

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE  
VIDA - TELHA DE AÇO GALVANIZADA**

Ana Paula de Oliveira da Silva

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2015

**Ana Paula de Oliveira da Silva**

**UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE  
VIDA - TELHA DE AÇO GALVANIZADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais metálicos para construção civil.

Orientador: Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2015

S586c

Silva, Ana Paula de Oliveira da.

Uma contribuição ao estudo de avaliação de ciclo de vida – telha de aço galvanizada [manuscrito] / Ana Paula de Oliveira da Silva. – 2015. xviii, 78 f., enc.: il.

Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 61-78.

Bibliografia: f. 57-60.

1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses. 3. Arquitetura sustentável - Teses. 4. Impacto ambiental - Teses.  
I. Magalhães, Aldo Giuntini de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.


CDU: 691(043)

# UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA - TELHA DE AÇO GALVANIZADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães  
DEMC - UFMG (orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues  
DEC - CEFET/MG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra Sidnea Eliane Campos Ribeiro  
DEMC - UFMG

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2015

Eu dedico esse trabalho aos meus pais, Jurandir Maciel de Oliveira (*in memoriam*)  
e Isabel Elidia de Oliveira, irmãos, esposo, Edimar Henriques da Silva  
e meu filho querido Pedro Henrique de Oliveira da Silva.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Aldo Giuntini, pela orientação, apoio e dedicação em todos os momentos.

Aos colaboradores das empresas que visitei pelo tempo dedicado e conhecimentos transmitidos.

Aos meus gestores pelo incentivo e apoio.

Ao padre Luciano pela amizade.

Aos meus pais, pelo sacrifício e pela oportunidade de estudar em tempos difíceis.

Aos meus irmãos e irmãs pelo amor e companheirismo.

Ao meu esposo, por ser meu equilíbrio, meu porto seguro e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu filho, por ser a minha inspiração.

“Se você é neutro em situações de injustiça, você escolhe  
o lado do opressor”.

*Desmond Tutu*

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”.

*Dalai Lama*

## RESUMO

A escolha de materiais que minimizem impactos ambientais é uma das estratégias que contribuem para o aumento da sustentabilidade do setor da construção civil. O presente trabalho aplicou a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida para avaliar os impactos ambientais decorrentes da fabricação e do emprego de telhas de aço galvanizado de perfil ondulado em um projeto específico, tomando-se como referência as normas NBR ISO da série 14000. Foram levantados os dados de entrada e saída relativos ao processo de fabricação e beneficiamento do aço, à etapa de obra, ao uso e manutenção da telha de aço até o fim de sua vida útil, incluindo seu descarte final, usando como estudo de caso a montagem do telhado de uma igreja na cidade de Ouro Branco-MG. Para a etapa de fabricação da bobina de aço utilizou-se informações disponíveis nos relatórios ambientais de usinas siderúrgicas, referentes aos principais insumos, além de bases de dados existentes no *software* Simapro. Os resultados apontaram uma maior parcela de carga ambiental para a etapa de fabricação da bobina de aço, sendo os maiores impactos encontrados pertencentes as categorias “inorgânicos inaláveis” e “combustíveis fósseis”. Os resultados também indicaram um maior impacto causado pelo transporte quando comparado ao provocado pelo uso de energia elétrica para as etapas de montagem e fim de vida da telha de aço. Nas análises envolvendo as etapas de fabricação e de destinação final dos materiais, ficou claro a importância da reutilização e da reciclagem como forma de compensar os impactos produzidos em todas as categorias. A ACV mostrou-se uma ferramenta eficiente para avaliar os danos causados ao meio ambiente pela fabricação e uso da telha de aço galvanizada de perfil ondulado e permitiu a avaliação dos respectivos impactos ambientais envolvidos ao longo de ciclo de vida.

*Palavras-chave: telha de aço galvanizada; avaliação do ciclo de vida; impactos ambientais; construções sustentáveis.*



## ABSTRACT

The choice of materials that minimize environmental impact is one of the strategies that contribute to increasing the sustainability of the construction sector. The present work applied the methodology of Life Cycle Assessment to evaluate the environmental impact resulting from the manufacture and use of galvanized steel roof in a specific project, taking as reference the NBR ISO 14000 series standards. Input and output data related to the process of manufacturing and processing of the steel, to the work stage, to the use and maintenance of the steel tile up to the end of its useful life, including its final disposal, using as a case study the assembly from the roof of a church in the city of Ouro Branco-MG. For the production stage of the steel coil, information was available on the environmental reports of steel mills, referring to the main inputs, as well as databases in Simapro *software*. The results indicated a greater share of the environmental load for the production stage of the steel coil, with the highest impact found belonging to the categories "inorganic inhalants" and "fossil fuels". The results also indicated a greater impact caused by transport when compared to that caused by the use of electrical energy for the assembly and end of life phases of the steel tile. In the analyzes involving the stages of manufacture and final destination of the materials, it was clear the importance of reuse and recycling as a way to compensate the impact produced in all categories. The ACV proved to be an efficient tool to evaluate the damage caused to the environment by the manufacture and use of the galvanized steel roof and allowed the evaluation of the respective environmental impact involved throughout the life cycle.

*Keywords: galvanized steel roof; life cycle analysis, environmental impacts, sustainable growth.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estágios do ciclo de vida de um produto .....	9
Figura 2 - Tipos de telhas metálicas (a) ondulada, (b) trapezoidal, (c) curva .....	13
Figura 3 - Cobertura com grande caimento executada com telhas onduladas, Clube Jundiaense - SP .....	14
Figura 4 - Cobertura do Estádio João Havelange (RJ) executada com telhas trapezoidais	15
Figura 5 - Telhas curvas calandradas .....	15
Figura 6 - Telhas curvas multidobras .....	15
Figura 7 - Fluxo de produção da bobina de aço galvanizada .....	16
Figura 8 - Principais rotas de produção primária do aço .....	17
Figura 9 - Processos siderúrgicos das usinas integradas .....	18
Figura 10 - Processos siderúrgicos das usinas semi-integradas .....	18
Figura 11 - Máquina de lingotamento .....	23
Figura 12 - Processos de conformação mecânica .....	24
Figura 13 - Tipos de laminadores .....	24
Figura 14 - Laminação a quente .....	25
Figura 15 - Laminação a frio .....	25
Figura 16 - Bobinas de aço .....	26
Figura 17 - Esquema de proteção catódica .....	27
Figura 18 - Fluxograma do processo de galvanização a quente .....	28
Figura 19 - Processo de perfilação das telhas de aço onduladas .....	30
Figura 20 - Delimitação do estudo .....	31
Figura 21 - Telha ondulada .....	32
Figura 22 - Fachada frontal da igreja Sagrada Família .....	33
Figura 23 - Fachada lateral da igreja Sagrada Família .....	33
Figura 24 - Detalhe da cobertura da igreja Sagrada Família .....	34
Figura 25 - Vista da cobertura da igreja Sagrada Família .....	34
Figura 26 - Etapas avaliadas .....	35
Figura 27 - Categorias de impactos e danos - etapas avaliadas .....	43
Figura 28 - Rede de fluxo do impacto global - fabricação bobina de aço galvanizada .....	44
Figura 29 - Categorias de impacto por pontuação única - fabricação bobina de aço galvanizada .....	45

Figura 30 - Rede de fluxo do impacto global - perfilação da telha de aço .....	46
Figura 31 - Categorias de impacto por pontuação única - perfilação telha de aço .....	47
Figura 32 - Rede de fluxo do impacto global - montagem das telhas na obra .....	48
Figura 33 - Categorias de impacto por pontuação única - montagem das telhas na obra ..	49
Figura 34 - Rede de fluxo do impacto global - fim de vida da telha de aço .....	50
Figura 35 - Categorias de impacto por pontuação única - fim de vida da telha de aço .....	51
Figura 36 - Rede de fluxo do impacto global - ciclo de vida da telha de aço galvanizada	52
Figura 37 - Rede de fluxo resumida do impacto global .....	53
Figura 38 - Categorias de impacto por pontuação única - ciclo de vida da telha de aço galvanizada .....	54

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Principais insumos e energia gastos para a produção de 1 kg de aço.....	37
Tabela 2 - Principais emissões para o ar (referentes a 1 kg de aço produzido) .....	37
Tabela 3 - Destino de resíduos (referentes a 1 kg de aço produzido) .....	38
Tabela 4 - Transportes envolvido na produção de 1 kg de aço .....	38
Tabela 5 - Dados do processo de galvanização da bobina de aço .....	39
Tabela 6 - Dados para a fabricação da telha de aço .....	39
Tabela 7 - Dados para a instalação da telha de aço .....	40
Tabela 8 - Insumos e recursos estimados na etapa de fim de ciclo de vida .....	41
Tabela 9 - Inventário do ciclo de vida da telha de aço galvanizada .....	61

**LISTA DE UNIDADES**

%	porcentagem
°C	grau Celsius
μBq	microbecquerel
μg	micrograma
μm	micrometro
μPt	10 <sup>-6</sup> Pt
Bq	becquerel
cm <sup>2</sup>	centímetro quadrado
dm <sup>2</sup>	decímetro quadrado
g	grama
Gj	gigajoule
kBq	quilobecquerel
kg	quilograma
kj	quilojoule
km	quilômetro
kPt	10 <sup>6</sup> Pt
kWh	quilowatt.hora
l	litro
m	metro
m <sup>2</sup>	metro quadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
mBq	milibecquerel
mg	miligrama
Mj	megajoule
mm	milímetro

mm <sup>2</sup>	milímetro quadrado
mPt	10 <sup>-3</sup> Pt
ng	nanograma
Pt	ponto (indicador do Simapro)
tkm	tonelada quilômetro
ton	tonelada

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABCCEM	Associação Brasileira de Construção Metálica
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia de Materiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
BOF	Basic Oxygen Furnace
BQ	Bobina Quente
BR	Brasil
BTX	Benzeno Tolueno Xileno
CFC	Cloro fluor carbon
CH	Suíça
COP	Conferência das Partes
DK	Dinamarca
DR	Direct Reduction
EAF	Electric Arc Furnace
EPC	Engenharia Projeto e Consultoria
EPS	Poliestireno expandido
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLO	Global
IABr	Instituto Aço Brasil
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
ISO	International Organization for Standardization
LA	Laminador Acabador
LCA	Life Cycle Analysis

LD	Linz-Donawitz
NBR	Norma Brasileira
NL	Holanda
OCE	Oceania
OHF	Open Hearth Furnace
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Poder calorífico inferior
PMT	Processamento Materiais Particulados
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RER	Europa
SETAC	Society of Environment Toxicology and Chemistry
UNID	Unidade
US EPA	US Environmental Protection Agency
USLCI	U.S. Life Cycle Inventory Database
UTC	Empresa de montagem e construção civil
VOC	Volatile Organic Compounds



**LISTA DE SÍMBOLOS**

$C_6H_4Cl_2$	diclorobenzeno
$CH_4$	metano
$CO_2$	dióxido de Carbono
Fe	ferro
FREON 22	clorofluorcarbonos
HCFC	hidroclorofluorcabono
ISCEON M059	fluido refrigerante
$NO_x$	óxido de Nitrogênio
$O_2$	oxigênio
$O_3$	ozônio
R-124	1- Cloro - 1,2,2,2 - Tetrafluoretano - Gás Refrigerante R 124
R-134A	$CHF_2CHF_2$ - Tetrafluoretano, HFC-134
R-141B	$CH_3CFCl_2$ - -Diclorofluoroetano
R-22	$CHClF_2$ - Monoclorodifluormetano - HCFC-22
$SO_2$	dióxido de enxofre
$SO_x$	óxido de Enxofre
SUVA 134a	gás refrigerante
SUVA 407c	mistura de três fluidos refrigerantes à base de hidrofluorcarbono
SUVA124	gás refrigerante
VOC	compostos orgânicos voláteis
Zn	zinco

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE UNIDADES</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Importância e justificativa .....	1
1.2 Objetivo geral .....	3
1.3 Objetivos específicos .....	3
1.4 Estrutura do trabalho .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Sustentabilidade e o setor da construção civil .....	5
2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) .....	8
2.2.1 Estrutura da ACV .....	8
2.3 Telhas Metálicas .....	12
2.3.1 Tipos de telhas metálicas.....	13
2.3.2 Processo de Fabricação da Chapa de Aço .....	16
2.3.2.1 Processo Siderúrgico .....	16
2.3.2.2 Proteção Química .....	26
2.3.3 Perfilação .....	29
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
3.1 Realização do estudo da ACV.....	32
3.1.1 Definição do objetivo e escopo do estudo .....	32
3.1.2 Etapas avaliadas .....	35
3.1.3 Software utilizado para a realização da avaliação do ciclo de vida.....	35
3.1.4 Inventário .....	35
3.1.4.1 Processo de fabricação da bobina de aço - Usina Siderúrgica (A).....	36
3.1.4.2 Processo de fabricação da telha de aço – Perfilação (B) .....	39

	3.1.4.3 Instalação, manutenção e fim de vida da telha de aço (C) .....	40
	3.1.5 Regras de exclusão .....	41
	3.2 Avaliação de impacto do ciclo de vida e interpretação dos resultados .....	42
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
	4.1 Avaliação do impacto ambiental .....	44
	4.1.1 Avaliação do impacto da fabricação da bobina de aço galvanizada ....	44
	4.1.2 Avaliação do impacto da fabricação da telha de aço - Perfilação .....	46
	4.1.3 Avaliação do impacto da montagem da telha de aço na obra .....	47
	4.1.4 Avaliação do impacto do uso/manutenção da telha de aço .....	49
	4.1.5 Avaliação do impacto do fim de vida da telha de aço galvanizada .....	50
	4.1.6 ACV da telha de aço galvanizada - Avaliação global dos impactos ....	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Importância e justificativa

A população mundial atingiu em 2014 a marca de 7,2 bilhões de habitantes. A principal consequência deste aumento é a demanda crescente por bens de consumo, serviços e, principalmente, obras de infraestrutura. A construção civil é considerada um dos setores que mais impacta o meio ambiente, tanto na fase de produção quanto na etapa de uso da edificação. No Brasil, aproximadamente 40% da extração de recursos naturais têm como destino o setor construtivo e 50% dos resíduos sólidos urbanos vêm das construções (SANSÃO, 2011).

A busca pelo desenvolvimento sustentável de nossas atividades econômicas e sociais gera uma crescente demanda por novas formas de pensar os problemas atuais enfrentados pelo planeta. As últimas décadas têm se mostrado palco de constantes debates sobre temas ambientais, tendo como um dos principais fatos motivadores dessas discussões a procura por caminhos alternativos aos modos de produção e consumo. Neste contexto, o setor industrial atua como protagonista, desenvolvendo novos produtos e processos produtivos, tendo, cada vez mais, o estudo do ciclo de vida como um importante aliado para superar os desafios que se apresentam no século XXI.

Assim, torna-se indispensável à utilização de uma ferramenta analítica capaz de servir como suporte a decisões de gestão ambiental. Dentre as ferramentas existentes, pode-se citar a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) que possibilita a avaliação do impacto ambiental de processos e produtos. A ACV é recomendada por importantes entidades como a *Society of Environment Toxicology and Chemistry* (SETAC), a *International Organization for Standardization* (ISO), a *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (ADEME)

e a *US Environmental Protection Agency* (US EPA). A ACV pode ser definida como um instrumento voltado para a análise qualitativa e quantitativa dos diferentes impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto. Portanto, constitui uma técnica que pode auxiliar na adequação e/ou escolha dos materiais de forma a reduzir os impactos ambientais ao meio ambiente.

Diante deste cenário, este trabalho se propõe a fazer uma análise ambiental da telha de aço ondulada galvanizada utilizada na obra da igreja Sagrada Família em Ouro Branco - MG. Foram avaliadas todas as etapas, desde a extração da matéria prima até o fim de vida do material. Aspectos relacionados ao transporte realizado em todas as etapas do ciclo de vida foram considerados.

As telhas metálicas concorrem no mercado com as telhas cerâmicas e as telhas de fibrocimento, tendo como vantagens, uma maior durabilidade e um grande potencial de reutilização e reciclagem.

Com base nos relatórios de sustentabilidade ambiental das usinas siderúrgicas brasileiras do ano de 2011, em particular a Usiminas, foram realizadas pesquisas, visando a obtenção de dados relativos aos gastos energéticos e emissões decorrentes do processo de fabricação da bobina de aço galvanizada e do processo de fabricação da telha de aço galvanizado de perfil ondulado, objeto deste estudo.

Para a compreensão do impacto ambiental gerado pela utilização desta telha, a unidade funcional deste estudo foi definida como sendo 1 kg de telha de aço galvanizada de perfil ondulado produzida e aplicada em Minas Gerais. Desta forma, conhecendo-se os dados referentes aos processos analisados, utilizou-se o *software* SimaPro com a finalidade de avaliar os aspectos ambientais envolvidos ao longo de todo o ciclo de vida do produto, a fim de se compreender os efeitos ambientais gerados.

Observa-se que a maioria dos trabalhos dá ênfase ao processo de fabricação do produto, onde, indiscutivelmente, são gerados os maiores impactos, entretanto, ao se avaliar as etapas de montagem, uso, manutenção e fim de vida do produto, nota-se que existem nestas, oportunidades significativas para melhorias.

## **1.2 Objetivo geral**

Avaliar os impactos ambientais decorrentes da produção e uso de telhas de aço galvanizadas de perfil ondulado ao longo de seu ciclo de vida.

## **1.3 Objetivos específicos**

Este estudo tem como objetivos específicos:

- a) descrever e identificar os principais materiais e processos envolvidos na fabricação das telhas de aço galvanizadas de perfil ondulado;
- b) descrever as fases de montagem, uso e descarte das telhas de aço galvanizadas de perfil ondulado utilizadas na obra da igreja Sagrada Família em Ouro Branco;
- c) levantar os dados para compor os inventários utilizados na avaliação do ciclo de vida proposto no presente estudo;
- d) avaliar os impactos ambientais gerados em de cada uma das fases do ciclo de vida analisado.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

Este trabalho encontra-se estruturado e organizado em cinco capítulos.

No capítulo 1 é feita uma breve introdução e apresentação dos objetivos do trabalho, visando dar um panorama geral sobre o tema abordado.

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, visando fornecer uma visão geral dos tópicos relevantes que norteiam o estudo. Em um primeiro momento são apresentados, de forma breve, os conceitos básicos relacionados ao desenvolvimento sustentável e sua importância para o equilíbrio do meio ambiente. São abordadas as principais características da avaliação do ciclo de vida, descrevendo a ferramenta e sua aplicação, sendo também indicadas as normas vigentes que tratam do assunto. Finalizando o capítulo, são descritas as principais

etapas de fabricação da telha de aço galvanizada de perfil ondulado, passando pelos processos de produção da bobina de aço, galvanização e perfilação.

No capítulo 3 são descritos os materiais e métodos utilizados e as premissas necessárias para a avaliação do ciclo de vida da telha de aço galvanizada, tomando-se como referência um estudo de caso.

No capítulo 4 é feita a apresentação e análise dos resultados onde são mostradas as redes de fluxo do ciclo de vida, os principais impactos produzidos em cada uma das fases descritas e as possíveis melhorias vislumbradas.

O capítulo 5 apresenta as conclusões deste estudo, sendo sucedido pelas considerações finais e pelas referências bibliográficas.

Ao longo de todo o texto, apesar das recomendações da NBR 14724 (ABNT, 2011), a identificação das figuras será feita da forma clássica, ou seja, aparecerá na parte inferior da mesma, recebendo uma numeração sequencial referenciada ao capítulo em que aparece. Do mesmo modo, somente serão explicitadas as fontes de referências que não forem produzidas pelo autor, especificamente para esse trabalho.

# 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo trata de questões relacionadas a sustentabilidade do setor da construção civil, dedicando-se, em particular, à compreensão do processo de produção da telha de aço galvanizado de perfil ondulado e aos aspectos ligados a avaliação do ciclo de vida deste material. Aborda a técnica de avaliação do ciclo de vida e a importância deste tipo de análise para escolha de materiais, cuja fabricação e uso, gerem menos impactos ao meio ambiente.

### 2.1 Sustentabilidade e o setor da construção civil

A ideia do desenvolvimento sustentável foi elucidada pela primeira vez em 1968, no “Clube de Roma”, por meio de debates envolvendo questões relacionadas ao meio ambiente, visando encontrar soluções que promovessem o crescimento econômico com responsabilidade ambiental. Ressaltou-se a importância da integração de medidas eficientes que pudessem promover a ampliação das potencialidades dos países, sem que ocorressem maiores danos ao equilíbrio dos ecossistemas, em decorrência dos sérios impactos ambientais que já eram constatadas no planeta.

Desde então, diversas iniciativas surgiram com a proposta de se discutir o tema sustentabilidade, como a “Declaração de Estocolmo” de 1972, o “Protocolo de Montreal” de 1987, o “Relatório de Brundtland” de 1991, a “Declaração do Rio” e a “Agenda 21” de 1992 e recentemente a COP 20, conferência da ONU sobre mudanças climáticas ocorrida em 2014 em Lima, Peru.

A Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente Humano, realizada pelas Nações Unidas em Estocolmo, em 1972, foi um marco importante para as discussões sobre desenvolvimento e meio ambiente e para o início da busca de elementos de mitigação dos efeitos das mudanças



climáticas. Uma lista de 26 princípios, contida na *Declaração sobre o Meio Ambiente Humano* estipulava ações para que as nações estabelecessem planos que resolvessem os conflitos entre as óticas e práticas de preservação ambiental e do desenvolvimento. A conferência garantia, de toda maneira, a soberania das nações, ou seja, a liberdade de se desenvolverem explorando seus recursos naturais.

De acordo com o Protocolo de Montreal (1987), os países signatários comprometeram-se a substituir as substâncias que reagem com o ozônio (O<sub>3</sub>) na parte superior da estratosfera. A meta principal foi a substituição de quinze tipos de clorofluorcarbonetos (CFCs) utilizados no mundo inteiro. O tratado entrou em vigor em 1 de janeiro de 1989 e contou com a adesão de 150 países.

Segundo o relatório de Brundtland (1991), o termo desenvolvimento sustentável se refere ao “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades”. Este relatório contém em si dois conceitos-chave: o conceito de "necessidades", em particular as necessidades essenciais dos pobres do mundo, à que deve ser dada prioridade absoluta, e a ideia da capacidade do meio ambiente em atender as necessidades do ser humano, no presente e no futuro, em vista de limitações impostas pela tecnologia e pela organização social.

A “Agenda 21”, documento da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), demonstrou os riscos eminentes relacionados ao meio ambiente e a degradação resultante das atividades desenvolvidas pelos países industrializados, e desencadeou a preocupação em relação ao uso excessivo dos recursos naturais (TAVARES e BEZI, 2012). O documento salienta que, por meio de novas tecnologias, faz-se necessário a mudança de estratégias por parte das indústrias em relação às suas atividades, visando à redução da degradação, sem que haja perda na qualidade dos produtos ou serviços prestados à população.

Os padrões internacionais de eficiência ambiental foram se elevando gradativamente e algumas instituições passaram a atrelar a concessão de financiamentos de projetos aos resultados de avaliações ambientais. No que diz respeito ao setor da construção civil, a preocupação com o meio ambiente iniciou-se há poucas décadas, por intermédio da adoção de medidas relacionadas à reciclagem, a redução das perdas decorrentes dos processos

produtivos e ao consumo de energia (GOLDEMBERG *et al.*, 2011). Tavares e Bezi (2012) sugerem que algumas medidas devem ser adotadas para a implantação de um programa de desenvolvimento sustentável no setor da construção civil, sendo elas: o uso de materiais na construção que impactem menos; a reestruturação da distribuição de zonas residenciais e industriais; o aproveitamento e consumo de fontes alternativas de energia, como a solar, eólica e geotérmica; a reciclagem de materiais reaproveitáveis e o consumo racional da água.

No Brasil, um passo importante no sentido de se regulamentar a responsabilidade no que tange aos resíduos sólidos, foi dado com a entrada em vigor da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei 12.305 (2010), que são aqueles resíduos que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. A PNRS de 2010 traz também à tona, o compartilhamento das responsabilidades sobre o ciclo de vida dos produtos.

