

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
UNIDADE ACADÊMICA HUMANIDADES, CIÊNCIA E EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ANA PAULA MENEGHEL FELICIANO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PERFIS DE ALUMÍNIO

**CRICIÚMA
2019**

ANA PAULA MENEGHEL FELICIANO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PERFIS DE ALUMÍNIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Viviane Kraieski de Assunção

Criciúma, 26 de março de 2019.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

F314a Feliciano, Ana Paula Meneghel.

Avaliação do ciclo de vida de perfis de alumínio / Ana Paula Meneghel Feliciano. - 2019.
66 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2019.

Orientação: Adriano Michael Bernardin.

Coorientação: Viviane Kraieski de Assunção.

1. Impacto ambiental - Avaliação. 2. Avaliação do Ciclo de Vida. 3. Alumínio - Aspectos ambientais. I. Título.

CDD 23. ed. 333.714

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC




PARECER

Os membros da Comissão Examinadora homologada pelo Colegiado de Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pela candidata ANA PAULA MENEGHEL FELICIANO, sob o título: “AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PERFIS DE ALUMÍNIO”, para obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, os membros são de parecer pela “APROVAÇÃO” da Dissertação.

Criciúma/SC, 26 de março de 2018.


Prof. Dr. Marcelo Dal Bó
Primeiro Examinador


Prof. Dr. Nilzo Ivo Ludwig
Segundo Examinador


Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin
Presidente da Comissão e Orientador

Ao meu *nonno* Antônio Meneghel (*in memoriam*).

Agradecimentos

A Deus, pela vida e saúde plena durante o período de estudo.

Aos meus pais, meus avós, meus mestres, por toda sabedoria transmitida.

Ao Guilherme, meu noivo, que esteve sempre ao meu lado, apoiando nas dificuldades e comemorando minhas vitórias.

As minhas amigas Diane e Pamela, pelo incentivo em todas as minhas conquistas e pelas palavras de consolo nos momentos em que pensei em desistir.

As minhas colegas Érica e Helena, pela contribuição no estudo e pelo apoio e incentivo nos dias corridos e cansativos que enfrentamos.

A todos os amigos e professores por contribuírem para esta dissertação, principalmente aos professores Leopoldo e Nilzo, banca examinadora de qualificação, por realizarem críticas construtivas que contribuíram para a melhoria da pesquisa.

Ao meu orientador professor Adriano, pelo conhecimento transmitido e por toda a sua paciência em momentos difíceis, tanto da vida profissional como pessoal.

À coorientadora, professora Viviane, por compartilhar seus conhecimentos e ampliar o campo de visão da pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém
ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.
(Arthur Schopenhauer)

Resumo

A Avaliação do Ciclo de Vida é definida como a compilação e avaliação das entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. As normas brasileiras ABNT NBR ISO 14040/2014 "Princípios e estrutura" e ABNT NBR ISO 14044/2014 "Requisitos e diretrizes" estabelecem a base para uma ACV. Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o ciclo de vida de perfis de alumínio, em um limite delimitado entre as etapas de recebimento da matéria-prima e o transporte de uma estrutura de alumínio, em uma indústria localizada no sul de Santa Catarina. O estudo começou com a definição do objetivo e escopo, seguido pela determinação do limite e da unidade funcional, a avaliação dos impactos e a interpretação dos resultados. Na etapa de interpretação, foi possível elaborar a análise do ciclo de vida a partir dos dados coletados no inventário do ciclo de vida, resultando em um fluxograma que permite a análise do fluxo de materiais dentro dos limites definidos. Devido às dificuldades encontradas na coleta de dados, os dados bibliográficos foram utilizados para determinar os resultados quantitativos de impactos, recursos e fluxos ambientais, o que permitiu uma ampla avaliação dos resultados esperados para o ciclo de vida do material estudado.

Palavras-chave: Impactos Ambientais, Processo, Extrusão.

Abstract

The Life Cycle Assessment is defined as the compilation and evaluation of the inputs, outputs, and potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle. The Brazilian standards ABNT NBR ISO 14040/2014 'Principles and structure' and ABNT NBR ISO 14044/2014 'Requirements and guidelines' establish the basis for an LCA. In this context, this study aims to evaluate the life cycle of aluminum profiles, at a boundary delimited between the stages of receiving the raw material and shipping an aluminum frame, in an industry located in the south of Santa Catarina, Brazil. The study began with the definition of the goal and scope, followed by the determination of the boundary and functional unit, the evaluation of the impacts and interpretation of the results. In the interpretation stage, it was possible to elaborate the life cycle analysis from the data collected in the life cycle inventory, resulting in a flowchart that allows the analysis of the materials flow within the defined boundaries. Due to difficulties found in the data collection, bibliographic data was used to determine the quantitative results of environmental impacts, resources and flows, which allowed a wide evaluation of the expected results for the life cycle of the studied material.

Keywords: Life cycle assessment; aluminum profiles; material flow.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Normas ISO 14000.....	33
Tabela 2 – Matriz de aspectos e impactos.	44
Tabela 3 – Legenda da matriz de aspectos e impactos.	44
Tabela 4 - Legenda Quadros 3 e 4.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Resumo de inputs (entrada) e outputs (saída).	52
Quadro 2 – Dados Técnicos do Alumínio - EPD.	53
Quadro 3 – Impactos Ambientais Quantitativos: Metodologia CML 2001.	56
Quadro 4 - Impactos Ambientais Quantitativos Metodologia: TRACI 2.1	56
Quadro 5 - Uso de Recursos.....	57
Quadro 6 - Fluxo de Saída e Categoria de Resíduos.....	57
Quadro 7 - AICV.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AALO	Avaliação Ambiental de Locais e Organizações
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
ECO 92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
EMAS	<i>Eco Management and Audit System</i>
EU	União Europeia
EPD	Environmental Product Declaration
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LAO	Licença Ambiental de Operação
LCA	<i>Life cycle assessment</i>
LCI	<i>Life Cycle Initiative</i>
MP	Matéria-prima
NBR	Norma Brasileira
ONG	Organização Não Governamental
PDCA	Planejar, Executar, Checar e Atuar
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
UNEP	<i>United Nation Environmental Program</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3 REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1 INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO	25
3.1.1 Alumínio e suas características	25
3.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	28
3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	29
3.3.1 Histórico da Avaliação do Ciclo de Vida	30
3.3.2 ACV e as Normas ISO	31
3.3.3 ACV como Ferramenta de Gestão	35
3.3.4 Aplicação da ACV nas empresas	36
3.3.5 ACV na Indústria do Alumínio	37
3.3.6 Etapas da ACV	37
3.3.6.1 Definição de objetivo e escopo.....	38
3.3.6.1.1 Fronteira de estudo	39
3.3.6.1.2 Unidade funcional.....	39
3.3.6.2 Análise de inventário	39
3.3.6.3 Avaliação de impacto	40
3.3.6.4 Interpretação	40
3.3.6.4.1 Apontamento de melhorias.....	40
3.3.7 Métodos para ACV de um produto	40
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	43
4.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO	43
4.2 REALIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVENTÁRIO	43
4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	44
4.4 INTERPRETAÇÃO	44
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
5.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO	46
5.1.1 Processamento de Perfis de Alumínio	47
5.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO	50

5.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE IMPACTO AMBIENTAL	58
5.4 INTERPRETAÇÃO.....	61
6 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Temas contemporâneos influenciam a economia e a sociedade fazendo com que nas organizações as estratégias de desenvolvimento sejam repensadas. Neste contexto, as prioridades na gestão das indústrias também vêm sendo afetadas, destacando-se as questões relacionadas à gestão ambiental.

A partir de 1960 o Brasil passou por um acelerado ritmo de industrialização, o que provocou a intensificação dos impactos ao meio ambiente (DIAS, 2011).

Desde então, as últimas décadas assistiram a um crescimento mundial da preocupação com os impactos ambientais. Temas como esgotamento dos recursos naturais, poluição do solo, contaminação de águas subterrâneas e graves acidentes ambientais ganharam cada vez mais destaque no cenário atual. As exigências por um ambiente mais limpo foram impostas por várias partes, como: comunidades locais, organizações não governamentais (ONG's) e órgãos fiscalizadores. (JÚNIOR; DEMAJOROVIC, 2013).

Nesse cenário vem crescendo a conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação quanto no consumo, aumentando o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com os impactos gerados. Uma das técnicas em desenvolvimento com esse objetivo é a avaliação do ciclo de vida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), no Brasil, é estabelecida pela ABNT NBR ISO 14040/2014, Princípios e Estrutura, e 14044/2014, Requisitos e Orientações. Estas normas permitem a avaliação de produtos e serviços, em uma perspectiva de berço (extração de recursos naturais) ao túmulo (disposição final). No entanto, para possibilitar a aplicação da ACV em função do prazo de desenvolvimento e recursos disponibilizados, as normas permitem que seja delimitada uma fronteira de estudo.

A avaliação do ciclo de vida é uma abordagem eficaz para analisar os impactos ambientais associados a um produto, processo ou atividade,

identificando, quantificando e avaliando o impacto da energia e dos materiais utilizados, bem como os resíduos liberados ao ambiente (TAN e KHOO, 2005).

O impacto ambiental da produção de alumínio nas comunidades europeia e norte americana tem sido estudado extensivamente utilizando o método ACV; porém, no Brasil, essa metodologia ainda é pouco aplicada.

Segundo Liu e Muller (2012) o alumínio é o segundo metal mais usado após o aço para as sociedades modernas, e as últimas décadas testemunharam um aumento significativo do uso de alumínio no transporte, construção, embalagem e engenharia elétrica devido às suas propriedades versáteis. Tratando-se do Brasil, país que possui a terceira maior jazida de bauxita do planeta, é o décimo primeiro produtor mundial de alumínio primário, e o segundo maior reciclador de alumínio de consumo doméstico, a aplicação da ACV em estudos de caso nacionais torna-se de grande importância para auxiliar na formação de um banco de dados desse processo produtivo que possibilitem a análise detalhada dos seus impactos ambientais e também a comparação do cenário brasileiro com os demais já estudados.

2 OBJETIVOS

Esse estudo tem por objetivo geral avaliar o ciclo de vida de perfis de alumínio, numa fronteira delimitada entre as etapas do recebimento de matéria-prima e expedição em uma indústria de esquadrias de alumínio situada no sul de Santa Catarina.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos foram estabelecidos: i) delimitar a fronteira de avaliação do ciclo de vida do perfil; ii) realizar o inventário de entradas e saídas na produção; iii) avaliar os impactos ambientais potenciais no processo de produção inventariado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO

De acordo com a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), o alumínio é produzido comercialmente há cerca de 150 anos e sua indústria está presente em seis regiões geográficas, África, América do Norte, América Latina, Ásia, Europa e Oceania.

O Brasil possui a terceira maior jazida de bauxita do planeta, é o décimo primeiro produtor mundial de alumínio primário, o terceiro maior produtor de alumina e ocupa a quinta colocação na exportação de alumínio primário (ABAL, 2018).

No mercado interno, a maior parte do alumínio e seus produtos são aplicados nos segmentos de embalagens e transportes, seguidos pelos segmentos de eletricidade, construção civil, bens de consumo, máquinas e equipamentos entre outros. A produção de semimanufaturados de alumínio no Brasil está concentrada na região sudeste do país. Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro abrigam empresas produtoras de chapas, folhas, extrudados e cabos. A indústria também está presente nos estados do Pará, Maranhão, Ceará, Pernambuco, Bahia, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (ABAL, 2018).

