1,1 toneladas. Consumo médio de 14 l de diesel / 100 km.

f) tkm= tonelada-quilómetro

3.4. Avaliação de Impactes Ambientais do Ciclo de Vida (AICV)

O método de avaliação de impactes ambientais usado é o método CML 2 baseline 2000 (versão 2.05) Este é um dos métodos mais correntemente usados e possibilita a comparação dos resultados com os disponíveis na bibliografia. No presente trabalho, a avaliação de impactes ambientais é realizada até à etapa de Normalização considerando como situação de referência a Europa Ocidental (1995).

Na Caracterização são calculados indicadores ambientais para cada categoria de impacte. As quantidades de um determinado poluente (ou recurso) são convertidas em unidades equivalentes por multiplicação por um factor de Caracterização. Os factores de Caracterização expressam a contribuição potencial que uma determinada substância possui para um problema ambiental específico (CML, 2010). Esta etapa permite agregar as contribuições de todos os poluentes que contribuem para cada categoria de impacte ambiental.

A Normalização dos resultados é uma etapa opcional da AICV, que tem como objectivo compreender a magnitude relativa de cada resultado do indicador do sistema em estudo por relativização a uma zona de referência. Assim, normalizar os indicadores provenientes da

etapa de Caracterização consiste em referenciar relativamente a uma informação de referência (país, região ou mundo) permitindo o cálculo de potenciais indicadores ambientais adimensionais. Estes resultados obtêm-se dividindo cada um dos valores dos indicadores provenientes da etapa de Caracterização, pelo factor de normalização específico de cada categoria de impacte ambiental (Althaus, 2010).

Capítulo 4. Análise de Resultados

Em seguida são apresentados e discutidos os resultados obtidos na Caracterização e Normalização através da fase de Avaliação dos Impactes Ambientais. É ainda realizada uma análise de sensibilidade, de forma a avaliar a influência de alguns parâmetros, considerados significativos, nos resultados do impacte ambiental.

Os resultados obtidos excluem a contabilização dos impactes associados às infra-estruturas e às emissões com feitos de longa duração (períodos de tempo superiores a 100 anos, designadas por *long-term emissions*). No cálculo do impacte foi desactivada a função do SimaPro associada à avaliação do impacte tendo em consideração as emissões que se fazem sentir durante um longo período temporal. Esta opção prende-se com o facto de a fronteira do sistema excluir as etapas que ocorrem para além da distribuição da rede para vedação, ou seja, não é tido em consideração as emissões associadas à deposição final dos materiais que compõem a rede de vedação e conseqüentemente as emissões de longa duração temporal (Frischknecht, 2003).

4.1. Etapa da Caracterização

Os resultados da etapa de Caracterização permitem concluir que a rede para vedação contribui para dez categorias de impacte ambiental, nomeadamente a Depleção Abiótica, a Acidificação, a Eutrofização, o Aquecimento Global, a Depleção da Camada de Ozono, a Toxicidade Humana, a Ecotoxicidade Aquática (água doce), a Ecotoxicidade Aquática (marinha), a Ecotoxicidade Terrestre e a Oxidação Fotoquímica (Figura 11).

Conclui-se que a contribuição da etapa de extracção e produção de matérias-primas predomina em todas as categorias de impacte ambiental. Esta etapa apresenta uma contribuição quase sempre superior a 50%. A única excepção é verificada para a categoria de impacte Depleção da Camada de Ozono para a qual a contribuição da etapa de extracção e produção de matérias-primas é de cerca de 37%. A maior contribuição desta etapa é registada para a categoria Ecotoxicidade Terrestre (a contribuição é de cerca de 98% do total calculado para esta categoria), seguida da para a Toxicidade Humana (86%).

Para as outras categorias, a contribuição varia entre os 37 e os 70%, mais detalhadamente para a Depleção Abiótica (a contribuição é de cerca de 70% do total calculado para esta categoria), para a Ecotoxicidade Aquática (água doce) (70%), para a Oxidação Fotoquímica (66%), para o Aquecimento Global (64%), para a Eutrofização (52%), para a Ecotoxicidade

Aquática (marinha) (51%), para a Acidificação (50%) e para a Depleção da Camada de Ozono (37%).

A etapa de produção do arame é a que, em segundo lugar, mais contribui para o impacto ambiental total, sendo este facto verificado para todas as categorias de impacto ambiental. As categorias de impacto para as quais a produção do arame apresenta um maior factor contributivo são a Ecotoxicidade Aquática (marinha) (29%) e a Acidificação (21%). A contribuição desta etapa varia entre os 1 e os 18%, sendo de 18% para a Depleção da Camada de Ozono, para a Ecotoxicidade Aquática (água doce) (15%), para a Oxidação Fotoquímica (12%), para o Aquecimento Global (11%), para a Eutrofização (10%), para a Depleção Abiótica (9%), para a Toxicidade Humana (6%) e para a Ecotoxicidade Terrestre (1%).