Os mecanismos atualmente propostos para avaliação do desempenho ambiental do setor da construção civil têm se inspirado nos procedimentos de avaliação dos impactos ambientais de processos ou produtos industrializados. A metodologia aceita internacionalmente para esta finalidade é a Análise do Ciclo de Vida (ACV), originalmente definida pela SETAC (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry*) como sendo:

Processo para avaliar as implicações ambientais de um produto, processo ou atividade, através da identificação e quantificação dos usos de energia e matéria e das emissões ambientais; avaliar o impacto ambiental desses usos de energia e matéria e das emissões; e identificar e avaliar oportunidades de realizar melhorias ambientais. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, abrangendo a extração e o processamento de matérias-primas; manufatura, transporte e distribuição; uso, reuso, manutenção; reciclagem e disposição final (SETAC, 1991, p. 35-38).

Esta definição foi posteriormente consolidada na série de normas ABNT ISO 14000. Por meio da mudança de postura das empresas do ramo da construção civil, visando a sua adequação às premissas impostas pela sustentabilidade do setor, promoveu-se a difusão do conceito de “construção sustentável”, a qual é apresentada por Araújo (2013), como sendo a promoção de

intervenções no meio ambiente para o atendimento das necessidades humanas relacionadas à habitação e edificação, de forma a não promover o esgotamento dos recursos naturais.

Segundo Motta e Aguilar (2009), a eficiência construtiva pode ser alcançada, com materiais, técnicas e gestão que permitam um desempenho ótimo da edificação com durabilidade, e que possuam, quando analisados em toda cadeia produtiva, práticas sustentáveis de extração, produção e reciclagem. De forma semelhante, a eficiência em final da vida útil da construção relaciona-se à adoção de atitudes de reciclagem, aproveitamento dos resíduos da demolição e de desconstrução, que é um processo de desmanche cuidadoso do edifício de modo a preservar seus componentes para reuso e reciclagem.

Desta forma, a utilização de produtos que atendam ao seu propósito, que tenham maior durabilidade, que gerem menos resíduos e que tenham grande potencial de reutilização e/ou reciclagem é uma grande oportunidade de contribuição para a redução de impactos ao meio ambiente. É neste contexto que se percebe cada vez mais a importância da ACV como ferramenta holística na avaliação de impactos do ciclo de vida.

## **2.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), normalizada pela ISO 14040 (ABNT, 2009) consiste na análise dos impactos ambientais potenciais decorrentes do ciclo de vida de produtos e serviços, desde a extração da matéria-prima até a gestão de fim de vida do produto. Em outras palavras, sob a ótica ambiental, ela estabelece inventários tão completos quanto possível do fluxo de matéria (e energia) para cada sistema e permite a comparação desses balanços entre si, sob a forma de impactos ambientais (MIYAZATO e OLIVEIRA, 2009).

### **2.2.1 Estrutura da ACV**

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), a ACV é composta de quatro fases: (a) definição do objetivo e escopo; (b) análise de inventário; (c) avaliação de impacto e (d) interpretação dos resultados. A Figura 1 apresenta um esquema dos estágios do ciclo de vida de um produto mostrando as entradas de matérias-primas e energia e as saídas (emissões e resíduos) do sistema.

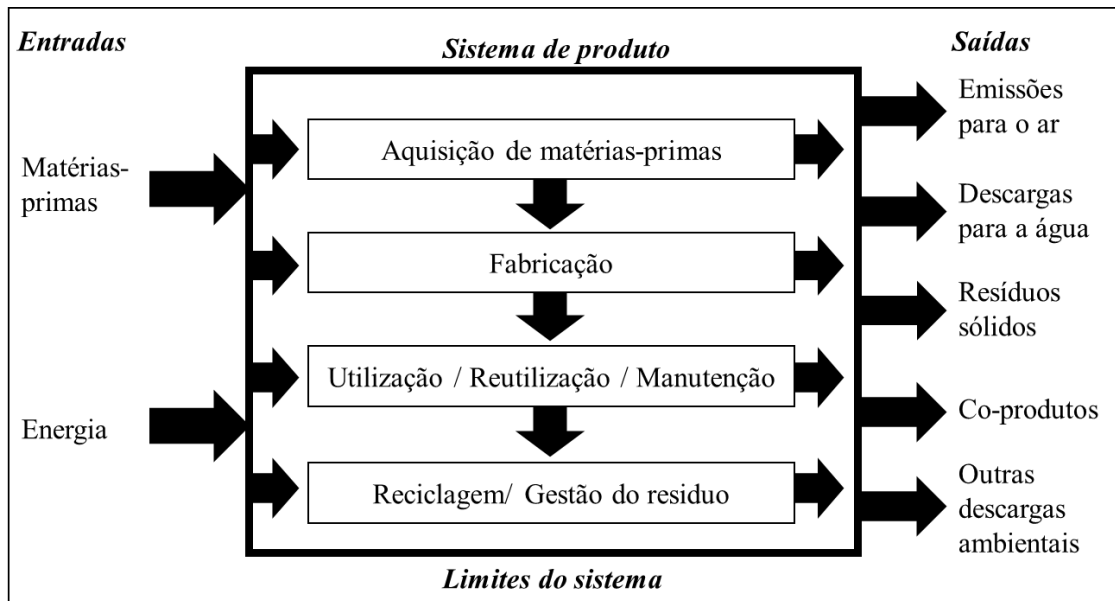


Figura 1 - Estágios do ciclo de vida de um produto  
 Fonte: Adaptado da NBR ISO 14040 (ABNT, 2009, p. 11).

Na primeira etapa ao definir o objetivo do estudo, devem ser claramente especificadas as razões da realização do mesmo (por exemplo, uma análise comparativa de diferentes produtos) e a definição do público alvo. O escopo do estudo consiste na descrição do sistema a ser estudado e deve contemplar (a) a quantificação das funções exercidas (unidade funcional), (b) o estabelecimento das fronteiras do sistema, (c) a especificação dos requisitos de qualidade dos dados e dos critérios utilizados para a inclusão e/ou exclusão de informações relativas a entradas e saídas, de acordo com os procedimentos estabelecidos na NBR ISO 14040 (ABNT, 2009).

Segundo Rebitzer e Buxmann (2005), a unidade funcional é definida como o desempenho quantificado de um sistema de produto e tem como objetivo servir de unidade de referência do estudo. Desta forma, todos os dados do inventário do estudo são relacionados à unidade funcional, ou seja, todas as entradas e saídas do sistema são relacionadas a esta unidade. Portanto, esta unidade precisa ser bem definida e mensurável. Como exemplos pode-se citar “1000 kg de água tratada pronta para o consumo” e “1 m<sup>2</sup> de superfície revestida por tinta por um período de um ano” (SILVA, 2005; COLTRO e MOURAD, 2007).

No ramo da construção civil, a unidade funcional pode ser representada, por exemplo, por um elemento da edificação, avaliado em determinado período, desempenhando uma função definida. Souza *et al.* (2015) publicaram um estudo de ACV comparando o desempenho

ambiental de telhas de concreto e cerâmica no Brasil, para o qual a unidade funcional escolhida foi a cobertura de 1 m<sup>2</sup> de teto com telhas, com tempo de vida útil de 20 anos. As fronteiras do sistema determinam quais processos e fluxos elementares serão incluídos na ACV e permitem definir o nível de detalhamento do estudo.

A etapa seguinte é a análise de inventário do ciclo de vida (ICV), onde são especificados os procedimentos de coleta de dados e cálculos executados. Nesta etapa, as informações sobre os fluxos de entrada e saída devem ser relacionadas à unidade funcional estabelecida na definição do escopo do estudo. Diversos procedimentos são contemplados nesta fase, dentre eles, a alocação e a validação dos dados. Segundo a NBR ISSO 14040 (ABNT, 2009), os dados coletados e condensados no inventário serão utilizados no cálculo dos indicadores referentes a cada uma das categorias de impacto durante a etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).

De acordo com Pennington *et al.* (2004), a próxima etapa é a avaliação de impacto. A NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) propõe uma estrutura relacionada à avaliação definida em três etapas:

- Seleção e definição das categorias de impacto, com base no conhecimento científico - onde são identificados os grandes focos de preocupação ambiental, as categorias e os indicadores que o estudo utilizará. De acordo com Chehebe (1997), as categorias devem ser estabelecidas com bases no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais. Ainda de acordo com o autor quando isso não for possível, admite-se que o julgamento de valores possa substituir o conhecimento científico;
- Classificação dos dados em categorias de impacto - onde os dados do inventário são classificados e agrupados nas diversas categorias selecionadas, relacionadas a efeitos ou impactos ambientais conhecidos como aquecimento global, acidificação, saúde humana, exaustão dos recursos naturais etc.;
- Caracterização dos impactos - onde os dados do inventário são modelados por categoria de forma que cada um possa ter o seu indicador numérico. O indicador da categoria tem como objetivo representar a carga total ambiental ou a significância do uso dos recursos para a categoria.

Segundo Souza (2008), as categorias de impacto apresentadas nos resultados de ACV mais frequentes são:

- Acidificação: resultado da ação de substâncias como dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) com o vapor d'água na atmosfera, gerando os ácidos sulfúrico e nítrico. É popularmente denominada como chuva ácida;
- Aquecimento Global: aumento da temperatura terrestre provocado pelo excesso de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e de metano ( $\text{CH}_4$ ). Tais substâncias, presentes na atmosfera, absorvem parte das radiações emitidas pela superfície da Terra e, quando presentes em maiores concentrações, aumentam este efeito;
- Depleção de Ozônio Estratosférico: está relacionado à emissão de substâncias como clorofluorcarbonos (CFCs) e halons. Essas emissões promovem a redução do ozônio ( $\text{O}_3$ ) presente na estratosfera que, por sua vez, geram o aumento da incidência de radiação ultravioleta sobre a superfície terrestre. Tal fato contribui para o desenvolvimento de doenças humanas e o desequilíbrio de ecossistemas;
- Ecotoxicidade: corresponde a ação prejudicial de algumas substâncias tóxicas ao meio ambiente, seja na água ou no solo;
- Eutrofização: está relacionada com o lançamento excessivo de nutrientes na d'água, no solo ou no ar, causando o aumento da biomassa presente nestes meios, em decorrência, por exemplo, do crescimento exagerado de algas. Isso reduz a concentração de oxigênio dissolvido, eliminando a vida subaquática;
- Formação Fotoquímica de Ozônio (Oxidante/ Smog Fotoquímico): algumas substâncias como os  $\text{NO}_x$ , monóxidos de carbono e metano podem provocar formações de ozônio ( $\text{O}_3$ ), caracterizada por uma névoa, causando problemas respiratórios e danos à vegetação;
- Radiação Ionizante: causa efeitos à saúde humana, como cânceres, em função da emissão de radionuclídeos (átomos com núcleos instáveis), que ocorre, por exemplo, na extração de rochas de fosfato;

- Toxicidade Humana: exposição humana a substâncias tóxicas, principalmente por meio de ingestão e inalação. Está relacionado com o diclorobenzeno ( $C_6H_4Cl_2$ ), dentre outros orgânicos;
- Uso do solo: relaciona-se com atividades que provocam alterações na superfície, como desmatamento de áreas em função do tempo de ocupação. Os efeitos estão diretamente relacionados à fauna e à flora regional.

Segundo Silva (2005), a apresentação e interpretação dos resultados do inventário e da avaliação de impactos ambientais é realizada a partir de árvores e redes de processos, gráficos e planilhas ambientais, estando o software habilitado a desenvolver, automaticamente, análises de contribuição, individuais e acumulativas, de diferentes produtos e estágios de produção, evidenciando os fluxos e processos de maior significância ambiental. Os efeitos ambientais podem ser analisados por quantidade, categoria de impacto ambiental, indicador (categoria de dano, normalizado ou valorado), ou por intermédio de um índice ambiental para o sistema.

### **2.3 Telhas Metálicas**

As telhas metálicas apresentam como diferencial, em relação aos demais tipos existentes, a sua alta resistência mecânica e seu baixo peso, podendo inclusive ser utilizadas na execução de telhados com grandes curvaturas, favorecendo uma maior liberdade estética nos projetos de arquitetura (TUPER, 2005).

Essas telhas oferecem vantagens tanto em uma construção nova como na renovação de construções já existentes, principalmente em função de seu baixo peso, sua durabilidade, sua facilidade de manutenção e sua reciclabilidade. Elas também possuem características favoráveis no que diz respeito a sua armazenagem, seu manuseio, seu transporte e sua instalação.

Podem ser fornecidas com isolamento termoacústicas, proporcionando redução do ruído externo e alto isolamento térmico para as coberturas e fechamentos. O isolamento térmico varia de acordo com os materiais utilizados. Os tipos mais utilizados são as telhas termoacústicas com EPS, constituídas de duas telhas trapezoidais com núcleo de EPS

expandido, formando uma espécie de sanduíche; as telhas termoacústicas com poliuretano, constituídas de duas telhas trapezoidais com núcleo poliuretano expandido, formando um conjunto rígido e as telhas termoacústicas com lã mineral de vidro ou de rocha.

### 2.3.1 Tipos de telhas metálicas

Os principais tipos de telhas metálicas atualmente fabricadas devem seguir as recomendações fornecidas pelas normas técnicas brasileiras, que determinam os limites dimensionais e os requisitos que devem ser considerados na especificação correta do material.

Dentre elas têm-se as telhas de perfil ondulado que seguem a norma NBR ISO 14513 (ABNT, 2008) e as telhas de perfil trapezoidal que seguem a norma NBR ISO 14514 (ABNT, 2008). Tais normas definem os parâmetros de tolerância dimensional e padronizam os modelos mais utilizados, o que favorece sua substituição e facilita a elaboração das especificações necessárias para a sua compra.

Quanto ao material constituinte, as telhas metálicas podem ser de alumínio, de aço (galvanizado ou inoxidável), ou confeccionadas a partir de uma liga que mistura aço e alumínio (galvalume). Há também as telhas de cobre e titânio que, apesar do custo mais elevado, dispõem de grande resistência à corrosão e de boa trabalhabilidade.

As principais formas encontradas no mercado são: a) onduladas, b) trapezoidais e c) curvas, conforme mostrado na Figura 2.

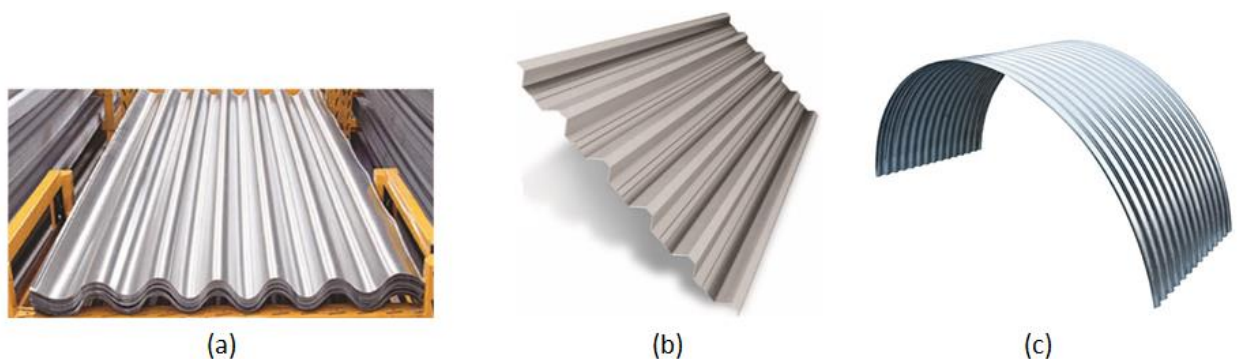


Figura 2 - Tipos de telhas metálicas (a) ondulada; (b) trapezoidal; (c) curva  
Fonte: DHABI-STEEL, 2013, p. 34.



As telhas onduladas possuem seção transversal similar a uma sequência de ondas senoidais e caracterizam-se por não possuírem trecho plano. Além da forma geométrica, o que usualmente as distingue é a sua baixa altura, quando comparadas com as telhas de perfil trapezoidal.

Encontram aplicação preferencial em coberturas com bom caimento, em galpões rurais de pequeno porte e em silos de armazenagem de grãos com formas curvas, conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3 - Cobertura com grande caimento executada com telhas onduladas, Clube Jundiaense - SP  
Fonte: ABCEM, 2009, p. 19.

As telhas trapezoidais possuem a seção transversal constituída por uma sequência de trapézios, apresentando uma grande diversidade de tipos. Em função da altura do trapézio, pode-se obter o melhor desempenho associado ao projeto especificado, colocando assim, um grande potencial de criação nas mãos de projetistas e arquitetos.

O uso de telhas trapezoidais já é realidade em obras de grande porte, permitindo a redução do tempo de construção e o aumento da durabilidade da edificação. A Figura 4 mostra o exemplo de uma obra de grande porte onde se utilizou telhas de aço trapezoidais.

As telhas curvas já saem da fábrica arqueadas conforme projeto para atender as necessidades específicas, como por exemplo, fazer fechamentos laterais em curva ou encontros arredondados entre coberturas e fachadas. Dependendo da forma como se obtém a curvatura do perfil metálico, as telhas curvas podem ser calandradas (Figura 5), que recebem a sua

curvatura ao passarem por uma calandra ou multidobras (Figura 6), onde a curvatura das telhas é obtida por meio de dobras transversais na chapa de aço do perfil.



Figura 4 - Cobertura do estádio João Havelange (RJ) executada com telhas trapezoidais  
Fonte: SCANDAROLI, 2009, p. 16.



Figura 5 - Telhas curvas calandradas  
Fonte: ABCEM, 2009, p. 25.



Figura 6 - Telhas curvas multidobra  
Fonte: ABCEM, 2009, p. 25.

### 2.3.2 Processo de Fabricação da Chapa de Aço

O processo de produção do aço demanda o consumo intensivo de algumas matérias-primas e insumos, mas, a partir da segunda metade do século passado, foram obtidos significativos avanços no desenvolvimento de tecnologias que permitiram aumentar a eficiência energética, a redução do consumo de matérias-primas, o reaproveitamento dos gases e resíduos do processo e a maximização da recirculação da água. O processo de produção da bobina de aço galvanizado pode ser visto na Figura 7.

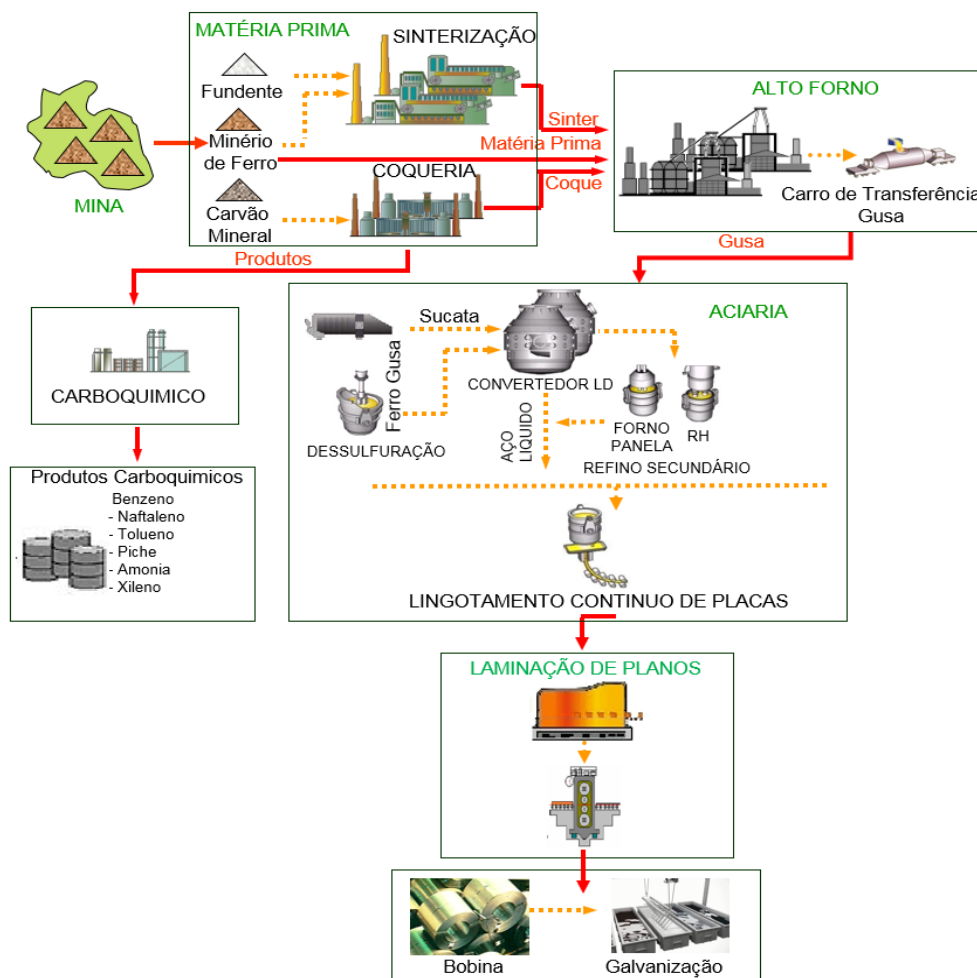


Figura 7 - Fluxo de produção da bobina de aço galvanizado

#### 2.3.2.1 Processo Siderúrgico

Existem dois tipos de usinas siderúrgicas para a produção de aço, as usinas integradas e as semi-integradas. Na usina integrada existe a fase de redução (preparação da matéria prima: sinterização, coqueria e alto-forno), seguidas das fases de aciaria e laminação. Já na usina

semi-integrada, o processo começa a partir da aciaria. No mundo, cerca de 75% da produção de aço é obtida via rota integrada a coque, sendo o percentual restante produzido pela rota semi-integrada. No Brasil, 77% do aço provém da rota integrada e 23% da semi-integrada, cabendo destacar que cerca de 11% da produção do aço pela rota integrada usa carvão vegetal em substituição ao carvão mineral (IABr, 2014).

A rota semi-integrada reduz o consumo de recursos naturais não renováveis. No entanto, para haver aumento expressivo da produção de aço por essa rota, é necessário haver maior geração de sucata de aço que, por sua vez, está condicionada ao aumento do consumo de produtos intensivos em aço, como automóveis, geladeiras, fogões, expansão das obras de infraestrutura e de construção civil etc. Conforme mostrad0 na Figura 8, as principais rotas de produção primária no mundo são:

- alto-forno + forno de soleira aberta (OHF): 3% (rota A-1)
- alto-forno + aciaria LD: 66% (rota A-2)
- redução direta (DR) + forno elétrico a arco (EAF): 6% (rota A-3)
- forno elétrico a arco com base em sucata (EAF): 25% (rota B)

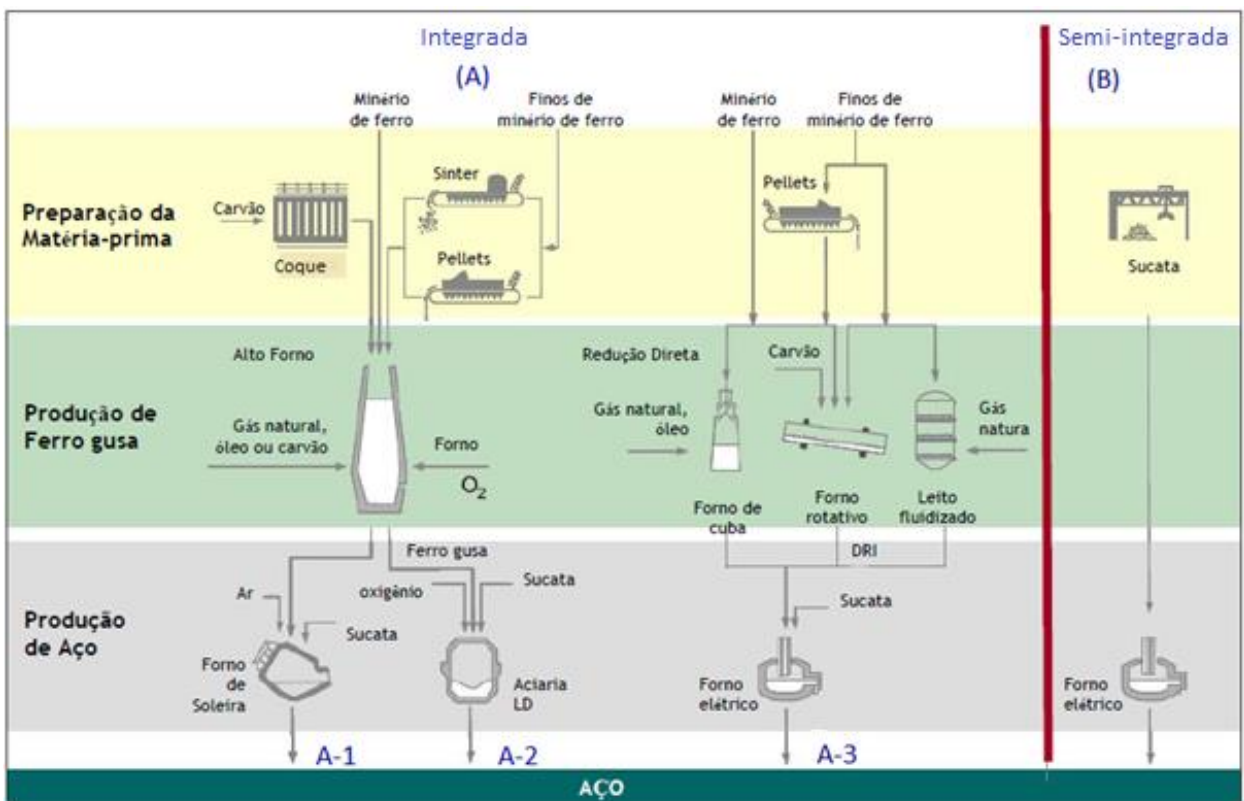


Figura 8 - Principais rotas de produção primária do aço  
Fonte: IABr, 2013, p.13.