3.1.1 Alumínio e suas características

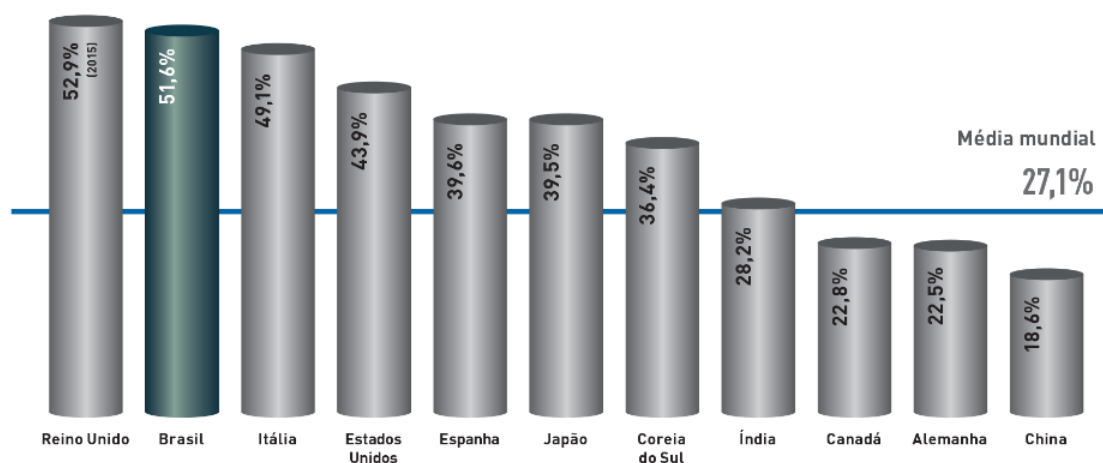
O alumínio apresenta como características a leveza, condutividade elétrica e baixo ponto de fusão, que lhe conferem uma multiplicidade de aplicações, especialmente nas soluções de engenharia aeronáutica (TEIXEIRA et al., 2011).

A facilidade pela qual o alumínio pode ser fabricado em várias formas é uma de suas mais importantes vantagens. Atualmente, depois do ferro, é o material mais utilizado na fabricação de peças em geral. Pode ser fundido por qualquer método conhecido; pode ser laminado em qualquer espessura até folhas mais finas que as de papel; chapas de alumínio podem ser estampadas, cunhadas, repuxadas e corrugadas. O alumínio pode ser

extrudado numa infinidade de perfis de seção transversal constante e de grande comprimento. O metal pode ser também, forjado ou impactado. O alumínio é amplamente utilizado no mundo moderno devido à sua excelente performance e propriedades superiores na maioria das aplicações, pois suas técnicas de fabricação permitem a manufatura do produto acabado a preços competitivos (ABAL, 2018).

A alta capacidade de ser reciclado infinitamente, sem perder as características, é um dos principais atributos de sustentabilidade do alumínio. O Brasil é um dos países com maior índice anual de reciclagem de materiais de alumínio – cerca de 51%, segundo dados da Associação Brasileira do Alumínio (Abal,2018), enquanto a média mundial é de 27%. Aproximadamente 75% de todo o alumínio já produzido no mundo ainda está em uso e poderá ser reinserido no ciclo produtivo após a reciclagem. Como no caso das embalagens o ciclo de vida é mais curto, grande parte do alumínio reciclado no país é originado das latas de bebidas. Mas outros materiais, como painéis, peças de automóveis e perfis de janelas também têm sido reaproveitados (CBA, 2018).

Figura 1 – Relação entre sucata gerada e consumo doméstico – 2016.



Fonte: The Aluminum Association, cálculo ABAL.

Há mais de cento e vinte e cinco anos, Charles Martin Hall descobriu um método para criar alumínio separando-o do minério de bauxita por eletrólise. Quase 75% do alumínio produzido desde então ainda está em uso hoje, um testemunho da durabilidade e reciclagem do material. O alumínio

transformou a sociedade moderna, ajudando as pessoas e a economia a operar de forma mais eficiente, possibilitando avanços nos transportes aéreos, rodoviários, ferroviários e marítimos; alimentos, bebidas e embalagens farmacêuticas; construção; eletrônicos; e transmissão de eletricidade (A.A., 2011).

De acordo com a associação norte americana do alumínio (A.A., 2011), nenhum outro metal pode combinar a vantagem de sustentabilidade do alumínio ou sua combinação de propriedades físicas úteis, que incluem:

- Resistência: o alumínio puro é macio o suficiente para esculpir, mas misturado com pequenas quantidades de outros elementos para formar ligas, pode fornecer a força de aço em apenas um terço ou metade do peso.

- Durabilidade: o alumínio é resistente o suficiente para suportar os rigores do espaço de voo, as altas temperaturas exigidas de painéis e condições climáticas desafiadoras, como as encontradas no Ártico ou à beira-mar (salgado / úmido).

- Flexibilidade: suas propriedades físicas permitem que o alumínio e suas ligas sejam facilmente moldados por qualquer um dos principais processos industriais de usinagem forjamento, fundição, laminação ou extrusão.

- Impermeabilidade: o alumínio constitui uma barreira superior para embalagens de alimentos e bebidas, impedindo que ar, água, luz e microrganismos alcancem o conteúdo.

- Leveza: o alumínio pode ser usado para veículos com peso reduzido, reduzindo o uso de combustível e as emissões; aliviar as estruturas tipo “carga morta”; e em aplicações de embalagem reduz o impacto ambiental associado ao envio.

- Resistência à Corrosão: o revestimento de óxido de alumínio natural do metal fornece proteção altamente eficaz contra a degradação da água, sal, ar, e variação de temperatura.

- Reciclabilidade: uma vez fabricado, o alumínio pode ser reciclado repetidamente, usando apenas 5 por cento da energia, e gerando apenas 5 por cento dos impactos associados à produção primária.

3.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento econômico é objetivo de grande parte das atividades humanas, e é um processo irreversível que está vinculado a uma série de mudanças: sociais, tecnológicas, políticas e ambientais. Atribuindo maior enfoque às mudanças ambientais, considerar-se-á a interação do desenvolvimento com o meio ambiente, observando o papel que este desempenha de fornecedor de recursos e receptor de resíduos.

Como qualquer ser vivo, o ser humano retira recursos do meio ambiente para prover sua subsistência e devolve as sobras. No ambiente natural, as sobras dos organismos que, ao se decomporem, devolvem elementos químicos que serão absorvidos por outros seres vivos, de modo que nada se perde. O mesmo não acontece com as sobras das atividades humanas. (BARBIERI, 2007, p. 20).

Deve-se observar que o desenvolvimento não pode ser alcançado a qualquer custo. As ações tomadas no presente precisam levar em conta suas consequências imediatas e futuras. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), “Sustentabilidade é o atendimento das necessidades atuais, sem comprometer a possibilidade de satisfação das gerações futuras.” (ONU, Brundtland Commission, na publicação “Our Common Future”, Oxford University Press) apud Bier, Bousfield e Abreu (2006, p. 27).

Sachs (2002) apresenta as cinco dimensões do desenvolvimento sustentável: cultural, social, espacial, econômica e ambiental. A sustentabilidade cultural está associada à transmissão de valores fundamentais, como os sentidos de solidariedade, justiça e liberdade. Já os princípios de sustentabilidade social relacionam-se basicamente à busca constante pela melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, à garantia de segurança e justiça e à promoção da igualdade de oportunidades. A sustentabilidade econômica tem seus princípios baseados na organização da estrutura econômica, na lucratividade a longo prazo e na preservação do patrimônio, seja este tangível ou não. Na dimensão espacial da sustentabilidade, está o conceito de organização do espaço, rural e urbano, para reduzir a ocupação desordenada, a concentração de atividades e a centralização do poder.

Neste estudo, é dado maior enfoque à sustentabilidade ambiental, que está associada à eficiência na utilização dos recursos naturais, limitação do consumo de combustíveis fósseis e recursos escassos, controle da geração de resíduos e de poluição, reuso, remanufatura e reciclagem de produtos. Por sustentabilidade ambiental entende-se como “o uso das funções vitais do ambiente biofísico de maneira a permanecer disponível indefinidamente” (EMBRAPA, 2008).

3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é conhecida internacionalmente por LCA (Life cycle assessment), consistindo num instrumento de avaliação do impacto ambiental associado a um produto ou processo que compreende etapas que vão desde a retirada das matérias-primas elementares da natureza, que entram no sistema produtivo (berço), à disposição do produto final após o uso (túmulo) (CHEHEBE, 1998).

A ACV é considerada um método sistemático para avaliar os encargos ambientais associados a um produto, processo ou atividade, identificando e quantificando a energia e os materiais consumidos e os resíduos liberados para o meio ambiente. Ele está preocupado com o impacto ambiental ou cargas de uma série de operações industriais ou de um sistema (TAN e KHOO, 2005).

Segundo a ABNT (2014, p. 2) a avaliação do ciclo de vida (ACV) pode ser definida como “Compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”.

Chehebe (1998) esclarece que a ACV é uma ferramenta técnica, de caráter gerencial que, além de outras aplicações, propõe-se a contribuir para a forma mais consistente de decisão, avaliando os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto. A metodologia da ACV é a única que permite a identificação da transferência de impactos ambientais de um meio para outro e/ou de um estágio de ciclo de vida para outro.

Para Valle (2002), o processo de ACV deve avaliar não só os impactos ambientais causados, mas também as oportunidades de melhorias

que deveriam ser realizadas para reduzi-los. Sendo assim, esta análise deve considerar: o consumo de matérias-primas, seus processos de extração e produção; o processo de fabricação dos materiais utilizados na fabricação do produto; todo processamento de materiais até chegar ao produto final; utilização do produto durante sua vida útil; e reciclagem, tratamento e a disposição dos materiais resultantes do produto descartado.

Embora a ACV encontre-se ainda em fase de evolução no que se refere a alguns de seus componentes, o interesse por ela tem aumentado em seus variados usos. Entre as instituições dedicadas ao aprimoramento e à difusão dessa metodologia, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (Setac) faz por merecer especial destaque pelo papel que desempenha. Na opinião de muitos participantes, a Setac, que se ocupa da busca de uma base conceitual uniforme e consistente para a ACV há mais de uma década, constitui um dos principais fóruns mundiais de discussão para os muitos aspectos correlacionados à referida técnica. (JÚNIOR; DEMAJOROVIC, 2013, p. 330).

Além disto, o *United Nation Environmental Program* (Unep) e a Setac lançaram uma Parceria Internacional de Ciclo de Vida, batizada como *life cycle initiative* (LCI), com o objetivo de viabilizar a prática efetiva do *life cycle thinking*. A LCI propõe tratar a ACV por meio de três programas de envergadura mundial: primeiro, conhecimento como *life cycle inventory*, desenvolvimento de metodologia para elaboração de inventários ambientais; segundo, *life cycle impact assessment*, que trata da consolidação da etapa de avaliação de impactos; terceira, *life cycle management*, por meio da qual se busca estimular a agregação de uma perspectiva de ciclo de vida às ações inerentes à gestão empresarial com o objetivo de se obter o aumento da eficiência ambiental de produtos e serviços (JÚNIOR; DEMAJOROVIC, 2013).

A partir disto, abrem-se as fases da ACV. Segundo a ABNT (2014, p.6) “Um estudo de ACV possui quatro fases principais: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impactos; interpretação de dados”.

3.3.1 Histórico da Avaliação do Ciclo de Vida

Conforme relata Chehebe (2002), os primeiros estudos relacionados à Avaliação do Ciclo de Vida tiveram início durante a primeira crise do petróleo. Essa crise gerou uma busca por fontes alternativas de energia e chamou a atenção da população mundial para a necessidade de melhor utilização dos recursos naturais. Naquela época, vários estudos foram realizados com o

intuito de avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo das fontes de energia não-renováveis. Apesar de esses estudos terem como foco a questão energética, alguns deles chegaram a considerar aspectos ligados à questão ambiental, na medida em que estimavam as emissões geradas a partir do consumo de cada tipo de fonte de energia.