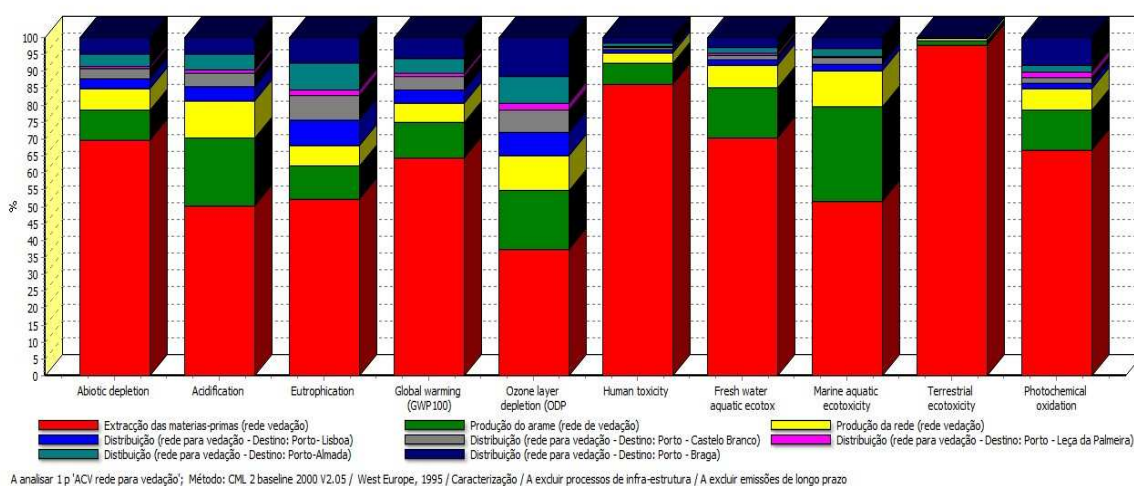


Figura 11 – Resultados da etapa de Caracterização para a rede para vedação e para cada categoria de impacto ambiental. Os valores obtidos para as categorias de impacto reportados à unidade funcional são: Depleção Abiótica (*Abiotic Depletion*)= 1,4E-02 Sb eq, Acidificação (*Acidification*)= 7,1E-03 kg SO₂ eq, Eutrofização (*Eutrophication*)= 8,9E-04 kg PO₄³⁻ eq, Aquecimento Global com horizonte temporal de 100 anos (*Global Warming (GWP 100)*)= 1,6 kg CO₂ eq, Depleção da Camada de Ozono (*Ozone Layer Depletion*)=1,4E-07 kg CFC-11, Toxicidade Humana (*Human Toxicity*)= 5,2E-01 kg 1,4-DB eq, Ecotoxicidade Aquática (água doce) (*Fresh Water Aquatic Ecotoxicity*)=2,5E-02 kg 1,4-DB eq, Ecotoxicidade Aquática (marinha) (*Marine Aquatic Ecotoxicity*)= 6,7E+01 kg 1,4-DB eq, Ecotoxicidade Terrestre (*Terrestrial Ecotoxicity*)= 5,2E-02 kg 1,4-DB eq, Oxidação Fotoquímica (*Photochemical Oxidation*)= 4,8E-04 kg C₂H₄ eq.

A etapa de produção da rede contribui também para todas categorias de impacto. Verifica-se, no entanto, uma contribuição reduzida que varia entre 1% para a categoria de Ecotoxicidade Terrestre e cerca de 11% para a categoria de Acidificação. A sua contribuição é de 10% para a Ecotoxicidade Aquática (marinha), para a Depleção da Camada de Ozono (10%), para a Ecotoxicidade Aquática (água doce) (6%), para a Oxidação Fotoquímica (6%), para a Depleção Abiótica (6%), para a Eutrofização (6%), para o Aquecimento Global (6%) e para a Toxicidade Humana (3%).

Em relação à distribuição da rede (distribuição total), conclui-se que esta etapa apresenta uma maior contribuição para a categoria de Depleção da Camada de Ozono (35%) e para a Eutrofização (32%). Analisando as distribuições em separado, conclui-se que a distribuição da rede (Porto – Braga) é a que mais contribui para as categorias de Depleção da Camada de Ozono (contribuição igual a 12%), Oxidação Fotoquímica (8%), Aquecimento Global (6%), Depleção Abiótica (5%), Acidificação (5%), Ecotoxicidade Aquática (água doce) (3%), Ecotoxicidade Aquática (marinha) (3%), Toxicidade Humana (2%), Ecotoxicidade Terrestre (0,1%) e por outro lado, dentro da distribuição da rede, a etapa que mais contribui para a Eutrofização é a distribuição da rede para vedação (Porto – Almada) (contribuição de 8%).