Em termos gerais, o processo siderúrgico das usinas integradas pode ser agrupado em quatro grandes etapas, conforme mostrado na Figura 9: preparação do minério e do carvão, redução do minério de ferro, refino e conformação mecânica.

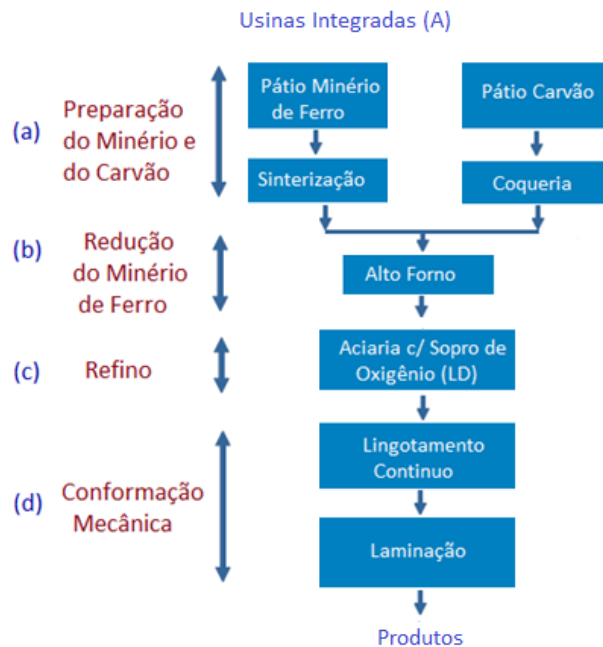


Figura 9 - Processos siderúrgicos das usinas integradas  
Fonte: ABM, 2007, p.13.

Já nas usinas semi-integradas, o processo siderúrgico pode ser agrupado em três grandes etapas, conforme mostrado na Figura 10: preparação da matéria prima, refino e conformação mecânica.

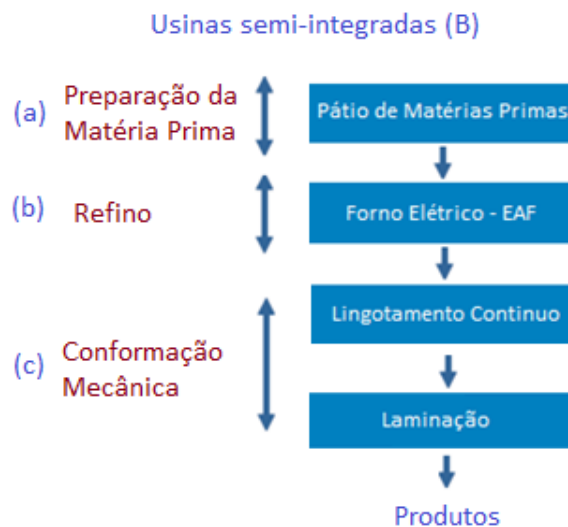


Figura 10 - Processos siderúrgicos das usinas semi-integradas  
Fonte: ABM, 2007, p.14.

Apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada uma das quatro etapas das usinas integradas (SCHEID, 2010).

#### **a) Preparação do minério de ferro e do carvão**

A importância da preparação dos minerais utilizados na produção do aço deve-se ao fato de que todos eles são encontrados com impurezas na natureza, e, por isso, o seu tratamento se faz necessário para a redução do consumo de energia e o aumento da eficiência do processo, o que é realizado por meio das atividades desenvolvidas nesta primeira etapa de fabricação.

O minério de ferro, de forma geral, é preparado antes de ser carregado no alto forno. As usinas integradas usam, por via de regra, a sinterização, que é a forma de transformar o minério fino (*sinter feed*) em sínter para posterior adição no alto forno junto com o carvão mineral (coque) ou vegetal, além de outros insumos tais como o calcário e/ou a dolomita e o quartzito (sílica), e minério de manganês.

O carvão mineral contém compostos voláteis indesejáveis ao processo de produção do aço. Para a retirada destes voláteis, o carvão é aquecido nos fornos da coqueria e após ser convertido em coque é utilizado no alto-forno como redutor do minério de ferro. O carvão mineral é processado na coqueria por um conjunto de fornos dispostos lado a lado, onde o material é depositado, permanecendo por aproximadamente 16 horas a 1300 °C sem contato com o ar. O material sólido que resta nos fornos é uma massa de carbono denominada coque (SCHEID, 2010).

A coqueificação gera o gás de coqueria que posteriormente é usado como combustível para aquecimento da própria coqueria, sendo ainda utilizado como insumo energético nos altos-fornos e fornos de reaquecimento. A partir do gás de coqueria algumas usinas extraem alcatrão, óleo BTX, amônia etc.

Para a produção do carvão vegetal, da mesma forma que o carvão mineral, a madeira passa por um processo de carbonização em fornos de alvenaria para retirada de compostos indesejáveis. Todo esse processo resulta na formação do carvão vegetal como termo redutor.

## **b) Redução do minério de ferro**

A principal função desta fase é a retirada do oxigênio do óxido de ferro, por isso denominada de redução. Este processo é realizado no alto-forno, que é alimentado por minério de ferro, combustível redutor (carvão metalúrgico ou carvão vegetal) e adições, que se transformam em ferro-gusa, escória, gases e poeira.

As tecnologias nos altos-fornos a carvão vegetal e carvão mineral (coque) são diferentes. Os altos-fornos a carvão vegetal de larga utilização pelos produtores independentes de gusa (gusa de mercado) e por alguma das usinas integradas são equipamentos menores do que o similar a coque.

### **b1) Altos-fornos a coque**

Nos altos-fornos ocorre a redução do minério de ferro, por meio da gaseificação do coque, que age como agente redutor ao mesmo tempo em que fornece a energia necessária ao processo. Resulta desta etapa o ferro-gusa que é uma mistura de ferro, carbono e manganês, além de pequenas quantidades de silício, potássio e enxofre. Há também a geração de subprodutos, tais como escórias (óxidos de cálcio, silício e magnésio) e gás de alto-forno.

O gás de alto-forno, cujo poder calorífico pode ser reaproveitado, é empregado no pré-aquecimento do ar a ser injetado pelas ventaneiras do alto-forno e como combustível em outras etapas do processo. Este gás também pode ser empregado para geração de energia elétrica por meio da conversão de sua energia física no estado de alta pressão, utilizando-se, para isso, uma turbina de expansão (turbina de topo). No alto-forno também são utilizados outros insumos energéticos auxiliares, tais como óleos combustíveis, alcatrão e finos de carvão, também conhecidos como PCI (poder calorífico inferior).

### **b2) Altos-fornos a carvão vegetal**

No Brasil o carvão vegetal é utilizado como agente redutor em substituição ao carvão mineral. No restante do mundo este redutor é muito pouco utilizado.

Nas usinas integradas com esta rota, as coqueiras são substituídas por uma planta de carvoejamento que usa madeira para a produção de carvão. Os altos-fornos que utilizam carvão vegetal têm menor capacidade de produção que aqueles que usam coque.

### **b3) Redução direta**

No processo de redução direta os minérios de ferro empregados são basicamente a hematita e a magnetita. Esses óxidos metálicos sofrem redução no estado sólido e o produto desse processo é o ferro esponja. O ferro esponja é o minério de ferro do qual foi retirado, em grande parte, o oxigênio combinado.

Através da reação exotérmica, as matérias-primas já preparadas, são transportadas para o alto-forno, que após a reação resulta em ferro gusa na forma líquida, sendo este transportado para uma estação de dessulfuração com o objetivo de reduzir o teor de enxofre, visando alcançar os níveis aceitáveis pelas normas estabelecidas.

Os produtos do alto-forno são o gusa (que segue para o processo de refino do aço), a escória (matéria-prima para a indústria de cimento), gases de topo e material particulado.

### **c) Refino**

A produção do aço líquido se dá por intermédio da oxidação controlada das impurezas presentes no gusa líquido e na sucata. Este processo é denominado refino do aço e é realizado na aciaria. O refino do aço usualmente é realizado por meio de um conversor LD (carga predominantemente líquida) ou de forno elétrico a arco - FEA (carga predominantemente sólida).

Nesta etapa verifica-se que a composição do gusa está longe da composição típica dos aços, devendo ser reduzido os teores de carbono, enxofre, fósforo e manganês, dentre outros. O princípio químico é a oxidação dos elementos envolvendo a injeção controlada de oxigênio ou de ar. Para isto são utilizados os conversores a ar ou  $O_2$ , onde o ar ou o  $O_2$  é soprado sobre a carga, sendo a fonte de calor a própria oxidação dos elementos (reações exotérmicas).



O processo LD é responsável por cerca 60% da produção de aço líquido mundial. Essa tecnologia continua a ser a mais importante rota para a produção de aço, particularmente, chapas de aço de alta qualidade, objeto deste estudo. O processo LD industrial teve início em 1952, quando o oxigênio tornou-se industrialmente barato. Este processo permite a produção de diferentes tipos de aços, desde o baixo carbono à média-liga.

Após o refino, o aço ainda não se encontra em condições de ser lingotado. Passa-se então para tratamentos que visam os acertos finais na composição química e na temperatura. Estes tratamentos são realizados entre o refino e o lingotamento contínuo na cadeia de produção de aço carbono.

Toda a etapa de refino do aço se dá no estado líquido. É necessário, pois, solidificá-lo de fôrma adequada em função da sua utilização posterior. Passa-se então para a próxima etapa do processo que é a conformação mecânica.

#### **d) Conformação mecânica**

A primeira fase da conformação mecânica é o lingotamento onde o aço líquido é depositado em fôrmas chamadas lingoteiras. Após esta etapa os blocos ou placas de aço são enviados à laminação.

##### **d1) Lingotamento**

O processo de lingotamento do aço pode ser realizado de três maneiras distintas, sendo elas o processo direto, onde o aço é vazado diretamente na lingoteira, o processo indireto, onde o aço é vazado num conduto vertical penetrando na lingoteira pela sua base e o processo contínuo, onde o aço é vazado continuamente para moldes refrigerados a água.

O lingotamento contínuo, conforme mostrado na Figura 11, é um processo pelo qual o aço fundido é solidificado em um produto semiacabado que pode ser o tarugo, o perfil ou a placa para subseqüente laminação. Antes da introdução do lingotamento contínuo, nos anos 50, o aço era vazado em moldes estacionários (lingoteiras).



Figura 11 - Máquina de lingotamento  
Fonte: ABM, 2007, p.17.

Os subprodutos da produção do aço são a escória e o gás de aciaria. O gás de aciaria, assim como os outros gases siderúrgicos também pode ser reaproveitado em outras etapas do processo.

O consumo energético da aciaria é insignificante quando comparado com as necessidades de todo o processo de produção de aço, correspondendo a cerca de 3,5% do consumo total de energia.

## **d2) Laminação**

Após o lingotamento dá-se o processo de laminação onde a geometria do material é alterada através de forças aplicadas por ferramentas adequadas que podem variar desde pequenas matrizes até grandes cilindros. Em função da temperatura e do material utilizado a conformação mecânica pode ser classificada como trabalho a frio, a morno e a quente. Cada um destes trabalhos fornecerá características especiais ao material e à peça obtida. Estas características serão função da matéria prima utilizada dependente de sua composição química e estrutura metalúrgica (natureza, tamanho, forma e distribuição das fases presentes) e das condições impostas pelo processo tais como o tipo e o grau de deformação, a velocidade de deformação e a temperatura em que o material é deformado.

A importância dos metais na tecnologia moderna deve-se, em grande parte, à facilidade com que eles podem ser produzidos nas mais variadas formas, para atender a diferentes usos.

Os processos de conformação mecânica, conforme é mostrado na Figura 12, podem ser classificados de acordo com o tipo de força aplicada ao material sendo estas por compressão direta (forjamento, laminação), por compressão indireta (trefilação, extrusão, embutimento), por trativo (estiramento), e por dobramento ou cisalhamento (corte).

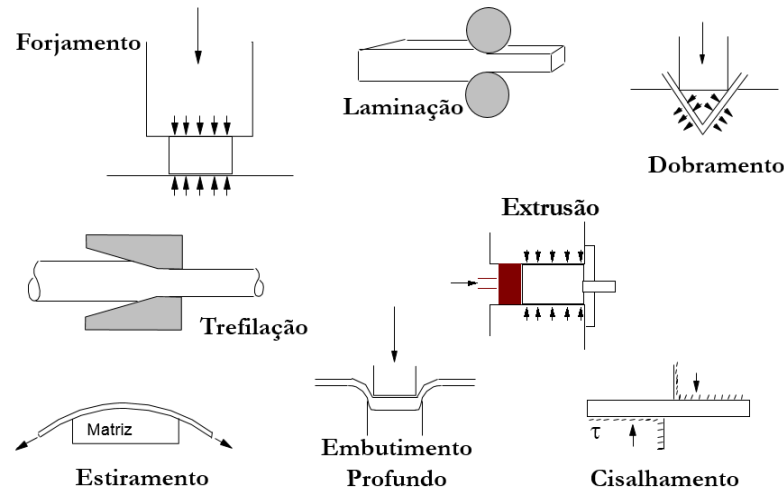


Figura 12 - Processos de conformação mecânica  
Fonte: ABAL, 2013.

As bobinas de aço utilizadas para a fabricação das telhas metálicas são produzidas por meio de processos de laminação. Na Figura 13 podem ser vistos alguns tipos de laminadores. Ressalta-se que o laminador universal é o mais utilizado.

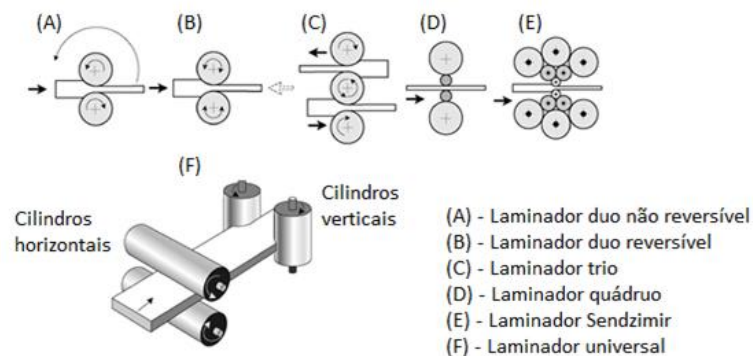


Figura 13 - Tipos de laminadores  
Fonte: ABAL, 2013.

O processo de laminação pode ser a quente ou a frio dependendo das características do material a conformar. Na laminação a quente, parte-se de materiais maciços e espessos (blocos, placas ou tarugos), onde os mesmos são aquecidos e deformados plasticamente sob

altas tensões e temperaturas, pelo esmagamento decorrente da compressão exercida por cilindros laminadores, reduzindo-se desta forma a sua espessura em diversos passes de laminação, num ciclo de vai e vem, ou no alinhamento de rolos de laminação. Nesta etapa do processo, deseja-se uma maior redução da espessura do bloco e por consequência obtém-se um aumento de comprimento. A laminação a quente permite uma maior deformação. Na Figura 14 pode-se ver o processo da laminação a quente.



Figura 14 - Laminação a quente  
Fonte: PRIMETALS, 2014.

A laminação a frio normalmente é a última parte do processo de laminação. Como mencionado anteriormente, também por compressão de rolos laminadores, comprime-se o material, só que agora a frio (temperatura ambiente), para dar-lhe as características de resistência mecânica desejada e acabamento superficial final. Na Figura 15 pode-se ver o processo de laminação a frio.



Figura 15 - Laminação a frio

Classificam-se os produtos laminados como planos em chapas, chapas bobinadas, folhas, folhas bobinadas e discos. O que determina a correta classificação é a espessura da lâmina de metal e a forma como o mesmo é fornecido (bobinadas ou não). Sua utilização vai desde a linha automotiva até a construção civil. Na Figura 16 é mostrada uma área de armazenagem de bobinas de aço.



Figura 16 - Bobinas de aço  
Fonte: SYNTEX, 2014.

### 2.3.2.2 Proteção Química

O principal processo de proteção utilizado em telhas metálicas é o acabamento superficial. Este acabamento é feito com tratamentos e/ou pinturas específicas para superfícies metálicas. Atualmente os tratamentos mais utilizados em telhas de aço são a pintura e a galvanização (“a quente” ou “a frio”).

A pintura pode ser feita com tintas de diferentes especificações, porém as mais utilizadas são as tintas ricas em zinco (chamadas de "galvanização a frio") que conferem proteção catódica ao substrato de aço. Essas tintas também ajudam a poupar recursos naturais como minério de ferro e energia, prolongando a vida útil dos produtos que as utilizam.

O revestimento de superfícies metálicas também pode ocorrer por meio da imersão do metal que se quer revestir no metal fundido que irá revesti-lo. Esse processo conhecido como galvanização permite melhor cobertura (mais homogênea), embora ambas sejam igualmente utilizadas.

A galvanização é o processo onde um metal é revestido por outros metais mais nobres com a finalidade de proteção à corrosão. O processo de galvanização pode ser classificado de acordo com o metal a ser utilizado. Dentre alguns dos processos mais empregados pode-se citar a douração (ouro), a cromagem (cromo), a niquelagem (níquel) e a zincagem (zinco).

A corrosão é a principal responsável pela grande perda de ferro no mundo. Entre os processos de proteção já desenvolvidos, um dos mais antigos e bem-sucedidos é a zincagem por imersão a quente. A zincagem é o processo mais antigo de galvanização. Este processo é utilizado para a proteção de produtos de ferro e aço. No sistema da zincagem a temperatura de fusão que chega a aproximadamente 419 °C, fato este que faz a zincagem ser conhecida popularmente como galvanização a fogo ou galvanização a quente.

Melouin em 1741 descobriu que o recobrimento de zinco poderia proteger o aço da corrosão. Em 1837, Sorel patenteou a galvanização a fogo utilizando o termo galvanização porque é a corrente galvânica que protege o aço. Ela se denomina desta maneira porque quando o aço e o zinco entram em contato em um meio úmido é criada uma diferença de potencial elétrico entre os metais. Assim, o principal objetivo da galvanização a fogo é impedir o contato do material base (aço), com o meio corrosivo. Como o zinco é mais anódico do que o elemento ferro na série galvânica, é ele que se corrói, originando a proteção catódica, ou seja, o zinco se sacrifica para proteger o ferro, conforme pode-se observar na Figura 17.

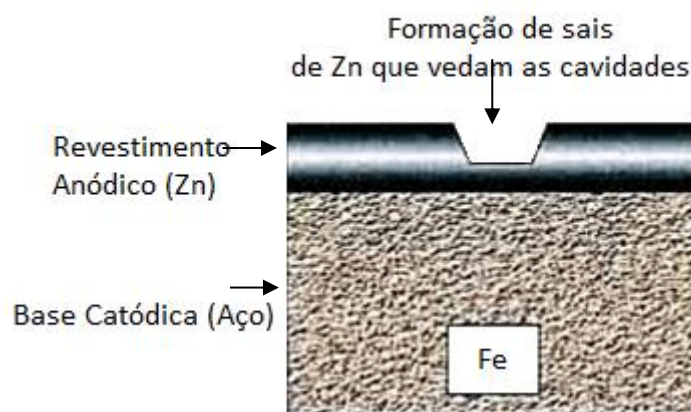


Figura 17 - Esquema proteção catódica  
Fonte: Adaptado de Pannoni, 2007, p.23.

O processo de zincagem por imersão a quente mostrado no fluxograma da Figura 18, é basicamente o mesmo para qualquer produto, podendo variar na espessura de camada dependendo da geometria e da composição química do material da base (aço).



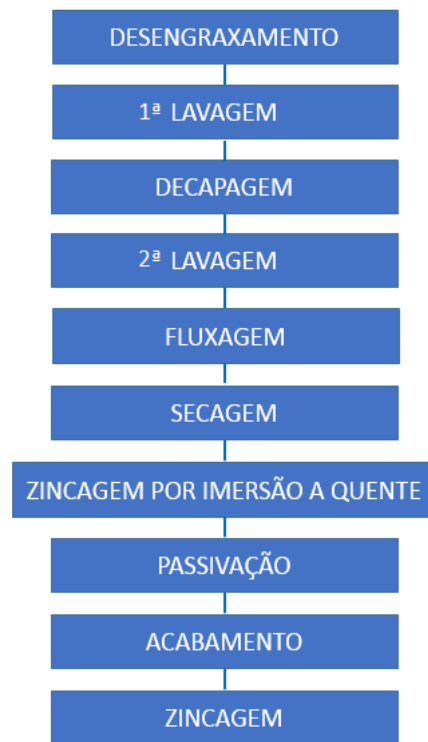


Figura 18 - Fluxograma do processo de galvanização a quente  
 Fonte: Silva e Faldini, 2012, p. 11.

Para se obter um acabamento perfeito é necessário que as peças estejam completamente limpas, tornando-se necessário a eliminação de óleos, graxas, óxidos, cascas de cola, tintas ou qualquer outro tipo de substância do metal base. Esta limpeza acontece nas fases de desengraxamento e lavagem.

Após a primeira lavagem passa-se para a fase de decapagem onde é utilizado ácido clorídrico a temperatura ambiente, ou sulfúrico, a quente, para remoção de óxido de ferro. Passa-se então para a segunda lavagem com água corrente com controle de pH para remoção de resíduos entre operações, a fim de que um banho não contamine o outro. A fase seguinte é a fluxagem onde são utilizados cloretos de zinco a temperatura de 60 °C a 80 °C, para dissolver os resíduos salinos que restam na superfície e formar uma camada de recristalização do sal, a qual impede a reoxidação no banho de zinco fundido. Após esta fase o material é submetido ao processo de secagem finalizando a primeira etapa do processo.

Depois de realizada esta primeira etapa, inicia-se a fase de zincagem, que consiste na imersão da peça em uma cuba com zinco fundido à temperatura entre 445 °C e 460 °C, onde o material da base vai reagir com o zinco iniciando-se a formação de quatro camadas que vão

formar o revestimento protetivo. A camada cresce com o tempo de imersão. Até aproximadamente 1 minuto ela cresce rapidamente, a partir daí o crescimento se torna lento. Fatores determinantes na formação da camada de zinco devem ser bem controlados, pois verifica-se que o tempo de vida do revestimento depende da massa da cama de zinco depositada na superfície do material.