Muitos trabalhos desenvolvidos abordavam os materiais para embalagens segundo as discussões sobre reciclagem, comparando as então recentes embalagens recicláveis com as retornáveis. Em 1965 a Coca-Cola custeou um estudo realizado pelo MRI (Midwest Research Institute) com o objetivo de comparar diferentes tipos de embalagem para refrigerantes e de determinar qual delas apresentava índices mais adequados de emissão para o meio ambiente e melhor desempenho na utilização dos recursos naturais (ASSIS, 2009).

O processo de quantificar o consumo de recursos naturais e os índices de emissão utilizados pela Coca-Cola neste estudo ficou conhecido como REPA (Resource and Environmental Profile Analysis). Esse modelo foi aprimorado em 1974 pelo MRI durante um estudo para a EPA (Environmental Protection Agency), e é reconhecido como um marco para o surgimento do que se conceitua hoje como Avaliação do Ciclo de Vida – ACV (Life Cycle Assessment). De acordo com Barbieri (2007), essa ferramenta tem sido usada por muitas empresas e foi sistematizada por diversas instituições e regulamentada em países como Alemanha, França, e Estados Unidos. Desde meados da década de 1980, a ACV se tornou um instrumento para auxiliar a regulamentação pública ambiental no âmbito da Comunidade Europeia.

Grandes empresas da Europa criaram em 1992 a Sociedade para Promoção do Desenvolvimento da ACV (SPOLD), que, além de outras contribuições, produziu vários guias para orientar as empresas quanto à aplicação dessa ferramenta.

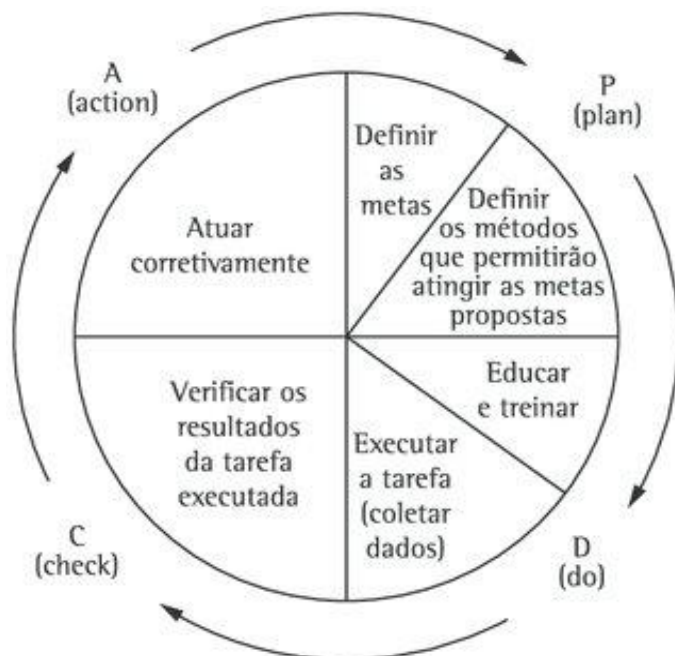
3.3.2 ACV e as Normas ISO

O sistema de gestão ambiental (SGA) pode ser definido como a porção do sistema de gestão usada para gerenciar aspectos ambientais, cumprir requisitos legais e abordar riscos e oportunidades. Ressaltando que este sistema de gestão é um conjunto de elementos interativos de uma organização,

onde são estabelecidas políticas, objetivos e processos para alcançar o que foi almejado (ABNT, 2015).

O SGA, segundo a norma ISO 14001, está estruturado de acordo com o ciclo PDCA (planejar, executar, checar e atuar), ferramenta utilizada tradicionalmente na administração da qualidade (JÚNIOR; DEMAJOROVIC, 2013). As interfaces deste ciclo podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2 - Etapas do Ciclo PDCA.



Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

O foco da gestão ambiental empresarial é a empresa e não o meio ambiente. Entretanto, as duas coisas estão diretamente ligadas. Somente através de melhorias em produtos, processos e serviços serão obtidas reduções nos impactos ambientais por eles causados. Dessa maneira, as empresas buscam ampliar seu sistema de gestão de modo a tratar também as questões ambientais (VILELA, 1998).

A gestão ambiental é o principal instrumento para se obter um desenvolvimento industrial sustentável. O processo de gestão

ambiental nas empresas está profundamente vinculado a normas que são elaboradas pelas instituições públicas (prefeituras, governos estaduais e federal) sobre o meio ambiente. Estas normas fixam os limites aceitáveis de emissão de substâncias poluentes, definem em que condições serão despojados os resíduos, proíbem a utilização de substâncias tóxicas, definem a quantidade de água que pode ser utilizada, volume de esgoto que pode ser lançado, etc. As normas legais são referências obrigatórias para as empresas que pretendem implantar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). (DIAS, 2011, p. 102).

Segundo Reis (1995) foi publicada em 1992 a norma BS 7750, com a intenção de compatibilizar suas exigências como regulamentos da União Europeia (UE), especificados no Eco Management and Audit System (EMAS), esquema de gerenciamento e auditoria ambiental, de forma a permitir que qualquer instalação industrial certificada por seu atendimento à norma, seja também considerada apta à certificação pelos padrões da UE.

Paralelamente, em 1992, durante a ECO 92, foram propostas as normas da série ISO 14000 como alternativa concreta para a gestão ambiental de nível organizacional, das quais 172 países foram signatários. Contudo, a primeira versão da ISO 14001 foi publicada somente em 1996 e rapidamente se consolidou como uma norma de gestão ambiental com ampla aceitação mundial, principalmente quando comparada à baixa adesão inicial e visivelmente decrescente ao longo dos anos do EMAS. (SEIFFERT, 2008, p. 12).

A ISO, sigla da expressão *International Organization for Standardization*, organismo não governamental sediado em Genebra, na Suíça, fundado em 1947, é responsável pela elaboração de padrões de normalização para diversos ramos das indústrias (SEIFFERT, 2008).

No Brasil, a única representante da ISO é a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), sendo esta uma entidade privada, independente e sem fins lucrativos, fundada em 1940 (DIAS, 2011).

Para Barbieri (2004), as normas ISO 14000, escritas pelo Comitê Técnico 207 (TC 207), abordam sistemas e ferramentas gerenciais da gestão ambiental sobre o sistema de gestão, auditoria, avaliação do desempenho, avaliação do ciclo de vida do produto, rotulagem ambiental e aspectos ambientais em normas de produtos. A Tabela 1 relaciona estes itens.

Tabela 1- Normas ISO 14000.

Área de Atuação	Número da Norma	Título da Norma
------------------------	------------------------	------------------------

Área de Atuação	Número da Norma	Título da Norma
Sistema de Gestão Ambiental	ABNT NBR ISO 14001:2015	Sistemas de gestão ambiental. Requisitos com orientações para uso
	ABNT NBR ISO 14004:2018	Sistemas de gestão ambiental. Diretrizes gerais para a implementação
Auditoria Ambiental	ABNT NBR ISO 14015:2003	Gestão ambiental. Avaliação ambiental de locais e organizações (AALO)
	ABNT NBR ISO 19011:2012	Diretrizes para auditoria de sistemas de gestão
Avaliação do Desempenho Ambiental	ABNT NBR ISO 14005:2012	Sistemas de gestão ambiental. Diretrizes para a implementação em fases de um sistema de gestão ambiental, incluindo o uso de avaliação de desempenho ambiental
	ABNT NBR ISO 14031:2015	Gestão ambiental. Avaliação de desempenho ambiental. Diretrizes
Avaliação do Ciclo de Vida	ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida:2014	Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura
	ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida:2014	Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e orientações
	ISO/TS 14071:2018	Gestão ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Processos de análise crítica e competências do analista: Requisitos adicionais e diretrizes para a ABNT NBR ISO 14044:2009
Rotulagem Ambiental	ABNT NBR ISO 14020:2002	Rótulos e declarações ambientais. Princípios Gerais
	ABNT NBR ISO 14021:2017	Rótulos e declarações ambientais. Auto declarações ambientais (rotulagem do tipo II)
	ABNT NBR ISO 14024:2004	Rótulos e declarações ambientais. Rotulagem ambiental do tipo I. Princípios e procedimentos
	ABNT NBR ISO 14025:2015	Rótulos e declarações ambientais. Declarações ambientais de Tipo III. Princípios e procedimentos
Aspectos Ambientais em Normas de Produtos	ABNT ISO GUIA 64:2010	Guia para consideração de questões ambientais em normas de produtos
Definições	ABNT NBR ISO 14050:2012	Gestão ambiental. Vocabulário

Fonte: Adaptado de Barbieri (2004).

Onde o sistema de gestão, auditoria e avaliação do desempenho ambiental dizem respeito à avaliação da organização. Já a avaliação do ciclo de vida do produto, rotulagem ambiental e aspectos ambientais em normas de produtos se referem à avaliação de produtos e processos (TIBOR; FELDMAN, 1996).

Sendo assim, a implementação da ISO 14000 se tornou uma questão estratégica, e não somente de cumprimento de normas. (TIBOR; FELDMAN, 1996).

Porém, o sistema de gestão ambiental pode ser implantado seguindo os requisitos da ISO 14001 e ser utilizado apenas como ferramenta interna. Alcançar os objetivos propostos pela NBR não requer passar pela etapa extra de certificação do programa SGA. Todavia, quando existir alguma razão clara para demonstrar a conformidade a terceiros é que a necessidade de certificação se torna um fato (TIBOR; FELDMAN, 1996).

3.3.3 ACV como Ferramenta de Gestão

De acordo com Carreiras et al. (2007), a utilização de várias ferramentas de gestão ambiental de forma integrada é uma prática comum, contribuindo desta forma para uma otimização permanente dos sistemas e das atividades. A aplicação da ACV colabora para a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental, SGA, sendo utilizada como ferramenta de apoio à decisão no que se refere a equipamentos, técnicas e recursos a adotar. As informações recolhidas na ACV, os resultados da sua análise e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisão, as quais são importantes no planejamento estratégico das atividades das organizações.

Para Chehebe (2002), o enfoque gerencial da Avaliação do Ciclo de Vida de produtos representa uma forte tentativa de integração da Qualidade Tecnológica do produto, da Qualidade Ambiental e do valor agregado para o consumidor e para a sociedade. Esse fato representa uma importante mudança estratégica nas empresas, haja vista os resultados que podem ser alcançados quando se lida simultaneamente com esses três vetores da qualidade no desenvolvimento integrado de um produto.

Chehebe (2002) afirma que, para a introdução e implementação de um enfoque gerencial baseado na Avaliação do Ciclo de Vida em atividades

estratégicas e de decisão em uma empresa, deve-se procurar integrar a performance ambiental dos produtos com os conceitos de qualidade e valor agregado para o consumidor, de tal forma que tanto os fatores econômicos quanto ambientais sejam considerados sob a ótica do ciclo de vida. A empresa deve incorporar o enfoque da ACV aos conceitos de Qualidade Total, estabelecendo times integrados para a discussão e execução de projetos sobre desenvolvimento estratégico e desenvolvimento de produtos, incluindo também a participação de representantes de consumidores e fornecedores. Devem-se elaborar programas de médio e longo prazo visando à organização de um banco de dados, à formação de um grupo interno de “experts”, à realização de programas educacionais, à elaboração de manuais internos de procedimentos e ao uso sistemático da ACV para estabelecer uma base de conhecimento técnico

3.3.4 Aplicação da ACV nas empresas

Com o mercado cada vez mais exigente, as cobranças em relação às legislações ambientais são frequentes. Para atender esta demanda, os empreendimentos estão buscando diferentes estratégias para possibilitar a adequação às exigências.