4.2. Etapa da Normalização

A contribuição da etapa de extração e produção de matérias-primas é preponderante quando comparada com as outras etapas do ciclo de vida da rede para vedação (nomeadamente a produção do arame, produção e distribuição da rede para vedação). Conclui-se também que esta etapa contribui preponderantemente para cinco categorias de impacto ambiental, nomeadamente para a Ecotoxicidade Terrestre, a Depleção Abiótica, a Ecotoxicidade Aquática (marinha), o Aquecimento Global (com horizonte temporal de 100 anos), e a Acidificação (Figura 12). As contribuições para as restantes categorias, são contribuições marginais quando comparadas com as citadas.

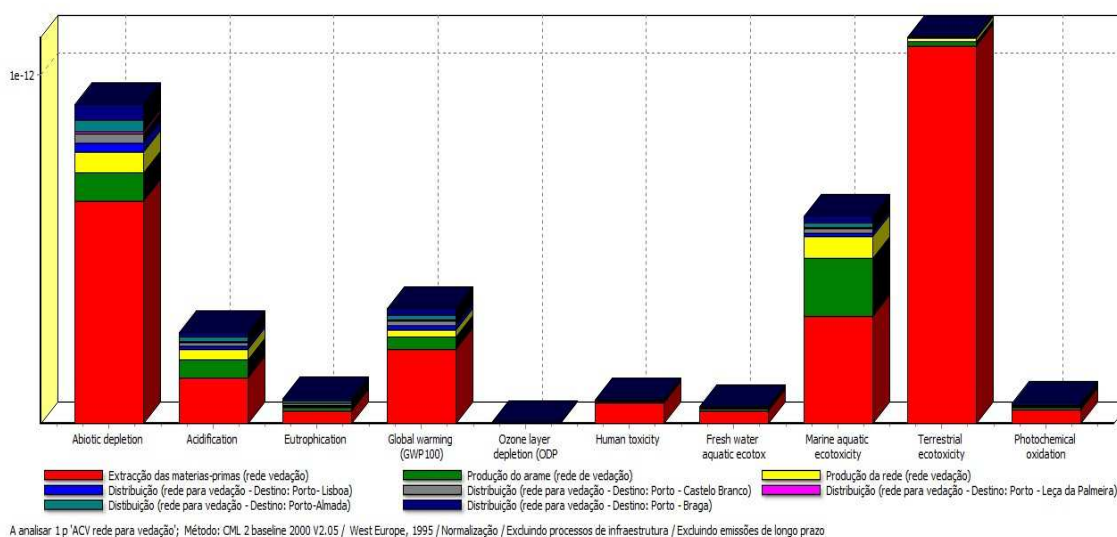


Figura 12 – Resultados da etapa de Normalização para a rede para vedação e para cada categoria de impacto ambiental: Depleção Abiótica (*Abiotic Depletion*), Acidificação (*Acidification*), Eutrofização (*Eutrophication*), Aquecimento Global com horizonte temporal de 100 anos (*Global Warming (GWP 100)*), Depleção da Camada de Ozono (*Ozone Layer Depletion*), Toxicidade Humana (*Human Toxicity*), Ecotoxicidade Aquática (água doce) (*Fresh Water Aquatic Ecotoxicity*), Ecotoxicidade Aquática (Marinha) (*Marine Aquatic Ecotoxicity*), Ecotoxicidade Terrestre (*Terrestrial Ecotoxicity*), Oxidação Fotoquímica (*Photochemical Oxidation*).

O maior problema ambiental associado ao ciclo de vida da rede para vedação é a Ecotoxicidade Terrestre, que revela efeitos tóxicos nos ecossistemas terrestres, devido à emissão de poluentes para esse meio. Os principais metais que contribuem para esta categoria de impacto ambiental, associada à etapa extracção e produção de matérias-primas (etapa de Normalização) são o mercúrio, o vanádio e o zinco. A contribuição do mercúrio é de 96%, a do vanádio é de 0,6% e a do zinco é de 0,5%. Os processos que estão na base da contribuição para esta categoria (associados à etapa de extracção e produção de matérias-primas) incluem a produção do aço em forno eléctrico a arco (contribuição de 96 % para o total da categoria de Ecotoxicidade Terrestre) e a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribuição de 2%). São libertados metais pesados na produção do aço em forno eléctrico a arco devido ao uso de sucata (o zinco é libertado quando a sucata é galvanizada), carvão (o mercúrio e o vanádio encontram-se associados a este tipo de hidrocarboneto) e gás natural (da combustão do gás natural resultam emissões de mercúrio e zinco), e energia eléctrica como fonte de energia (na produção de energia eléctrica são emitidos mercúrio e zinco) (Comrie, 2008).