Com o intuito acelerar a formação da capa protetora, procede-se a passivação em soluções cromatizantes a base de ácido crômico e bicromato. Esta passivação dá ao produto zincado um aspecto amarelado.

A última etapa deste processo é o acabamento que pode ser feito por meio de metalização (deposição de zinco por aspersão térmica) ou da aplicação de tinta com alto teor de zinco (maior que 90%). Após receberem o tratamento de galvanização as bobinas de aço são encaminhadas para o processo de perfilação.

### **2.3.3 Perfilação**

As telhas metálicas são obtidas por meio do processo de conformação em perfiladeiras utilizando como matéria-prima básica bobinas de aço zincadas. Nesse método de fabricação, a bobina é desenrolada a uma velocidade de até 70 metros por minuto e, a seguir, é cortada no comprimento desejado, perfilada, empilhada e, finalmente embalada.

No processo de perfilação, a chapa de aço da bobina é sequencialmente passada através de diversos pares de rolos de aço com formato específico que gradualmente vão moldando a chapa, fazendo com que esta progressivamente adquira o perfil da telha desejado. Quase sempre, o processo de perfilação começa pela parte central do perfil, para que as partes laterais da chapa, ainda planas, possam se movimentar em direção ao centro.

Com este método de fabricação, os jogos de cilindros superiores e inferiores moldam, cada vez mais profundamente, a chapa a ser perfilada. Com o aumento da altura do perfil, passam a atuar sobre os flancos do perfil diferentes velocidades periféricas, causadas pelos discos dos cilindros.



A Figura 19 mostra o processo de perfilação de telhas de aço onduladas.



Figura 19 - Processo de perfilação das telhas de aço onduladas

# 3

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória que adotou o método de estudo de caso buscando avaliar as fases e impactos associados ao ciclo de vida da telha de aço galvanizado de perfil ondulado.

De acordo com Yin (2005), os estudos de casos “representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo “como e por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real”.

Nesta etapa definiu-se o tipo de telha para o estudo, tendo sido levantados os dados e informações de entradas e saídas ao longo do ciclo de vida da telha escolhida, considerando o processo de produção do aço (bobina de aço galvanizada), perfilação das chapas, transporte, aplicação na obra, manutenção e destinação final. Posteriormente foram definidas as categorias de impacto a serem avaliadas. As etapas do estudo são mostradas de forma simplificada na Figura 20 e detalhadas no presente capítulo.

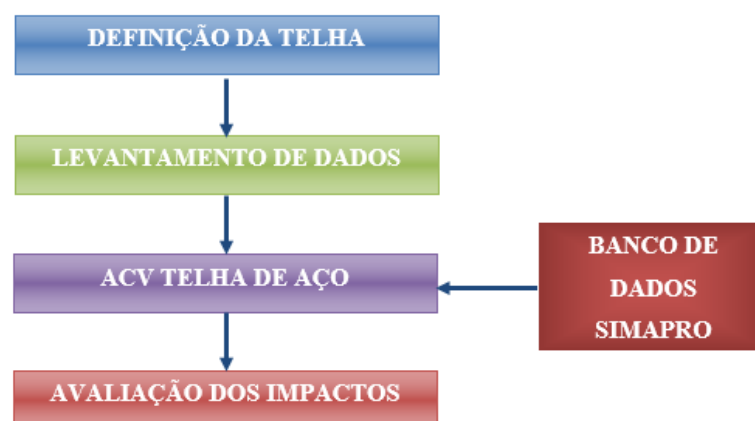


Figura 20 - Delimitação do estudo

### 3.1 Realização do estudo de ACV

A avaliação do ciclo de vida da telha de aço seguiu as etapas estabelecidas pela norma NBR ISO 14044 (ABNT, 2009): (a) definição do objetivo e escopo do estudo, (b) análise de inventário (c) avaliação de impacto (d) interpretação.

#### 3.1.1 Definição do objetivo e escopo do estudo

O objetivo do presente estudo é realizar a ACV da telha de aço galvanizado de perfil ondulado, identificando os impactos ambientais gerados ao longo do seu ciclo de vida.

As telhas especificadas são obtidas pelo processo de conformação em perfiladeiras, utilizando como matéria-prima básica bobinas de aço galvanizadas, e fornecidas em perfis ondulados de acordo com a norma NBR 14513 (ABNT, 2008). As dimensões são mostradas na Figura 21.

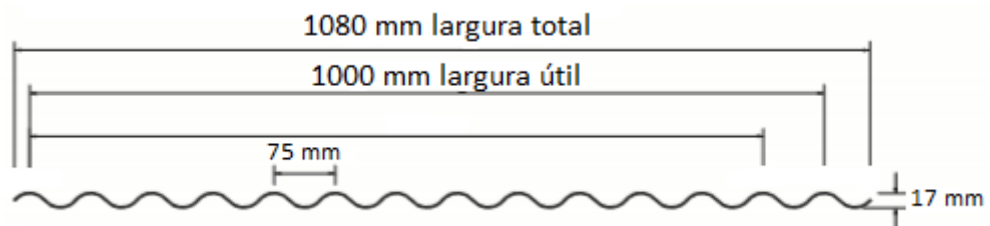


Figura 21 - Telha ondulada  
Fonte: ABCEM, 2013, p. 9.

Definição da unidade funcional: “1 kg de telha de aço galvanizado de perfil ondulado produzida e aplicada no estado de Minas Gerais, com um tempo de vida útil estimado de 40 anos”. Os materiais metálicos são comercializados na unidade kg, sendo este o fato motivador da utilização desta unidade de medida. A relação entre área e peso para esta telha metálica é  $1 \text{ kg} = 0,208 \text{ m}^2$ , ou seja, são necessários 4,9 kg dessa telha para cobrir uma área de  $1 \text{ m}^2$ .

A aplicação do material aconteceu na obra da igreja Sagrada Família localizada na cidade de Ouro Branco, no estado de Minas Gerais. O projeto básico da igreja, apresentado nas Figuras 22 e 23, foi realizado pela equipe de arquitetura da arquidiocese de Mariana. O projeto executivo e a instalação foram realizados em parceria com as empresas EPC, Gerdau, UTC e pequenos construtores da região.

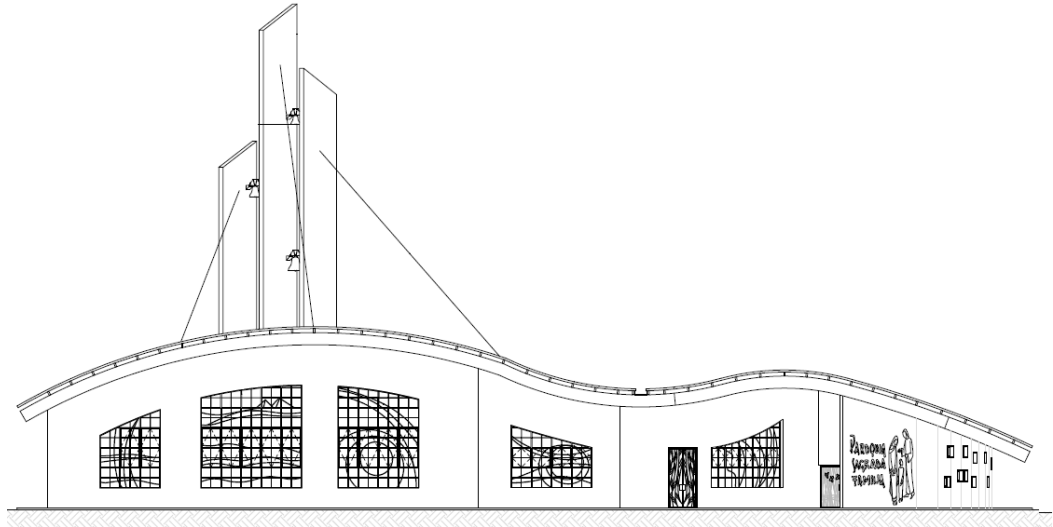


Figura 22 - Fachada frontal da igreja Sagrada Família

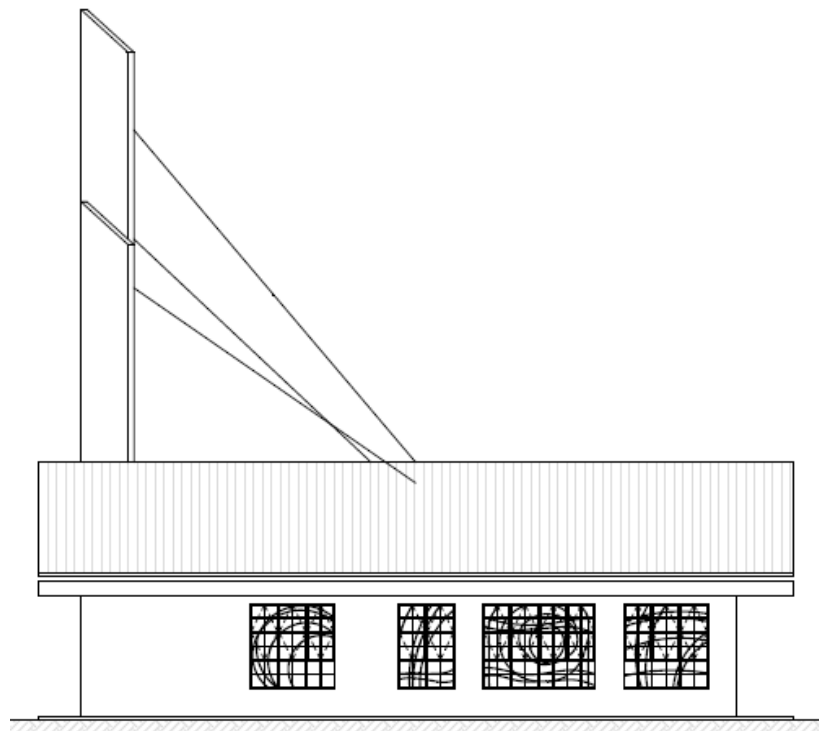


Figura 23 - Fachada lateral da igreja Sagrada Família

A igreja conta com uma área interna de aproximadamente 800 m<sup>2</sup> de vão livre, tendo seu telhado a forma similar à da serra de Ouro Branco. A área de cobertura possui 1000 m<sup>2</sup>, tendo sido empregadas telha de aço galvanizado de perfil ondulado com 0,50 mm de espessura, 1 m de largura e 2 m de comprimento. As telhas foram montadas seguindo a paginação estabelecida em projeto com a finalidade de reduzir custos com sobras e emendas.

As Figuras 24 e 25 mostram a cobertura com as telhas de aço onduladas, objeto deste estudo.



Figura 24 - Detalhe da cobertura da igreja Sagrada Família



Figura 25 - Vista da cobertura da igreja Sagrada Família

### 3.1.2 Etapas avaliadas

Como fronteiras do sistema foram avaliadas as etapas desde a extração da matéria prima para a fabricação da telha de aço galvanizada até o descarte dos resíduos conforme é mostrado na Figura 26.

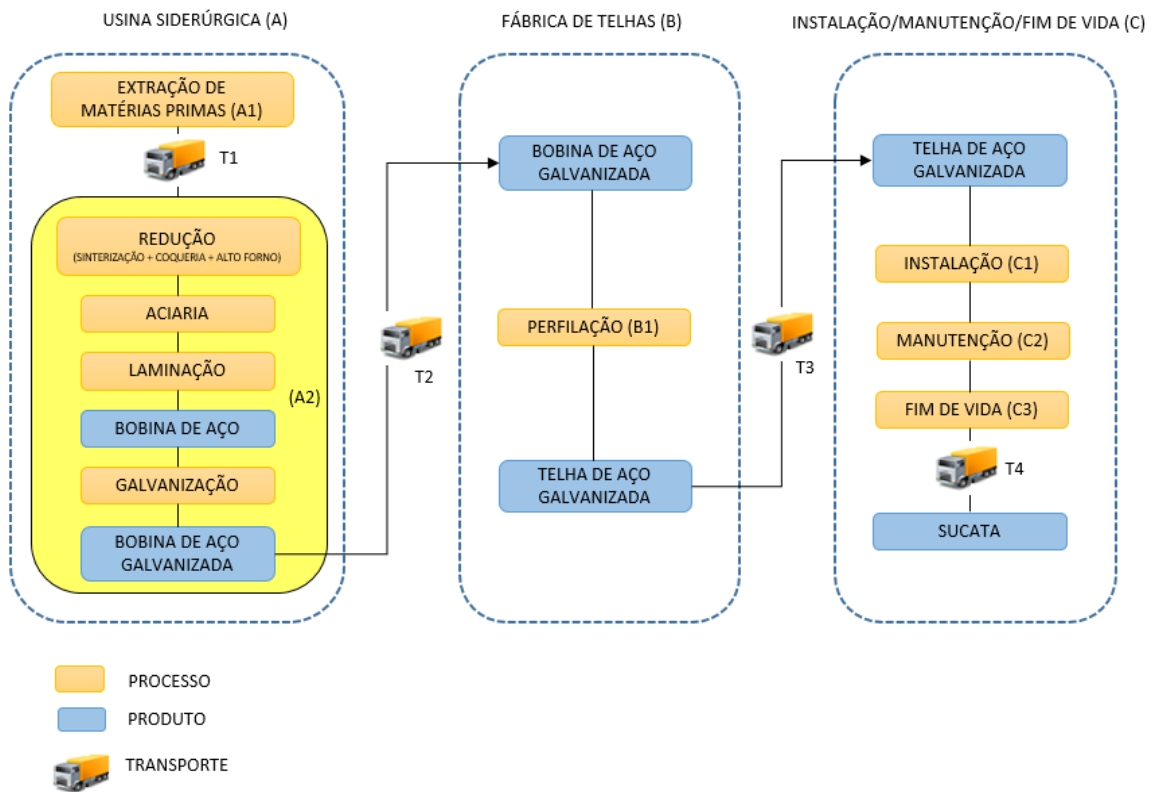


Figura 26 - Etapas avaliadas

### 3.1.3 Software utilizado para a realização da avaliação do ciclo de vida

Para a realização deste trabalho foi utilizado o aplicativo Simapro 8.0.3.14, que permite ao usuário modelar e avaliar os ciclos de vida de produtos e serviços conforme os princípios da norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009).

### 3.1.4 Inventário

Na construção do inventário quantificou-se o uso de recursos (energia e matérias-primas) e as cargas ambientais (emissões atmosféricas e resíduos sólidos) geradas ao longo do ciclo de vida da telha de aço galvanizada.

Nesta etapa, a partir do objetivo proposto e dos limites do sistema definidos para a análise, procedeu-se uma coleta de dados, visando quantificar o uso total de energia e de recursos, além de buscar estimar a liberação de emissões atmosféricas e resíduos sólidos gerados. Em decorrência da escassez de dados nacionais, bancos de dados estrangeiros foram selecionados e adaptados, buscando-se aproximá-los à realidade brasileira.

A seguir serão apresentados os dados utilizados nos inventários de cada uma das fases da ACV mostradas na Figura 26.

#### **3.1.4.1 Processo de fabricação da bobina de aço - Usina Siderúrgica (A)**

Para o inventário do processo de fabricação da bobina de aço galvanizada considerou-se todas as entradas e saídas para a fabricação de 1 kg de aço. Essa fase foi cadastrada no Simapro como “fabricação da bobina de aço galvanizada”.

A fábrica que produz a bobina de aço galvanizada é a Usiminas (usina integrada). O processo produtivo desta usina possui as etapas de redução, aciaria e laminação. Para a obtenção dos dados pertinentes à fabricação da bobina de aço galvanizada recorreu-se aos relatórios ambientais publicados pela Usiminas no ano de 2011 e aos inventários para a fabricação do aço existentes no banco de dados europeus (ECOINVEST, 2012).

As principais matérias-primas para a produção do aço são o minério de ferro, o carvão mineral, as ligas metálicas, a dolomita e a cal. Para o caso em estudo, o minério de ferro utilizado, as ligas, a dolomita e a cal são provenientes de minas próximas à usina (290 km por transporte ferroviário). O carvão mineral é proveniente de minas da Austrália, passam por transportes ferroviários e marítimos, percorrendo, aproximadamente, 1570 km em estradas de ferro e 14000 km em vias marítimas. Os dados referentes à extração das matérias primas (A1) e os dados de emissões e recursos inventariados do transporte de matérias primas (T1) são provenientes dos bancos de dados europeus (ECOINVEST, 2012).

As Tabelas 1 e, 2 apresentam os dados de fabricação da bobina (A2) e as emissões para o ar, respectivamente, na forma como foram inseridos no *software*.

Tabela 1 - Principais insumos e energia gastos para a produção de 1 kg de aço

<b>Matérias-primas</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>	<b>Base de dados</b>
Água	23,52 x 10 <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup>	Ecoinvent
Minério de Ferro	1,484	kg	Ecoinvent (GLO)
Cal	0,4	kg	Ecoinvent (NL)
Carvão Mineral	0,497	kg	LCA Food DK
Alumínio	0,003	kg	Ecoinvent (RER)
Antracito	0,025	kg	USLCI
Argônio	0,001	kg	Ecoinvent (RER)
Calcário	0,01	kg	Ecoinvent (CH)
Coque	0,01	kg	USLCI
Coque de petróleo	0,093	kg	Ecoinvent (RER)
Sucata	0,142	kg	Ecoinvent (RER)
Energia Elétrica	1,779 x 10 <sup>-3</sup>	kwh	Ecoinvent (BR)

Fonte: Adaptado de USIMINAS, 2011.

Tabela 2 - Principais emissões para o ar (referentes a 1 kg de aço produzido)

<b>Emissões para o ar</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>
CO <sub>2</sub>	2,26288178	kg
Calor residual	0,197004	kJ
NO <sub>x</sub>	0,0028648	kg
Particulados (PMT)	0,0018048	kg
Particulados (< 10um)	0,0009024	kg
Particulados (< 2.5um)	0,0004512	kg
SO <sub>x</sub>	0,00223918	kg
VOC	4,6301 x 10 <sup>-5</sup>	kg
FREON 22	1,2055 x 10 <sup>-7</sup>	kg
SUVA124	9,726 x 10 <sup>-8</sup>	kg
SUVA 134 <sup>a</sup>	1,0548 x 10 <sup>-7</sup>	kg
R-141B	8,6301 x 10 <sup>-8</sup>	kg
HCFC ou HFC7	1,7219 x 10 <sup>-6</sup>	kg

Fonte: Adaptado de USIMINAS, 2011.



As quantidades apresentadas nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 foram calculadas com os dados do caso em estudo e lançadas no *software* de acordo com a sua respectiva categoria na base de dados. A Tabela 3 apresenta a quantidade e a destinação dos resíduos referentes a 1 kg de aço produzido, na forma como foram inseridos no *software*.

Tabela 3 - Destino de resíduos (referentes a 1 kg de aço produzido)

<b>Resíduos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>	<b>Base de dados</b>
Aterro Sanitário	0,012	kg	Ecoinvent (CH)
Reciclagem Interna + Venda	0,741	kg	Ecoinvent (RER)
Aterro Industrial	0,025	kg	Ecoinvent (CH)
Coprocessamento	0,002	kg	Ecoinvent (CH)

Para a etapa de fabricação do aço são gerados 640 quilos de resíduos e coprodutos para cada tonelada de aço produzido (IABr, 2013). Deste total, 86% são reutilizados, 11% são estocados para reciclagem e 3% vão para o aterro industrial. Dos resíduos reutilizados, 60% são classificados como agregados siderúrgicos e são vendidos para pavimentação de estradas e para fabricação do cimento, 7% são destinados à reciclagem interna, sendo o restante destinado para o estoque, vendido ou doado para prefeituras que o utilizam como revestimento primário em vias de acesso construídas na zona rural.

Os meios de transporte contabilizados nesta etapa (marítimo e ferroviário) estão listados na Tabela 4, tendo sido utilizados dados europeus como referência. Apenas para o transporte ferroviário houve uma adaptação para a realidade em estudo uma vez que o transporte marítimo é de abrangência global.

Tabela 4 - Transporte envolvido na produção de 1 kg de aço

<b>Transportes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>	<b>Base de dados</b>
Transporte para Aterro Sanitário	0,012	tkm	Ecoinvent (CH)
Transporte Marítimo Carvão Mineral	6,96	tkm	Ecoinvent (OCE)
Transporte Ferroviário Minério de Ferro	0,43	tkm	Ecoinvent (RER)
Transporte Ferroviário Carvão Mineral	0,78	tkm	Ecoinvent (RER)

A unidade tonelada-quilômetro (tkm), utilizada pelas bases de dados, leva em conta o peso da carga e a distância percorrida. Conforme já dito, o carvão mineral percorre 1570 km em estradas de ferro e 14000 km em vias marítimas e o minério de ferro percorre 290 km, valendo-se do transporte ferroviário.

Para execução da ACV, foi utilizado o processo de zincagem médio da União Europeia (ECOINVEST, 2012). A Tabela 5 apresenta os dados utilizados no cadastro do processo de galvanização do aço.

Tabela 5 - Dados do processo de galvanização da bobina de aço

<b>Material/ Recurso</b>	<b>Componentes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>	<b>Base de dados</b>
Zincagem a quente (Galvanização)	Zinco	0,318	m <sup>2</sup>	Ecoinvent (RER)

### 3.1.4.2 Processo de fabricação da telha de aço - Perfilação (B)

Para os dados pertinentes à fabricação da telha de aço galvanizada recorreu-se a entrevistas realizadas em uma empresa de fabricação de telhas metálicas localizada no município de Contagem - MG. A telha metálica é fabricada com o aço galvanizado proveniente de usinas siderúrgicas brasileiras sendo transportadas por rodovias. No caso deste estudo, o percurso da fábrica de bobinas de aço galvanizado até a fábrica de telhas metálicas foi de 200 km (T2).

Os equipamentos utilizados na fabricação das telhas são: uma máquina perfiladeira, uma unidade hidráulica e uma ponte rolante com capacidade de cinco toneladas. O gasto energético é de 8,5 kWh por tonelada de material produzido. A Tabela 6 mostra os dados cadastrados para a etapa de fabricação da telha de aço chamada no Simapro de “Perfilação da telha de aço”.

Tabela 6 - Dados para fabricação da telha de aço

<b>Material/ Recurso</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>	<b>Fonte</b>
Transporte Rodoviário da matéria-prima até a fábrica	0,20	tkm	Ecoinvent (RER)
Energia Elétrica	0,0085	kWh	Ecoinvent (BR)

### 3.1.4.3 Instalação, manutenção e fim de vida da telha de aço (C)

Finalizada a etapa de cadastro da telha, segue-se para a etapa de instalação. O transporte das telhas foi feito por carretas com capacidade de 27 toneladas. Para o transporte, as telhas foram posicionadas sobre a carroceria e separadas por barrotes de madeira. O peso dos barrotes de madeira considerado foi de 0,05% da carga total. A distância percorrida entre a fábrica de telha, localizada em Contagem-MG, e a obra, localizada em Ouro Branco-MG, é de 100 km (T3).

Para a instalação das telhas metálicas na obra da igreja Sagrada Família (C1) foram utilizadas duas parafusadeiras elétricas, duas máquinas de solda, duas lixadeiras, uma furadeira e um maçarico com consumo máximo total de 15 kWh. A geração dessa energia foi de fornecimento da concessionária pública (CEMIG). A movimentação das peças na obra foi realizada por um guindaste com capacidade de 5 toneladas e gasto energético igual a 40 kWh.

Durante a instalação das telhas não houve perda de materiais, pois as telhas foram fabricadas conforme paginação do projeto. Os resíduos dessa etapa foram os barrotes de madeira. Este material foi transportado para a reciclagem municipal em um caminhão tipo caçamba e percorreu uma distância de 20 km. Os resíduos foram cadastrados no cenário de destino final conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Dados para a instalação da telha de aço

<b>Componentes/ Processos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>	<b>Fonte/ Obs</b>
Gasto energético de maquinário	55	kWh	Ecoinvent (BR)
Transporte Telhas	500	tkm	Ecoinvent (RER)
Transporte resíduo para reciclagem	0,05	tkm	Ecoinvent (RER)
Barrotes de madeira pinus	2,5	kg	Ecoinvent (BR)

Na etapa de uso e manutenção (C2), o material “telha de aço” não demanda energia, água ou qualquer outro processo para manter a sua função.