A ACV é atualmente considerada uma das ferramentas mais modernas de gestão ambiental estratégica, contribuindo com informações importantes à tomada de decisão. Essa ferramenta trata o ciclo de vida do produto em toda a sua extensão, de forma sistêmica, abrangendo desde o projeto do produto até o processo produtivo e todas as atividades inerentes ao ciclo de vida. Possibilita que empresas e organizações avaliem a sustentabilidade de seus produtos, serviços e ações, tomando como base os impactos que eles geram no decorrer de seus ciclos de vida (COLTRO et al., 2007).

Vilela e Demajorovic (2013) dizem que a realização de um estudo dessa natureza tem como premissas fornecer uma imagem de quaisquer interações existentes com o meio ambiente e gerar subsídios capazes de definir os efeitos ambientais da atividade.

Até hoje, as organizações que utilizaram a análise sequencial de ciclo

de vida, conscientes de sua limitação, acham que o conceito é um instrumento útil na definição de oportunidades potenciais para reduzir o impacto ambiental de seus produtos. As organizações devem ser cautelosas na interpretação muito ampla do conceito de ciclo de vida. Atualmente a análise do ciclo de vida não é uma ciência terminada, porém não deve ser subestimada. Com o tempo, essa metodologia irá ganhar destaque. (HARRINGTON; KNIGHT, 2001, p.58).

3.3.5 ACV na Indústria do Alumínio

De acordo com o estudo publicado em Massachusetts em 2013 pela *The Aluminum Association* intitulado “A Pegada Ambiental de Produtos de Alumínio Semiacabados na América do Norte. Um relatório de avaliação do ciclo de vida” a partir do ano de 1990 a associação patrocinou três grandes estudos de ACV.

O primeiro estudo foi realizado em 1992 e concluído em 1993. Ele examinou os inventários do ciclo de vida da lata de bebida de alumínio de 12 marcas, excluindo a fase de uso do produto. O ano base do estudo foi 1991.

O segundo estudo, realizado foi em 1996 e concluído em 1998, examinou os inventários do ciclo de vida para produtos automotivos. Nesse estudo não foram consideradas as etapas de fabricação, montagem e uso do produto. O ano base do estudo foi 1995.

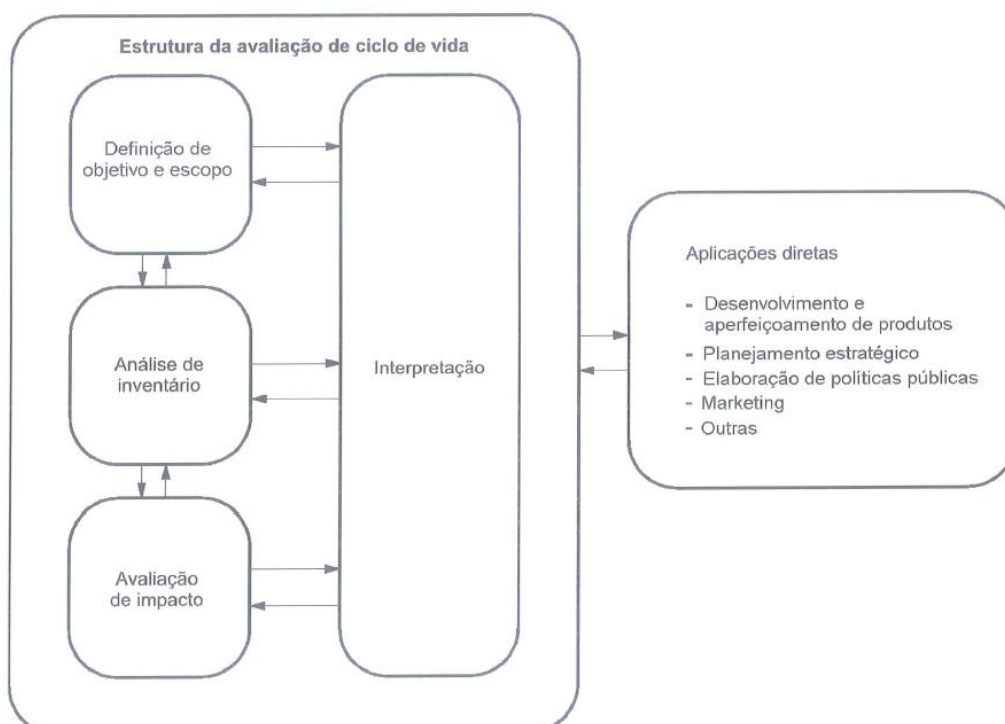
O terceiro estudo, realizado em 2007 e concluído em 2010, concentrou-se em uma avaliação de inventário do ciclo de vida de uma mistura de latas de bebidas de alumínio. O ano base deste estudo foi 2006, com produção de metal primário representando o ano de produção de 2005.

Esses estudos de ACV ajudaram a indústria e suas partes interessadas a compreender em detalhes os produtos do alumínio e seus potenciais impactos ambientais, permitindo a tomada de decisões informadas e a identificação de áreas para melhorias pela indústria de alumínio.

3.3.6 Etapas da ACV

O crescente aumento na conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos impactos associados aos produtos consumidos causa um interesse cada vez maior em métodos para compreender e diminuir os danos gerados. Desta maneira, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica desenvolvida para auxiliar neste sentido (ABNT, 2014). A Figura 3 apresenta a estrutura utilizada para a avaliação do ciclo de vida.

Figura 3 - Estrutura da avaliação do ciclo de vida.



Fonte: ABNT (2014).

3.3.6.1 Definição de objetivo e escopo

Para Santos (2006, p. 12) “A etapa inicial da ACV é a definição do escopo e objetivos na qual são delimitadas as condições de contorno, os objetivos e limitações da análise, os processos envolvidos e o ciclo de vida do produto.”

Os limites do sistema separam o sistema de sua vizinhança – o meio ambiente do sistema. O meio ambiente fornece os *inputs* ao sistema e recebe todos os *outputs* do sistema. Parte do processo de definição do escopo é definir o que não está no sistema. Por exemplo, a

extração de matérias-primas pode não ser definida como parte do sistema, de modo que haverá inventário de energia ou uso de recursos durante o processo de extração. (TIBRO; FELDMAN, 1996, p. 190).

Além disto, o escopo de uma ACV, incluindo a fronteira do sistema e o nível de detalhamento, depende do objetivo e do uso pretendido para o estudo. Dessa maneira, a profundidade e a abrangência da ACV variam muito (ABNT, 2014).

3.3.6.1.1 Fronteira de estudo

Segundo a ABNT (2014), a fronteira de estudo estabelece os processos elementares a serem envolvidos no sistema. Convém que o sistema de produto seja formado de maneira que as entradas e saídas da sua fronteira sejam fluxos elementares, entretanto, não se faz necessário consumir recursos na quantificação das entradas e saídas que não irão alterar de forma considerável as conclusões gerais do estudo.

Na prática, o delineamento do contorno do sistema a ser estudado deve ser realizado com extremo cuidado, pois somos limitados pelos recursos financeiros e pelo tempo. Na ACV, assim como em várias técnicas de modelagem, existem certas tensões entre a precisão e a praticidade [...] por essa razão, regras devem ser adotadas para determinar os limites do sistema e quais insumos, matérias-primas, energias e materiais auxiliares são relevantes para serem incluídos. (CHEHEBE, 2002, p. 26).

3.3.6.1.2 Unidade funcional

Um sistema pode ter várias atribuições, mas as funções selecionadas para determinado estudo dependem do objetivo e escopo, a quantificação desta função que é chamada de unidade funcional. A unidade funcional deve ser evidentemente definida, devendo ser mensurável e consistente (CHEHEBE, 2002).

3.3.6.2 Análise de inventário

A análise de inventário, segundo a ABNT (2014, p. 7), “Trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo. Essa fase envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão.”

A tarefa principal da análise de inventário é coletar dados para medir os fluxos de *inputs* e *outputs* de energia e materiais associados ao sistema. A coleta de dados é um processo complexo e intensivo em

recursos, e os procedimentos vão variar com o escopo, o sistema e a aplicação pretendida da ACV. (TIBOR; FELDMAN, 1996, p. 192).

O inventário mensura as emissões que ocorrem durante o ciclo de vida do produto, matérias-primas e energia que são utilizadas. A partir do inventário deve-se definir os pontos de produção de resíduos e o destino que se deve dar a cada um, além de quantificar os materiais que entram e saem do sistema (BASTOS, 2009).

3.3.6.3 Avaliação de impacto

A ABNT (2014, p. 2) define a avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) como “Fase da avaliação do ciclo de vida que visa ao entendimento e à avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do ciclo de vida do produto”.

Além disto, ainda para a ABNT (2014) “A AICV enfoca somente as questões ambientais que estão definidas no objetivo e escopo. Portanto, a AICV não é uma avaliação completa de todas as questões ambientais do sistema de produto sob estudo”.

3.3.6.4 Interpretação

Por fim, é realizada a interpretação do ciclo de vida, onde os resultados do ICV e da AICV são somados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomadas de decisão de acordo com os objetivos e o escopo (ABNT, 2014).

3.3.6.4.1 Apontamento de melhorias

Etapa na qual as opções para reduzir impactos ambientais do sistema em estudo são identificadas e analisadas. A análise de melhorias identifica, avalia e seleciona as opções para melhorar o desempenho ambiental de produtos e processos (SANTOS, 2006).

3.3.7 Métodos para ACV de um produto

A partir de 1992, programadores de softwares responderam ao desafio de apresentar a ACV como uma ferramenta acessível aos usuários que a necessitavam. Com isto, tem houve uma proliferação dos programas de ACV

no mercado. Uma outra razão que contribui para este fato foi a grande quantidade de dados armazenados e processados para os trabalhos de ACV (PEREIRA, 2004).

A partir da década de 1980, incentivos das legislações ambientais permitiram o desenvolvimento e a criação de banco de dados para ACV com uma grande concentração inicial na Suíça, Alemanha e Suécia (ARAUJO, 2013).

O desenvolvimento de banco de dados no Brasil iniciou em 2006, com o programa de “Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira”, coordenado pelo do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT).

Foram elaborados também inventários relativos ao diesel brasileiro, à energia elétrica gerada pela usina de Itaipu, entre outros (LAMB, 2011).

Há no mercado, atualmente, diversos tipos de softwares específicos à realização de ACVs, os quais trabalham com bancos de dados e possuem informações referentes a diversos processos produtivos. Esses bancos de dados são escolhidos pelo usuário para elaborar um sistema de produto relacionado às respectivas categorias de impacto ambiental. Depois de efetuados os cálculos por meio de modelos de caracterização, os valores de impacto ambiental do produto de cada uma das categorias escolhidas são apresentados pelo software (ENCICLO, 2015).

De acordo com Santos (2006, p. 31) “À medida que a ACV vem sendo aceita, ocorre um maior desenvolvimento de *softwares* e banco de dados para facilitar a utilização desta ferramenta”.

SimaPro e GaBi são as principais ferramentas de software usadas para avaliações de ciclo de vida. Esses softwares utilizam avaliações de sistemas de produtos que aplicam exatamente a mesma base de processo unitário e devem render conjuntos de resultados comparáveis com qualquer ferramenta (HERRMAN E MOLESEN, 2015).