Relativamente ao processo de polimerização por suspensão do policloreto de vinilo, este é responsável pela emissão dos metais, como por exemplo, o mercúrio, vanádio e zinco, pois o policloreto de vinilo é produzido a partir de um derivado de petróleo (nafta) utilizando o gás natural como fonte de energia.

O segundo maior problema ambiental associado ao ciclo de vida da rede para vedação, é a Depleção Abiótica. Esta categoria pressupõe que as reservas dos recursos naturais estão a diminuir devido à actividade humana. Este impacto associado à etapa de extracção e produção de matérias-primas, resulta essencialmente do facto do policloreto de vinilo ser produzido a partir de um derivado de petróleo (nafta), utilizando como fonte de energia o gás natural. A depleção abiótica está associada ao consumo de gás natural, de crude e de carvão (hulha). A contribuição do gás natural é de 26%, a do carvão (hulha) é de 21% e a do petróleo bruto é de 16%. Os processos associados à etapa da extracção e produção de matérias-primas que mais contribuem para a categoria Depleção Abiótica são, nomeadamente, a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribuição de 36%), a extracção de hulha das minas (contribuição de 10%), a extracção mineira de lenhite (contribuição de 7%), e a produção do gás natural (contribuição de 7%).

O terceiro maior problema ambiental associado ao ciclo de vida da rede para vedação é a Ecotoxicidade Aquática (Marinha). Esta categoria revela os efeitos tóxicos provocados em organismos existentes no meio hídrico, devido à emissão de elementos poluentes para esse meio. O impacto existente para esta categoria na etapa de extracção e produção de matérias-primas deve-se essencialmente às emissões dos metais como o vanádio (com a contribuição de 8%), níquel (7%) e o ião de níquel (6%).

Os processos que mais contribuem para o impacto desta categoria, na etapa de extracção e produção de matérias-primas são a produção do aço não ligado ou fracamente ligado num forno eléctrico a arco (contribui com 18%) e a produção do zinco primário (12%).

Verifica-se uma contribuição significativa, embora menor, da etapa de produção do arame e da produção da rede para a categoria de Ecotoxicidade Aquática (Marinha). As restantes etapas apresentam uma contribuição desprezável quando comparadas com as anteriores.

Na categoria de Aquecimento Global (com um horizonte temporal de 100 anos), a qual está relacionada com a emissão de gases com efeito de estufa. Conclui-se que o impacto está essencialmente associado à emissão de dióxido de carbono fóssil (contribuição de 57%).

Os processos mais contributivos para o impacto desta categoria, na etapa de extracção e produção de matérias-primas são a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribui com 28%) e a produção de gusa (10%). Verifica-se uma contribuição significativa, embora menor, das etapas, de produção do arame, da distribuição da rede (Porto-Braga) e da produção da rede. As restantes etapas apresentam uma contribuição menor que as anteriores.

É de salientar que na etapa de produção do arame as emissões de gases com efeito de estufa são devidas à combustão do diesel utilizado no empilhador e do gás natural utilizado no forno de recozimento e na tina de galvanização.

Na etapa de produção da rede as emissões de gases com efeito de estufa são devidas à combustão do GPL (propano) utilizado no empilhador.

O impacto existente para a categoria Acidificação é causado pela libertação de protões H^+ nos ecossistemas terrestres ou aquáticos. Durante a etapa de extracção e produção de matérias-primas, este impacto deve-se essencialmente às emissões das substâncias: dióxido de enxofre (contribui com 34%) e óxidos de azoto (16%). Os processos que mais contribuem para o impacto desta categoria, na etapa de extracção e produção de matérias-primas são a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribui com 21%) e a produção do zinco primário (9%). As restantes etapas tal como a produção do arame, a produção da rede e a distribuição da rede (Porto-Braga) têm uma contribuição comparativamente menor.

4.3. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade pretende avaliar e quantificar os efeitos das escolhas dos métodos, dados, parâmetros e modelos utilizados, que mais influenciam os resultados de um estudo (ISO, 2008). Neste trabalho foi realizada uma análise de sensibilidade de

carácter simples fazendo-se alterar as variações individuais de dois parâmetros, em que um está associado com o tipo de dioxina usado na avaliação e o outro com a localização geográfica usada como referencia para a análise.

A variação do tipo de dioxina deve-se ao facto de a dioxina reportada designada por PCDD/PCDF (Policlorodibenzo-p-dioxinas e Policlorodibenzo-p-furanos) que é emitida para o ar na etapa de produção do arame) não consta na base de dados do SimaPro (versão 7.3). Por isso, considerou-se que o tipo de dioxina seleccionada poderia influenciar os resultados obtidos. Na análise de sensibilidade são consideradas duas opções alternativas ao parâmetro 2, 3, 7, 8 Tetrachlorodibenzo-p-dioxina (Tabela 9).