Desde que sejam dadas as manutenções adequadas, o aço tem capacidade suficiente para atender as mais exigentes demandas de longevidade que possam surgir nos projetos. Considerou-se para este estudo que ao final de 40 anos 20% das telhas serão substituídas (C3). Os equipamentos utilizados para a separação das telhas de aço são parafusadeiras elétricas, lixadeiras, maçaricos e furadeiras. No caso em estudo, estes equipamentos juntos consomem 55 kWh.

De acordo com Gervásio (2008), após a separação das telhas, estima-se que 3% do total não poderá ser reciclado. Essa parcela será destinada ao aterro sanitário e o restante percorrerá uma distância de 100 km em direção à usina semi-integrada (T4) para ser reciclado. O cenário de destino final é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Insumos e recursos estimados na etapa de fim de ciclo de vida

<b>Componentes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unid.</b>	<b>Fonte/ Observação</b>
Reutilização	80	%	Instalação
Reciclagem	17	%	Ecoinvent (RER)
Aterro	3	%	Ecoinvent (CH)
Gasto energético de maquinário	55	kWh	Ecoinvent (BR)
Transporte resíduo para reciclagem	84,6	tkm	Ecoinvent (RER)
Transporte resíduo para aterro	2,985	tkm	Ecoinvent (RER)

### 3.1.5 Regras de exclusão

As emissões inventariadas decorrentes do processo de fabricação do aço foram obtidas de relatórios da siderúrgica Usiminas, empresa que fabrica as bobinas de aço. Como a Usiminas não forneceu os dados de transporte de matérias primas, foram utilizados os dados de transporte das matérias primas da Gerdau, Usina Ouro Branco, informadas em entrevistas junto à área de logística da empresa. As saídas inventariadas do sistema correspondem a resíduos sólidos e emissões atmosféricas, não tendo sido considerados efluentes líquidos. As categorias de impacto selecionadas estão relacionadas às emissões atmosféricas e aos resíduos sólidos considerados.

### **3.2 Avaliação de impacto do ciclo de vida e interpretação dos resultados**

Após a ACV da telha de aço galvanizada, serão realizadas análises por meio de fluxogramas de cargas ambientais gerados no Simapro. Como método de avaliação do impacto do ciclo de vida, optou-se por utilizar o Ecoindicator (E) disponível no Simapro.

As categorias de impacto foram selecionadas a partir do levantamento das categorias mais frequentes em trabalhos de ACV na construção civil. Optou-se por manter as ponderações dos impactos padrões do Simapro.

As categorias de impacto utilizadas foram:

- a. Carcinogênicos;
- b. Orgânicos inaláveis;
- c. Inorgânicos inaláveis;
- d. Mudança climática;
- e. Radiação;
- f. Camada de ozônio;
- g. Ecotoxicidade;
- h. Acidificação/Eutrofização;
- i. Uso do solo;
- j. Minerais;
- k. Combustíveis fósseis.

# 4

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) são apresentados em forma de emissões, que estão relacionadas às categorias de impacto associadas a cada aspecto ambiental presente no ciclo de vida. Todos os resultados do ICV estão ligados a pelo menos uma das quatorze (14) categorias de ponto médio, e estas, por sua vez, estão ligadas as quatro (4) categorias de danos, conforme mostrado na Figura 27.

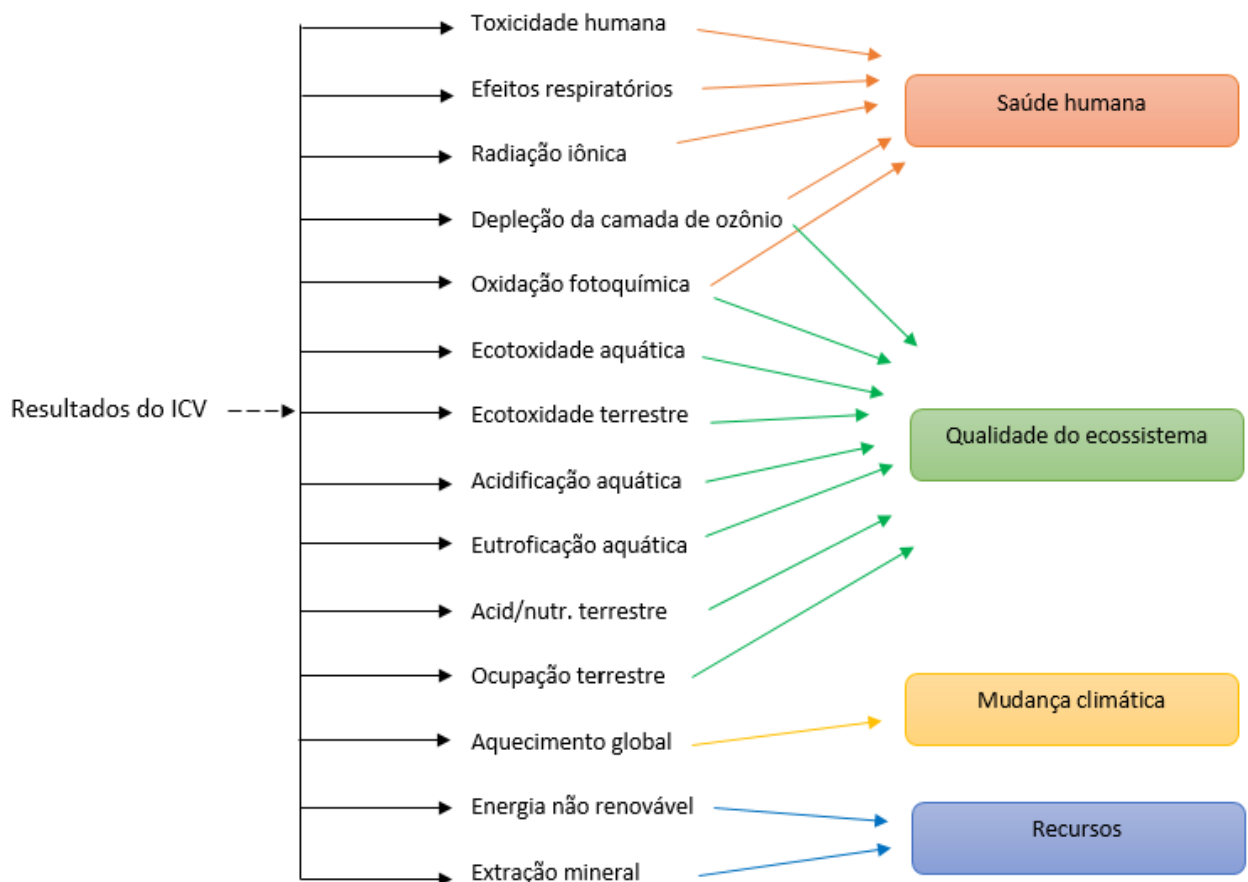


Figura 27 - Categorias de impactos e danos - etapas avaliadas  
Fonte: Adaptado de ECOINVENT, 2012.

## 4.1 Avaliação do impacto ambiental

### 4.1.1 Avaliação do impacto da fabricação da bobina de aço galvanizada

A Figura 28 apresenta a rede de fluxo para a fabricação da bobina de aço galvanizada.

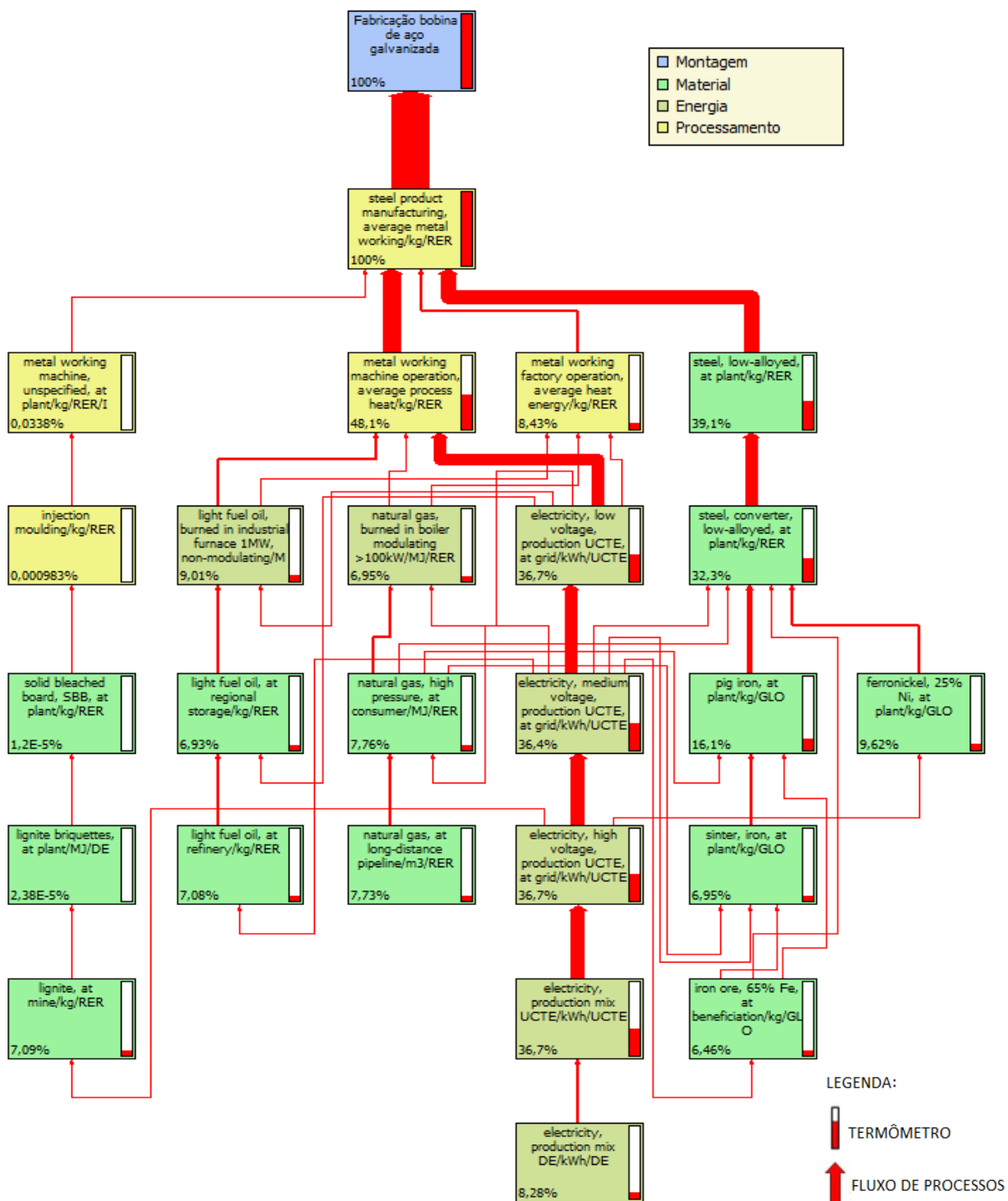


Figura 28 - Rede de fluxo do impacto global - fabricação da bobina de aço galvanizada

As redes de fluxo fornecidas pelo Simapro evidenciam os percentuais de contribuição dos materiais, da energia utilizada e das operações necessários para o processamento do produto, nos impactos ambientais causados em cada etapa de sua fabricação. Analisando os dados apresentados na Figura 28, relativos a “fabricação da bobina de aço”, verifica-se que a fabricação do aço contribui com 39,1% dos danos ambientais gerados no processo de produção da bobina, sendo 16,1% correspondentes à fabricação do ferro gusa (*pig iron*). Percebe-se também que a fabricação do sinter contribuiu para 6,95% dos impactos do processo “ferro gusa”. Outra contribuição importante foi a da utilização de energia elétrica, que produziu 36,7% dos impactos causados pela operação dos equipamentos.

A Figura 29 mostra a avaliação do impacto do processo de fabricação da bobina de aço galvanizada em função das categorias de impacto por pontuação única. Nota-se, a partir da análise desta figura, que a produção do aço traz grandes impactos para a maioria das categorias apresentadas. Pode-se verificar que as maiores contribuições na fase de produção do aço foram para combustíveis fósseis, para os inorgânicos inaláveis e para os carcinogênicos.

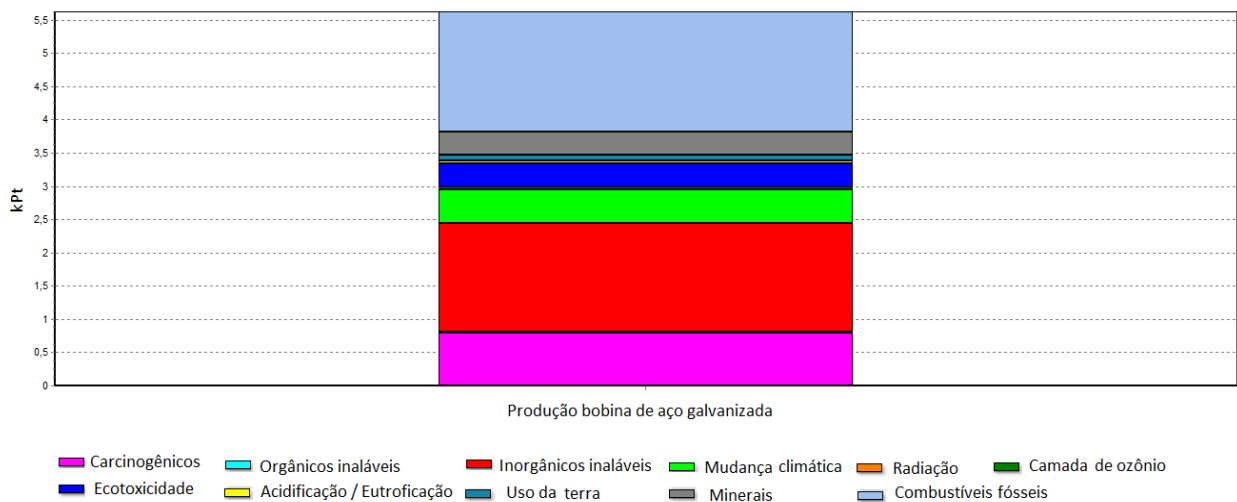


Figura 29 - Categorias de impacto por pontuação única - fabricação da bobina de aço galvanizada

Analisando o processo de produção do aço, pode-se dizer que as contribuições para “combustíveis fósseis” são referentes à extração do carvão mineral, o processo de coqueria e o transporte do carvão por navios. Para a geração de “inorgânicos inaláveis” que prejudicam a respiração humana, as contribuições significativas se referem ao minério de ferro e seu beneficiamento. Já na categoria “mudança climática”, a utilização de cal virgem no processo de fabricação do aço foi responsável por grande parte da pontuação obtida.



#### 4.1.2 Avaliação do impacto da fabricação da telha de aço galvanizada - Perfilação

Os impactos gerais da etapa de perfilação da telha de aço podem ser vistos na Figura 30.

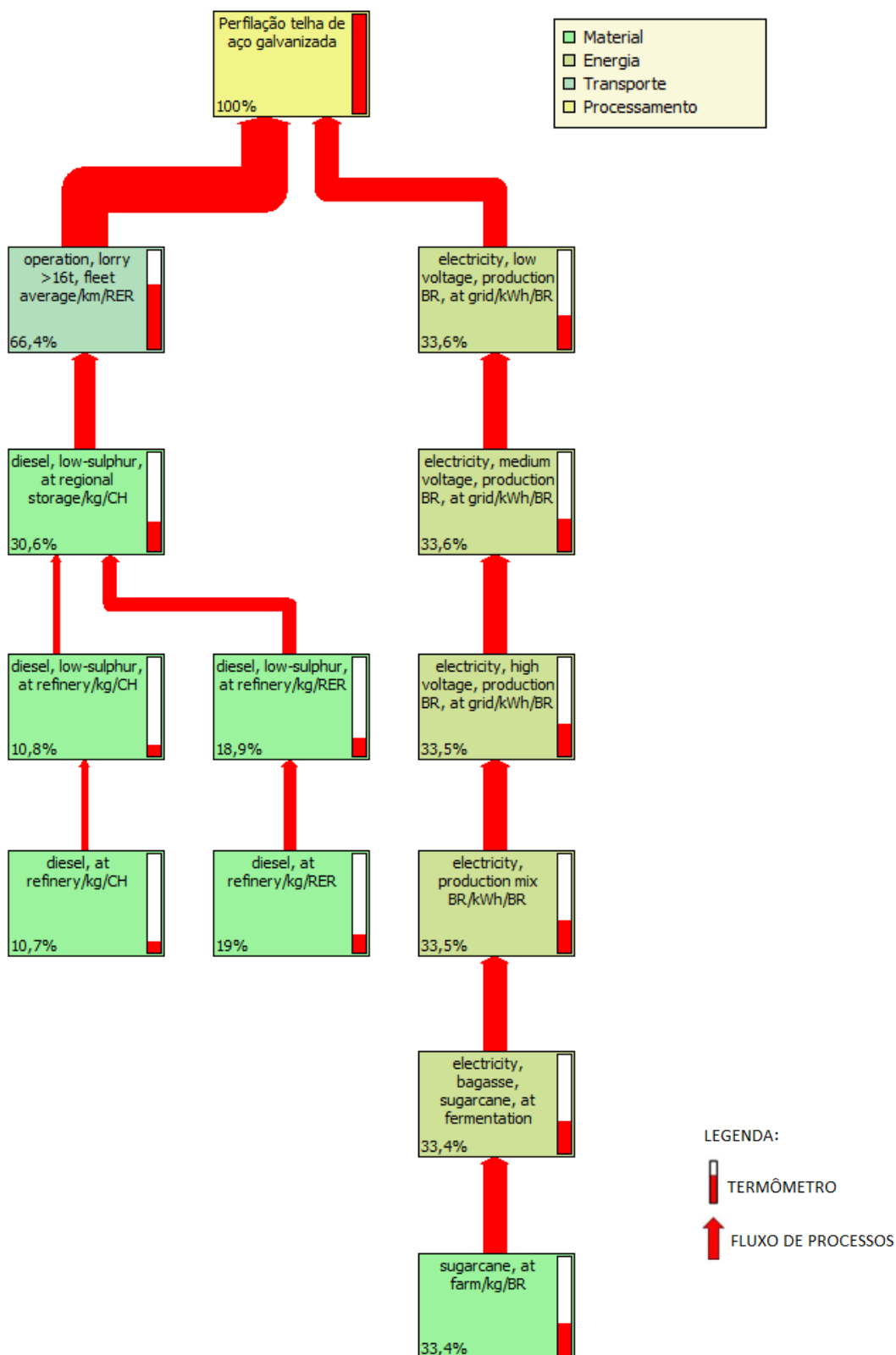


Figura 30 - Rede de fluxo do impacto global - perfilação da telha de aço

Percebe-se que o transporte contribuiu mais para o impacto nesta fase (66,4%) do que o uso de energia elétrica (33,6%).

A Figura 31 mostra a avaliação do impacto do processo de perfilação da telha de aço por pontuação única. Os maiores impactos decorrentes do transporte, estão associados às categorias de inorgânicos inaláveis, combustíveis fósseis, e mudanças climáticas. Já a energia elétrica contribuiu com danos relacionados a emissão de substâncias carcinogênicas.

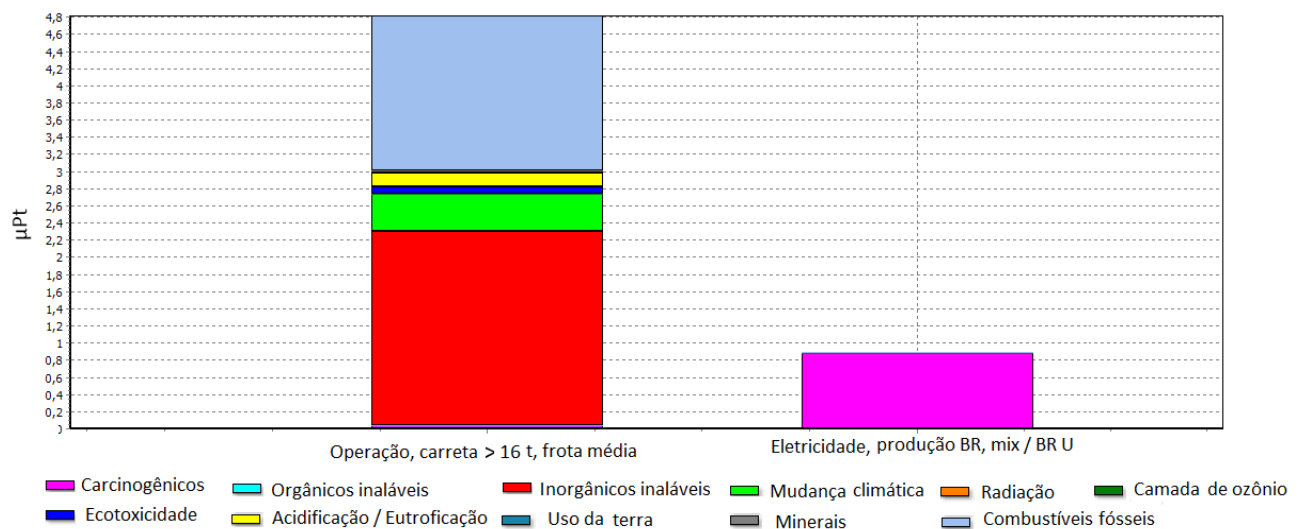


Figura 31 - Categorias de impacto por pontuação única - perfilação da telha de aço

Analisando o processo de perfilação da telha de aço, pode-se dizer que as contribuições para inorgânicos inaláveis e combustíveis fósseis se devem às emissões de CO<sub>2</sub>, geradas pela queima de combustíveis.

#### 4.1.3 Avaliação do impacto da montagem da telha de aço na obra

Os impactos na fase de montagem das telhas de aço galvanizada na obra podem ser vistos de forma geral na Figura 32.

Percebe-se que o transporte contribuiu mais para o impacto desta fase (86,7%) do que o uso de energia elétrica (13,3%).

