



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades



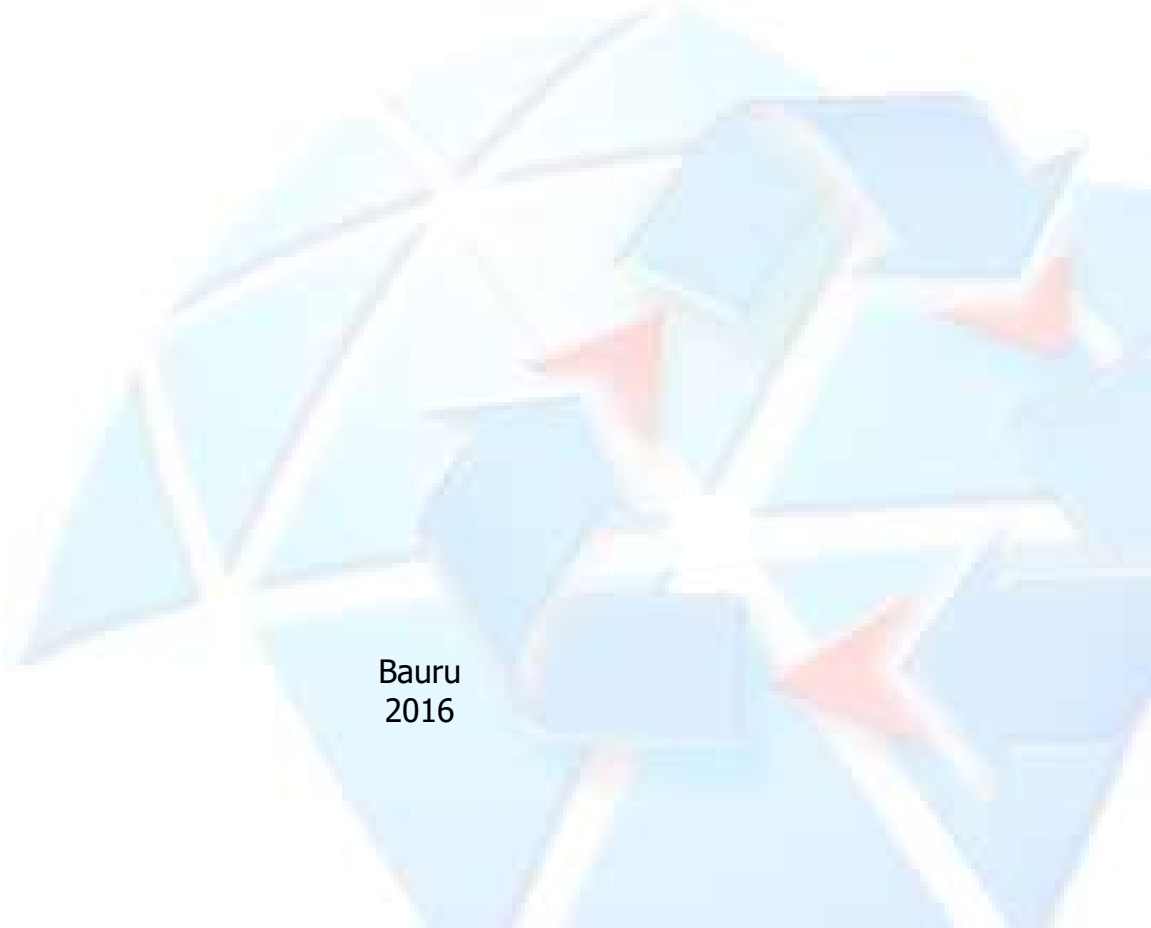
Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

EDUARDO MURBACH JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA EM PROCESSO DE FABRICAÇÃO
DE ROLAMENTO**

Bauru
2016



EDUARDO MURBACH JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA EM PROCESSO DE FABRICAÇÃO
DE ROLAMENTO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini

Bauru
2016



Murbach Junior, Eduardo.

Avaliação de Ciclo de Vida em Processo de
Fabricação de Rolamento / Eduardo Murbach Junior, 2016
82 f.

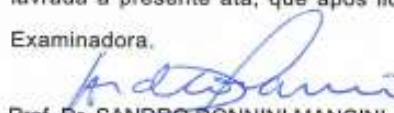
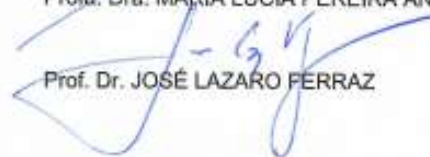
Orientador: Sandro Donnini Mancini

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2016

1. Avaliação de ciclo de vida. 2. Processo de
fabricação. 3. Rolamentos. I. Universidade
Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II.
Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE EDUARDO MURBACH JUNIOR, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA.

Aos 23 dias do mês de fevereiro do ano de 2016, às 10:00 horas, no(a) Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / UNESP/ICT/Sorocaba, Profa. Dra. MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / UNESP/ICT/Sorocaba, Prof. Dr. JOSÉ LAZARO FERRAZ do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / FATEC/Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de EDUARDO MURBACH JUNIOR, intitulada **AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA EM PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ROLAMENTO**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI
Profa. Dra. MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES
Prof. Dr. JOSÉ LAZARO FERRAZ

Dedico este trabalho a minha família, Daniela, Maria Eduarda e Fofinha, que estão presentes nos momentos diários de minha vida, e todos os familiares e amigos que apoiaram e incentivaram a conquistar mais uma etapa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas envolvidas no desenvolvimento deste trabalho, em especial minha família, minha esposa Daniela, minha filha Maria Eduarda, e aos demais familiares, que sempre estiveram me apoiando e compreendendo as necessidades na elaboração deste trabalho.

À Unesp, em especial aos colaboradores do Campus Experimental de Sorocaba.

Ao Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini que acreditou em mim, propiciou primeiros contatos com a ferramenta ACV e incentivou a realizar este trabalho.

Ao Prof Dr. Bruno Fernando Gianelli que propiciou contato prático com a ferramenta ACV, utilizando seus conhecimentos, orientando e esclarecendo eventuais dúvidas nos detalhes durante execução da ACV.

Ao Eng. Flávio Matheus por permitir que o trabalho fosse realizado em empresa privada.

Ao Srs. Geraldo Pregolato, Dany Sewing, Jhonatan Ferreira dos Santos e Sandro Goes que auxiliaram a coleta de informações do processo de fabricação.

Aos demais colaboradores da Schaeffler Brasil que contribuíram para execução deste trabalho.

MURBACH JUNIOR, E. Avaliação de Ciclo de Vida em Processo de Fabricação de Rolamento. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UNESP, Campus Experimental de Sorocaba, Sorocaba, 2016.

Resumo

Este trabalho se propôs a realizar Avaliação de Ciclo de Vida em Processo de Fabricação de Rolamento de Agulhas, com intuito de identificar impacto ambiental nas etapas do processo de fabricação para eventual direcionamento de ações de melhorias em tópicos ambientais, produtivos, e a título informativo. Foram mapeados processos de fabricação dos componentes do rolamento: anel interno, gaiola plástica de agulhas, agulhas e montagem. Os processos de fabricação apresentaram impactos ambientais nas categorias de combustíveis fósseis, respiráveis inorgânicos, alterações no clima, uso da terra, carcinogênicos, acidificação, ecotoxicidade e minerais, utilizando-se *software SimaPro®* e o método Eco-Indicator 99. Houve a identificação dos impactos ambientais provenientes de cada etapa do processo de fabricação de forma individual e global.

Palavras – chave: Avaliação de ciclo de vida, processo de fabricação, rolamento, rolamento de agulha.

Abstract

This scientific research offered to perform Life Cycle Assessment in Needles Bearing Process Manufacturing, with focus to identify environmental impacts in process manufacturing steps to eventual guidance of environmentally improvements actions, productivity, and informative notice as well. Manufacturing process components' were identified inner ring, plastic cage, needles. The manufacture process presents environmental impacts in categories of fossil fuels, inorganic respirable, climate change, land use, carcinogens, acidification, ecotoxicity, minerals, according to *software SimaPro®* and method Eco-Indicator 99. The environmental impacts were identified concern to each manufacture process steps as individual and global conception.

Key – words: Life Cycle Assessment, manufacturing process, bearings, needle bearings.