O parâmetro situação de referência Europa Ocidental (1995) foi seleccionado uma vez que a produção das matérias-primas que compõem a rede para vedação pode ser alargada para além da Europa, devendo-se analisar a situação de referência Mundo (1995) (Tabela 9).

Conclui-se que a substituição dos parâmetros associados às dioxinas por outros dois alternativos, bem como a substituição da situação de referência Europa Ocidental (1995) pela situação de referência Mundo (1995) não induzem alteração no valor dos indicadores de impacte da Normalização.

Tabela 9 – Gama de variação dos parâmetros usados e resultados obtidos na análise de sensibilidade.

Parâmetros considerados	Gama de Variação	Resultado da análise de sensibilidade
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p	Opções alternativas da base de dados do SimaPro: - Dioxin, 1,2,3,7,8,9 – hexachlorodibenzo - Dibenzofuran, 2,3,4,7,8-pentachloro-	0% (não há variação para todas as categorias de impacte)
Situação de Referência Europa Ocidental (1995)	Opção alternativa: Situação de Referência Mundo (1995)	0% (não há variação para todas as categorias de impacte)

Conclui-se que a substituição do parâmetro 2, 3, 7, 8 Tetrachlorodibenzo-p-dioxina por outras duas alternativas, bem como a substituição do parâmetro situação de referência Europa Ocidental (1995) pela situação de referência Mundo (1995), não afectam os valores dos indicadores de impacte ambiental resultado da Normalização.

Capítulo 5. Conclusões, Limitações e Recomendações para Trabalhos Futuros

Este trabalho avaliou o impacto ambiental associado ao ciclo de vida de uma rede para vedação em aço macio galvanizado revestido a PVC de cor verde, recorrendo à ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida.

Na etapa de Caracterização, conclui-se que a contribuição da etapa de extracção e produção de matérias-primas é predominante em relação às dez categorias de impacto ambiental para as quais a rede de vedação contribui, nomeadamente a Depleção Abiótica, a Acidificação, a Eutrofização, o Aquecimento Global, a Depleção da Camada de Ozono, a Toxicidade Humana, a Ecotoxicidade Aquática (água doce), a Ecotoxicidade Aquática (marinha), a Ecotoxicidade Terrestre e a Oxidação Fotoquímica.

Após Normalização, verifica-se que a etapa de extracção e produção de matérias-primas contribui essencialmente para cinco categorias de impacto ambiental, nomeadamente, a Ecotoxicidade Terrestre, a Depleção Abiótica, a Ecotoxicidade Aquática (marinha), o Aquecimento Global (com horizonte temporal de 100 anos) e a Acidificação.

O maior problema ambiental associado ao ciclo de vida da rede para vedação é a Ecotoxicidade Terrestre sendo que os processos que estão na base da contribuição para esta categoria (associados à etapa de extracção e produção de matérias-primas) incluem a produção do aço em forno eléctrico a arco (contribuição de 96 % para o total da categoria de Ecotoxicidade Terrestre) e a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribuição de 2%).

O segundo maior problema ambiental associado ao ciclo de vida da rede para vedação, é a Depleção Abiótica. Os processos associados à etapa de extracção e produção de matérias-primas que mais contribuem para a categoria Depleção Abiótica são, nomeadamente, a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribuição de 36%), a extracção de hulha das minas (contribuição de 10%), a extracção mineira de lenhite (contribuição de 7%), e a produção do gás natural (contribuição de 7%).

O terceiro maior problema ambiental associado ao ciclo de vida da rede para vedação é a Ecotoxicidade Aquática (marinha). Os processos que mais contribuem para o impacto desta categoria, na etapa de extracção e produção de matérias-primas são a produção do aço não ligado ou fracamente ligado num forno eléctrico a arco (contribui com 18%) e a produção do zinco primário (12%).

Verifica-se uma contribuição significativa, embora menor do que a da etapa de extracção e produção de matérias-primas, da etapa de produção do arame e da produção da rede para

a categoria de Ecotoxicidade Aquática (marinha). As restantes etapas apresentam uma contribuição desprezável quando comparadas com as anteriores.

Na categoria de Aquecimento Global (com um horizonte temporal de 100 anos) os processos que mais contribuem para o impacto desta categoria durante a extracção e produção de matérias-primas são a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribui com 28%) e a produção de gusa (10%). Verifica-se uma contribuição significativa, embora menor do que a da etapa de extracção e produção de matérias-primas, das etapas, de produção do arame, da distribuição da rede (Porto-Braga) e da produção da rede. As restantes etapas apresentam uma contribuição menor que as anteriores.