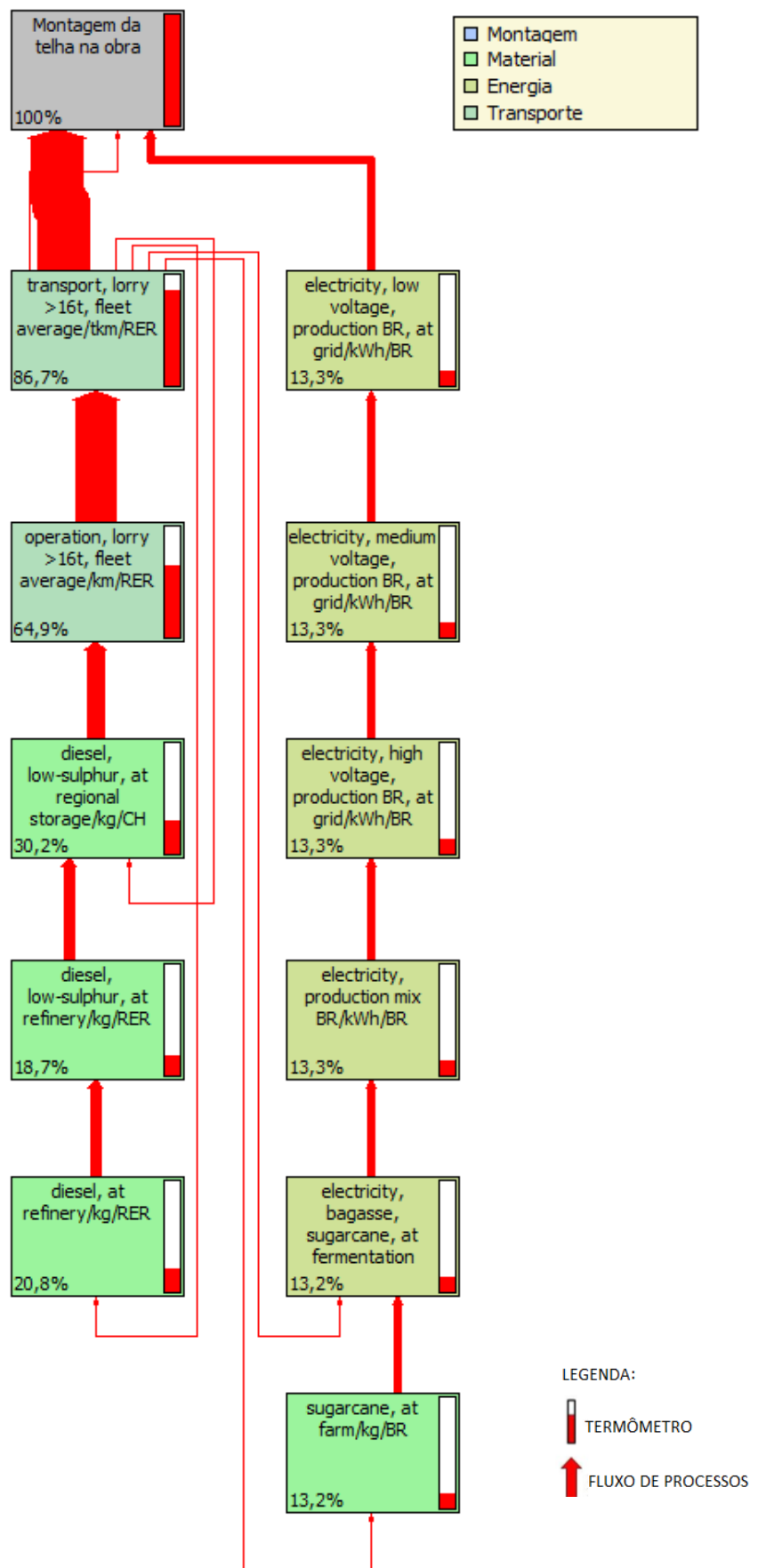


Figura 32 - Rede de fluxo do impacto global - montagem das telhas na obra

Na Figura 33 têm-se as categorias de impacto por pontuação única para a fase de montagem da telha na obra. Nota-se que o transporte contribuiu para impactos em quase todas as categoriais apresentadas, sendo as maiores contribuições provenientes dos inorgânicos inaláveis e dos combustíveis fósseis.

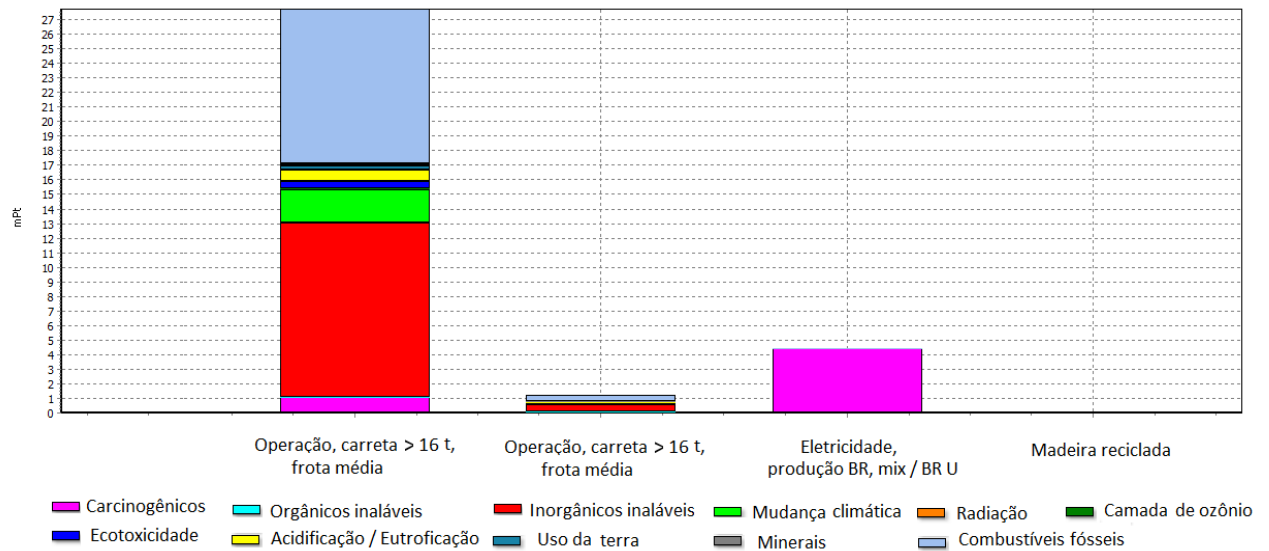


Figura 33 - Categorias de impacto por pontuação única - montagem das telhas na obra

Analisando o processo de montagem das telhas de aço na obra, percebe-se que mesmo as distâncias sendo pequenas, os impactos causados pelo transporte foram maiores. Isso se deve ao uso de óleo diesel como combustível.

Os barretes de madeira utilizados no transporte das telhas têm um pequeno impacto na utilização de recursos. Um dos motivos é o fato deste material ser de reutilização.

#### 4.1.4 Avaliação do impacto uso/manutenção da telha de aço galvanizada

Os impactos na fase de uso e manutenção das telhas de aço galvanizada são mínimos, pois a telha tem a vida útil prevista de 40 anos, necessitando apenas a limpeza das calhas.

#### 4.1.5 Avaliação do impacto fim de vida da telha de aço galvanizada

Os impactos na fase de fim de vida da telha de aço galvanizada podem ser vistos de forma geral na Figura 34. As setas na cor verde indicam a mitigação de impactos ambientais pela reutilização das telhas e reciclagem.

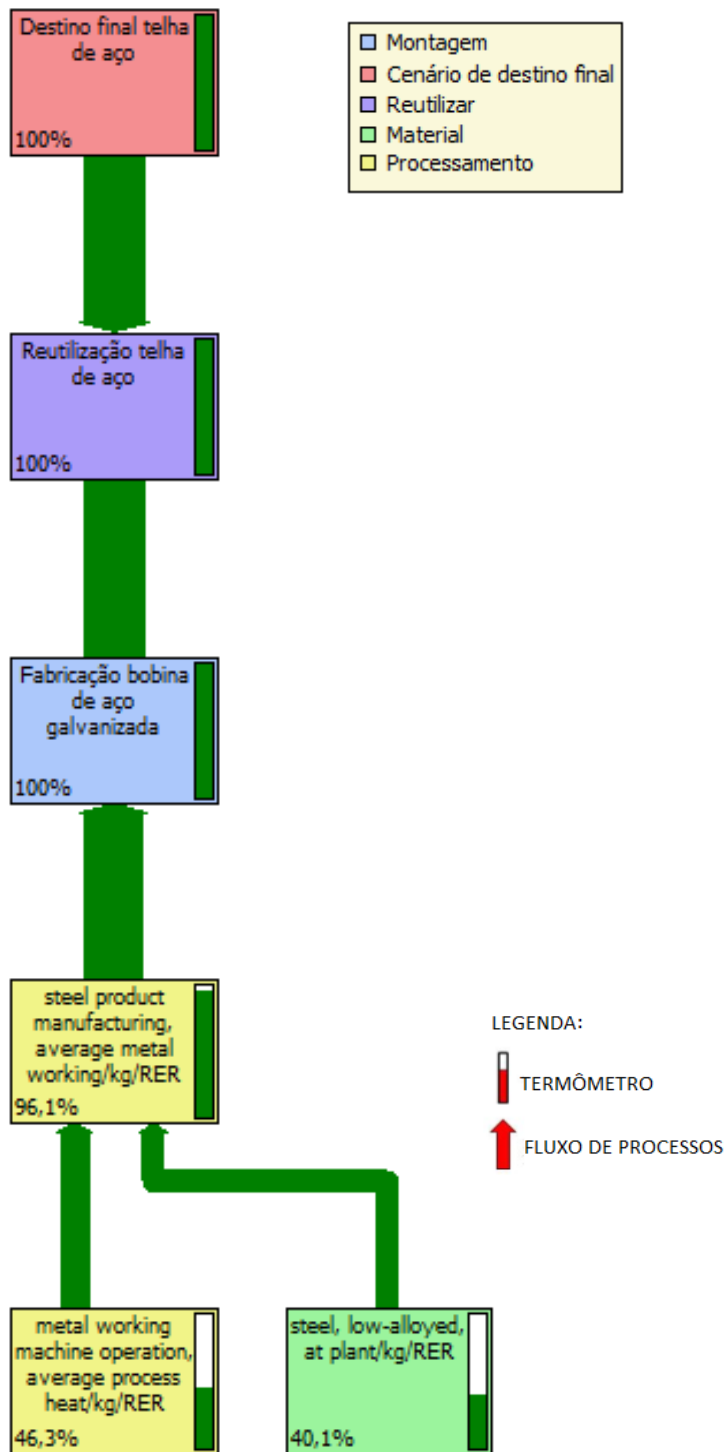


Figura 34 - Rede de fluxo do impacto global - fim de vida da telha de aço

Na fase de fim de vida tem-se a desmontagem das telhas e a destinação final. Cerca de 80% das telhas metálicas são reutilizadas e não são substituídas. Dos 20% restantes, 17% das telhas são encaminhadas às usinas de reciclagem e voltam para o processo de fabricação de novos materiais metálicos. Os outros 3% são destinados aos aterros como resíduos. Os impactos desta fase são relacionados ao transporte dos materiais até as fábricas para reciclagem e aos aterros. Estudo realizado por Choate (2007) ressalta os ganhos com a redução de resíduos destinados aos lixões e aterros. São também computados nesta fase impactos relacionados ao uso de energia elétrica para a desmontagem das telhas.

Na Figura 35 podem-se ver os impactos associados ao fim de vida (desmontagem + reutilização) das telhas de aço por pontuação única. Os valores negativos indicam a compensação, ou seja, quando o material volta para o processo e entra como crédito. Percebe-se que existe compensação para todas as categorias de impacto, sendo as maiores compensações para carcinogênicos, inorgânicos inaláveis e combustíveis fósseis. Situação semelhante pode ser observada na ACV de embalagens de alumínio, onde partes dos impactos ambientais são compensados pela alta taxa de reciclagem deste material (PRADO, 2007).

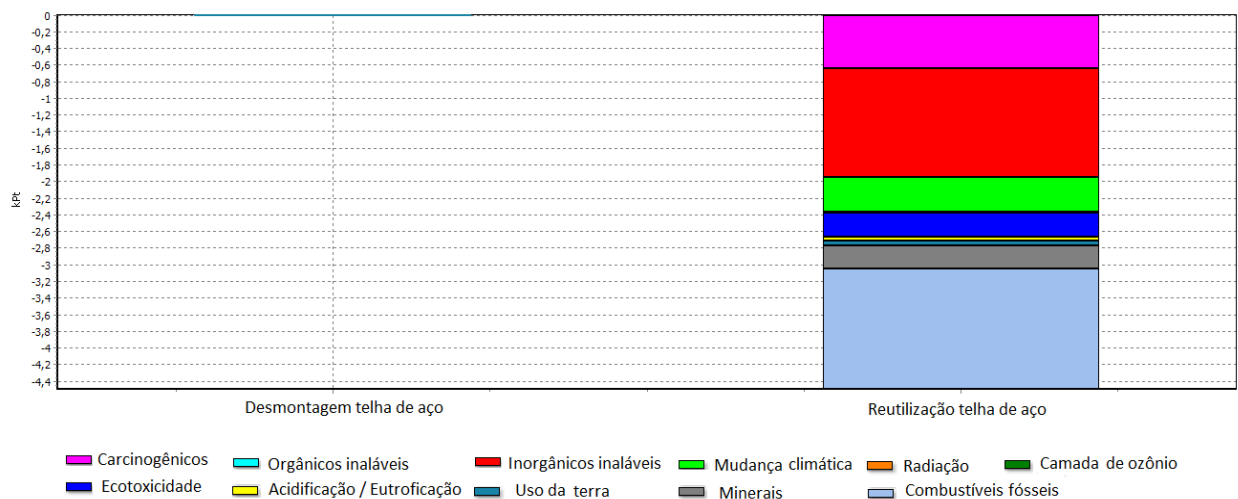


Figura 35 - Categorias de impacto por pontuação única - fim de vida telha de aço

#### 4.1.6 ACV da telha de aço galvanizada - Avaliação dos impactos

A análise final leva em consideração todo o ciclo de vida da telha de aço galvanizada, avaliando as etapas em conjunto. Na Figura 36 pode-se ver a ACV da telha de aço galvanizada mostrando as fases de perfilação da telha, incluindo a fabricação da bobina de aço

e as fases de fim de vida. Conforme mencionado anteriormente, a fase de uso e manutenção não causou impactos neste caso em estudo.

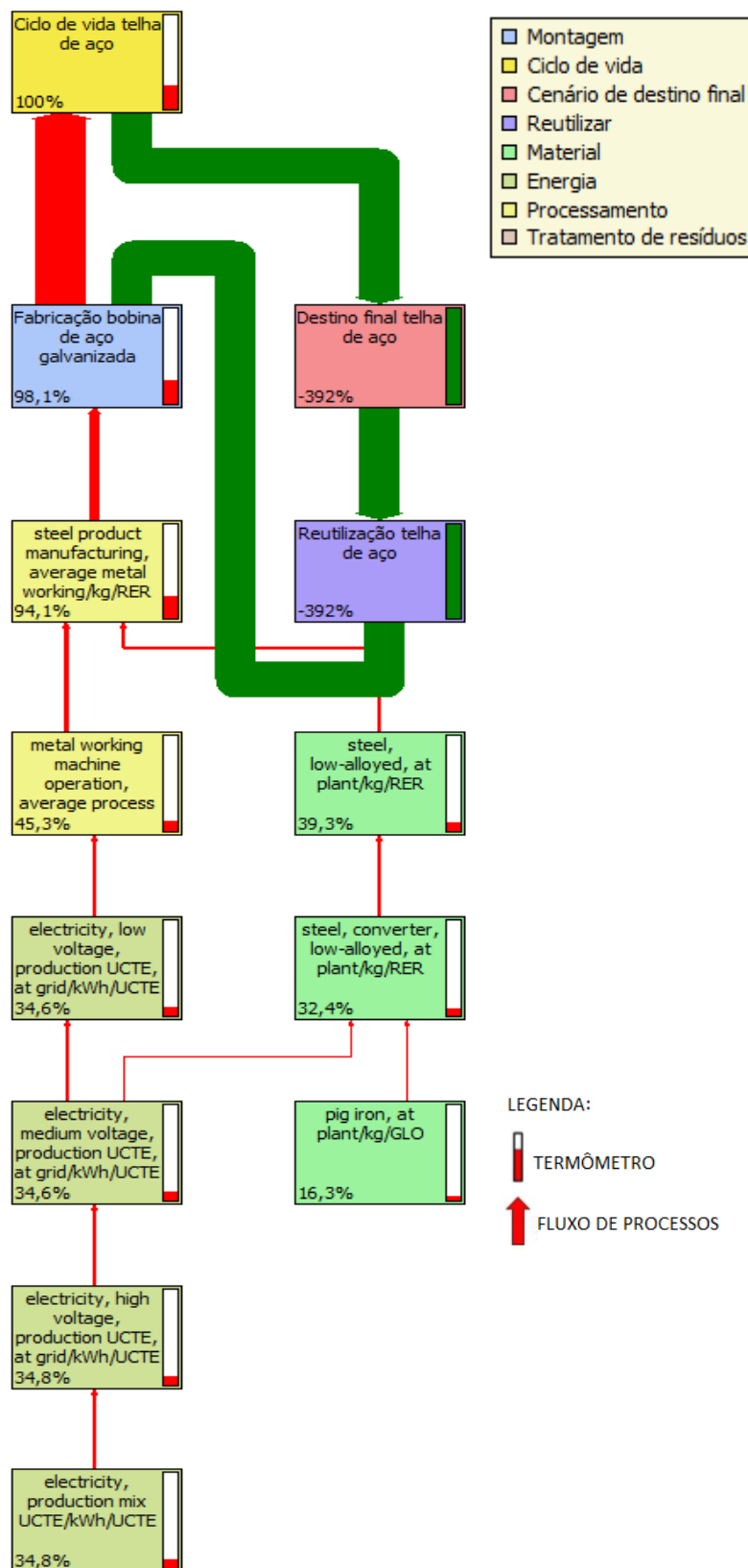


Figura 36 - Rede de fluxo do impacto global - ciclo de vida da telha de aço galvanizada

A Figura 37 mostra o resumo das contribuições de cada etapa do processo. Nela, como já era esperado, verifica-se que a contribuição para os impactos causados ao meio ambiente se originam predominantemente na etapa de fabricação da bobina de aço (98,1%).

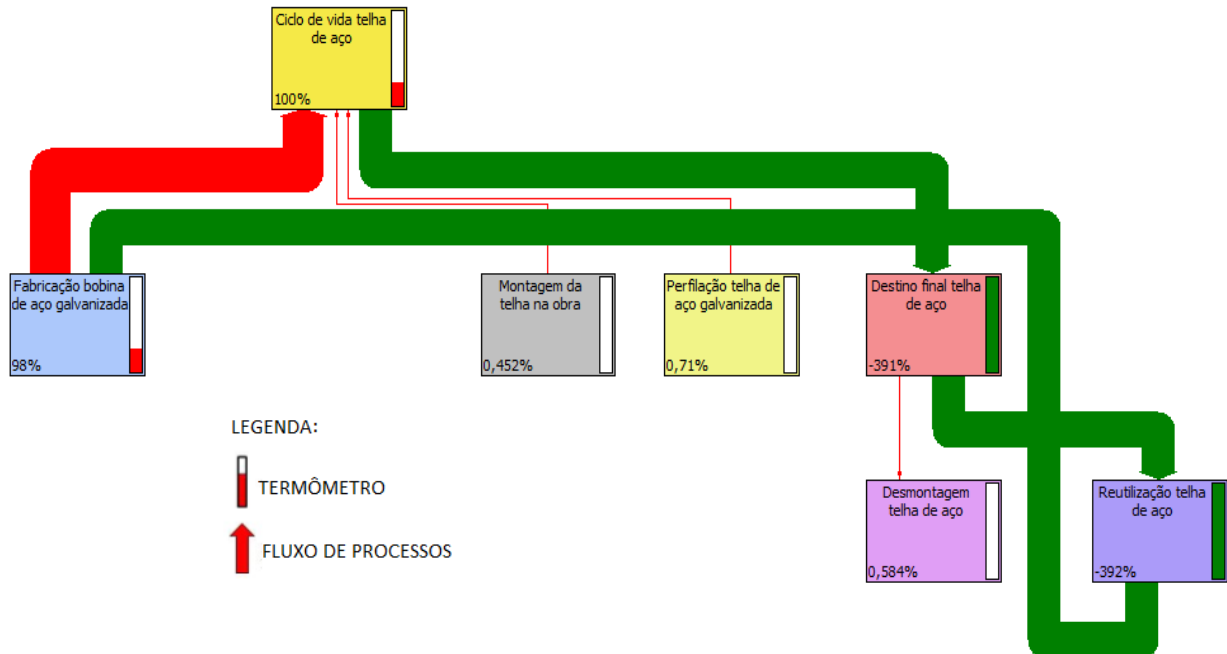


Figura 37 - Rede de fluxo resumida do impacto global

Percebe-se que a perfilação teve 0,71% de contribuição total seguido pela desmontagem (0,58%) e pela montagem das telhas na obra (0,45%). As contribuições negativas, ou seja, favoráveis ao meio ambiente, geradas na etapa correspondente à destinação final do aço, entram como saldo positivo na ACV, mostrando a grande vantagem do uso de materiais com alto potencial de reciclagem.

Outros estudos de ACV, como o realizado por Mercadante *et al.* (2009), evidenciam as vantagens geradas em função de produtos que eventualmente deixaram de ser consumidos em função da reciclagem (carga evitada).

Na Figura 38 pode-se ver os impactos associados à avaliação do ciclo de vida da telha de aço galvanizada por pontuação única. Percebe-se que no balanço geral, existe compensação para todas as categorias de impacto. Novamente fica claro que as contribuições para inorgânicos respiratórios e combustíveis fósseis tiveram maiores contribuições na fase de produção da bobina de aço, sendo, também, estas mesmas categorias as que tiveram as maiores



compensações para a fase de destinação final. Nota-se que no balanço geral a etapa de montagem tem uma parcela pequena na contribuição dos impactos.

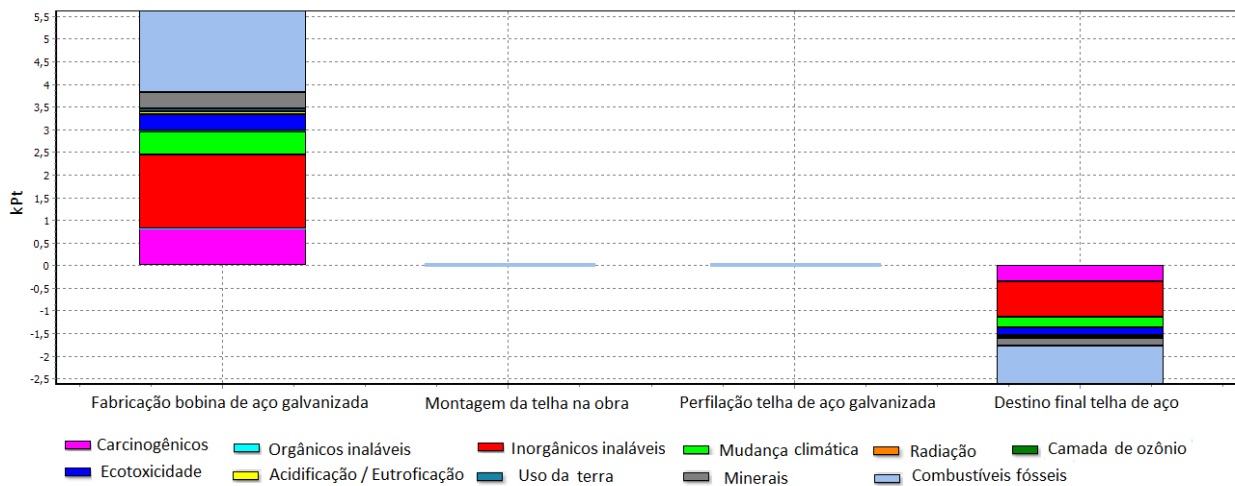


Figura 38 - Categorias de impacto por pontuação única - ciclo de vida telha de aço galvanizada

Tendo em vista que o Simapro é capaz de considerar as contribuições de impactos de valores muito pequenos (menores que 0,1%), em muitos casos não se consegue gerar saídas com uma boa visualização para leitura fora do software. Ressalta-se, porém, que as contribuições não visíveis nas redes de fluxos foram consideradas.

# 5

## CONCLUSÕES

Conclui-se, como já esperado, que a maior parcela da carga ambiental é proveniente, dentre todas as etapas avaliadas, do processo de fabricação da bobina de aço. A análise de ACV permitiu, entretanto, que se fizesse uma avaliação mais detalhada, identificando que as categorias de impacto ambiental que mais pontuaram, nos processos e nas condições aqui analisadas, foram a de “inorgânicos inaláveis” e a de “combustíveis fósseis”. Isso se atribui, principalmente, à utilização do carvão mineral nos processos siderúrgicos considerados neste estudo e ao transporte realizado em diversas ocasiões.

Em relação à utilização de materiais, o carvão mineral foi identificado como o componente que mais contribui para os impactos causados ao meio ambiente em consequência da atividade de mineração, do trajeto feito da Austrália até o Brasil e do seu uso no processo siderúrgico.

Outro ponto que ficou evidente neste trabalho foi o maior impacto do transporte quando comparado ao produzido pelo uso de energia elétrica para as fases de montagem e fim de vida da telha de aço galvanizada. As distâncias percorridas da fábrica à obra foram pequenas (cerca de 100 km), e mesmo assim apresentaram maiores impactos que os decorrentes do gasto energético. Dessa forma, a utilização de meios de transporte menos impactantes que os rodoviários e a utilização de materiais locais podem contribuir para mitigar os efeitos nocivos causados ao ambiente.