Índice de Figuras

Figura 1 Etapas da vida útil de um produto.....	4
Figura 2 Fases de uma ACV.....	9
Figura 3 Elementos de uma AICV.	13
Figura 4 Categoria de Impactos x danos. (Adaptado de GIANELLI, et al. 2014).....	19
Figura 5 Tipos de Rolamentos.....	22
Figura 6 Rolamento de Agulha.....	23
Figura 7 Rolamento de Agulhas utilizado na ACV.....	24
Figura 8 Anel Interno.	25
Figura 9 Gaiola Plástica.....	26
Figura 10 Agulhas.	27
Figura 11 Fluxograma do Processo de Fabricação do Anel Interno.....	30
Figura 12 Fluxograma do Processo de Fabricação da Gaiola.	40
Figura 13 Fluxograma do Processo de Fabricação de Agulhas.....	44
Figura 14 Fluxograma do Processo de Montagem do Rolamento de Agulhas.	53
Figura 15 Fluxograma Principal do Processo de Fabricação do Anel Interno.	58
Figura 16 Fluxograma Principal do Processo de Fabricação da Gaiola Plástica.....	59
Figura 17 Fluxograma Principal do Processo de Fabricação da Agulha.	60
Figura 18 Fluxograma Principal do Processo de Montagem.....	61
Figura 19 Gráfico de Ponderação do Processo de Fabricação do Anel Interno.	64
Figura 20 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Fabricação do Anel Interno.....	65
Figura 21 Gráfico de Ponderação do Processo de Fabricação da Gaiola Plástica.....	66
Figura 22 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Fabricação da Gaiola Plástica. ...	67

Figura 23 Gráfico de Ponderação do Processo de Fabricação da Agulha.	68
Figura 24 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Fabricação da Agulha.	69
Figura 25 Gráfico de Ponderação do Processo de Montagem e Controle Final.....	70
Figura 26 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Montagem e Controle Final.	71
Figura 27 Gráfico de Ponderação do Rolamento de Agulhas.	72
Figura 28 Gráfico de Ponderação Única do Rolamento de Agulhas.....	73

Índice de Tabelas

Tabela 1 Normas ISO relacionadas a ACV.....	7
Tabela 2 Entradas e Saídas do processo de torneamento.	32
Tabela 3 Entradas e saídas do processo de tratamento térmico.....	34
Tabela 4 Entradas e saídas do processo de retífica de faces.....	36
Tabela 5 Entradas e saídas do processo de retífica do diâmetro externo.	36
Tabela 6 Entradas e saídas do processo de retífica do diâmetro interno.	37
Tabela 7 Entradas e saídas do processo de lapidação.....	38
Tabela 8 Entradas e saídas do processo de controle de qualidade.....	39
Tabela 9 Entradas e saídas do processo de secagem.	41
Tabela 10 Entradas e saídas do processo de moldagem por injeção.	42
Tabela 11 Entradas e saídas do processo de corte.	45
Tabela 12 Entradas e saídas do processo de desbaste.	46
Tabela 13 Entradas e saídas do processo de tratamento térmico.....	47
Tabela 14 Entradas e saídas do processo de retífica.....	49
Tabela 15 Entradas e saídas do processo de polimento.....	50
Tabela 16 Entradas e saídas do processo de lavagem.	51
Tabela 17 Entradas e saídas do processo de classificação.....	52
Tabela 18 Entradas do processo de montagem.....	54
Tabela 19 Ponderação dos dados de inventário dos processos de fabricação.	63

Siglas

ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Inventário de Ciclo de Vida
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DALY	Disability Adjusted Life Years
DfD	Design for Disassembly
DIN	Deutsches Institut für Normung
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EUA	Estados Unidos da América
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
LCIA	Life Cycle Inventory Assessment
MRI	Midwest Research Institute
PAF	Potentially Affected Fraction
PDF	Potentially Disappeared Fraction
mPt	Milipoint panel
USEPA	United State Environmental Protection Agency

Sumário

RESUMO.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABELAS	V
SIGLAS	VI
SUMÁRIO	VII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	4
3.1.1 Normas ISO	7
3.1.2 Fases de uma ACV.....	9
3.1.3 Eco-Indicadores	14
3.2 ROLAMENTOS	21
3.2.1 Rolamento de Agulhas	23
4 METODOLOGIA.....	24
4.1 MATERIAIS	24
4.2 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	24
4.2.1 Anel Interno	25
4.2.2 Gaiola	25

4.2.3	<i>Agulhas</i>	26
4.2.4	<i>Softwares auxiliares na execução de ACV</i>	27
5	RESULTADOS	28
5.1	MAPEAMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ROLAMENTO DE AGULHA	28
5.1.1	<i>Fluxograma do Processo</i>	29
5.1.2	<i>Fabricação Anel Interno</i>	29
5.1.3	<i>Fabricação Gaiola</i>	39
5.1.4	<i>Fabricação de Agulhas</i>	43
5.1.5	<i>Montagem</i>	52
5.2	ACV DO ROLAMENTO DE AGULHA	55
5.2.1	<i>Objetivo e definição do escopo</i>	55
5.2.2	<i>Análise do Inventário</i>	56
5.2.3	<i>Avaliação do Impacto</i>	56
5.2.4	<i>Normalização e Ponderação</i>	62
6	CONCLUSÕES	74
7	DIVULGAÇÕES	78
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos tem se observado a preocupação da sociedade em relação aos assuntos de preservação do meio ambiente e aplicação do conceito de sustentabilidade em diversos segmentos. Diante deste contexto, houve desenvolvimento de ferramentas com enfoque sistemático para as análises de impactos ambientais associados aos processos de fabricação de produtos. Os produtos manufaturados a partir de processos industriais não só geram resíduos, como também, consomem recursos naturais, necessitam de disponibilidade de infraestrutura de instalação, mão de obra, produtos químicos, água e energia, e geram produtos que devem ser transportados, consumidos e, em alguns casos, reutilizados antes de seu descarte final, e eventualmente reciclados química ou mecanicamente.

Em cada uma das etapas, durante e após a fabricação são gerados impactos ambientais diversos que devem ser analisados quando se deseja avaliar o efeito de um processo sobre o meio ambiente. A avaliação de todas as etapas da vida útil de um produto, desde sua fabricação, contemplando a extração e consumo de matéria prima, utilização de recursos naturais, movimentação, comercialização, uso, e disposição final, corresponde a avaliação de ciclo de vida (ACV) de um determinado produto (GIANELLI, 2014).

Segundo FERREIRA et al., (2004), historicamente o termo ACV, ou em inglês, “*Life Cycle Assessment*” (LCA) foi utilizado primeiramente nos Estados Unidos da América (EUA) em (1990).

Com intuito de padronizar o uso da nova metodologia da ACV na abordagem de gestão ambiental, a *International Organization for Standardization* (ISO) criou em (1992) um comitê técnico para normalização e foram publicadas as normas relacionadas a pratica da ACV.

Para CURRAN (1996), o uso da ACV pode promover informações adicionais às simples comparações entre produtos ou processos, mas essencial para definição de objetivos mais abrangentes sobre avaliação de impactos ambientais.

Autores como YOKOTE et al. (2003) abordam a utilização da ACV direcionada a setores de defesa, marketing e desenvolvimento tecnológico. Para S.L. Soh et al. (2014), a ACV pode ser utilizada como suporte no contexto da desmontabilidade de conjunto de peças.

A ACV é uma metodologia que possui uma utilização ampla em diversos ambientes da sociedade, nas áreas de pesquisa e desenvolvimento, segmentos produtivos, possuindo a capacidade de ser executada de forma simples e parcial ou extremamente complexa e detalhada ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, fornecendo informações de inventários e impactos ambientais.

Nesta pesquisa realizou-se ACV em processo de fabricação de rolamento em empresa multinacional, localizada no Brasil. E resultados obtidos estão apresentados de forma global e estratificada a cada etapa do processo de fabricação, no intuito de determinar os impactos ambientais do processo produtivo.

2 OBJETIVOS

Este trabalho pretende demonstrar a aplicação do uso da ferramenta ACV em processo de fabricação de rolamentos, em empresa multinacional localizada no Brasil, coletando e caracterizando as informações pertinente a cada etapa de processo de fabricação, para eventual gerenciamento e direcionamento de ações ou apenas à título informativo, quanto ao consumo e impactos ambientais de forma global ou estratificada para etapas de processo individuais.

Os objetivos específicos desta dissertação são:

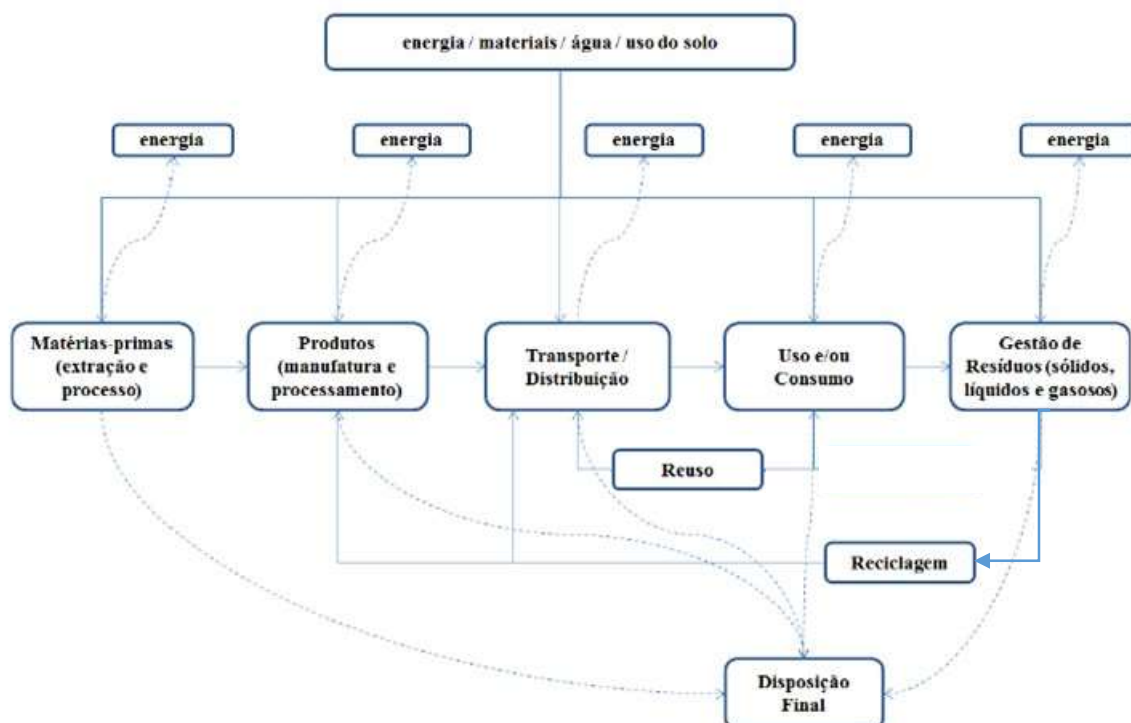
1. Selecionar rolamento alvo do estudo que seu processo de fabricação apresente todas as etapas operacionais de fabricação e montagem de seus componentes sejam realizadas internamente na empresa;
2. Elaborar fluxograma de processo de fabricação e montagem;
3. Realizar coleta de dados de cada etapa do processo de fabricação de cada componente e montagem, para elaboração do Inventário de Ciclo de Vida (ICV);
4. Introduzir dados de inventário no *software SimaPro®*, e realizar ACV do processo de fabricação;
5. Identificar e interpretar as categorias de impacto da ACV.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) corresponde uma ferramenta para a análise dos impactos ambientais que pode envolver todas etapas de vida útil de um produto, desde a extração e consumo de matéria prima; energia, água e insumos para fabricá-lo; o uso e disposição final de seus resíduos, tanto do processo de fabricação quanto ao término da vida útil (BARBIERI, 2009). A Figura 1 ilustra etapas da vida útil de um determinado produto, podendo ser de forma interdependentes e indicando que o produto carrega consigo os impactos ambientais gerados nas etapas anteriores do seu processo de fabricação, movimentação, e ou consumo (CURRAN, 1996).

Figura 1 Etapas da vida útil de um produto.



Historicamente o termo ACV, ou em inglês, “*Life Cycle Assessment*” (LCA) foi utilizado e primeiramente nos Estados Unidos da América (EUA) em meados do início da década de 1990, (FERREIRA et al. 2004). Entretanto o uso da ferramenta provém desde meados de (1970). Um dos estudos pioneiros registrados foi relacionado a quantificação e necessidade de recursos, emissões e resíduos originados por diferentes embalagens de bebida, o qual foi conduzido pelo “*Midwest Research Institute*” (MRI) para a companhia Coca Cola em (1969), o resultado desse estudo pôde apresentar que as embalagens de plásticos estavam em condições próximas as embalagens de vidro, em termos de impacto ambientais, assim revertendo parcialmente a má impressão da utilização do plástico. Em (1972), o MRI também iniciou estudo nas embalagens de cervejas, encomendado pela “*U. S. Environmental Protection Agency*” (USEPA), o qual marcou o desenvolvimento da prática da ACV como é conhecida atualmente, neste estudo foi realizada ACV comparativa entre embalagens de vidro retornáveis, latas, e com embalagens não retornáveis, para época foi um estudo muito ambicioso devido a caracterização de aproximadamente 40 materiais e processos de fabricação, após resultado pode-se comprovar que embalagens reutilizáveis apresentaram uma vantagem superior em termos ambientais, em comparação com as demais.

No período entre meados de anos 70 até início dos anos 80 houve baixo interesse pela ACV, entretanto houveram trabalhos expressivos que favoreceram para que a ACV não ficasse totalmente em desuso, trabalhos como, “Balanço Ecológico de Materiais de Embalagem” (OFEFP, 1984 apud FERREIRA, 2014), que introduziu método de para normalizar e agregar emissões para o ar e água nas próprias normas (legislação). Este conceito de avaliar impactantes foi posteriormente desenvolvido e refinado no relatório sobre Metodologia dos Ecobalancos (*Methodology for Ecobalances Based on Ecological Optimization*), propondo cálculos de ecopontos (Ahbe et al., 1991), (FERREIRA, et al., 2014).

Para CURRAN (1996), o uso da ACV pode promover informações que vão além do conceito do estudo de ciclo de vida para simples comparação de produtos, sendo atualmente visto como uma parte essencial para definição de objetivos mais abrangentes, como a sustentabilidade. Nesse sentido, uma das etapas mais importantes da ACV é a obtenção de dados de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) que, convenientemente interpretados, fornecerão importantes informações qualitativas e quantitativas, bem como servirão de base para serem transformadas em dados ambientais mais específicos como, por exemplo, o quanto determinado produto está impactando no aquecimento global ou na redução da camada de ozônio.

Geralmente, no segmento Industrial as empresas aplicam ACV em: no auxílio de defesas de eventuais processos de acusações de concorrentes, governo, colaboradores e clientes, como ferramenta de defesa; em marketing utiliza-se ACV para adquirir declarações ambientais junto aos órgãos certificadores reconhecidos pela sociedade, além de promover imagem positiva do produto e da empresa como diferencial estratégico de mercado; para desenvolvimento tecnológico a ACV auxilia no desenvolvimento de produtos, processos, e na tomada de decisões de melhorias contínuas na gestão ambiental, como requisito de normas ambientais, e na identificação de pontos críticos do processo de fabricação, para eventuais implementação de ações corretivas de melhoria contínua. (YOKOTE et al. 2003).

Adicionalmente no contexto Industrial, a ACV pode proporcionar informações relevantes no desenvolvimento de produtos com relação a remanufatura, que vêm tornando-se aspecto importante, e novas metodologias apresentam propostas de diversas maneiras para desmontagem de produtos. Segundo S.L. Soh et al. (2014), empresas que praticam a remanufatura podem obter ganhos econômicos, quando seus produtos são desenvolvidos com conceito DfD, do inglês *Design for Disassembly* ou em português, projetado para desmontagem. Em exemplos de aplicação de DfD em indústria automotiva; um automóvel

pode representar até 95%, em peso, de produtos reutilizáveis e ou recicláveis. Em termos ambientais, neste contexto o estudo da ACV pode mensurar os ganhos ambientais.

3.1.1 Normas ISO

Decorrente do surgimento da ferramenta e com intuito de padronizar o uso da metodologia da ACV, na abordagem de gestão ambiental, a *International Organization for Standardization* (ISO) criou em (1992) um comitê técnico para normalização e foram publicadas o conjunto de normas relacionadas a ACV, que foram incorporadas à norma ISO 14000, que regulamenta requisitos no contexto da gestão ambiental. A Tabela 1 descreve as atuais normas ISO relacionadas à utilização da ACV.

Tabela 1 Normas ISO relacionadas a ACV.

NORMA	TÍTULO	DEFINIÇÃO
ISO 14040:2006	Avaliação de Ciclo de Vida. Princípios e Estrutura	A norma ISO 14040 apresenta elementos de forma geral e as metodologias requeridas para execução de uma ACV de produtos e serviços, incluindo definições e limitações das fases de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) e Avaliação do Inventário de Ciclo de Vida (AICV). Entretanto a norma não descreve a técnica da ACV em detalhes.

ISO 14044:2006	Avaliação do ciclo de vida. Requerimentos e diretrizes	A norma ISO 14040 especifica os requisitos e proporciona ser um guia para a execução e revisão crítica da ACV, e relacionamento entre as fases de ICV e AICV. Inclui exemplos, e incorpora temas tratados nas antigas versões das normas ISO 14041, 14042 e 14043
ISO/TS 14048:2002	Avaliação do ciclo de vida. Informações relacionadas a apresentação de dados para um estudo de ACV.	A norma ISO/TS 14048 auxilia com informações sobre a estrutura para formatação da documentação, a ser usada de forma transparente e ambígua na troca de informações de ACV e ICV
ISO/TR 14049:2012	Avaliação do ciclo de vida. Exemplos de aplicação da ISO 14044 para a definição de Objetivos, Escopo e Análise de Inventário	A norma ISO/TR 14049:2012 providencia exemplos de práticas e condução de ICV no cumprimento da ISO 14044:2006. Os exemplos são amostras de possíveis casos, que apresentam várias opções refletindo uma porção de um completo estudo de ICV.
ISO/TR 14047:2012	Avaliação de Ciclo de Vida.	A norma ISO/TR 14047:2012 ilustra com exemplos atuais

	Exemplos de Aplicação da ISO 14044 para AICV.	práticos da AICV. Os exemplos refletem os elementos chaves da fase da AICV.
ISO/TR 14062:2002	Avaliação de Ciclo de Vida. Integração dos aspectos ambientais utilizados no desenvolvimento de produtos. Exigências e diretrizes.	Descreve conceitos e práticas atuais utilizadas para integrar aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos e serviços.

3.1.2 Fases de uma ACV

Conforme norma ISO 14040:2006, o estudo de ACV compreende em quatro fases distintas interligadas entre si, que são:

1. Objetivo e definição do escopo;
2. Análise do Inventário;
3. Avaliação do Impacto;
4. Interpretação.

A figura 2 ilustra as fases de uma ACV demonstrando as relações entre si. (GIANELLI et al., 2014).

Figura 2 Fases de uma ACV.