O impacto na categoria Acidificação é causado pela libertação de protões H^+ nos ecossistemas terrestres ou aquáticos. Os processos que mais contribuem para esta categoria, na etapa de extracção e produção de matérias-primas, são a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo (contribui com 21%) e a produção do zinco primário (9%). As restantes etapas tal como a produção do arame, a produção da rede e a distribuição da rede (Porto-Braga) têm uma contribuição comparativamente menor.

Comparando os estudos dos diferentes autores sobre a Avaliação do Ciclo de Vida das matérias-primas que compõem a rede para vedação com a Avaliação do Ciclo de Vida da rede para vedação, verifica-se que os estudos concluem que o processo de produção do ferro e aço no Alto-forno é um dos processos que mais contribuem para o impacto ambiental, devido ao consumo intensivo de energia, recursos e materiais (Li, 2002). O estudo de (Tongpool, 2010) refere ainda que a galvanização do aço é uma etapa que possui também uma contribuição significativa nomeadamente, para as categorias de impacto ambiental Ecotoxicidade (Ecossistema) e o consumo de Recursos Minerais.

Em relação ao zinco ambos os estudos (Xueyi, 2002; Tan, 2005) referem que o consumo de energia eléctrica (decorrente da sua produção) e o processo de fusão do zinco são uma das principais causas dos danos ambientais, contribuindo para o Aquecimento Global (devido à emissão de gases com efeito de estufa), para a Acidificação (emissão de SO_2), para a Toxicidade provocada pela emissão de metais pesados (tais como Pb, Hg, Cd, Ar) e a produção de Resíduos Sólidos. O estudo de Xueyi (2002) indica também que a destilação do zinco é um outro processo ao qual está associado danos ambientais significativos.

Em relação ao PVC o estudo revisto indica que a moldação do PVC é um processo que requer um elevado consumo de energia. Assim considerou como impactes ambientais associados ao processo de moldação, o consumo de energia, a produção de emissões gasosas e a produção de resíduos (Brinkley, 1996).

Por outro lado, os resultados obtidos neste trabalho, permitem concluir que a produção do aço em forno eléctrico a arco, contribui para um menor consumo de energia e redução de emissões de dióxido de carbono enquanto a produção da gusa no Alto-forno contribui significativamente para a categoria de impacte ambiental Aquecimento Global. O processo de produção do aço em forno eléctrico a arco, contribui significativamente para as categorias Ecotoxicidade Terrestre e Ecotoxicidade Aquática (marinha).

Em relação à produção do zinco primário, verifica-se que este processo contribui para as categorias Ecotoxicidade Aquática (marinha) (provocada pela emissão de metais pesados) e Acidificação.

Este trabalho refere ainda que a polimerização por suspensão do policloreto de vinilo, é uma etapa que possui também uma contribuição significativa nomeadamente, para as categorias de Ecotoxicidade Terrestre, Depleção dos Recursos Abióticos, Aquecimento Global e Acidificação.

Ao longo deste trabalho foram encontradas algumas limitações que estão essencialmente associadas à indisponibilidade de informação. Esta refere-se essencialmente à não contabilização das quantidades de óleo lubrificante e de massa consistente utilizadas nos equipamentos da unidade trefiladora, bem como a sua contribuição para a formação da lama oleosa. Realça-se ainda que não foi caracterizada bem como avaliados os impactes ambientais decorrentes da distribuição da rede para vedação pelas regiões Porto, Vila do Conde, Ilha de São Miguel – Açores, Maia, Matosinhos e Vila Nova de Gaia, devido à indisponibilidade de informação.

Em seguida, são sugeridas algumas recomendações para trabalhos futuros. Uma delas tem a ver com a extensão das fronteiras do sistema em estudo (análise do tipo *cradle-to-grave*), considerando as etapas do ciclo de vida que não foram incluídas neste trabalho como por exemplo, a utilização da rede, transporte dos consumidores e opções de gestão do final de vida da rede com vista a avaliar de uma forma mais completa os impactes ambientais inerentes ao ciclo de vida da rede para vedação. Uma outra possibilidade de trabalho relaciona-se com a construção de cenários de redução da carga poluente através da implementação de medidas, tecnologias, novos procedimentos ou processos com vista a diminuir os impactes ambientais associados às etapas do ciclo de vida da rede para vedação.

Por último realça-se a possibilidade de realização de uma análise de sensibilidade mais completa. Aqui poderia ser realizada a variação na percentagem de produção de aço com origem em minério e a com origem em sucata.

Referências Bibliográficas

AIMMAP – Associação dos Industriais Metalúrgicos e Metalomecânicos e Afins de Portugal. (2010). Relatório Anual de Arames e Derivados.