Um outro *software* utilizado para avaliação de processos é o SAAP (Sistema de Avaliação Ambiental de Processos), este avalia as categorias de impacto ambiental utilizando dez indicadores ambientais. A partir dos indicadores, são construídos índices ambientais para cada categoria de

impacto, de acordo com o atendimento à legislação ambiental. O *software* calcula então o Índice de Pressão Ambiental (IPA), resultante da agregação dos outros índices por seus respectivos pesos (SANTOS, 2006).

De acordo com Araújo (2013) os principais bancos de dados disponíveis no mercado são *Ecoinvent*, *Danish Input Output databas*, *Dutch Input Output databas*, *LCA Food*, *BUWAL 250*, *IDEMAT 200*, entre outros.

4 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A natureza da pesquisa é considerada aplicada, tendo em consideração o emprego do estudo em uma empresa instalada e em operação. Com relação aos objetivos, pode-se considerar a pesquisa como descritiva, considerando que foi realizada por meio de acompanhamento de um determinado processo de produção, recolhendo dados e analisando os resultados.

A ACV utilizou como base as Normas ISO 14040/2014 e 14044/2014 para a produção de perfil de alumínio, em uma unidade industrial do ramo de esquadrias de alumínio localizada no sul de Santa Catarina. É importante ressaltar que o emprego da ACV foi realizado dentro das fronteiras da unidade fabril.

4.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

A fronteira estipulada para o estudo foi delimitada em função da disponibilidade de dados.

A unidade funcional do estudo foi definida por uma tonelada (t). E o período de tempo avaliado foi de um semestre, janeiro a junho de 2018.

4.2 REALIZAÇÃO E ANÁLISE DO INVENTÁRIO

Para o ICV foram considerados dados, secundários e estimativas, sendo que os *inputs* e *outputs* foram levantados inicialmente em uma escala qualitativa.

A coleta de dados para o inventário deu-se no primeiro semestre de 2018. Já as estimativas foram realizadas a partir de cálculos matemáticos básicos, durante o segundo semestre de 2018.

Os dados utilizados são secundários e foram obtidos de informações já controladas pelo gerente de produção da unidade industrial. Foram coletados em visitas aos setores responsáveis ao longo do período de acompanhamento e por e-mail. A partir disto, obtiveram-se planilhas de dados que foram utilizadas para construção da matriz de avaliação de impactos ambientais.

Possibilitando assim, a valoração da significância dos impactos relevantes levantados pelo inventário.

4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

A Tabela 2 mostra a estrutura da matriz de AICV adotada para avaliação da gravidade e significância dos impactos ambientais relevantes levantados pelo ICV.

Tabela 2 – Matriz de aspectos e impactos.

Nº Aspecto	Local	Atividade	Aspecto	Impacto	N / A / E	Atende a legislação associada?	Probabilidade de acontecer	Gravidade	Significância
------------	-------	-----------	---------	---------	-----------	--------------------------------	----------------------------	-----------	---------------

Fonte: Da Autora (2018).

Na Tabela 3 são mostradas as legendas para cada item da matriz.

Tabela 3 – Legenda da matriz de aspectos e impactos.

Item	Consideração
N / A / E	Normal / Anormal / Emergencial
Atende a legislação associada?	Sim / Não / NA
Probabilidade de acontecer (considerar a medida de controle já implantada)	1 Baixa / 3 Média / 5 Alta
Gravidade (consequência se acontecer)	1 Baixa / 3 Média / 5 Alta
Significância	Considerar a multiplicação entre probabilidade e gravidade

Fonte: Da Autora (2018).

4.4 INTERPRETAÇÃO

De posse dos dados do inventário e da matriz de aspectos e impactos manipulou-se as informações com a finalidade de fechar os ciclos de vida dos *outputs* dentro da fronteira de estudo. Por não ter sido possível obter

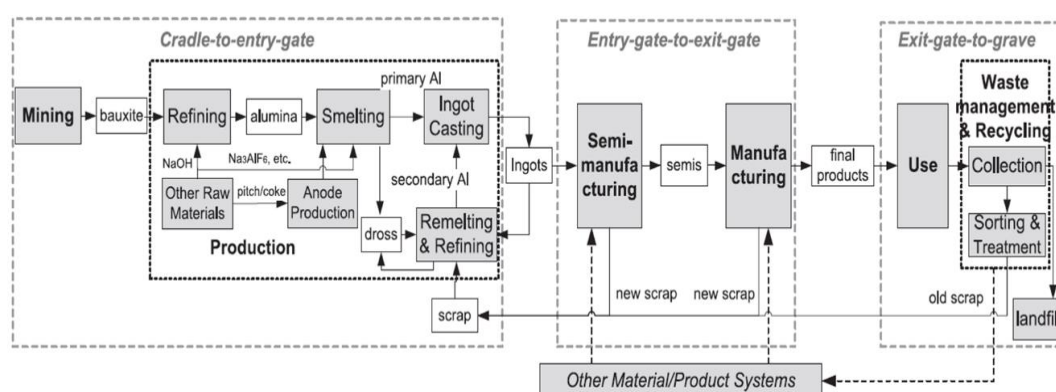
todos os resultados desejados apenas com o estudo de caso, foi utilizado, por semelhança, um documento publicado pela Aluminum Association em 2014, chamado Environmental Product Declaration – EPD, o qual tornou possível a estimativa de resultados quantitativos para impactos ambientais, uso de recurso, fluxos de saídas e categorias de resíduos.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

Na figura 4 é possível visualizar um diagrama simplificado para o ciclo de vida do berço ao túmulo, de um sistema de produtos de alumínio. Porém para o estudo foi avaliado apenas a etapa de manufatura, ou seja, do portão de entrada da fábrica até o portão de saída.

Figura 4 – Diagrama Ciclo de Vida de Produtos de Alumínio.



Fonte: Liu e Muller (2012).

O estudo de caso foi aplicado em uma empresa do ramo de artefatos plásticos e esquadrias de alumínio.

A empresa foi fundada em 1986. Situada no sul de Santa Catarina, apresenta um parque fabril de 48 mil metros quadrados, em sua divisão de alumínio. Atuando desde o beneficiamento de materiais primários ao processamento de retalhos de alumínio para a fabricação de seus produtos, é uma das poucas empresas do país com capacidade para fabricar desde suas ligas de alumínio até os produtos acabados como janelas, portas, réguas e escadas.

Para o estudo será considerada a unidade de fabricação de perfis de alumínio e foram definidas como fronteiras as etapas de recebimento de matéria-prima e expedição.

5.1.1 Processamento de Perfis de Alumínio

Uma linha de extrusão é composta, principalmente, por uma prensa hidráulica, normalmente posicionada na horizontal, acompanhado de um forno de aquecimento de tarugos, forno de aquecimento de matrizes, mesa de extrusão, mesa de estiramento, mesa de corte, carrinhos de armazenamento, forno de tratamento térmico e máquina embaladora. Além disso, acompanham, também, uma serra para corte de tarugo e diversos sistemas de controle de pressão e temperatura. A Figura 05 ilustra os componentes de uma linha do processo de extrusão de alumínio.

Figura 5 – Componentes de uma linha do processo de extrusão de alumínio



LEGENDA

01 – Prensa

02 – Forno de Aquecimento de Tarugo

03 – Forno de Aquecimento de Matriz

04 – Mesa de Extrusão

05 – Mesa de Estiramento

06 – Mesa de Corte

07 – Carrinho de Armazenamento

08 – Forno de Tratamento Térmico

09 – Serra de Corte de Tarugo

Fonte: Menegaz, 2014.

A seguir estão descritas detalhadamente as etapas do processo estudado.

a) Recepção de Matéria-prima

Nesta etapa as matérias-primas são recebidas na forma de barras cilíndricas para utilização no processo de extrusão. Estas barras correspondem às ligas da série 6000, em silício-magnésio, que são fabricadas na unidade de refusão pertencente à empresa, ou podem também ser importadas.

b) Inspeção

Antes de ser utilizada no processo a matéria-prima é inspecionada, caso apresente alguma irregularidade a mesma é devolvida. A matéria-prima com características adequadas, acondicionada a granel, é levada para o estoque.

c) Corte e Aquecimento do Tarugo

Vindas do estoque, as barras cilíndricas são cortadas em serra fita e aquecidas. A temperatura de aquecimento fica na ordem de 440 °C, mas a variação de temperatura é definida de acordo com a liga e tipo de perfil a ser produzido. Este aquecimento é realizado em forno de indução magnética.

d) Extrusão a Quente

Após o pré-aquecimento, as barras cilíndricas cortadas são levadas à extrusora de alumínio e inseridas no recipiente de recepção (bucha) que é aquecido por resistência elétrica para manter a temperatura do alumínio.

Na extrusora, o alumínio é submetido a uma pressão contra um molde (ferramenta) que impõe o formato da secção transversal para o perfil de alumínio.

e) Tracionamento e Corte

Ao deixarem a ferramenta, os perfis são puxados por um robô denominado “*pulle*”, que tem por função manter uma leve tração com o

objetivo de se conseguir a melhor condição de retidão e constância da secção transversal do extrudado, em todo o seu comprimento.

Ao fim do processo de tracionamento, o extrudado já com comprimento programado, é cortado. Uma serra, incorporada em um segundo robô, está projetada para cortar os perfis a quente em local pré-determinado. Esse corte ocorre quando da parada da extrusão para se processar a troca da barra cilíndrica.

f) Resfriamento

Paralelo ao *puller* ocorre o resfriamento. Ao deixar a ferramenta, os perfis de alumínio são recebidos em uma mesa de roletes onde são submetidos ao resfriamento.

O resfriamento pode ser realizado em toda ou em parte da mesa de saída e é realizado por um processo de convecção forçada (ventiladores).

g) Transferência e Estiramento

Depois de extrudados, os perfis de alumínio são retirados da mesa de roletes, passando para uma mesa de transferência de correias feitas de “kevlar”, sendo resistentes à temperatura de 460 °C. Estes perfis são transferidos até uma segunda mesa, também em “kevlar”, cuja resistência à temperatura é menor que a descrita anteriormente e onde se formam os “pacotes” que são levados para a esticadeira.

Durante a transferência, o resfriamento dos perfis continua com o auxílio de ventiladores para que os mesmos cheguem à etapa de estiramento em temperatura ambiente.

O estiramento dos perfis é absolutamente necessário, pois além de dar retidão ao produto, proporciona uma deformação a frio que conferirá ao perfil melhores propriedades físicas.

h) Estocagem de Produtos Estirados

Um dispositivo retira as barras da esticadeira as levando para uma mesa de estocagem de perfis esticados onde se formarão os pacotes, que serão levados para a mesa de alimentação da serra de acabamento.

i) Corte e Acabamento

Uma mesa de roletes leva o pacote de perfis para o corte de acabamento. O comprimento do corte é estabelecido pelo operador e logo após os perfis são serrados.