3.1.2.1 *Objetivo e Escopo*

Com o objetivo já definido, a ACV pode proporcionar uma visão em relação à utilização dos futuros resultados desejados; clareza nos motivos para realização do estudo; direcionamento da utilização dos resultados e ser comunicados.

Se o estudo possuir objetivo principal em análises de resultados para estudo comparativo, eventualmente as declarações poderão ser divulgadas ao público, neste caso deve-se formatar os dados atendendo a ISO/TS 14048:2002.

Segundo a ISO 14040:2006, o conteúdo do escopo de uma ACV deve ser suficientemente bem definido para garantir que as dimensões e detalhamento do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo definido. Adicionalmente o escopo contém os itens:

1. O sistema ou produto a ser estudado;
2. As funções do sistema ou produto, os casos de estudos comparativos;
3. A unidade funcional;
4. Limites do sistema;
5. Procedimentos para atribuição (entradas);
6. Seleção das categorias selecionadas e metodologia de avaliação de impactos, e subsequente interpretação a ser usada;
7. Requisito dos dados;
8. Suposições;
9. Limitações;
10. Requisitos iniciais da qualidade dos dados;
11. Revisão crítica, se necessário;
12. Formatação necessária do relatório solicitado para o estudo;

A ACV é uma técnica iterativa, e como os dados e informações são coletadas, vários aspectos definidos no escopo podem sofrer alterações durante o desenvolvimento da ACV, afim de cumprir com o objetivo definido para o estudo (ISO 14040:2006).

3.1.2.2 *Análise de Inventário*

O Inventário de Ciclo de Vida (ICV), ou em inglês *Life Cycle Inventory* (LCI) é uma das fases de um estudo de ACV na qual é realizada a coleta de dados, cálculos das entradas e saídas relevantes ao objetivo principal da ACV.

Conforme ISO 14040:2006, o ICV pode ser dividido em dois grupos:

1. Coleta de dados: Os dados de cada unidade de processo dentro do limite do sistema podem ser classificados, incluindo:

- a. Energia; matéria prima; e insumos;
- b. Produtos; subprodutos; e descarte;
- c. Emissão e descarte de efluentes gasosos e líquidos;
- d. Outros aspectos ambientais.

2. Cálculo dos dados incluem:

- a. Validação dos dados;
- b. Relação de dados referente a cada unidade de processo e fluxo funcional do processo.

Para Ferreira, 2004, o ciclo de vida deve ser representado de forma global, com seus processos e operações interconectados, sendo que os dados obtidos de cada etapa do processo produtivo são coletados e agrupados mediante seu impacto ambiental.

3.1.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), ou em inglês *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) é a etapa que compreende a avaliação dos potenciais impactos ao meio ambiente utilizando os resultados do ICV. De forma generalizada, nesta etapa correlaciona-se o envolvimento dos dados coletados no ICV com as categorias de impactos ao meio ambiente e indicadores. Adicionalmente nesta etapa, a AICV pode oferecer uma revisão dos objetivos e escopo da ACV, no intuito de verificar se os objetivos do estudo estão sendo atingidos.

Segundo ISO 14040:2006, a AICV pode ser dividida em dois diferentes elementos: Elementos mandatórios e Elementos Opcionais

Os Elementos Mandatórios na realização da AICV são: Seleção, Classificação e Cálculo. A Seleção corresponde a seleção das categorias de impactos, categorias de indicadores e caracterização; A Classificação corresponde aos resultados do ICV; e Cálculo corresponde ao cálculo dos resultados das categorias dos indicadores.

Os Elementos Opcionais são: Normalização, Agregação e Ponderação.

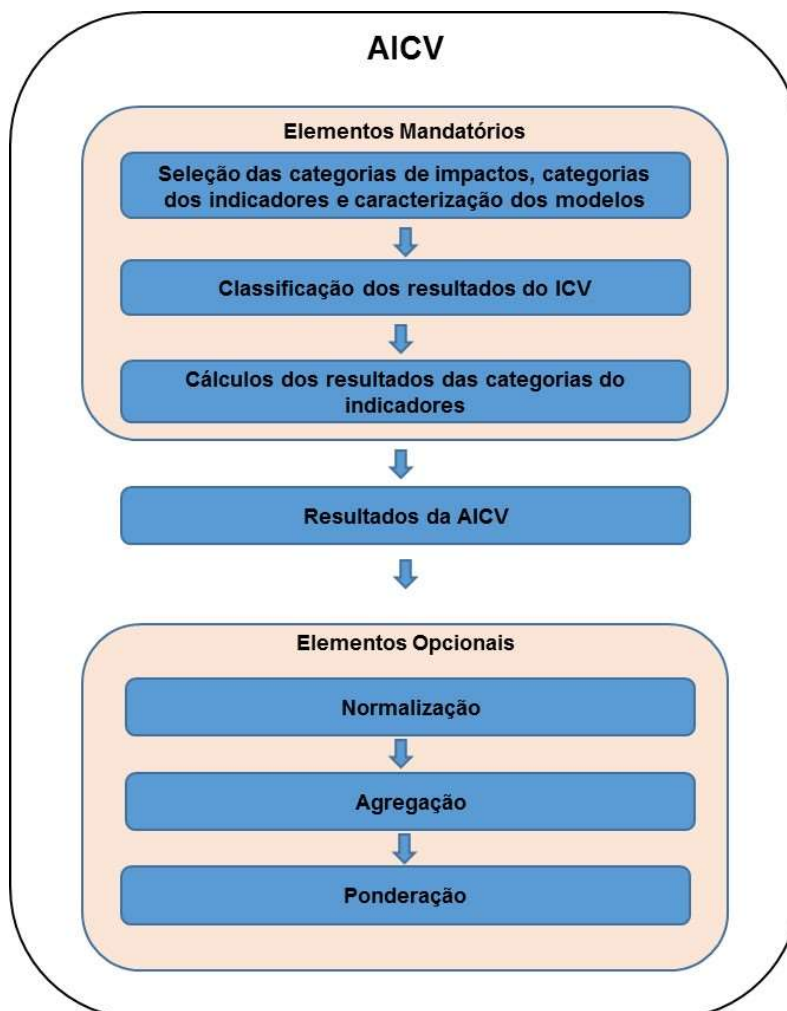
A Normalização consiste no cálculo do impacto causado por um determinado elemento, em comparação a uma referência, por um período específico. Após a etapa de Cálculo, elementos mandatórios, obtêm-se grande quantidade de informações expressas em diferentes unidades, após a Normalização, as informações são expressas em única unidade adimensional.

Agregação corresponde ao agrupamento e ordenação das categorias de impacto ambiental, como: emissão atmosférica, radiação, recursos consumidos, entre outros; ou em níveis correspondendo em alta, média e baixa prioridade.

Ponderação é a fase na qual é atribuído peso a cada categoria de impacto, considerando a importância de cada impacto, permitindo um ajuste fino na etapa da

normalização. A figura 3, ilustra os elementos mandatórios e opcionais da AICV segundo a ISO 14040:2006.

Figura 3 Elementos de uma AICV.



3.1.2.4 Interpretação

A etapa da Interpretação é a fase da ACV na qual os resultados do ICV e AICV são interpretados em conjunto ou em casos de estudo de ICV, somente o inventário. Nesta fase a Interpretação deve fornecer resultados condizentes com os objetivos da ACV, concluir o estudo, explicar as limitações e sugerir recomendações.

A Interpretação deve fornecer informações reais que indiquem os potenciais impactos ambientais e riscos. As conclusões da Interpretação também podem ser apresentadas como proposta de melhoria, baseadas nos objetivos e escopo do estudo (ISO 14040:2006).

Para a norma ISO 14044:2006, há tópico adicional referente à etapa da Interpretação quanto aos requisitos para publicação do estudo da ACV, nesta etapa adicional de análise crítica após a etapa da Interpretação, o intuito é de assegurar que o estudo da ACV esteja em conformidade com procedimentos e requisitos internacionais da do grupo de normas ISO relacionadas à ACV, que os métodos utilizados são cientificamente e tecnicamente válidos; que os dados da ACV são apropriados e razoáveis em relação com os objetivos e escopo do estudo, que as Interpretações estejam refletindo as limitações citada no objetivo do estudo, e relatório transparente e consistente.

3.1.3 Eco-Indicadores

Para GIANELLI et al., (2014), os eco-indicadores apresentam como principal objetivo o agrupamento de dados, no intuito de facilitar sua interpretação, e para um bom eco-indicador deve apresentar as três análises de danos:

- Danos à saúde humana;
- Danos a qualidade do ecossistema;

- Danos aos recursos naturais.

Para GIANELLI et al., (2014), os eco-indicadores apresentam como principal objetivo o agrupamento de dados, no intuito de facilitar sua interpretação, e para um bom eco-indicador deve apresentar as três análises de danos:

- Danos à saúde humana;
- Danos a qualidade do ecossistema;
- Danos aos recursos naturais.

3.1.3.1 Danos à Saúde Humana

A categoria de impacto aos danos à saúde humana são substâncias tóxicas presentes no meio ambiente (FERREIRA, 2004). No contexto da ACV, a categoria apresenta limitações, os fatores considerados são a morte prematura, doenças e ou irritações causadas pelas emissões oriundas de processos, que venham afetar ar, água e ou solo, (GIANELLI, 2014).