Althaus, H.J. (2009). Life Cycle Inventories of Metals. Part II Iron and Steel. Ecoinvent version 2.1 report n.º 10. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf.

Althaus, H.J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Frischknecht, R., Stefanie, H., Humbert, S., Jungbluth, N., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T. (2010). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Ecoinvent report n.º 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf. (Disponível em http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03_LCIAImplementation.pdf; acessado em 30 de Junho de 2011).

Brinkley, A., Kirby, J., Wadehra, I. (1996). Life Cycle Inventory of PVC: Manufacturing and Fabrication Processes. IBM Corporation. Research Triangle Park, N.C.

Buekens, A., Sevenster, A. (2010). Vinyl 2010 – Nearing the Target Date. J. Mater Cycles Waste Management 12: 184-192.

Classen, M., Scharnhorst, W. (2009). Life Cycle Inventories of Metals. Part VIII Lead, Zinc and The Co products Cadmium and Indium. Ecoinvent version 2.1 report n.º 10. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf.

CML – Institute of Environmental Science. (2010). Characterization Factors for Impact Assessment. Institute of Environmental Science. Leiden University. The Netherlands. (Disponível em <http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>; acessado em 13 de Maio de 2011).

Comrie, D. (2008). Redução de Emissões de Mercúrio Provenientes da Combustão de Carvão Mineral. República Federativa do Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e do Comércio Exterior. Instituto Nacional de Propriedade Industrial.

Crespo de Carvalho, J.M. (2002). Logística. Lisboa. Edições Sílabo.

EMEP / EEA. (2010). 1.A.1. – Energy Industries. Combustion in Energy and Transformation Industries. Emission Inventory Guidebook 2009, update June 2010. European Environmental Agency. Copenhaga. Dinamarca.

EMEP / EEA. (2010). 1.A.2.f ii – Non-Road Mobile Sources and Machinery. Emission Inventory Guidebook 2009, update June 2010. European Environmental Agency. Copenhaga. Dinamarca.

Ferrão, P. (2009). Ecologia Industria: Princípios e Ferramentas. Coleção Ensino da Ciência e Tecnologia. Editora IST Press.

Ferreira, J.V.R. (2004). Análise do Ciclo de Vida dos Produtos. Instituto Politécnico de Viseu.

Frischknecht, R. (2003). Ecoinvent Database Methodology – Special LCA Forum. (Disponível em http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/presentation_papers/Frischknecht_DF_eng.pdf; acedido em 5 de Junho de 2011).

Hischier, R. (2007). Part II Plastics. Ecoinvent report n.º 11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf.

INE – Instituto Nacional de Estatística. (2010). Estatísticas da Produção Industrial 2009. Edição 2010. Instituto Nacional de Estatística, I.P.

IPCC. (2006). Introduction. In 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2: Energy. Garg, A., Kazunari, K., Pulles, T.

IPCC. (2006). Stationary Combustion. In 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2: Energy. Americano, B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., Namayanga, L., Osman-Elasha, B., Saka, J., Treanton, K.

ISO – International Organization for Standardization. (2004). ISO 14001: 2004 – Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos e Linhas de Orientação para a Sua Utilização. International Organization for Standardization.

ISO – International Organization for Standardization. (2008). ISO 14040: 2008 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Enquadramento. International Organization for Standardization.

ISO – International Organization for Standardization. (2006). ISO 14044: 2006 – Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. . International Organization for Standardization. Geneve. Switzerland.

Krauss, G. (1990). Steels. Heat Treatment and Processing Principles. ASM International. Cap. 1 a 10.

Li, G., Nie, Z., Zhou, H., Di, X., Liu, Y., Zuo, T. (2002). Na Accumulative Model for The Comparative Life Cycle Assessment. Case Study: Iron and Steel Process. The International Journal of Life Cycle Assessment 7(4): 225-229.

MAOT – Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2004). Metalomecânicas.

Marques, A. (1997). Introdução aos Materiais Poliméricos. FEUP.

Pré Consultants. (2011). Life Cycle Consultancy and Software Solutions. (Disponível em [http://www .pre.nl](http://www.pre.nl); acedido em Maio de 2011).

Pré Consultants. (2010). SimaPro Database Manual Methods Library. Netherlands.

Santos, R., Martins, J. (2010). Materiais de Construção – Plásticos. Série Materiais. 2.^a Edição.

Smith, W. (1993). Structure and Properties of Engineering Alloys. Mc Graw-Hill. International Editions. 2.^a Edição. Cap.1 e 2.

Socitrel. (2008). Licença Ambiental. S. Romão do Coronado. Trofa.

Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschnid, M. (2007). Transport Services. Ecoinvent report n.º 14. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf.