Com o corte encerrado são carregados os cestos de alimentação do forno de envelhecimento.

j) Tratamento Térmico por Envelhecimento

Nesta etapa ocorre o aquecimento dos perfis de alumínio seguido de resfriamento, que proporciona uma melhora de suas propriedades físicas e assim, por consequência, um ganho de qualidade do produto.

k) Embalagem

Com o fim do processo de envelhecimento o produto é inspecionado e após sua liberação é acondicionado em fita plástica.

l) Expedição ou Estoque

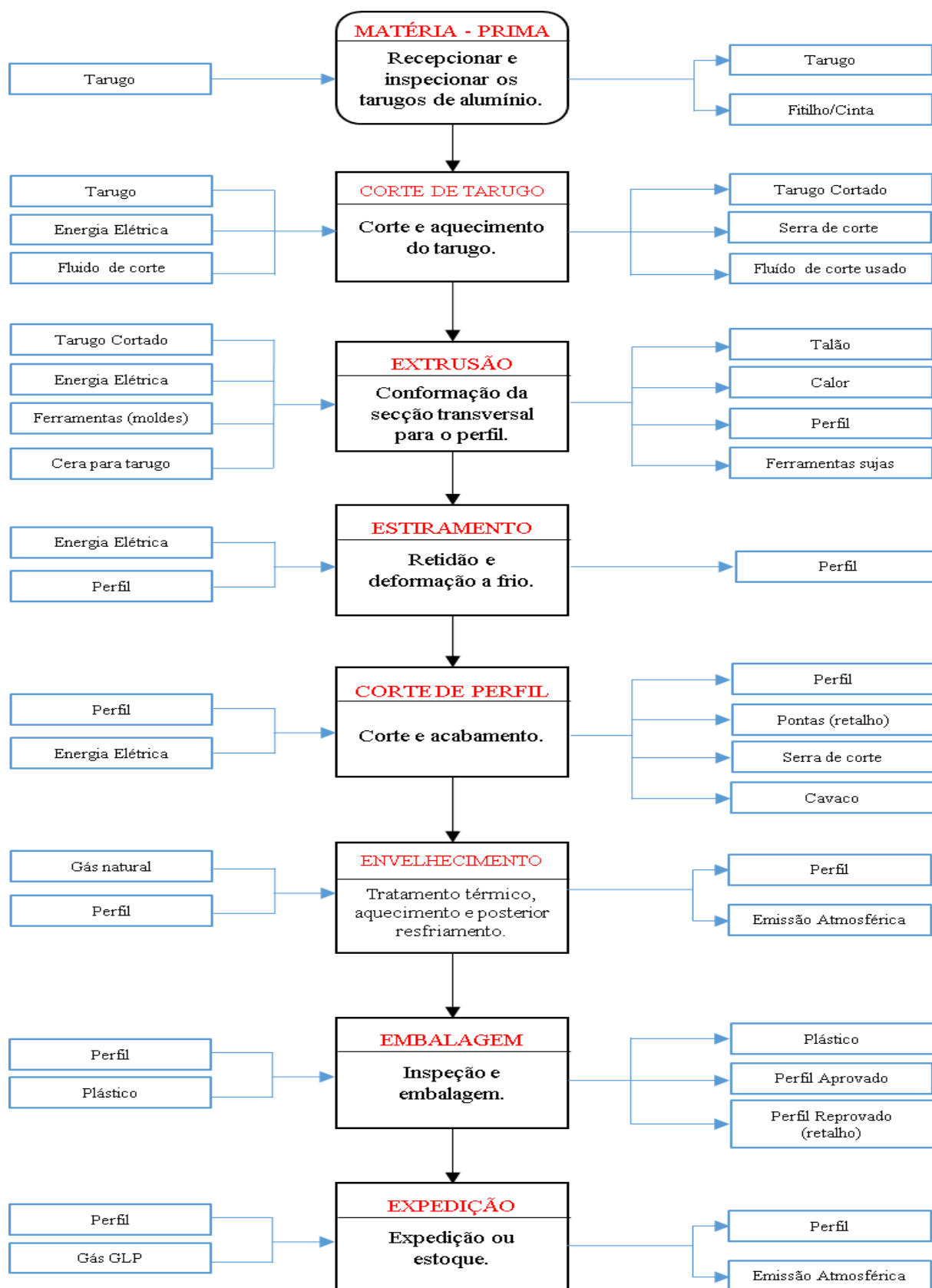
Depois de embalado o produto é estocado, aguardando faturamento e expedição.

Logo, esses produtos são levados para empresas terceirizadas e sofrem o processo de anodização ou seguem para o setor de pintura. Posteriormente, retornam para a empresa podendo ser vendidos ou ser utilizados como matéria-prima para fabricação de esquadrias de alumínio.

5.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO

O levantamento qualitativo para o ICV apontou as entradas e saídas da fronteira delimitada. Apresentando assim, o primeiro resultado do ICV, em uma escala inicial de caracterização e não quantificação, conforme Figura 6.

Figura 6 – Levantamento qualitativo de *inputs* e *outputs* do ICV.



Fonte: Da Autora (2018).

A partir disto, seguiu-se para a etapa de quantificação dos valores do ICV. Esta é considerada uma das etapas primordiais da análise do ciclo de vida, pois só se pode melhorar o que se consegue quantificar e gerenciar.

Após o levantamento de todos os dados pertinentes ao ICV, foi possível moldar o inventário propriamente dito estabelecendo uma linha de raciocínio que permitisse sua análise.

No Quadro 1 estão apresentados os resultados quantitativos dos itens mais relevantes do ICV onde os *inputs* (entradas) e *outputs* (saídas) foram contabilizados de maneira resumida a partir das informações fornecidas pela empresa.

Quadro 1– Resumo de inputs (entrada) e outputs (saída).

Entrada	Quantidade	Unidade	Saída	Quantidade	Unidade
Matéria-Prima	1	t (bruto)	Perfil Embalado	0,8	t
Energia	570	kW	Retorno (alumínio)	0,2	t
Gás Natural	18	m ³	Resíduo Reciclável (Plástico)	3,9	kg
Água (Evaporação)	280	L	Resíduo Reciclável (Aço)	0,1	kg
-	-	-	Resíduo Não Reciclável (Classe I)	2,0	kg
-	-	-	Efluente Limpeza de Ferramentas	0,02	kg

*Números referentes à produção de uma liga específica da série 6000.

Não se obteve acesso a dados detalhados para a realização de um balanço completo de massa e energia.

Desse modo optou-se por usar como referência para a apresentação dos resultados um documento publicado pela Aluminum Association em 2014, chamado Environmental Product Declaration – EPD, esse documento consiste em uma declaração ambiental do produto elaborada de acordo com a Norma ISO 14025:2009, emitido por um órgão externo (terceira parte), na qual constam os resultados encontrados a partir da análise do ciclo de vida do alumínio extrudado em empresas norte americanas.

Para a elaboração do EPD utilizado como referência foram coletados dados de 25 indústrias do ramo de alumínio pertencentes a Aluminum Association, dentre elas Alcoa Inc., Hydro Aluminum North America e Sapa Extrusions Inc.

Os dados técnicos do alumínio utilizado para o EPD estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Dados Técnicos do Alumínio - EPD.

Nome	Valor	Unidade
Densidade (típica)	2,7	(kg/m ³)
Ponto de Fusão	660	°C
Condutividade Elétrica a 20° C	16 – 36	mS/m
Condutividade Térmica a 25° C	113 – 234	W(m.k)
Coeficiente Expansão Térmica entre 20 e 100°C	22, 3- 23,9	$\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$
Modulo de Elasticidade	69 - 73	GPa
Dureza	19 - 150	HB
Resistência ao Escoamento	15 - 490	MPa
Resistência à Tração	60 - 560	MPa
Alongamento na Fratura	>4	%
Composição Química	Al 87,17 – 99,6*	% em massa

Fonte: Adaptado de Aluminum Association (2014).

* Pode variar de liga para liga.

O EPD pôde ser utilizado como comparativo pois apresenta a mesma unidade funcional, 1 tonelada, e apresenta dados técnicos semelhantes aos do processo estudado. Sendo assim, considera-se que por similaridade os resultados seriam semelhantes aos apresentados no EPD.

A seguir são apresentados resultados quantitativos, retirados do EPD referentes a impactos ambientais, uso de recursos, fluxos de saída e categorias de resíduos.

Na realização do EPD para obtenção do resultado quantitativo dos impactos ambientais, foram utilizadas duas metodologias de análise, CML 2001 apresentada no quadro 3 e TRACI 2.1 apresentada no quadro 4.

A metodologia CML 2001 é desenvolvido pelo Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, na Holanda, seus fatores de normalização estão disponíveis para a UE e para o mundo. Os fatores de normalização são calculados através das emissões totais da substância e fatores de caracterização por substância (GUINÉE et al., 2002).

Já a metodologia de avaliação de impacto chamada TRACI foi desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, e é a abreviação de "Ferramenta para a Redução e Avaliação de Impactos Químicos e Outros Impactos Ambientais". O objetivo dessa metodologia é auxiliar na habilitação da Avaliação de Impacto para a sustentabilidade, Avaliação do Ciclo de Vida, ecologia industrial, desenho de processos e prevenção da poluição. O TRACI é basicamente uma abordagem de ponto médio. A metodologia desenha cadeias simples de causa e efeito para mostrar o ponto em que cada categoria de impacto é caracterizada (BARE et al., 2003).

Para um melhor entendimento na Tabela 4 é apresentada a legenda, em português, das abreviaturas utilizadas nos quadros.

Tabela 4 - Legenda Quadros 3 e 4.

Impactos ambientais	
GWP	Potencial de aquecimento global
ODP	Potencial de depleção da camada de ozônio estratosférico
AP	Potencial de acidificação
EP	Potencial de eutrofização
POCP	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos
SFP	Potencial de formação de smog
ADPE	Potencial de depleção abiótica para recursos não fósseis
ADPF	Potencial de depleção abiótica de recursos fósseis
FF	Consumo de Combustíveis Fósseis
Uso de recursos	
PERE	Energia primária renovável como portador de energia
PERM	Recursos energéticos primários renováveis como material utilização
PERT	Utilização total de recursos energéticos primários renováveis
PENRE	Energia primária não renovável como portador de energia
PENRM	Energia primária não renovável como utilização de material
PENRT	Utilização total de recursos energéticos primários não renováveis
SM	Uso de material secundário
RSF	Uso de combustíveis secundários renováveis
NRSF	Utilização de combustíveis secundários não renováveis
FW	Uso de água doce líquida
Fluxos de Saída e Categorias de Resíduos	
HWD	Resíduos perigosos eliminados
NHWD	Resíduos não perigosos eliminados
RWD	Resíduo radioativo descartado
CRU	Componentes para reutilização
MFR	Materiais para reciclagem
MER	Materiais para recuperação de energia
EEE	Energia elétrica exportada
EET	Energia térmica exportada

Fonte: Adaptado Aluminum Association (2014).

Quadro 3 – Impactos Ambientais Quantitativos: Metodologia CML 2001.

Parâmetro	Unidade	Manufatura	Disposição Final	Reciclagem
GWP	kg CO ₂ eq	$6,57 \cdot 10^3$	2,17	$-4,13 \cdot 10^3$
ODP	kg CFC-11 eq	$4,14 \cdot 10^{-7}$	$2,50 \cdot 10^{-10}$	$-1,74 \cdot 10^{-7}$
AP	kg SO ₂ eq	$4,01 \cdot 10$	$8,86 \cdot 10^{-3}$	$-2,95 \cdot 10$
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq	1,90	$8,03 \cdot 10^{-4}$	-1,22
POCP	kg C ₂ H ₄ eq	2,21	$1 \cdot 10^{-3}$	-1,48
ADPE	kg Sb eq	$3,97 \cdot 10^{-3}$	$8,03 \cdot 10^{-7}$	$-2,2 \cdot 10^{-3}$
ADPF	MJ	$7,13 \cdot 10^4$	$3,43 \cdot 10$	$-3,89 \cdot 10^4$

Fonte: Adaptado de Aluminum Association (2014).