3.1.3.2 Escala de medida DALY

A escala de medida DALY, do inglês *Disability Adjusted Life Years*, expressa a fatores que influenciam negativamente a expectativa de vida de uma população, quando afetada por impactos ambientais que causam danos à saúde. A utilização da escala DALY em ACV é relacionada aos eco-indicadores de saúde humana e corresponde a quantidade total de problemas de saúde devido à incapacidade e morte prematura, atribuído a determinadas doenças e lesões. (Murray, 2004).

3.1.3.3 Danos ao Ecossistema

Os danos relacionados a qualidade do ecossistema correspondem aos impactos na biodiversidade de espécies como um dado de qualidade.

3.1.3.4 Escala de medida PAF e PDF

Diferentemente dos eco-indicadores relacionados a saúde humana, foi estabelecida que as escalas utilizadas para mensurar danos ao ecossistema são a PAF, do inglês *Potentially Affected Fraction*, aplicada as espécies animais que eventualmente podem ser afetadas pela toxidade no ecossistema. A escala PDF, do inglês, *Potentially Disappeared Fraction*, aplicada a espécies de plantas que eventualmente não venham a desenvolver decorrente de danos ao ecossistema, como acidificação, eutrofização. (GOEDKOOOP et al., 2001).

3.1.3.5 Danos aos Recursos Naturais

A classe dos danos aos recursos naturais é a mais complexa para definir uma escala de medida, esta classe se baseia na condição da extração de minerais e combustíveis fósseis, considerando a concentração dos recursos minerais associado a região de extração. E para combustíveis fósseis a quantidade de esforços aplicados à extração. (GOEDKOOOP et al., 2001).

3.1.3.6 Eco-Indicador 99

O Eco-Indicador 99 é um método desenvolvido pelo Centro Suíço de Inventário de Ciclo de Vida ou *Swiss Center for Life Inventories*, é um dos eco-indicadores presentes no mercado e o mais utilizado em pesquisas científicas, devido abordagem em três categorias de danos: saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos naturais, possibilitando uma

boa ACV. As categorias de dano são normalizadas ao nível Europeu correspondendo ao dano causado por um Europeu por ano, foram elaboradas no ano de 1993, ano de referência, com atualizações para as emissões mais importantes.

3.1.3.7 Caracterização e Agrupamento

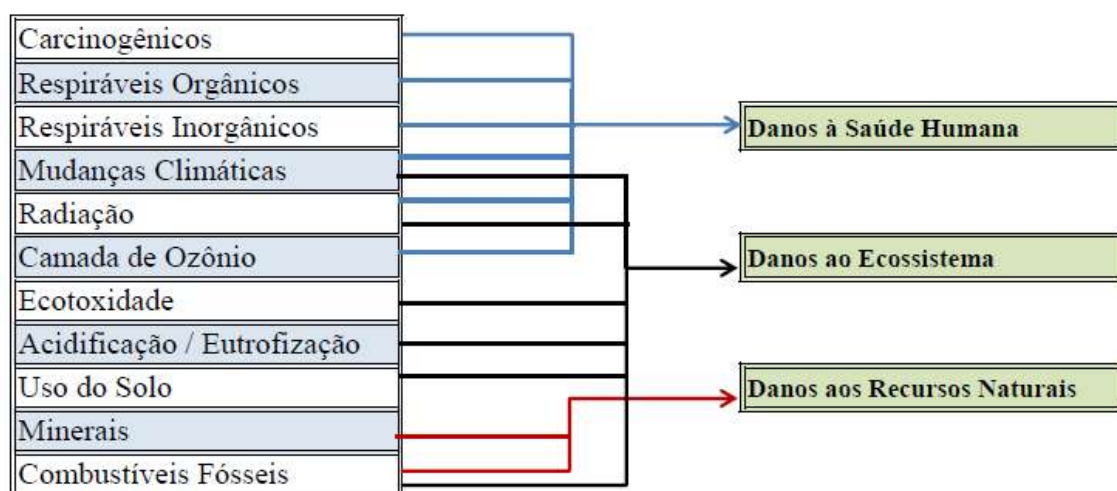
Com a utilização do método Eco-Indicator 99, a etapa da caracterização ocorre na saída dos dados da AICV, e para a etapa do Agrupamento ocorre a distribuição dos dados em categorias de impactos. As categorias utilizadas pelo Eco-Indicator são:

- Carcinogêneos: Emissões de substâncias cancerígenas no ar, na água e no solo. O dano é expresso na escala DALY / kg de emissões.
- Respiráveis orgânicos: Danos respiratórios decorrente da poluição de emissões de materiais orgânicos para o ar. O dano é expresso na escala DALY / kg de emissões.
- Respiráveis inorgânicos: Danos respiratórios decorrente da poluição de emissões de materiais inorgânicos para o ar. O dano é expresso na escala DALY / kg de emissões.
- Mudança Climática: Dano referente ao aumento de doenças e morte devido mudanças climáticas. O dano é expresso na escala DALY / kg de emissão.
- Radiação: Dano referente a radiação, expresso na escala DALY / kg de emissão.
- Camada de Ozônio: Dano indicativo a quantidade de radiação ultravioleta relacionado à emissão de substâncias que afetam a camada de ozônio. Expresso na escala DALY / kg de emissão.

- Ecotoxicidade: Danos referente à qualidade do ecossistema, resultante da emissão de substâncias tóxicas para o ar, água e solo. O dano é expresso na escala $\text{PAF} * \text{m}^2 * \text{ano} / \text{kg}$ de emissão.
- Acidificação / Eutrofização: Danos referente à qualidade do ecossistema, resultante da emissão de substâncias acidificantes para o ar. O dano é expresso na escala $\text{PDF} * \text{m}^2 * \text{ano} / \text{kg}$ de emissão.
- Uso da terra: Danos referente a qualquer conversão de terras ou ocupação do solo. Expresso na escala $\text{PDF} * \text{m}^2 * \text{ano} / \text{m}^2$
- Minerais: Energia por kg de minério extraído, expressa nas escalas MJ, kg ou m^3 .
- Combustíveis Fósseis: Energia utilizada para a extração de combustíveis fósseis, expressa nas escalas MJ, kg ou m^3 .

No intuito de correlacionar as categorias de impactos as três classes de danos, foi elaborada Figura 4. As categorias com setas azuis indicam influencia a danos à saúde humana, categorias com setas pretas indicam influencia a danos ao ecossistema, e categorias com setas vermelhas indicam influencia a danos aos recursos naturais. As categorias mudanças climáticas, radiação, e combustíveis fósseis podem apresentam impacto ambiental a mais de uma classes de forma simultânea.

Figura 4 Categoria de Impactos x danos. (Adaptado de GIANELLI, et al. 2014).



3.1.3.8 Normalização

Nesta etapa, segundo ISO 14040:2006 classificada como opcional, consiste no cálculo do impacto causado por um determinado elemento, em comparação a uma referência em um determinado período, no intuito de auxiliar na interpretação de dados. Adicionalmente, segundo FERREIRA, 2004, pode ser útil para evidenciar eventuais inconsistências relacionadas aos resultados dos indicadores, e prepara para etapa posterior de ponderação e ou interpretação do ciclo de vida. Para Eco-Indicator 99, a normalização baseia-se na correlação entre dados de impactos já obtidos com os impactos gerados pelo consumo total de um europeu médio durante o período de um ano.

3.1.3.9 Ponderação

Igualmente opcional a etapa de Normalização segundo a norma ISO 14040:2006, esta etapa é realizada a atribuição de pesos e valores relativos as categorias de impacto, de acordo com sua importância ou relevância percebida. O Eco-Indicador 99 permite a realização de várias simulações utilizando certos fatores de ponderação, levando-

se em conta questões humanas, sociais e culturais, os fatores geram diferentes pesos às análises de danos:

- Individual: maiores pesos para danos à saúde.
- Hierárquica: maiores pesos para danos à qualidade do ecossistema.
- Igualitária: distribuição uniforme de pesos.

Neste estudo optou-se pelo processo de ponderação Hierárquica como padrão de definição de pesos, decorrente da grande utilização em trabalhos científicos.

3.2 Rolamentos

O rolamento é acessório utilizado pela humanidade desde antiguidade. No princípio de forma rudimentar, os rolamentos eram utilizados nos transportes de pedras na construção de pirâmides no Egito e cidades da Mesopotâmia. Na Idade Média, Leonardo da Vinci através de pesquisa sobre fenômeno do atrito, observou a distinção entre atritos entre corpos nas condições deslizante e rolante, na resistência de giro com auxílio de cilindros. Na revolução industrial, o rolamento teve a utilização acentuada, e com o surgimento da indústria automotiva os rolamentos tiveram inúmeras alterações até os dias atuais (LCR, 2015; NSK, 2015).

Há inúmeros tipos de rolamentos, e estes são projetados de acordo com a necessidade da aplicação. Porém, os rolamentos são basicamente constituídos por anéis externo e interno, corpos rolante, gaiola e graxa, sendo que alguns apresentam necessidade de vedações ou blindagens. Os anéis externos e internos são partes que possuem a função de pista onde os corpos rolantes deslizam; os corpos rolantes podem ser de várias formas, como esferas, cilindros e agulhas; e a gaiola possuem a função de separar os corpos rolantes, evitando contatos entre si, enquanto a graxa faz a lubrificação e diminuição do atrito entre os contatos interno entre as partes dos componentes (LCR, 2015, NSK, 2015). A Figura 5 apresenta exemplos de alguns tipos de rolamentos.