Nas análises envolvendo as etapas de fabricação e de descarte dos materiais, ficou claro a importância da reutilização e da reciclagem como forma de compensar os impactos produzidos em todas as categorias. Outros estudos realizados com materiais com alto potencial de reciclagem, obtiveram conclusões semelhantes as encontradas neste trabalho.

A maior parte dos trabalhos de ACV dá ênfase ao processo de fabricação do produto, onde, indiscutivelmente, são produzidos os maiores impactos. Entretanto, ao se avaliar as etapas de montagem, uso, manutenção e fim de vida da telha de aço galvanizada nota-se que existem oportunidades para redução dos impactos em todas elas. O presente trabalho dá uma contribuição fora da fábrica, deixando claro para o profissional de engenharia e arquitetura a importância na escolha de soluções de projetos e materiais que tenham maior vida útil, menor manutenção e que impactem menos o meio ambiente.

A ACV mostrou-se uma ferramenta eficiente para avaliar os danos causados ao meio ambiente pela fabricação e uso da telha de aço galvanizada de perfil ondulado e permitiu a avaliação dos respectivos impactos ambientais envolvidos ao longo de ciclo de vida.

# 6

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO: *Alumínio: Processos de Produção*. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/laminacao/#accordion2>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

ABCEM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA. *Manual Técnico Telhas de aço*. Edição 1. Brasília, 2009. 36 p. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/manual-de-telhas.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

ABM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. Programa de Educação Continuada. *Fabricação de aço em forno básico a oxigênio - Introdução ao refino de aço em LD*. Belo Horizonte, 2007. p. 13-17.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001: *Sistema de gestão ambiental - Requisitos com orientação para uso*. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: *Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2009, p. 11.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: *Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14513: *Telhas de aço revestido de seção ondulada*. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14514: *Telhas de aço revestido de seção trapezoidal*. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: *Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação*. Rio de Janeiro, 2011.

ARAÚJO, M. A. *A moderna construção sustentável*. Artigo, 2013. Disponível em: <<http://www.idhea.com.br/pdf/moderna.pdf>>. Acesso em: 5 jul. 2014.

BRUNDTLAND, G.H. *Relatório Brundtland - Nosso Futuro Comum*. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991, p. 431.

CHEHEBE, J. R. B. *Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, CNI, 1997, p. 104.

CHOATE, W. U. S. *Energy Requirements for Aluminum Production: historical perspective, theoretical limits, and news opportunities*. In: GREEN J. A. S. (Ed.). *Aluminum recycling and processing for energy conservation and sustainability*. Materials Park, OH: ASM International, 2007, p.159-221.

COUTRO, L. *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*. Campinas: CETEA / ITAL, 2007, p.72.

COLTRO, L.; MOURAD, A. L. ACV de Produtos Alimentícios. In: COUTRO, L. *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*. Campinas: CETEA / ITAL, 2007, p. 72.

DHABI-STEEL. *Telha de Galvalume Zincado Galvanizado*. Disponível em: <<http://dhabi-steel.wixsite.com/dhabi-steel-brasil/telha-galvalume-zincado>>. Acesso em: 07 dez. 2013, p. 34.

ECOINVENT. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods – Ecoinvent data*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Swiss: 2012. v. 2.2, p. 163.

GERVÁSIO, H. M. *A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas*. 2008. Disponível em: <[http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/27\\_Helena\\_Gervasio.pdf](http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf)> Acesso em: 16 ago. 2014.

GOLDEMBERG, J.; VAHAN, A.; JOHN, V. M. *O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil*. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 5 v., p. 144.

IABr - INSTITUTO AÇO BRASIL. *Relatório de Sustentabilidade 2013*. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/publicacoes.asp>>. Acesso em: 02 ago. 2014, p.10-13.

MERCANTE, I. T.; ARENA, A. P.; BOVEA, M. D. *LCA of Construction and demolition waste in Mendoza metropolitan urban area*. Argentina, 2009, p. 13.

MIYAZATO, T.; OLIVEIRA, C. T. A. *Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): aplicações e limitações no setor da construção civil*. V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – ELECS. Recife, 2009, p. 1-9.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e Processos de Projetos de Edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. v. 4, n. 1, 2009, p. 84-119.

PANNONI, F. D. *Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio*. 4 ed. Coletânea do Uso do Aço. 2007, p. 90.

PENNINGTON, D. W.; POTTING, J.; FINNVEDEN, G.; LINDEIJER, E.; JOLLIET, O.; RYDBERG, T. and REBITZER, G. 2004. *Life cycle assessment. Part 2: Current impact assessment practice*. *Environment International*. p. 721-739, Elsevier, 2004

PNRS – POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. *Lei Nº 12.305, 189º da Independência e 122º da República*. Brasília: Agosto/2010, p. 21.

PRADO, M. R. *Análise do Inventário do Ciclo de Vida de Embalagens de Vidro, Alumínio e PET Utilizadas em uma Indústria de Refrigerantes no Brasil*. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2007, p. 188.

PRIMETALS TECHNOLOGIES. *Plate Mill – Power Meets Precision*. Disponível em: <<http://primetals.com/en/technologies/hot-rolling-flat/plate-mill>>. Acesso em: 02 ago. 2014.

PROTOCOLO DE MONTREAL. *Proteção da Camada de Ozônio - 1987*. Disponível em: <<http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/sites/protocolodemontreal.org.br/pt-br/home.php>>. Acesso em: 07 jun. 2014.

REBITZER, G.; BUXMANN, K. The role and implementation of LCA within life cycle management at Alcan. *Journal of Clean Production*. v. 13, Issues 13-14, 2005, p. 1327-1335.

SANSÃO, J. H. *Análise Ambiental de Alvenarias em Blocos: Uma Discussão Baseada na Avaliação do Ciclo de Vida e no Desempenho Térmico de Envolórias*. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais: 2011, p. 116.

SCANDAROLI, M. In: ABCEM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA. *Manual Técnico Telhas de aço*. Edição 1. Brasília, 2009. 36 p. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/manual-de-telhas.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

SCHEID, A. *Curso básico de aços: fabricação, transformação e usos*. Curitiba: 2010. 100 p. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM343/A%C7OS.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2014.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Guidelines for Life-Cycle Assessment: *A Code of Practice*. Brussels, 1991, p. 35-38.

SILVA, F. C.; FALDINI, S. B. *Galvanização a Quente: Processo por Batelada*. Universidade Presbiteriana Mackenzie - Engenharia de Materiais. São Paulo, 2012, p.1-20.

SILVA, G. A. *Panorama da avaliação do ciclo de vida - Impacto da avaliação do ciclo de vida na competitividade da indústria brasileira*. Grupo de prevenção da poluição. Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2005, p 25.

SILVA, J. G. *Análise do Ciclo de Vida de Tijolos Prensados de Escória de Alto-Forno*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória: 2005, p. 225.

SILVA, L. S. *Evolução dos Sistemas de Coberturas Utilizados no Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005, p. 109.

SOUZA, D. M.; LAFONTAINE, M.; CHARRON-DOUCET, F.; BENGUA, X.; CHAPPERT, B.; DUARTE, F.; LIMA, L. Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context. *Journal of Cleaner Production*. v. 89, n. 15, 2015, p. 165-173.

SOUZA, S. R. *Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2008, p.87.

SYNTEX, *Aços Planos*. Disponível em: <<https://syntexamerica.com/portfolio-item/aco-plano-longo/?lang=pt-br#tab-id-4>>. Acesso em: 02 ago. 2014.

TAVARES, M. A. D.; BEZI, P. *Análise da Implantação das Práticas de Sustentabilidade no setor da Construção Civil conforme o Selo AQUA*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012, p. 62.

TUPER TELHAS E PERFIS. *Guia de especificações. Manual*, 2005. Disponível em: <<http://www.tuper.com.br>>. Acesso em: 12 jul. 2014.

USIMINAS – USINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS S.A. *Relatório Anual de Sustentabilidade 2011*. Disponível em: <<http://ri.usiminas.com/ptb/relatorios-anuais-e-de-sustentabilidade>>. Acesso em: 09 ago. 2014.

YIN, R. K. *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 2 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2005, p. 163.

# 7

## ANEXOS

Tabela 9 - Inventário do ciclo de vida telha de aço galvanizada

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
1	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	5,8137058
2	Anhydrite, in ground	Matéria prima	mg	161,21023
3	Barite, 15% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	54,662022
4	Basalt, in ground	Matéria prima	kg	7,8621383
5	Borax, in ground	Matéria prima	g	0,32772506
6	Bromine, 0.0023% in water	Matéria prima	mg	171,47441
7	Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground	Matéria prima	g	1,4345313
8	Calcite, in ground	Matéria prima	ton	0,68771329
9	Carbon dioxide, in air	Matéria prima	ton	0,26373748
10	Carbon, in organic matter, in soil	Matéria prima	g	11,762026
11	Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	27,126838
12	Chrysotile, in ground	Matéria prima	g	1,0962909
13	Cinnabar, in ground	Matéria prima	mg	104,44755
14	Clay, bentonite, in ground	Matéria prima	kg	18,739658
15	Clay, unspecified, in ground	Matéria prima	kg	183,07587
16	Coal, brown, in ground	Matéria prima	ton	2,1750367
17	Coal, hard, unspecified, in ground	Matéria prima	ton	2,2363507
18	Cobalt, in ground	Matéria prima	mg	359,43834
19	Colemanite, in ground	Matéria prima	g	28,55372
20	Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	0,30286354
21	Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	1,6729839
22	Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	0,44378288
23	Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	2,2013628
24	Diatomite, in ground	Matéria prima	mg	0,58720344
25	Dolomite, in ground	Matéria prima	kg	4,0351798
26	Energy, gross calorific value, in biomass	Matéria prima	GJ	2,5231043



Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
27	Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	Matéria prima	kJ	815,45255
28	Energy, kinetic (in wind), converted	Matéria prima	GJ	0,89277036
29	Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	Matéria prima	GJ	8,8251804
30	Energy, solar, converted	Matéria prima	MJ	13,042696
31	Feldspar, in ground	Matéria prima	mg	9,0252987
32	Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	36,142924
33	Fluorine, 4.5% in apatite, 3% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	17,530894
34	Fluorspar, 92%, in ground	Matéria prima	kg	1,0340212
35	Gallium, 0.014% in bauxite, in ground	Matéria prima	µg	36,939624
36	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m <sup>3</sup>	Matéria prima	m <sup>3</sup>	21,728565
37	Gas, natural, in ground	Matéria prima	m <sup>3</sup>	2167,5698
38	Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	0,95855515
39	Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	1,7577824
40	Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	2,1046565
41	Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	3,2146405
42	Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	0,79671821
43	Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	1,9082416
44	Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	2,9542681
45	Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	3,3312436
46	Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Matéria prima	µg	199,61512
47	Granite, in ground	Matéria prima	µg	5,9256704
48	Gravel, in ground	Matéria prima	ton	3,2979815
49	Gypsum, in ground	Matéria prima	g	1,008862
50	Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground	Matéria prima	mg	25,736476
51	Iodine, 0.03% in water	Matéria prima	mg	33,458673
52	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	Matéria prima	ton	1,2475077
53	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	32,766826
54	Kieserite, 25% in crude ore, in ground	Matéria prima	mg	211,7235
55	Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground	Matéria prima	g	284,9224
56	Lithium, 0.15% in brine, in ground	Matéria prima	µg	397,93149
57	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	16,82269
58	Magnesium, 0.13% in water	Matéria prima	mg	87,547346
59	Manganese, 35.7% in sedimentary deposit, 14.2% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	18,987229
60	Metamorphous rock, graphite containing, in ground	Matéria prima	g	5,8664186
61	Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	40,909474
62	Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	5,8291229
63	Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	0,20659134
64	Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	21,359705

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
65	Molybdenum, 0.11% in sulfide, Mo 4.1E-2% and Cu 0.36% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	0,4169415
66	Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	3,4183412
67	Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	71,242682
68	Occupation, arable, non-irrigated	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	2,7350658
69	Occupation, construction site	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	1,8222576
70	Occupation, dump site	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	17,677386
71	Occupation, dump site, benthos	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	3,6745567
72	Occupation, forest, intensive	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	6,1553739
73	Occupation, forest, intensive, normal	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	252,71034
74	Occupation, forest, intensive, short-cycle	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	0,20455241
75	Occupation, industrial área	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	38,554674
76	Occupation, industrial area, benthos	Matéria prima	cm <sup>2</sup> a	321,11259
77	Occupation, industrial area, built up	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	43,980607
78	Occupation, industrial area, vegetation	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	59,99794
79	Occupation, mineral extraction site	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	10,12066
80	Occupation, permanent crop, fruit, intensive	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	0,29334773
81	Occupation, shrub land, sclerophyllous	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	0,57531738
82	Occupation, traffic area, rail embankment	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	2,4535583
83	Occupation, traffic area, rail network	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	2,7130702
84	Occupation, traffic area, road embankment	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	3,449587
85	Occupation, traffic area, road network	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	74,866941
86	Occupation, urban, discontinuously built	Matéria prima	cm <sup>2</sup> a	29,619237
87	Occupation, water bodies, artificial	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	28,787885
88	Occupation, water courses, artificial	Matéria prima	m <sup>2</sup> a	21,331882
89	Oil, crude, in ground	Matéria prima	ton	13,881438
90	Olivine, in ground	Matéria prima	mg	61,439296
91	Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Matéria prima	mg	12,659409
92	Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Matéria prima	mg	30,422832
93	Peat, in ground	Matéria prima	g	33,07705
94	Phosphorus, 18% in apatite, 12% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	74,585709
95	Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	144,5717
96	Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Matéria prima	µg	402,13133
97	Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Matéria prima	mg	1,441607
98	Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground	Matéria prima	µg	299,24163
99	Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground	Matéria prima	µg	937,25838
100	Rhenium, in crude ore, in ground	Matéria prima	µg	518,44678
101	Sand, unspecified, in ground	Matéria prima	g	62,075281

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
102	Shale, in ground	Matéria prima	g	0,45657879
103	Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground	Matéria prima	mg	25,191188
104	Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground	Matéria prima	mg	18,022182
105	Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	1,6596332
106	Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	3,7904109
107	Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	3,7152379
108	Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground	Matéria prima	mg	2,451516
109	Sodium chloride, in ground	Matéria prima	kg	63,483518
110	Sodium nitrate, in ground	Matéria prima	µg	10,805248
111	Sodium sulphate, various forms, in ground	Matéria prima	g	268,61002
112	Stibnite, in ground	Matéria prima	µg	61,023103
113	Sulfur, in ground	Matéria prima	g	8,4163394
114	Sylvite, 25 % in sylvinitite, in ground	Matéria prima	g	65,925044
115	Talc, in ground	Matéria prima	g	4,55796
116	Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground	Matéria prima	mg	19,262387
117	Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground	Matéria prima	mg	2,7033724
118	Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground	Matéria prima	g	2,5578015
119	TiO <sub>2</sub> , 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground	Matéria prima	kg	0,80414693
120	TiO <sub>2</sub> , 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground	Matéria prima	mg	0,88501451
121	Transformation, from arable	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	86,660863
122	Transformation, from arable, non-irrigated	Matéria prima	m <sup>2</sup>	3,3151144
123	Transformation, from arable, non-irrigated, fallow	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	7,0509539
124	Transformation, from dump site, inert material landfill	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	4,8178234
125	Transformation, from dump site, residual material landfill	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	5,5911314
126	Transformation, from dump site, sanitary landfill	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	35,711328
127	Transformation, from dump site, slag compartment	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	73,133373
128	Transformation, from forest	Matéria prima	m <sup>2</sup>	14,02177
129	Transformation, from forest, extensive	Matéria prima	m <sup>2</sup>	1,9838794
130	Transformation, from forest, intensive, clear-cutting	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	73,054759
131	Transformation, from industrial area	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	206,05739
132	Transformation, from industrial área, benthos	Matéria prima	mm <sup>2</sup>	38,865802
133	Transformation, from industrial area, built up	Matéria prima	mm <sup>2</sup>	51,545054
134	Transformation, from industrial area, vegetation	Matéria prima	mm <sup>2</sup>	87,929797
135	Transformation, from mineral extraction site	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	13,295261
136	Transformation, from pasture and meadow	Matéria prima	m <sup>2</sup>	0,23909768
137	Transformation, from pasture and meadow, intensive	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	6,1708957
138	Transformation, from sea and ocean	Matéria prima	m <sup>2</sup>	3,6761043
139	Transformation, from shrub land, sclerophyllous	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	17,696494
140	Transformation, from tropical rain forest	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	73,054759

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
141	Transformation, from unknown	Matéria prima	m <sup>2</sup>	3,7115118
142	Transformation, to arable	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	16,706753
143	Transformation, to arable, non-irrigated	Matéria prima	m <sup>2</sup>	3,3407438
144	Transformation, to arable, non-irrigated, fallow	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	14,323765
145	Transformation, to dump site	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	12,436628
146	Transformation, to dump site, benthos	Matéria prima	m <sup>2</sup>	3,6745567
147	Transformation, to dump site, inert material landfill	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	4,8178234
148	Transformation, to dump site, residual material landfill	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	5,5911459
149	Transformation, to dump site, sanitary landfill	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	35,711328
150	Transformation, to dump site, slag compartment	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	73,133373
151	Transformation, to forest	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	13,558484
152	Transformation, to forest, intensive	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	4,100531
153	Transformation, to forest, intensive, clear-cutting	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	73,054759
154	Transformation, to forest, intensive, normal	Matéria prima	m <sup>2</sup>	1,9185762
155	Transformation, to forest, intensive, short-cycle	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	73,054759
156	Transformation, to heterogeneous, agricultural	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	66,558863
157	Transformation, to industrial area	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	19,854343
158	Transformation, to industrial area, benthos	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	15,476406
159	Transformation, to industrial area, built up	Matéria prima	m <sup>2</sup>	0,89447511
160	Transformation, to industrial area, vegetation	Matéria prima	m <sup>2</sup>	1,2142447
161	Transformation, to mineral extraction site	Matéria prima	m <sup>2</sup>	13,530378
162	Transformation, to pasture and meadow	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	66,450867
163	Transformation, to permanent crop, fruit, intensive	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	41,294956
164	Transformation, to sea and ocean	Matéria prima	mm <sup>2</sup>	38,865802
165	Transformation, to shrub land, sclerophyllous	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	11,497402
166	Transformation, to traffic area, rail embankment	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	57,092413
167	Transformation, to traffic area, rail network	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	62,754517
168	Transformation, to traffic area, road embankment	Matéria prima	cm <sup>2</sup>	217,61978
169	Transformation, to traffic area, road network	Matéria prima	m <sup>2</sup>	0,77558943
170	Transformation, to unknown	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	2,960125
171	Transformation, to urban, discontinuously built	Matéria prima	mm <sup>2</sup>	58,999609
172	Transformation, to water bodies, artificial	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	21,479414
173	Transformation, to water courses, artificial	Matéria prima	dm <sup>2</sup>	20,388555
174	Ulexite, in ground	Matéria prima	g	1,6346432
175	Uranium, in ground	Matéria prima	g	89,805864
176	Vermiculite, in ground	Matéria prima	g	14,885923
177	Volume occupied, final repository for low-active radioactive waste	Matéria prima	cm <sup>3</sup>	184,9833
178	Volume occupied, final repository for radioactive waste	Matéria prima	cm <sup>3</sup>	46,511319
179	Volume occupied, reservoir	Matéria prima	m <sup>3</sup>	176,71667
180	Volume occupied, underground deposit	Matéria prima	l	0,3230255
181	Water, cooling, unspecified natural origin/m3	Matéria prima	m <sup>3</sup>	251,37748
182	Water, lake	Matéria prima	m <sup>3</sup>	15,674986

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
183	Water, river	Matéria prima	m <sup>3</sup>	90,23924
184	Water, salt, ocean	Matéria prima	m <sup>3</sup>	9,3810574
185	Water, salt, sole	Matéria prima	m <sup>3</sup>	9,3257186
186	Water, turbine use, unspecified natural origin	Matéria prima	m <sup>3</sup>	65176,521
187	Water, unspecified natural origin/m3	Matéria prima	m <sup>3</sup>	60,807963
188	Water, well, in ground	Matéria prima	m <sup>3</sup>	42,854233
189	Wood, hard, standing	Matéria prima	l	62,762628
190	Wood, primary forest, standing	Matéria prima	cm <sup>3</sup>	75,640897
191	Wood, soft, standing	Matéria prima	l	176,75244
192	Wood, unspecified, standing/m3	Matéria prima	cm <sup>3</sup>	1,4163603
193	Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground	Matéria prima	kg	3,8432389
194	Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground	Matéria prima	mg	23,317229
195	1-Butanol	Ar	µg	15,945326
196	1-Pentanol	Ar	µg	7,5207558
197	1-Pentene	Ar	µg	5,6832777
198	1-Propanol	Ar	µg	319,8124
199	1,4-Butanediol	Ar	µg	62,817927
200	2-Aminopropanol	Ar	µg	7,4816779
201	2-Butene, 2-methyl-	Ar	ng	1,2606245
202	2-Methyl-1-propanol	Ar	µg	23,824499
203	2-Nitrobenzoic acid	Ar	µg	18,069136
204	2-Propanol	Ar	mg	103,98122
205	Acenaphthene	Ar	µg	15,473139
206	Acetaldehyde	Ar	g	9,1945116
207	Acetic acid	Ar	g	19,614828
208	Acetone	Ar	g	2,4266756
209	Acetonitrile	Ar	mg	7,9425134
210	Acrolein	Ar	mg	12,854708
211	Acrylic acid	Ar	µg	269,54826
212	Actinides, radioactive, unspecified	Ar	Bq	1,6672983
213	Aerosols, radioactive, unspecified	Ar	Bq	38,645119
214	Aldehydes, unspecified	Ar	mg	184,96122
215	Aluminium	Ar	kg	0,56641107
216	Ammonia	Ar	kg	1,0362903
217	Ammonium carbonate	Ar	mg	15,387728
218	Aniline	Ar	µg	53,220597
219	Anthranilic acid	Ar	µg	14,07335
220	Antimony	Ar	mg	199,4728
221	Antimony-124	Ar	µBq	292,6038
222	Antimony-125	Ar	mBq	3,0535666
223	Argon-41	Ar	kBq	20,176015
224	Arsenic	Ar	g	2,6899273
225	Arsine	Ar	ng	3,1419407

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
226	Barium	Ar	g	1,6111846
227	Barium-140	Ar	mBq	198,62996
228	Benzal chloride	Ar	ng	0,65676361
229	Benzaldehyde	Ar	mg	6,2242616
230	Benzene	Ar	g	134,91152
231	Benzene, 1-methyl-2-nitro-	Ar	µg	15,603016
232	Benzene, 1,2-dichloro-	Ar	µg	89,468082
233	Benzene, ethyl-	Ar	g	19,085597
234	Benzene, hexachloro-	Ar	mg	12,372406
235	Benzene, pentachloro-	Ar	mg	2,2036301
236	Benzo(a)pyrene	Ar	mg	146,57958
237	Beryllium	Ar	mg	15,556591
238	Boron	Ar	g	57,766563
239	Boron trifluoride	Ar	pg	42,999722
240	Bromine	Ar	g	6,3326062
241	Butadiene	Ar	µg	10,739626
242	Butane	Ar	g	877,1645
243	Butene	Ar	g	19,9225
244	Butyrolactone	Ar	µg	1,7215155
245	Cadmium	Ar	g	1,0963433
246	Calcium	Ar	g	50,91044
247	Carbon-14	Ar	kBq	160,87713
248	Carbon dioxide, biogenic	Ar	ton	0,87476996
249	Carbon dioxide, fossil	Ar	ton	53,907496
250	Carbon dioxide, land transformation	Ar	kg	46,611712
251	Carbon disulfide	Ar	g	40,644473
252	Carbon monoxide, biogenic	Ar	kg	0,74351107
253	Carbon monoxide, fossil	Ar	kg	120,73813
254	Cerium-141	Ar	mBq	48,152396
255	Cesium-134	Ar	mBq	2,3061901
256	Cesium-137	Ar	mBq	40,881253
257	Chloramine	Ar	µg	45,429375
258	Chlorine	Ar	g	9,2673308
259	Chloroacetic acid	Ar	µg	506,66501
260	Chloroform	Ar	mg	2,3989539
261	Chlorosilane, trimethyl-	Ar	mg	3,8888878
262	Chlorosulfonic acid	Ar	µg	22,562669
263	Chromium	Ar	g	95,973644
264	Chromium-51	Ar	mBq	3,085597
265	Chromium VI	Ar	g	2,376668
266	Cobalt	Ar	g	2,0485665
267	Cobalt-58	Ar	mBq	4,2968213
268	Cobalt-60	Ar	mBq	37,958418