Tan, R., Khoo, H. (2005). Zinc Casting and Recycling. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 10(3): 211-218.

Tongpool, R., Jirajariyavech, A., Yuvaniyama, C., MungCharoen, T. (2010). Analysis of Steel Production in Thailand: Environmental Impacts and Solutions. *Energy* 35: 4192-4200.

Xueyi, G., Songwen, X., Xiao, X., Qihou, Li., Ryoichi, Y. (2002). LCA – Case Study for Lead and Zinc Production by an Imperial Smelting Process in China. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7(5): 276.

Anexo A – Factores de Emissão para Fontes de Combustão Móveis

Tabela A 1 – Factores de emissão para fontes de combustão móveis (empilhadores), com base em EMEP/EEA (2010).

Factores de Emissão			
Combustível	Poluente	Unidade	Factor de Emissão
Diesel	CH ₄	g/tonnes fuel	55
	CO	g/tonnes fuel	10722
	CO ₂	kg/tonnes fuel	3160
	N ₂ O	g/tonnes fuel	135
	NH ₃	g/tonnes fuel	8
	NM VOC	g/tonnes fuel	3385
	NO _x	g/tonnes fuel	32792
	PM ₁₀	g/tonnes fuel	2086
	PM _{2.5}	g/tonnes fuel	2086
	TSP	g/tonnes fuel	2086
	Cádmio	mg/kg fuel	0,010
	Cobre	mg/ kg fuel	1,70
	Crómio	mg/ kg fuel	0,050
	Níquel	mg/ kg fuel	0,07
	Selénio	mg/ kg fuel	0,01
	Zinco	mg/ kg fuel	1,00
	Benzo(a)antraceno	µg/kg fuel	80
	Benzo(b)fluoranteno	µg/kg fuel	50
	Dibenzo(a,h)antraceno	µg/kg fuel	10
	Benzo(a)pireno	µg/kg fuel	30
Criseno	µg/kg fuel	200	
Fluoranteno	µg/kg fuel	450	
Fenantreno	µg/kg fuel	2500	
GPL	CH ₄	g/tonnes fuel	354
	CO	g/tonnes fuel	4823
	CO ₂	kg/tonnes fuel	2990
	N ₂ O	g/tonnes fuel	161
	NH ₃	g/tonnes fuel	10
	NM VOC	g/tonnes fuel	6720
	NO _x	g/tonnes fuel	61093
	PM ₁₀	g/tonnes fuel	225
	PM _{2.5}	g/tonnes fuel	225
	TSP	g/tonnes fuel	225

Anexo B – Factores de Emissão para Fontes de Combustão Estacionárias

Tabela B1 – Valores dos factores de emissão para fontes de combustão estacionárias (forno de recozimento e tina de galvanização), com base em EMEP/EEA (2010) e IPCC (1996).

Combustível	Poluente	Unidade	Factor de Emissão
Gás Natural	CO ₂	kg/TJ/	56100 ^{a)}
	CH ₄	kg/TJ/	1,0 ^{a)}
	N ₂ O	kg/TJ/	0,1 ^{a)}
	NO _x	g/GJ	89 ^{b)}
	CO	g/GJ	39 ^{b)}
	NMVOOC	g/GJ	1,5 ^{b)}
	SO _x	g/GJ	0,3 ^{b)}
	TSP	g/GJ	0,9 ^{b)}
	PM ₁₀	g/GJ	0,9 ^{b)}
	PM _{2,5}	g/GJ	0,9 ^{b)}
	Chumbo	mg/GJ	0,2 ^{b)}
	Cádmio	mg/GJ	0,5 ^{b)}
	Mercúrio	mg/GJ	0,10 ^{b)}
	Arsénio	mg/GJ	0,09 ^{b)}
	Crómio	mg/GJ	0,7 ^{b)}
	Cobre	mg/GJ	0,4 ^{b)}
	Níquel	mg/GJ	1,0 ^{b)}
	Selénio	mg/GJ	0,01 ^{b)}
	Zinco	mg/GJ	14 ^{b)}
	PCDD/F	ng/GJ	0,5 ^{b)}
	Benzo(a)pireno	µg/GJ	0,6 ^{b)}
Benzo(b)fluoranteno	µg/GJ	0,8 ^{b)}	
Benzo(k)fluoranteno	µg/GJ	0,8 ^{b)}	
Indeno (1,2,3-cd) pireno	µg/GJ	0,8 ^{b)}	

a) Valores dos factores de emissão para fontes de combustão estacionárias (forno de recozimento e tina de galvanização), com base em IPCC (1996).

b) Valores dos factores de emissão para fontes de combustão estacionárias (forno de recozimento e tina de galvanização), com base em EMEP/EEA (2010).