Figura 5 Tipos de Rolamentos.



1 – Rolamento de rolos cônico com 2 pistas.

2 – Rolamento deslizante linear.

3 – Rolamento de esferas blindado.

4 – Rolamento de agulhas

5 e 11 – Rolamentos de rolos cônicos

6 e 7 – Rolamentos de esferas

8 – Rolamento de agulhas, axiais e radiais

9 e 10 – Rolamentos tipo rótula.

3.2.1 ***Rolamento de Agulhas***

O Rolamento de Agulha é um tipo de rolamento que possuem os corpos rolantes na forma de cilindros de pequeno diâmetro e grande comprimento em relação a dimensão do diâmetro, lembrando a forma semelhante à de uma agulha de costura. Geralmente os corpos rolantes dos rolamentos são denominados como: esferas, agulhas e rolos, de acordo com sua forma, e os rolamentos são nomeados de acordo com o corpo rolante utilizado como seu componente.

Alguns fabricantes de rolamentos de agulhas utilizam rolos cilíndricos finos de diâmetro pequeno e comprimento alongado em relação ao seu diâmetro. Apresentando forma variada, pois geralmente as agulhas tem aproximadamente até 5 mm de diâmetro e seu comprimento é de 3 a 10 vezes maior que seu diâmetro. Devido à utilização de agulhas como corpos rolantes neste tipo de rolamento a seção transversal é estreita, condicionando a aplicação do rolamento à alta capacidade de carga em relação ao seu tamanho. Outra característica devido à quantidade de corpos rolantes, esses rolamentos de agulhas têm alta rigidez e são apropriados para oscilações. A figura 6 ilustra exemplo de rolamento de agulhas

Para o fabricante de rolamentos Schaeffler, os rolamentos de agulha apresentam vantagens como: resistência e são apropriados para altas rotações, e de fácil montagem. Através da bucha externa de espessura fina e da falta do anel interno, os rolamentos de agulhas podem ser montados no sentido radial com o mínimo de espaço.

Figura 6 Rolamento de Agulha.



4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

Para realização da ACV foram utilizados: fluxograma de processo; formulários para coleta de dados; consulta a sistema de gerenciamento de máquinas e equipamentos do departamento da manutenção; entrevistas com supervisores e operadores no chão de fábrica; balança analítica; *software SimaPro®*.

4.2 Descrição do Objeto de Estudo

Existe uma enorme variedade de rolamentos de agulhas, a figura 7 ilustra exatamente o rolamento de agulha escolhido neste estudo. Geralmente os rolamentos apresentam anéis externo e interno, entretanto o rolamento utilizado não possui anel externo devido a sua aplicação.

Figura 7 Rolamento de Agulhas utilizado na ACV.



4.2.1 **Anel Interno**

O componente anel interno geralmente é fabricado em aço rolamento, sendo o mais utilizado o aço DIN 100Cr6, que apresenta alto teores de carbono e cromo que, quando tratado termicamente por tempera seguido de revenimento, apresenta alta dureza e resistência ao desgaste. Pode possuir várias formas e tamanhos de acordo com a necessidade da aplicação, contudo todos possuem as mesmas funções: estrutural do rolamento e região de contato e atrito durante funcionamento com os corpos rolantes, chamada de pista. A figura 8 ilustra o anel interno utilizado neste estudo.

Figura 8 Anel Interno.



4.2.2 **Gaiola**

A componente gaiola de rolamento geralmente pode ser fabricada em aço de baixo carbono com posterior tratamento térmico superficial ou também em compósitos termoplásticos reforçados com fibras ou simplesmente termoplásticos sem adição de reforços. Este componente também pode ser encontrado de diferentes formas e tamanhos, a definição da forma, tamanho, e do tipo de material é determinado conforme a aplicação do rolamento.

A função principal deste componente é separar os corpos rolantes evitando o contato entre si. A figura 9 ilustra a gaiola fabricada em termoplástico tipo poliamida 66 na cor preta com 25% de reforço de fibra de vidro, PA66-GF25, a qual foi utilizada neste estudo.

Figura 9 Gaiola Plástica.



4.2.3 ***Agulhas***

Os corpos rolantes de rolamentos também podem ser encontrados de diferentes formas e tamanhos, como ficam em contato com a pista do anel interno, para as agulhas estudadas nesta ACV são fabricadas no mesmo material de fabricação do anel interno ou que apresentem propriedades de mecânicas compatíveis entre si, evitando desgaste prematuro entre as partes. A figura 10 ilustra agulhas utilizadas neste estudo.

Figura 10 Agulhas.



4.2.4 Softwares auxiliares na execução de ACV

A execução de uma ACV implica em levantamento de dados de fluxo de matéria e energia, correlacionando-os com os impactos ambientais. Geralmente, dependendo do escopo da ACV, os dados demandam um grande volume de informações e cálculos, o que torna difícil a execução da ACV sem auxílio de um software. Atualmente no mercado há vários softwares específicos para realização da ACV, porém os softwares, geralmente, possuem um banco de dados com informações de diversos tipos de processos produtivos, que proporcionam correlação com as categorias de impactos ambientais, e o resultado é apresentado. Contudo cada software possui particularidades na inserção de dados e apresentação dos resultados. Atualmente os softwares conhecidos e disponíveis no mercado são: openLCA, SimaPro, GaBi, Umberto, e Quantis Suite.

A ACV em processo de fabricação de rolamento de agulha, descrita neste trabalho, foi realizada em empresa de autopeças, localizada na região metropolitana de Sorocaba, e em conjunto com a UNESP – Campus Sorocaba em relação ao suporte da utilização do *software SimaPro®*.

Para realização da ACV em processo de fabricação de rolamento de agulha, foi necessária elaboração de mapeamento e elaboração do fluxograma de processo de fabricação, coleta de informações, compilação de dados no *software. SimaPro®*, interpretação dos resultados, e recomendações de melhorias no contexto ambiental relacionadas ao processo de fabricação.

5 Resultados

5.1 Mapeamento do Processo de Fabricação do Rolamento de Agulha

O processo de fabricação do Rolamento de Agulha utilizado para este estudo de ACV é constituído pela montagem de seus componentes, anel interno, gaiola e agulhas. Entretanto, cada componente possui seu processo de fabricação de forma independente.

Para o entendimento do processo de fabricação do rolamento, foram elaborados fluxogramas para cada processo de fabricação dos componentes do rolamento de agulha, adicionalmente junto as sequências das etapas de processo de fabricação. Em cada fluxograma foram incluídas as informações de entradas e saídas relevantes para este estudo da ACV. Os fluxogramas foram elaborados a partir da observação das etapas de fabricação, entrevistas com trabalhadores e consulta a manuais e ordens de serviço.

Uma vez montados os fluxogramas, foram coletados os dados possíveis de consumo.

5.1.1 Fluxograma do Processo

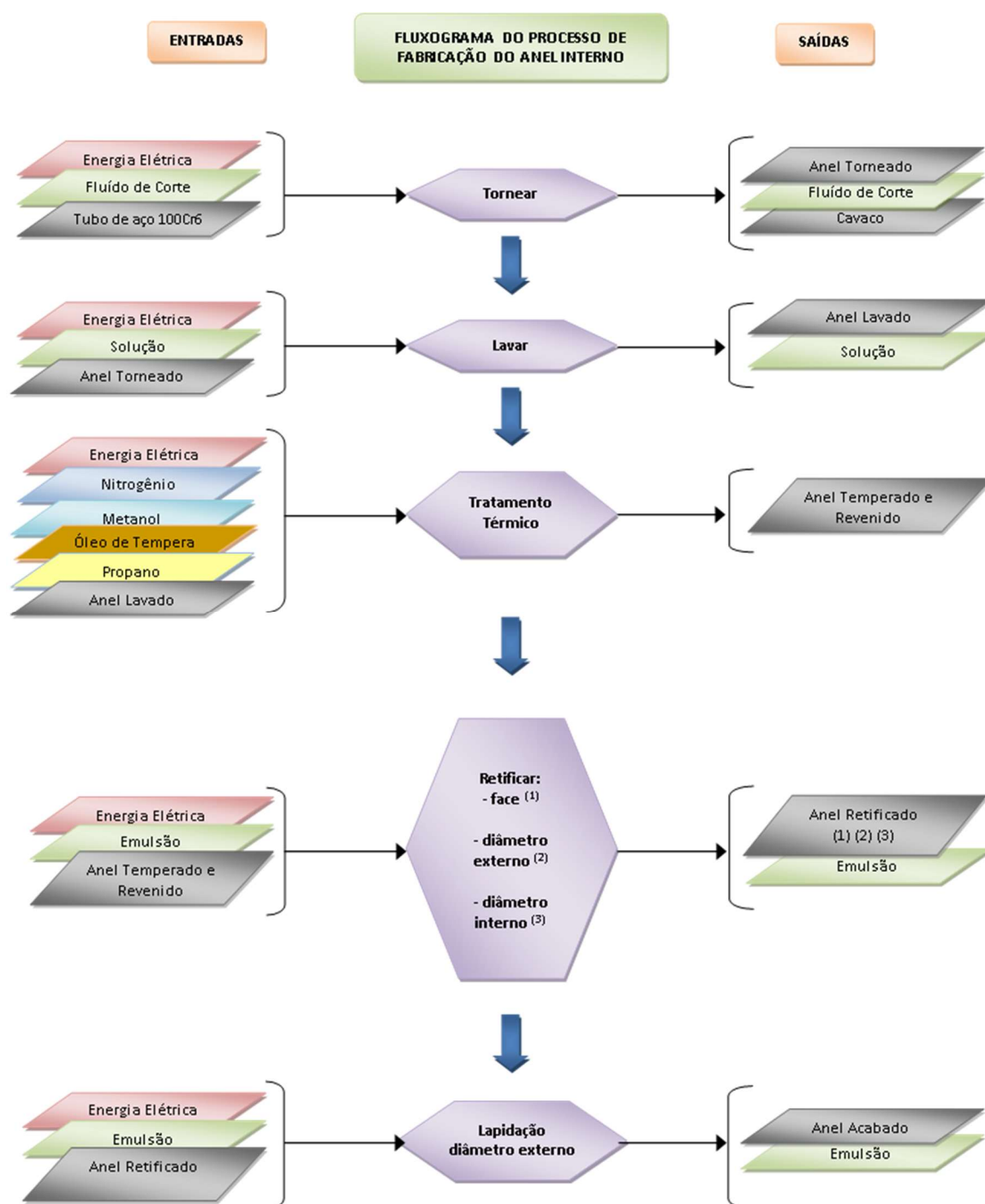
Foram elaborados fluxogramas para cada processo de fabricação dos componentes do rolamento de agulha, ilustrados nas figuras 11, 12, 13, e 14, adicionalmente junto as operações de fabricação de cada etapa do processo de fabricação, foram incluídas informações de entradas e saídas relevantes a este estudo da ACV, os detalhamentos das informações coletadas estão descritas nas tabelas 2 a 14 nas das respectivas operações de processo.