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
269	Copper	Ar	g	116,50989
270	Cumene	Ar	g	2,8190299
271	Cyanide	Ar	g	4,637621
272	Cyanoacetic acid	Ar	µg	18,477827
273	Diethylamine	Ar	µg	25,18707
275	Dinitrogen monoxide	Ar	kg	1,6583595
276	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	Ar	µg	18,504577
277	Dipropylamine	Ar	µg	11,831751
278	Ethane	Ar	kg	0,50298151
279	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Ar	mg	4,7962146
280	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Ar	µg	16,095641
281	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	g	102,46616
282	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Ar	µg	12,792654
283	Ethane, 1,2-dichloro-	Ar	g	3,4689046
284	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Ar	mg	65,893219
285	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Ar	mg	92,071329
286	Ethanol	Ar	g	3,3890967
287	Ethene	Ar	g	68,366916
288	Ethene, chloro-	Ar	g	1,7980666
289	Ethene, tetrachloro-	Ar	kg	0,45061465
290	Ethyl acetate	Ar	mg	497,75692
291	Ethyl cellulose	Ar	mg	0,97804038
292	Ethylamine	Ar	µg	125,93082
293	Ethylene diamine	Ar	µg	19,713344
294	Ethylene oxide	Ar	mg	28,198572
295	Ethyne	Ar	g	1,8128889
296	Fluorine	Ar	g	5,1649073
297	Fluosilicic acid	Ar	mg	106,43816
298	Formaldehyde	Ar	g	43,57104
299	Formamide	Ar	µg	13,754718
300	Formic acid	Ar	mg	53,730584
301	Furan	Ar	mg	15,084351
302	Heat, waste	Ar	GJ	813,68789
303	Helium	Ar	g	71,209019
304	Heptane	Ar	g	190,02859
305	Hexane	Ar	g	421,91846
306	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic	Ar	mg	71,838532
307	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Ar	kg	3,5564895
308	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Ar	g	14,900174
309	Hydrocarbons, aromatic	Ar	g	53,297471
310	Hydrocarbons, chlorinated	Ar	g	3,8237867
311	Hydrogen	Ar	g	43,067648
312	Hydrogen-3, Tritium	Ar	kBq	917,06363

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
313	Hydrogen chloride	Ar	kg	0,76887884
314	Hydrogen fluoride	Ar	g	99,447343
315	Hydrogen peroxide	Ar	mg	0,75058607
316	Hydrogen sulfide	Ar	g	63,381924
317	Iodine	Ar	g	3,3073403
318	Iodine-129	Ar	Bq	160,82153
319	Iodine-131	Ar	kBq	7,9718568
320	Iodine-133	Ar	Bq	0,42647177
321	Iodine-135	Ar	Bq	0,40986573
322	Iron	Ar	g	106,92368
323	Isocyanic acid	Ar	mg	82,329
324	Isoprene	Ar	µg	699,97428
325	Isopropylamine	Ar	µg	43,80297
326	Krypton-85	Ar	kBq	63,206886
327	Krypton-85m	Ar	kBq	3,8696611
328	Krypton-87	Ar	kBq	1,4020846
329	Krypton-88	Ar	kBq	1,4398835
330	Krypton-89	Ar	kBq	0,40768432
331	Lactic acid	Ar	µg	9,268598
332	Lanthanum-140	Ar	mBq	16,976122
333	Lead	Ar	g	19,079807
334	Lead-210	Ar	kBq	0,94497261
335	m-Xylene	Ar	mg	176,73779
336	Magnesium	Ar	g	21,828023
337	Manganese	Ar	g	4,5249472
338	Manganese-54	Ar	mBq	1,5801673
339	Mercury	Ar	g	1,7912051
340	Methane, biogenic	Ar	kg	1,9871433
341	Methane, bromo-, Halon 1001	Ar	pg	150,23341
342	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Ar	mg	65,289026
343	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	mg	589,35781
344	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Ar	g	0,2706523
345	Methane, dichloro-, HCC-30	Ar	mg	0,50606572
346	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	mg	121,94809
347	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Ar	ng	177,40899
348	Methane, fossil	Ar	kg	66,014991
349	Methane, monochloro-, R-40	Ar	mg	0,50248267
350	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Ar	mg	14,503282
351	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Ar	g	0,81989708
352	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Ar	ng	288,01401
353	Methane, trifluoro-, HFC-23	Ar	µg	56,448313
354	Methanesulfonic acid	Ar	µg	18,672395
355	Methanol	Ar	g	9,225561



Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
356	Methyl acetate	Ar	µg	4,1838729
357	Methyl acrylate	Ar	µg	305,82722
358	Methyl amine	Ar	µg	10,474309
359	Methyl borate	Ar	µg	3,5084365
360	Methyl ethyl ketone	Ar	mg	497,73566
361	Methyl formate	Ar	µg	4,8200666
362	Methyl lactate	Ar	µg	10,174943
363	Molybdenum	Ar	g	0,46613626
364	Monoethanolamine	Ar	mg	137,45084
365	Nickel	Ar	g	16,451772
366	Niobium-95	Ar	µBq	187,57962
367	Nitrate	Ar	g	0,87821771
368	Nitrobenzene	Ar	µg	82,9649
369	Nitrogen oxides	Ar	kg	436,70719
370	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Ar	kg	36,111418
371	Noble gases, radioactive, unspecified	Ar	kBq	1545429,9
372	Ozone	Ar	g	57,672521
373	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Ar	g	2,019598
374	Particulates, < 2.5 um	Ar	kg	17,038184
375	Particulates, > 10 um	Ar	kg	13,606883
376	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	Ar	kg	8,1076087
377	Pentane	Ar	kg	1,1504116
378	Phenol	Ar	g	1,7611553
379	Phenol, 2,4-dichloro-	Ar	µg	31,215722
380	Phenol, pentachloro-	Ar	mg	45,475772
381	Phosphine	Ar	ng	232,99371
382	Phosphorus	Ar	g	1,8501299
383	Platinum	Ar	µg	3,1526163
384	Plutonium-238	Ar	µBq	21,938659
385	Plutonium-alpha	Ar	µBq	50,291587
386	Polonium-210	Ar	kBq	1,6717097
387	Polychlorinated biphenyls	Ar	mg	19,832772
388	Potassium	Ar	g	55,953997
389	Potassium-40	Ar	Bq	217,1064
390	Propanal	Ar	mg	6,4064979
391	Propane	Ar	g	913,91785
392	Propene	Ar	g	44,357981
393	Propionic acid	Ar	g	0,75427222
394	Propylamine	Ar	µg	4,3558831
395	Propylene oxide	Ar	mg	93,464812
396	Protactinium-234	Ar	Bq	22,053073
397	Radioactive species, other beta emitters	Ar	kBq	0,94275961

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
398	Radium-226	Ar	kBq	0,95103847
399	Radium-228	Ar	Bq	212,03862
400	Radon-220	Ar	kBq	8,6005357
401	Radon-222	Ar	kBq	2914021,8
402	Ruthenium-103	Ar	µBq	41,212472
403	Scandium	Ar	g	0,27127566
404	Selenium	Ar	g	0,99643968
405	Silicon	Ar	g	120,77528
406	Silicon tetrafluoride	Ar	mg	1,0915423
407	Silver	Ar	mg	11,924065
408	Silver-110	Ar	mBq	0,40844715
409	Sodium	Ar	g	28,23316
410	Sodium chlorate	Ar	mg	12,575644
411	Sodium dichromate	Ar	mg	85,936503
412	Sodium formate	Ar	mg	0,79641514
413	Sodium hydroxide	Ar	mg	2,7885139
414	Strontium	Ar	g	1,5451598
415	Styrene	Ar	g	0,2162562
416	Sulfate	Ar	g	131,8141
417	Sulfur dioxide	Ar	kg	62,18156
418	Sulfur hexafluoride	Ar	g	0,84793347
419	Sulfur trioxide	Ar	µg	524,31232
420	Sulfuric acid	Ar	mg	0,59193202
421	t-Butyl methyl ether	Ar	mg	4,8255618
422	t-Butylamine	Ar	µg	56,24737
423	Terpenes	Ar	mg	6,6187611
424	Thallium	Ar	mg	6,1692198
425	Thorium	Ar	mg	5,8965481
426	Thorium-228	Ar	Bq	50,294412
427	Thorium-230	Ar	Bq	83,488111
428	Thorium-232	Ar	Bq	67,857027
429	Thorium-234	Ar	Bq	22,057299
430	Tin	Ar	g	0,92878319
431	Titanium	Ar	g	5,99211
432	Toluene	Ar	g	134,13877
433	Toluene, 2-chloro-	Ar	µg	42,14023
434	Trimethylamine	Ar	µg	8,7939088
435	Tungsten	Ar	mg	30,148606
436	Uranium	Ar	mg	6,3846792
437	Uranium-234	Ar	kBq	0,2583714
438	Uranium-235	Ar	Bq	12,439623
439	Uranium-238	Ar	kBq	0,42801269
440	Uranium alpha	Ar	kBq	1,1983764

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
441	Vanadium	Ar	g	20,845893
442	Water	Ar	ton	6,7209116
443	Xenon-131m	Ar	kBq	6,5639546
444	Xenon-133	Ar	kBq	213,60113
445	Xenon-133m	Ar	kBq	0,79540208
446	Xenon-135	Ar	kBq	87,212808
447	Xenon-135m	Ar	kBq	52,021701
448	Xenon-137	Ar	kBq	1,1172265
449	Xenon-138	Ar	kBq	9,4659617
450	Xylene	Ar	g	114,91997
451	Zinc	Ar	g	88,146495
452	Zinc-65	Ar	mBq	7,8901597
453	Zirconium	Ar	mg	21,957864
454	Zirconium-95	Ar	mBq	7,7123316
455	1-Butanol	Água	mg	1,8457213
456	1-Pentanol	Água	µg	18,05005
457	1-Pentene	Água	µg	13,640134
458	1-Propanol	Água	µg	46,558435
459	1,4-Butanediol	Água	µg	25,127353
460	2-Aminopropanol	Água	µg	17,967207
461	2-Methyl-1-propanol	Água	µg	57,17775
462	2-Methyl-2-butene	Água	ng	3,025544
463	2-Propanol	Água	µg	242,52404
464	4-Methyl-2-pentanone	Água	µg	3,8977304
465	Acenaphthene	Água	mg	4,8712969
466	Acenaphthylene	Água	µg	304,65185
467	Acetaldehyde	Água	mg	4,6328571
468	Acetic acid	Água	g	0,54293762
469	Acetone	Água	µg	130,46508
470	Acetonitrile	Água	µg	15,472634
471	Acetyl chloride	Água	µg	14,179542
472	Acidity, unspecified	Água	mg	226,86025
473	Acrylate, ion	Água	mg	0,63795377
474	Actinides, radioactive, unspecified	Água	kBq	0,26121878
475	Aluminium	Água	kg	21,509523
476	Ammonium, ion	Água	kg	0,93902963
477	Aniline	Água	µg	127,80196
478	Antimony	Água	g	21,254658
479	Antimony-122	Água	mBq	117,96684
480	Antimony-124	Água	Bq	43,880549
481	Antimony-125	Água	Bq	40,120021
482	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	Água	mg	638,38297
483	Arsenic, ion	Água	g	45,145731

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
484	Barite	Água	kg	2,2895315
485	Barium	Água	kg	1,0537472
486	Barium-140	Água	Bq	0,51675742
487	Benzene	Água	g	60,306509
488	Benzene, 1,2-dichloro-	Água	mg	1,2213191
489	Benzene, chloro-	Água	mg	22,026099
490	Benzene, ethyl-	Água	g	18,797866
491	Beryllium	Água	g	9,9774305
492	BOD5, Biological Oxygen Demand	Água	kg	141,7377
493	Borate	Água	mg	2,3858294
494	Boron	Água	kg	0,4462251
495	Bromate	Água	g	5,8933403
496	Bromide	Água	mg	150,1295
497	Bromine	Água	g	594,96753
498	Butene	Água	g	2,1980687
499	Butyl acetate	Água	mg	2,3501639
500	Butyrolactone	Água	µg	4,1317124
501	Cadmium, ion	Água	g	12,690685
502	Calcium, ion	Água	kg	185,07976
503	Carbon disulfide	Água	µg	92,079234
504	Carbonate	Água	g	5,1695011
505	Carboxylic acids, unspecified	Água	kg	3,2655715
506	Cerium-141	Água	mBq	206,60806
507	Cerium-144	Água	mBq	62,898251
508	Cesium	Água	mg	783,1667
509	Cesium-134	Água	Bq	35,739609
510	Cesium-136	Água	mBq	36,668898
511	Cesium-137	Água	kBq	30,068617
512	Chloramine	Água	µg	405,4898
513	Chlorate	Água	g	45,754743
514	Chloride	Água	kg	460,43962
515	Chlorinated solvents, unspecified	Água	mg	82,256309
516	Chlorine	Água	g	7,6723469
517	Chloroacetic acid	Água	mg	19,434539
518	Chloroacetyl chloride	Água	µg	23,961946
519	Chloroform	Água	µg	57,156589
520	Chlorosulfonic acid	Água	µg	56,264875
521	Chromium-51	Água	Bq	56,661161
522	Chromium VI	Água	kg	0,26959769
523	Chromium, ion	Água	g	3,6705746
524	Cobalt	Água	kg	0,25046371
525	Cobalt-57	Água	Bq	1,1640091
526	Cobalt-58	Água	kBq	0,38465279

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
527	Cobalt-60	Água	kBq	0,30680356
528	COD, Chemical Oxygen Demand	Água	kg	162,62723
529	Copper, ion	Água	kg	1,1180556
530	Cumene	Água	g	6,7740762
531	Cyanide	Água	g	5,536418
532	Dichromate	Água	g	0,31844536
533	Diethylamine	Água	µg	60,449431
534	Dimethylamine	Água	µg	321,97333
535	Dipropylamine	Água	µg	28,396903
536	DOC, Dissolved Organic Carbon	Água	kg	53,838641
537	Ethane, 1,2-dichloro-	Água	mg	24,689998
538	Ethanol	Água	mg	9,022901
539	Ethene	Água	g	2,5543258
540	Ethene, chloro-	Água	mg	3,2038065
541	Ethyl acetate	Água	µg	47,876865
542	Ethylamine	Água	µg	302,23818
543	Ethylene diamine	Água	µg	47,422634
544	Ethylene oxide	Água	mg	0,54903988
545	Fluoride	Água	kg	1,5400023
546	Fluosilicic acid	Água	mg	191,58868
547	Formaldehyde	Água	g	0,3656567
548	Formamide	Água	µg	33,011722
549	Formate	Água	mg	17,336706
550	Formic acid	Água	µg	9,5829286
551	Glutaraldehyde	Água	mg	282,65821
552	Heat, waste	Água	GJ	19,705311
553	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Água	g	101,81167
554	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	Água	g	9,3980565
555	Hydrocarbons, aromatic	Água	g	417,35605
556	Hydrocarbons, unspecified	Água	g	48,984295
557	Hydrogen-3, Tritium	Água	kBq	68852,129
558	Hydrogen peroxide	Água	mg	61,19574
559	Hydrogen sulfide	Água	g	17,800403
560	Hydroxide	Água	mg	24,643733
561	Hypochlorite	Água	g	3,6486627
562	Iodide	Água	g	78,723765
563	Iodine-131	Água	Bq	8,1262351
564	Iodine-133	Água	mBq	324,40882
565	Iron-59	Água	mBq	89,186921
566	Iron, ion	Água	kg	29,944258
567	Isopropylamine	Água	µg	105,12923
568	Lactic acid	Água	µg	22,244559
569	Lanthanum-140	Água	Bq	0,55038935

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
570	Lead	Água	kg	0,23241528
571	Lead-210	Água	kBq	0,80673194
572	Lithium, ion	Água	g	0,99997262
573	m-Xylene	Água	µg	55,436777
574	Magnesium	Água	kg	74,839548
575	Manganese	Água	kg	5,7114301
576	Manganese-54	Água	Bq	23,59499
577	Mercury	Água	g	2,3288432
578	Methane, dichloro-, HCC-30	Água	g	8,1332487
579	Methanol	Água	g	0,97797402
580	Methyl acetate	Água	µg	10,041327
581	Methyl acrylate	Água	mg	5,9744244
582	Methyl amine	Água	µg	25,138534
583	Methyl formate	Água	µg	1,9243751
584	Molybdenum	Água	g	40,280552
585	Molybdenum-99	Água	mBq	189,76243
586	Nickel, ion	Água	kg	1,0873915
587	Niobium-95	Água	Bq	3,3997482
588	Nitrate	Água	kg	10,04712
589	Nitrite	Água	g	49,393692
590	Nitrobenzene	Água	µg	332,48106
591	Nitrogen	Água	g	107,51098
592	Nitrogen, organic bound	Água	g	113,25855
593	o-Xylene	Água	µg	20,514371
594	Oils, unspecified	Água	kg	41,421561
595	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Água	g	5,2549666
596	Phenol	Água	g	72,913314
597	Phosphate	Água	kg	22,890329
598	Phosphorus	Água	g	5,796237
599	Polonium-210	Água	kBq	1,0358616
600	Potassium-40	Água	kBq	0,51769237
601	Potassium, ion	Água	kg	44,938121
602	Propanal	Água	µg	26,129416
603	Propene	Água	g	11,181905
604	Propionic acid	Água	µg	114,31817
605	Propylamine	Água	µg	10,454247
606	Propylene oxide	Água	mg	224,88757
607	Protactinium-234	Água	kBq	0,40652364
608	Radioactive species, alpha emitters	Água	Bq	1,2696478
609	Radioactive species, Nuclides, unspecified	Água	kBq	156,6527
610	Radium-224	Água	kBq	39,158335
611	Radium-226	Água	kBq	316,23196
612	Radium-228	Água	kBq	78,318402

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
613	Rubidium	Água	g	7,831667
614	Ruthenium-103	Água	mBq	40,041582
615	Scandium	Água	g	16,454775
616	Selenium	Água	g	24,691713
617	Silicon	Água	kg	199,71719
618	Silver-110	Água	kBq	0,28794547
619	Silver, ion	Água	g	1,7324385
620	Sodium-24	Água	Bq	1,4357932
621	Sodium formate	Água	mg	1,9133387
622	Sodium, ion	Água	kg	306,73793
623	Solids, inorganic	Água	kg	8,2515931
624	Solved solids	Água	kg	5,4131598
625	Strontium	Água	kg	3,6034533
626	Strontium-89	Água	Bq	5,3624234
627	Strontium-90	Água	kBq	220,34137
628	Sulfate	Água	ton	0,57088534
629	Sulfide	Água	g	1,2416996
630	Sulfite	Água	g	9,9085752
631	Sulfur	Água	g	110,30357
632	Suspended solids, unspecified	Água	kg	9,5660915
633	t-Butyl methyl ether	Água	g	1,2668326
634	t-Butylamine	Água	µg	134,99547
635	Technetium-99m	Água	Bq	4,3847707
636	Tellurium-123m	Água	Bq	4,6422921
637	Tellurium-132	Água	mBq	10,98762
638	Thallium	Água	g	1,2460051
639	Thorium-228	Água	kBq	156,63869
640	Thorium-230	Água	kBq	55,466183
641	Thorium-232	Água	Bq	86,692385
642	Thorium-234	Água	kBq	0,40656881
643	Tin, ion	Água	g	50,057902
644	Titanium, ion	Água	kg	0,39150816
645	TOC, Total Organic Carbon	Água	kg	53,965094
646	Toluene	Água	g	98,167914
647	Toluene, 2-chloro-	Água	µg	65,160086
648	Tributyltin compounds	Água	mg	824,67209
649	Triethylene glycol	Água	g	0,71186906
650	Trimethylamine	Água	µg	21,105381
651	Tungsten	Água	g	12,227712
652	Uranium-234	Água	kBq	0,48782837
653	Uranium-235	Água	kBq	0,8049168
654	Uranium-238	Água	kBq	1,6326799
655	Uranium alpha	Água	kBq	23,420797

Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

Nº	Substância	Categoria	Unidade	Total
656	Urea	Água	µg	41,18105
657	Vanadium, ion	Água	g	96,933703
658	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	Água	g	275,12377
659	Xylene	Água	g	78,831109
660	Zinc-65	Água	Bq	19,466107
661	Zinc, ion	Água	kg	1,7615573
662	Zirconium-95	Água	mBq	225,42297
663	2,4-D	Solo	mg	42,284866
664	Aclonifen	Solo	mg	1,4583592
665	Aldrin	Solo	mg	610,6778
666	Aluminium	Solo	g	355,94049
667	Antimony	Solo	µg	5,9550711
668	Arsenic	Solo	mg	177,32884
669	Atrazine	Solo	mg	160,2057
670	Barium	Solo	g	160,64041
671	Benomyl	Solo	µg	16,984981
672	Bentazone	Solo	mg	0,74427912
673	Boron	Solo	g	5,3719462
674	Cadmium	Solo	mg	93,172425
675	Calcium	Solo	kg	1,4443167
676	Carbetamide	Solo	µg	276,41055
677	Carbofuran	Solo	mg	9,311813
678	Carbon	Solo	kg	1,3272926
679	Chloride	Solo	kg	9,9341207
680	Chlorothalonil	Solo	mg	12,806172
681	Chromium	Solo	g	2,1893081
682	Chromium VI	Solo	g	12,195673
683	Cobalt	Solo	mg	19,962957
684	Copper	Solo	g	14,045589
685	Cypermethrin	Solo	mg	1,3212233
686	Fenpiclonil	Solo	mg	0,55432891
687	Fluoride	Solo	g	24,307268
688	Glyphosate	Solo	mg	263,62492
689	Heat, waste	Solo	GJ	2,9583141
690	Iron	Solo	kg	1,2786587
691	Lead	Solo	g	3,7511388
692	Linuron	Solo	mg	144,74136
693	Magnesium	Solo	g	274,86303
694	Mancozeb	Solo	mg	16,632579
695	Manganese	Solo	g	17,264854
696	Mercury	Solo	mg	2,8936197
697	Metaldehyde	Solo	µg	55,32518
698	Metolachlor	Solo	mg	81,321402



Tabela 9 - Inventário do Ciclo de vida telha de aço galvanizada (continuação)

<b>Nº</b>	<b>Substância</b>	<b>Categoria</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
699	Metribuzin	Solo	mg	0,58564378
700	Molybdenum	Solo	mg	10,476168
701	Napropamide	Solo	µg	97,882808
702	Nickel	Solo	g	1,1906753
703	Oils, biogenic	Solo	g	4,4788132
704	Oils, unspecified	Solo	kg	41,957568
705	Orbencarb	Solo	mg	3,1625346
706	Phosphorus	Solo	g	17,950346
707	Pirimicarb	Solo	µg	70,403946
708	Potassium	Solo	g	122,93691
709	Silicon	Solo	g	108,91716
710	Sodium	Solo	kg	5,8539496
711	Strontium	Solo	g	3,2514979
712	Sulfur	Solo	g	226,39118
713	Sulfuric acid	Solo	ng	349,49054
714	Tebutam	Solo	µg	231,93682
715	Teflubenzuron	Solo	µg	39,042918
716	Thiram	Solo	µg	30,133377
717	Tin	Solo	mg	77,973753
718	Titanium	Solo	g	0,26577369
719	Vanadium	Solo	mg	7,6072848
720	Zinc	Solo	g	252,00782