Quadro 4 - Impactos Ambientais Quantitativos Metodologia: TRACI 2.1

Parâmetro	Unidade	Manufatura	Disposição Final	Reciclagem
GWP	kg CO ₂ eq	$6,57 \cdot 10^3$	2,17	$-4,13 \cdot 10^3$
ODP	kg CFC-11 eq	$4,41 \cdot 10^{-7}$	$2,66 \cdot 10^{-10}$	$-1,85 \cdot 10^{-7}$
AP Air	kg SO ₂ eq	$3,75 \cdot 10$	$8,99 \cdot 10^{-3}$	$-2,72 \cdot 10$
AP Water	kg SO ₂ eq	$6,13 \cdot 10^{-2}$	$9,08 \cdot 10^{-6}$	$-2,23 \cdot 10^{-3}$
EP Air	kg N eq	$6,62 \cdot 10^{-1}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$-3,88 \cdot 10^{-1}$
EP Water	kg N eq	$1,12 \cdot 10^{-1}$	$7,69 \cdot 10^{-5}$	$-6,22 \cdot 10^{-2}$
SP	kg O ₃ eq	$3,27 \cdot 10^2$	$1,40 \cdot 10^{-1}$	$-2,1 \cdot 10^2$
FF	MJ	$5,91 \cdot 10^3$	4,3	$-2,49 \cdot 10^3$

Fonte: Adaptado de Aluminum Association (2014).

Nos quadros 5 e 6 estão apresentados, respectivamente, os resultados quantitativos referentes a uso de recursos e fluxo de saídas de resíduos.

Quadro 5 - Uso de Recursos

Parâmetro	Unidade	Manufatura	Disposição Final	Reciclagem
PERE	[MJ]	$3,12 \cdot 10^4$	1,59	$-2,45 \cdot 10^4$
PERM	[MJ]	0	0	0
PERT	[MJ]	$3,12 \cdot 10^4$	1,59	$-2,45 \cdot 10^4$
PENRE	[MJ]	$7,13 \cdot 10^4$	$3,43 \cdot 10$	$-3,89 \cdot 10^4$
PENRM	[MJ]	0	0	0
PENRT	[MJ]	$7,13 \cdot 10^4$	$3,43 \cdot 10$	$-3,89 \cdot 10^4$
SM	[kg]	$4,26 \cdot 10^2$	0	0
RSF	[MJ]	0	0	0
NRSF	[MJ]	0	0	0
FW	[m ³]	$1,37 \cdot 10^5$	$-8,2 \cdot 10$	$-1,07 \cdot 10^5$

Fonte: Adaptado de Aluminum Association (2014).

Quadro 6 - Fluxo de Saída e Categoria de Resíduos.

Parâmetro	Unidade	Manufatura	Disposição Final	Reciclagem
HWD	[kg]	$1,69 \cdot 10^3$	0	$-1,57 \cdot 10^3$
NHWD	[kg]	$7,82 \cdot 10$	$5 \cdot 10$	$-6,24 \cdot 10$
RWD	[kg]	4,19	$4,42 \cdot 10^{-4}$	-2,35
CRU	[kg]	0	0	0
MFR	[kg]	8,47	$9,5 \cdot 10^2$	0
MER	[kg]	0	0	0
EEE	[MJ]	0	0	0
EET	[MJ]	0	0	0

Fonte: Adaptado de Aluminum Association (2014).

É possível verificar que alguns resultados estão apresentados com o sinal negativo, isso se deve ao fato desses resultados serem ambientalmente amigáveis, ou seja, eles ajudam a diminuir outros impactos. Mesmo com sinal negativo, significa que eles são impactos benéficos.

Pode-se afirmar que os impactos mais expressivos se encontram na etapa de manufatura, com destaque para o Potencial de depleção abiótica para recursos não fósseis e Potencial de aquecimento global.

Para os resultados de uso dos recursos se destaca o consumo de Energia primária não renovável e uso de água doce líquida.

Já nos fluxos de saída apresenta destaque para a etapa de disposição final com envio de Materiais para reciclagem.

5.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE IMPACTO AMBIENTAL

A atividade da empresa em estudo é enquadrada pela Resolução CONSEMA nº 98/2017 no código 11.11.14, que se refere à Relaminação de metais não-ferrosos, inclusive ligas. Desta maneira, possui o potencial poluidor “[...] Ar: M; Água: M; Solo: P [...]” (CONSEMA, 2017, p. 38). Considerando M, M e P, médio, médio e pequeno, respectivamente.

Sendo assim, pode-se afirmar que a indústria possui aspectos e impactos potenciais ao meio ambiente, variando em emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos, principalmente.

A indústria alvo do estudo não possui levantamento de aspectos e impactos previamente realizado. Portanto, nessa etapa do estudo foi elaborada uma matriz de aspectos e impactos com os dados mais relevantes para o ICV, conforme Quadro 7.

A partir da matriz criada, pode-se admitir que dos impactos ambientais gerados na produção de perfis de alumínio, dois possuem significância 25, um possui significância 15, dois com significância 10, doze com significância 5.

Observa-se que mais de 70% dos impactos gerados possuem significância igual ou abaixo de 5. E dentre esses, 50% são impactos positivos.

A empresa informou que os impactos negativos de maior relevância, ocasionados pela atividade, possuem controles ambientais e periodicamente são encaminhados relatórios de comprovação de eficiência destes controles ao órgão ambiental responsável pela expedição da LAO.

Quadro 7 - AICV.

Nº Aspecto	Local	Atividade	Aspecto	Impacto	N / A / E	Atende a legislação associada?	Probabilidade de acontecer	Gravidade	Significância
1	Mesa de tarugos	Recebimento de tarugo	Geração de resíduo reciclável	Geração de trabalho e renda com a reciclagem / Aumento da vida útil dos aterros (+)	N	S	5	1	5
2	Prensa	Extrusão de alumínio	Consumo de energia elétrica	Diminuição dos recursos naturais	N	S	5	1	5
3	Prensa	Extrusão de alumínio	Geração de resíduo contaminado	Custos com destinação / Diminuição da vida útil dos aterros / Contaminação do solo e dos recursos hídricos	N	S	5	1	5
4	Prensa	Extrusão de alumínio	Geração de resíduos recicláveis (alumínio)	Geração de matéria prima para reaproveitamento (+)	N	S	5	3	15
5	Prensa	Extrusão de alumínio	Geração de resíduos recicláveis (moldes de aço)	Geração de trabalho e renda com a reciclagem / Aumento da vida útil dos aterros (+)	N	S	5	1	5
6	Prensa	Extrusão de alumínio	Geração de moldes sujos	Custos com limpeza/ Geração de efluente	N	S	5	3	15
7	Mesa de Estiramento	Estiramento	Consumo de energia elétrica	Diminuição dos recursos naturais	N	S	5	1	5
8	Mesa de Estiramento	Estiramento	Geração de resíduos recicláveis (alumínio)	Geração de matéria-prima para reaproveitamento (+)	N	S	5	1	5
9	Mesa de corte	Corte e acabamento	Consumo de energia elétrica	Diminuição dos recursos naturais	N	S	5	1	5
10	Mesa de corte	Corte e	Geração de	Geração de matéria-prima para	N	S	5	1	5

Nº Aspecto	Local	Atividade	Aspecto	Impacto	N / A / E	Atende a legislação associada?	Probabilidade de acontecer	Gravidade	Significância
		acabamento	resíduos recicláveis (alumínio)	reaproveitamento (+)					
11	Forno de Envelhecimento	Tratamento térmico	Consumo de gás natural	Risco de explosão e incêndio / Diminuição dos recursos naturais	E	S	5	3	15
12	Forno de Envelhecimento	Tratamento térmico	Geração de resíduos recicláveis (alumínio)	Geração de matéria-prima para reaproveitamento (+)	N	S	5	1	10
13	Embalagem e Expedição	Embalagem	Geração de resíduos recicláveis (plástico)	Geração de trabalho e renda com a reciclagem / Aumento da vida útil dos aterros (+)	N	S	5	1	5
14	Embalagem e Expedição	Embalagem	Geração de resíduos não recicláveis	Custos com destinação / Diminuição da vida útil dos aterros	N	S	5	1	5
15	Embalagem e Expedição	Embalagem	Geração de resíduos de madeira	Geração de trabalho e renda com a recuperação e reciclagem de sucatas (+)	N	S	5	1	5
16	Embalagem e Expedição	Expedição	Consumo de gás nas empilhadeiras	Diminuição dos recursos naturais	N	S	5	1	5
17	Embalagem e Expedição	Expedição	Consumo de gás nas empilhadeiras	Alteração da qualidade do ar / Danos à saúde do trabalhador	N	S	5	1	5

Fonte: Da autora (2018).

5.4 INTERPRETAÇÃO

Ao avaliar os Quadros 1, 2 e a Figura 4 é possível verificar o quanto é consumido de insumos na empresa estudada, a geração nas categorias principais de *outputs* e a quantidade de impactos negativos e positivos relacionados à produção de 1 tonelada de perfil extrudado.

Nos Quadros 3 a 6, onde se considera que a produção de 1 tonelada de alumínio na empresa em estudo geraria os mesmos resultados quantitativos do EPD divulgado pela Aluminum Association, observa-se que a maioria dos impactos ambientais estão associados à etapa de produção (manufatura). No entanto, os créditos de reciclagem do alumínio no fim da vida útil ajudam a compensar a carga inicial. Um metal que possui taxa de reciclagem de 95% possui vantagens em relação aos demais, pois é reciclado por inúmeras vezes sem qualquer perda de qualidade (AIA, 2013).

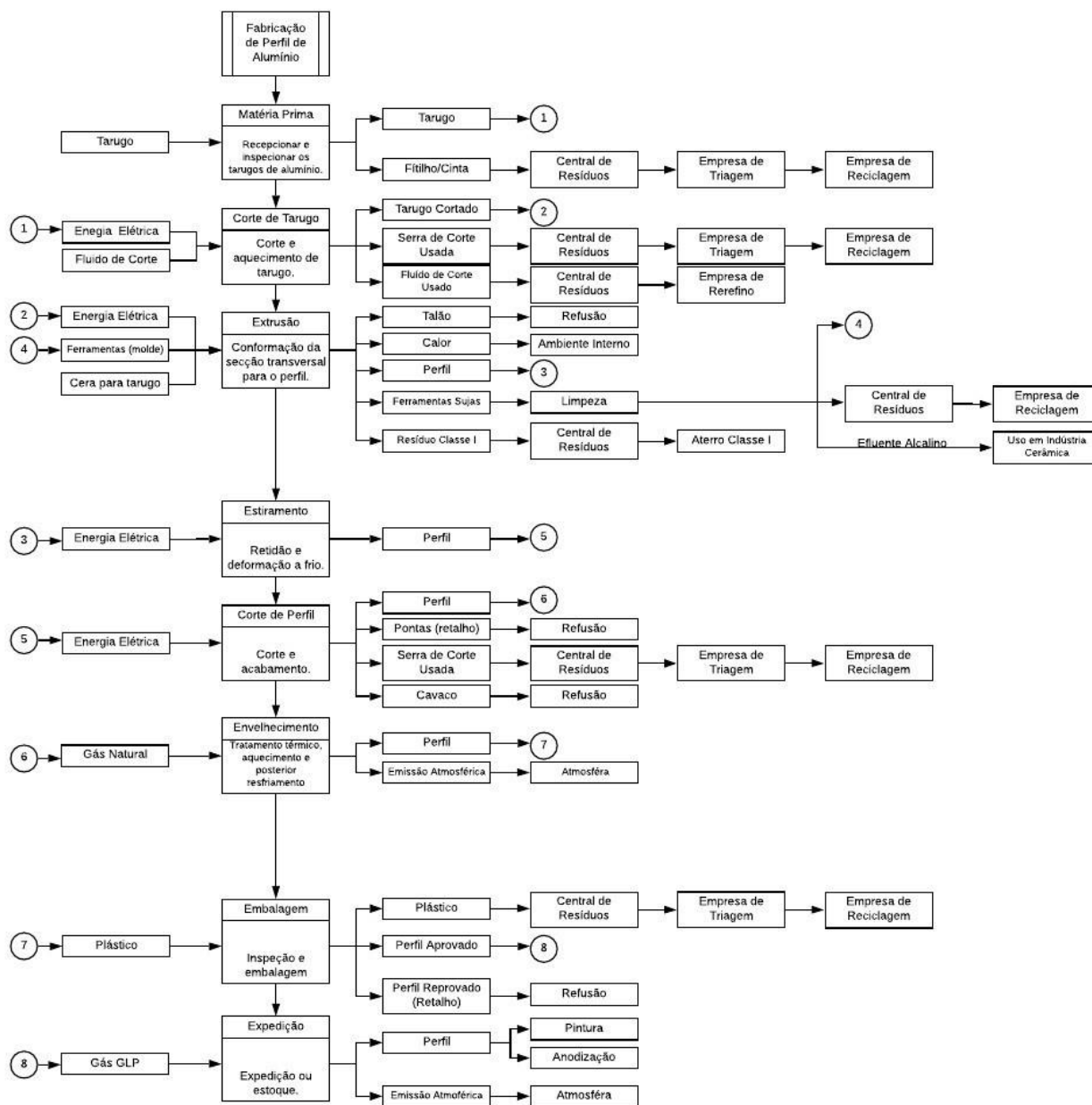
É importante ressaltar que, mesmo o estudo proposto não tendo avaliado a disposição final do alumínio em aterros, os resultados do EPD traziam essa informação e por isso foram apresentadas. No Quadro 5 a disposição final de alumínio extrudado tem como resultante um uso negativo de água doce líquida (FW). Isso se refere aos 5% do alumínio que não são reciclados, mas são destinados a aterros, onde a água da chuva tem contato com o alumínio que acaba sofrendo lixiviação.