5.1.2 Fabricação Anel Interno

O processo de fabricação de anel interno para rolamento é dividido em etapas sequenciais, que partem de tubo de aço que é usinado, lavado, tratado termicamente, retificado, e lapidado no intuito de atender os requisitos necessários para desempenho durante aplicação. Abaixo descrição das etapas contendo informações relevantes para execução da ACV.

5.1.2.1 Fluxograma do Processo de Fabricação do Anel Interno

Figura 11 Fluxograma do Processo de Fabricação do Anel Interno.



5.1.2.2 *Torno*

O processo de usinagem utilizado na fabricação do anel interno é o torneamento, assim como demais processos de usinagem, o princípio é remoção de material através de ferramenta de corte. O anel interno utilizado nesta ACV é torneado a partir de tubo de aço com alto carbono e cromo, em torno multi fuso, a usinagem ocorre na região dos diâmetros interno, externo e faces do anel.

O resíduo de material do tubo de aço após usinagem, denominado cavaco é separado e destinado a coleta seletiva para posterior comercialização como sucata selecionada. O fluido de corte possui a função de resfriar a ferramenta de corte e o material que está sendo torneado, evitando superaquecimento decorrente do atrito entre a ferramenta de corte e material, promovendo aumento da vida útil da ferramenta de corte e evitando danos à estrutura do material. O sistema de abastecimento do fluido de corte é destinado à vários tornos de forma simultânea, e gerenciado por uma central de abastecimento, o sistema é fechado e possui característica circulante.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: tubo de aço, energia elétrica e fluido de corte. Para as saídas observou-se: anel interno torneado, cavaco e fluido de corte. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 2.

Dados coletados

Etapa do Processo: Torneamento

Descrição do Equipamento: Torno

Quantidade de peças produzidas: 14,70 peças/minuto (882,35 peças/hora)

Tabela 2 Entradas e Saídas do processo de torneamento.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário/Peça
Energia Elétrica	12,92 kWh	1,46 x 10 ⁻² kW
Tubo de aço 100Cr6	12,864 g (1 tubo de 5 m)	67,00 g
Fluído de corte	Sistema circulante	
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Anel de Aço Torneado	43,30 g/peça	
Cavaco	23,70 g/peça	
Fluído de corte	Sistema circulante	

5.1.2.3 *Tratamento Térmico*

Na operação de tratamento térmico ocorre o tratamento térmicos dos anéis, especificamente a têmpera seguida de revenimento. A têmpera é um tratamento térmico aplicado em aços de médio e alto teores de carbono, promove o aumento de propriedades mecânicas, resultantes da transformação da microestrutura através de resfriamento rápido. O revenimento é um tratamento térmico após a tempera que promove alívio de tensões internas do material gerados pelo choque térmico, resultando em pequena diminuição de propriedades mecânicas, e aumento na propriedade de tenacidade. O atual processo é realizado em forno contínuo, dividido em dois equipamentos: o forno de tempera e o forno de revenimento, o forno de tempera possui atmosfera cementante, isto é, rica em teores do elemento químico Carbono, proveniente da queima do gás propano e do líquido metanol, o aquecimento é realizado por resistências elétricas. Ao final do forno de têmpera as peças são

direcionadas ao tanque óleo de têmpera, onde ocorre o resfriamento rápido. O forno de revenimento, não possui atmosfera controlada, caracterizado apenas como simples forno de aquecimento. Os combustíveis líquidos e gás são de uso contínuo para condicionar a atmosfera interna do forno de têmpera. O óleo utilizado no resfriamento armazenado em reservatório tanque apenas com aquecimento e agitação, contudo há uma reposição de óleo quinzenal, pois notou-se que há perdas na evaporação, devido choque térmico com peças aquecidas, e arraste de pequena fração aderida à superfície das peças. Foi realizada pesagem de peças antes e depois do tratamento térmico no intuito de quantificar a quantidade de óleo, e não houve alteração entre resultados na pesagem, em análise estimativa, notou-se que a atual quantidade de reposição do óleo é pequena, em relação ao volume do reservatório tanque, adicionalmente há vários outros produtos que sofrem tratamento térmico, neste mesmo forno de forma contínua, dificultando eventuais cálculos ou estimativas. Devido essa característica a quantidade de óleo referente a fração em massa por peça, não foi considerada nas saídas do ICV.

Todos equipamentos utilizados na operação de tratamento térmico estão ligados ao mesmo painel elétrico, devido a esta característica o consumo de energia elétrica considerada nesta ACV é referente a operação de tratamento térmico de forma global.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: anel interno lavado, energia elétrica, gás nitrogênio, e combustíveis líquidos: propano e metanol, óleo de tempera. Para as saídas considerou-se: anel interno tratado. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 3.

Dados coletados

Etapa do Processo: Tratamento Térmico

Descrição do Equipamento: Forno

Quantidade de peças produzidas: 76,92 peças/minuto (4615,38 peças/hora)

Tabela 3 Entradas e saídas do processo de tratamento térmico.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	207,86 kWh	$4,50 \times 10^{-2}$ kW
Óleo de tempera	Sistema fechado (tanque)	
Propano	400 litros/hora	$8,67 \times 10^{-2}$ litros
Metanol	4 litros/hora	$8,67 \times 10^{-4}$ litros
Nitrogênio	$6,50 \text{ m}^3/\text{hora}$	$1,41 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
Anel lavado		43,30 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Anel tratado termicamente	43,30 g/peça	

5.1.2.4 Retífica

O processo de retífica é um dos processos de usinagem após tratamento térmico, que geralmente condiciona superficialmente o produto aos requisitos de aplicação. O processo baseia-se na utilização de rebolos abrasivos cerâmicos, de várias formas, que giram em altas rotações. Os rebolos abrasivos em alta rotação em contato com superfície do material, promove o desbaste do material, assim como em outros processos de usinagem, o contato promove aquecimento devido ao atrito entre as superfícies do rebolo e produto, para as retíficas o fluido utilizado no resfriamento é conhecido como emulsão. Da mesma forma que outros equipamentos, o abastecimento da emulsão nas retíficas é realizado por uma central de abastecimento, a qual abastece as retíficas de forma simultânea, e a emulsão após utilização na retífica retorna a central de abastecimento. A porção residual de material

removido do produto, na operação de retífica, na forma de pó, entra em contato com a emulsão e forma-se um material aglutinado pastoso, conhecido como borra.

Após operação de retífica, porém ainda no equipamento retífica, a borra permanece em contato com a emulsão, entretanto ocorre uma primeira filtração para separar a borra e emulsão, e os produtos resultantes da filtração são direcionados a processos separados

Neste estudo, a borra residual da operação de retífica é coletada, e direcionada a um processo paralelo de filtração e decantação, e o resíduo final é destinado ao descarte em aterro, gerenciado e responsabilizado por empresa subcontratada. A emulsão retorna à central de abastecimento. As informações sobre o coleta e destino da borra do processo de retífica é considerada fora dos limites deste estudo de ACV, e as informações descritas devem ser consideradas a título de informação.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: anel tratado termicamente, energia elétrica e emulsão. Para as saídas observou-se: anel retificado, emulsão com borra. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 4, 5, e 6.