Contudo, a ACV propriamente dita é ilustrada na Figura 6. Onde se torna possível verificar que a maior parte dos *outputs* acaba sendo enviada para empresas terceiras que realizam triagem e reciclagem. Por ser uma empresa que possui em seu parque fabril uma unidade de refusão, todo retalho de processo, alumínio, gerado na unidade de extrusão é reutilizado na fabricação de tarugos da própria empresa.

Os resíduos Classe I, como estopas sujas e EPIs, são enviados para aterro industrial devidamente licenciado para o recebimento e destinação final desse material.

O efluente alcalino gerado pelo processo de limpeza de ferramentas (moldes) é encaminhado para uma empresa de cerâmica de revestimentos onde é utilizado para neutralizar um efluente ácido gerado pela mesma.

Figura 6 – Ciclo de Vida dos *outputs* e do processo de produção de perfil de alumínio.



Fonte: Da Autora (2018).

6 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o perfil de alumínio produzido em uma unidade de extrusão.

Com a avaliação do processo de fabricação da empresa em estudo foi possível verificar que a unidade de produção de alumínio extrudado apresenta, em sua maioria, resultados positivos com relação à avaliação qualitativa de geração de impactos ambientais e está atendendo ao exigido pela legislação aplicável.

A empresa apresenta um diferencial de mercado, que é possuir uma unidade de refusão, onde fabrica seus próprios tarugos, podendo assim absorver todos os retalhos de processo gerados na unidade de extrusão. Dessa forma evitando o transporte desse material para outra empresa.

Um ponto que deve ser ressaltado é que todo o retalho de alumínio gerado pelo processo de extrusão da empresa em estudo é reaproveitado, não havendo assim encaminhamento de alumínio para a disposição final em aterros. O que pode ocorrer é, em recipientes contendo resíduos Classe I, como graxas e ceras, ou até mesmo na varrição do piso da unidade, o cavaco de alumínio, em partículas muito pequenas, pode ser carregado juntamente com os demais resíduos e ser assim enviado para aterros industriais. Nesses casos é sempre importante se certificar que o aterro contratado para a disposição final dos resíduos possua documentação ambiental adequada e atenda toda a legislação aplicável.

Aplicou-se a metodologia preconizada na ABNT NBR ISO 14040/2014 e 14044/2014 para desenvolver o estudo, visto, que o método é passível de certificação e permite o apontamento de melhorias que afetam diretamente na qualidade e valor econômico do produto final. Porém, restrições com relação ao limite da fronteira de estudo não permitiram que todos os *outputs* fossem rastreados. Por este motivo, não foi possível uma perspectiva de berço ao túmulo. Todavia, os dados levantados proporcionaram um embasamento para ressaltar a importância da ACV e como esta ferramenta pode ser útil se for bem empregada.

Recomenda-se que o trabalho de ACV seja expandido para uma fronteira maior que a analisada no presente momento.

Recomenda-se que para estudos futuros seja considerada a utilização de *softwares* para facilitar a manipulação das informações e otimizar o tempo para realização da ACV.

Pode-se dizer que a ACV é uma técnica que permite a otimização de processos e produtos. Podendo ser utilizada para inúmeros objetivos e finalidades que contribuem para que a indústria e suas partes interessadas compreendam em detalhes os produtos e seus potenciais impactos ambientais, permitindo a tomada de decisões e a identificação de áreas para melhorias pela indústria.

O ACV pode contribuir também para o público em geral aprender mais sobre os prós e contras de materiais feitos pelo homem e os benefícios gerais de tais materiais trazidos para o bem-estar da vida humana, permitindo-lhes fazer suas contribuições individuais para a sociedade de desenvolvimento sustentável através da reutilização e reciclagem de produtos, tanto quanto possível.

REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. **Global Life Cycle Inventory**. Data for the Primary Aluminum Industry. London.2013. Disponível em:<http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/10/17/2010_life_cycle_inventory_report.pdf> Acesso em: 04 mar. 2019.

ALUMINUM ASSOCIATION. **Environmental Product Declaration**. 2014. Disponível em: <https://www.aluminum.org/system/files/102.1_AlumAssoc_EPD__Extruded%20Aluminum_20141016_0.pdf> Acesso em: 02 fev.2019

ALUMINUM ASSOCIATION. **Aluminum: The Element of Sustainability**. 2011. Disponível em: <https://www.aluminum.org/sites/default/files/SustainabilityBrochure_0.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

ARAUJO, M. G. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil**. 2013. 232 f. Tese (Doutorado) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ASSIS, B. B. de. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO COMO FERRAMENTA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. 2009. 66 f. Monografia (Especialização) Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2009_1_Bruno-Bastos.pdf>. Acesso em: 22 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistema de gestão ambiental: Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ABNT. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044: Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: ABNT. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/>> Acesso em: 22 set. 2018.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2004.

BARBIERI, J. C.; DIAS, M. Logística reversa como instrumento de programas de produção e consumo sustentável. **Tecnológica**. São Paulo, n. 77, p. 58-69, out. 2002.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial**. 2ª ed. São Paulo, Saraiva, 2007.

Bare, J.C., G.A. Norris, D.W. Pennington, and T. McKone (2003) **TRACI: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts**. *Journal of Industrial Ecology* 6(3), pp. 49-78.

BIER, C. A.; BOUSFIELD, R.; ABREU, S. **Estruturação de um plano estratégico para capacitação de recursos voltado para organizações sem fins lucrativos**. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências da Administração, Escola Superior de Administração e Gerência. Florianópolis, 2006.

CARREIRAS, M.; CASTANHEIRA, É. G.; LOPES, M.A.R.; FERREIRA, A.J.D. **A análise do ciclo de vida como ferramenta de apoio à implementação do Regulamento EMAS II na Escola Superior Agrária de Coimbra**. Escola Superior Agrária de Coimbra, Bencanta, Coimbra, Portugal, 2007.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMINIO. **Relatório Anual 2017**. 2018. Disponível em < <http://www.cba.com.br/relatorio-de-sustentabilidade-2017/pdf/CBA-RelatorioAnual-2017.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

COLTRO, L. *et al.* **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Disponível em: <http://cetea.ital.sp.gov.br/publicacoes/adi_25/>. Acesso em: 23 jan. 2019.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 2002.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: QualityMark, 1998. 104 p.

DIAS, R. **Gestão Ambiental: Responsabilidade Social e Sustentabilidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2011.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 22 set. 2018.

ENCICLO SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS. **5 softwares para realizar análise de ciclo de vida (ACV) dos seus produtos**. Disponível em: <<http://blog.enciclo.com.br/5-softwares-para-realizar-analise-de-ciclo-de-vida-acv-dos-seus-produtos/>> . Acesso em: 22 set. 2018.

Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. **Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards: LCA in perspective**. Ila: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp. Disponível em:

<<https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/science/cml-new-dutch-lca-guide>> Acesso em: 22 set. 2018.

HARRINGTON, H. James; KNIGHT, Alan. **A Implantação da ISO 14000:** Como atualizar o sistema de gestão ambiental com eficácia. São Paulo: Editora Atlas, 2001.

HERRMANN I. T.; MOLTESEN A. **Importa qual ferramenta de avaliação de ciclo de vida (LCA) você escolhe?** - uma avaliação comparativa de SimaPro e GaBi. Journal of Cleaner Production, Volume 86, Janeiro 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614008269?via%3Dihub>> Acesso em:17 maio 2019.

ISO 14025. DIN EN ISO 14025:2009-11: **Environmental labels and declarations:** Type III environmental declarations. Principles and procedures. Disponível em:

<<http://www.cscses.com/uploads/2016328/20160328110527052705.pdf>>

Acesso em: 04 mar. 2019.

LIU G., MÜLLER D. B. **Addressing sustainability in the aluminum industry:** a critical review of life cycle assessments. Journal of Cleaner Production, Volume 35, November 2012. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002533>>

Acesso em:17 maio 2019.

MENEGAZ G. **Análise de Risco na Área de uma Prensa para Extrusão de Alumínio.** 2014. 51f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

MILLER JÚNIOR, G. T. Ciência ambiental. São Paulo: Cengage, 2013.

PEREIRA, S. W. **Análise Ambiental do Processo Produtivo de Pisos Cerâmicos.** Aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida.2004.121f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TAN R. B. H., KHOO H. H. **An LCA study of a primary aluminum supply chain.** Journal of Cleaner Production, Volume 13, Issue 6, May 2005.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/search?q=LCA%20Aluminum&show=25&sortBy=relevance>> Acesso em:17 maio 2019.

REIS, M. J. L. **ISO 14001:** Gerenciamento Ambiental: Um novo desafio para a sua competitividade. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 1995.

RIBEIRO, I., Pecas, P., Silva, A., Henriques, E., 2008. **Life cycle engineering**

methodology applied to material selection, a fender case study. Journal of Cleaner Production 16, 1887e1899.

SANTOS, L. M. M. **Avaliação Ambiental de Processos Industriais.** 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2006.

SEIFFERT, M. E. B. **Sistema de Gestão Ambiental (ISO 14001) e Saúde e Segurança Ocupacional (OHSAS 18001):** Vantagens da Implantação Integrada. São Paulo: Editora Atlas S.a., 2008.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: Garamond, 2002

SILVA, G.A.; KULAY, L. A.: **Avaliação do Ciclo de Vida.** In: VILELA, A.; DEMAJOROVIC, J. Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: Editora SENAC, 2006.

TIBOR, T.; FELDMAN, I. **ISO 14000:** Um guia para as novas normas de gestão ambiental. São Paulo: Editora Futura, 1996.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental: ISO 14000.** 4. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2002.

VILELA JÚNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e Ferramentas de Gestão Ambiental: Desafios e Perspectivas para as Organizações.** 3. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2013.