Dados coletados

Etapa do Processo: Retífica de Faces

Descrição do Equipamento: Retífica

Quantidade de peças produzidas: 50,00 peças/minuto (3000,00 peças/hora)

Tabela 4 Entradas e saídas do processo de retífica de faces.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	11,78 kWh	$3,92 \times 10^{-3}$ kW
Anel Tratado Termicamente		43,30 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Anel de Aço com Faces Retificadas	43,00 g/peça	
Borra	0,30 g/peça	

Dados coletados

Etapa do Processo: Retífica de Diâmetro Externo

Descrição do Equipamento: Retífica

Quantidade de peças produzidas: 90,90 peças/minuto (5454,54 peças/hora)

Tabela 5 Entradas e saídas do processo de retífica do diâmetro externo.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	8,28 kWh	$1,52 \times 10^{-3}$ kW
Anel de Aço com Faces Retificadas		43,00 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Anel de Aço com Diâmetro Interno Retificado	41,72 g/peça	
Borra	1,28 g/peça	

Dados coletados

Etapas do Processo: Retífica de Diâmetro Interno

Descrição do Equipamento: Retífica

Quantidade de peças produzidas: 6,25 peças/minuto (375 peças/hora)

Tabela 6 Entradas e saídas do processo de retífica do diâmetro interno.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	17,15 kWh	$4,57 \times 10^{-2}$ kW
Anel de Aço com Diâmetro Interno Retificado		41,72 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Anel de Aço com Diâmetro Externo Retificado	39,81 g/peça	
Borra	1,91 g/peça	

5.1.2.5 **Lapidação**

O processo de lapidação é um processo de usinagem que utiliza o mesmo princípio e tecnologia similar ao processo de retífica, entretanto diferencia-se do processo de retífica pela capacidade de fornecer ao produto final um acabamento superficial de baixo nível de rugosidade, comparando com o acabamento superficial retificado. As informações sobre o processo de retífica abrangendo: usinagem, refrigeração com emulsão, formação, descarte de borra são similares ao processo de lapidação, contudo deve-se considerar mesma tecnologia de processo. Neste estudo o produto sofre lapidação somente no diâmetro externo.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: anel retificado, energia elétrica e emulsão. Para as saídas observou-se: anel interno lapidado, emulsão e borra. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 7.

Dados coletados

Etapa do Processo: Lapidação do Diâmetro Externo

Descrição do Equipamento: Lapidadora

Quantidade de peças produzidas: 90,90 peças/minuto (5454,54 peças/hora)

Tabela 7 Entradas e saídas do processo de lapidação.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	2,09 kWh	$9,05 \times 10^{-4}$ kW
Anel de Aço com Diâmetro Externo Retificado		39,81 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Anel de Aço com Diâmetro Externo Lapidado	39,77 g/peça	
Borra	0,04 g/peça	

5.1.2.6 **Controle**

Após retifica o anel está dimensionalmente nas dimensões finais de aplicação. Entretanto, é realizado controle do diâmetro externo em 100% dos anéis lapidados, o equipamento que realiza o controle está instalado no final da esteira de saída de peças da lapidação, o controle é realizado por contato e valores obtidos registrados armazenados em memória eletrônica do equipamento. O controle foi considerado etapa de processo, pois a

energia elétrica utilizada no funcionamento do equipamento está separada dos demais equipamentos de produção. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 8.

Dados coletados

Etapa do Processo: Controle de qualidade

Descrição do Equipamento: Inspeção

Quantidade de peças produzidas: 10 peças/minuto (600 peças/hora)

Tabela 8 Entradas e saídas do processo de controle de qualidade.

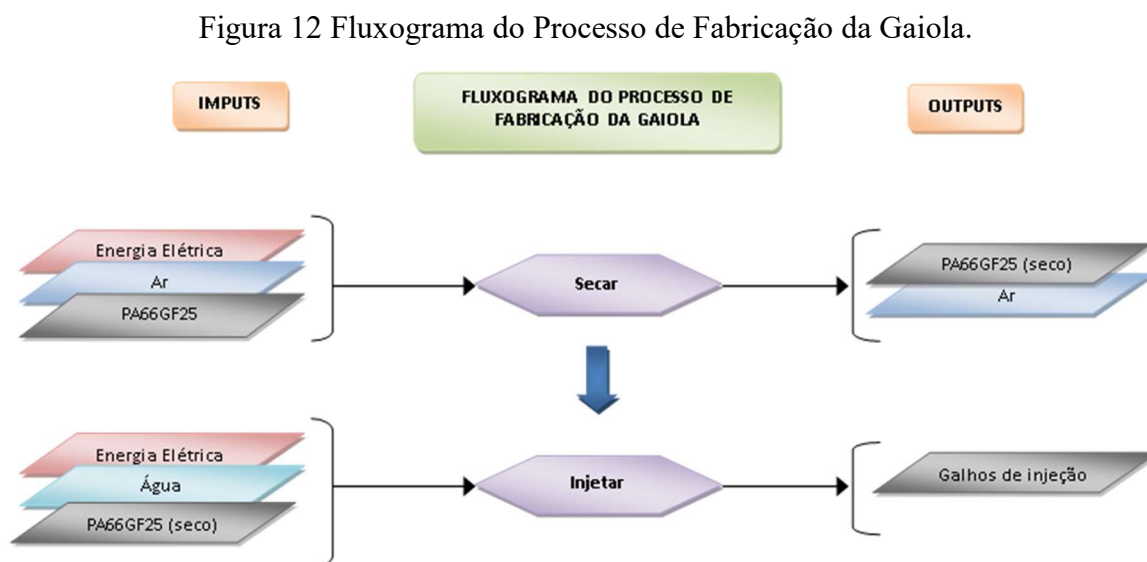
ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	1,33 kWh	$2,21 \times 10^{-3}$ kW
Anel Interno lapidado		39,77 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Anel Interno	39,77 g/peça	

5.1.3 *Fabricação Gaiola*

Um dos processos de fabricação de gaiola plástica para rolamento é a moldagem por injeção, que transformam o granulado plástico na forma do produto final, utilizando equipamento denominado injetora, e molde. O processo de moldagem por injeção baseia-se na fusão do granulado plástico, o qual é injetado sobre pressão para dentro do molde, preenchendo as cavidades, na forma do produto, sequencialmente o molde é resfriado e consequentemente o material fundido se solidifica, na forma do produto, após ocorre a

abertura do molde e os produtos são extraídos do molde. O material utilizado na fabricação da gaiola plástica do rolamento de agulhas, deste estudo, é a poliamida 6.6 reforçada com fibras de vidro, conhecida como PA66 GF25, neste caso, o termo GF provem do Inglês *Glass Fiber*, em português, fibra de vidro, a terminologia 25 refere-se a porcentagem de GF adicionada ao material plástico em sua fabricação. Abaixo descrição das etapas contendo informações relevantes para execução da ACV.

5.1.3.1 Fluxograma do Processo de Fabricação da Gaiola



Fluxograma do Processo de Fabricação da Gaiola

5.1.3.2 Secagem

Durante o processo de fabricação do material PA66 GF25 ocorre uma reação físico-química chamada poli condensação, decorrente da mistura de produtos químicos e apresentando como produtos finais: a poliamida e água. Este processo implica na afinidade da poliamida na absorção de água, característica conhecida como propriedade higroscópica.

Para um processo de moldagem por injeção estável, é essencial que a poliamida não contenha umidade absorvida entre suas cadeias poliméricas, para isso é necessário realizar a retirada da umidade remanescente, antes do processo de moldagem. O processo de secagem da PA66GF25 é realizado em funil secador, o qual aquece brandamente o material até a condição que ocorra a volatilização da umidade contida no material.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: matéria prima plásticas, e energia elétrica. Para as saídas observou-se: matéria prima plástica seca. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 9.

Dados coletados

Etapa do Processo: Secagem Matéria Prima

Descrição do Equipamento: Secador

Quantidade de Matéria Prima: 150 kg/4horas/80°C

Tabela 9 Entradas e saídas do processo de secagem.

ENTRADA		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário/Peça
Energia Elétrica	1,14 kWh	$4,22 \times 10^{-4}$ kW
PA66 Granulado		150 kg
SAÍDAS		
Substância	Peso	
PA66 granulado seco	150 kg	

5.1.3.3 *Moldagem por Injeção*

O processo de moldagem por injeção em plásticos utiliza-se de uma injetora e molde, o processo tem por definição fundir o material granulado, dosar para dentro do molde,

através de uma determinada pressão, sequencialmente ocorre o preenchimento das cavidades dentro do molde, e resfriamento do molde, solidificando o material plástico novamente, porém na forma do produto. Adicionalmente, o material solidificado dentro do molde, corresponde ao produto injetado e os canais de alimentação, estes conhecidos como galhos de injeção, neste processo de moldagem por injeção os galhos são separados do produto, moídos e reaproveitados em novo ciclo. Para o estudo da ACV, os galhos não foram classificados como resíduos.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: material granulado seco, energia elétrica, água (para resfriamento). Para as saídas observou-se a gaiola injetada. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 10.

Dados coletados

Etapa do Processo: Injetar

Descrição do Equipamento: Injetora

Quantidade de peças produzidas: 4 peças/10,7 seg. (336,45 peças/hora)

Tabela 10 Entradas e saídas do processo de moldagem por injeção.

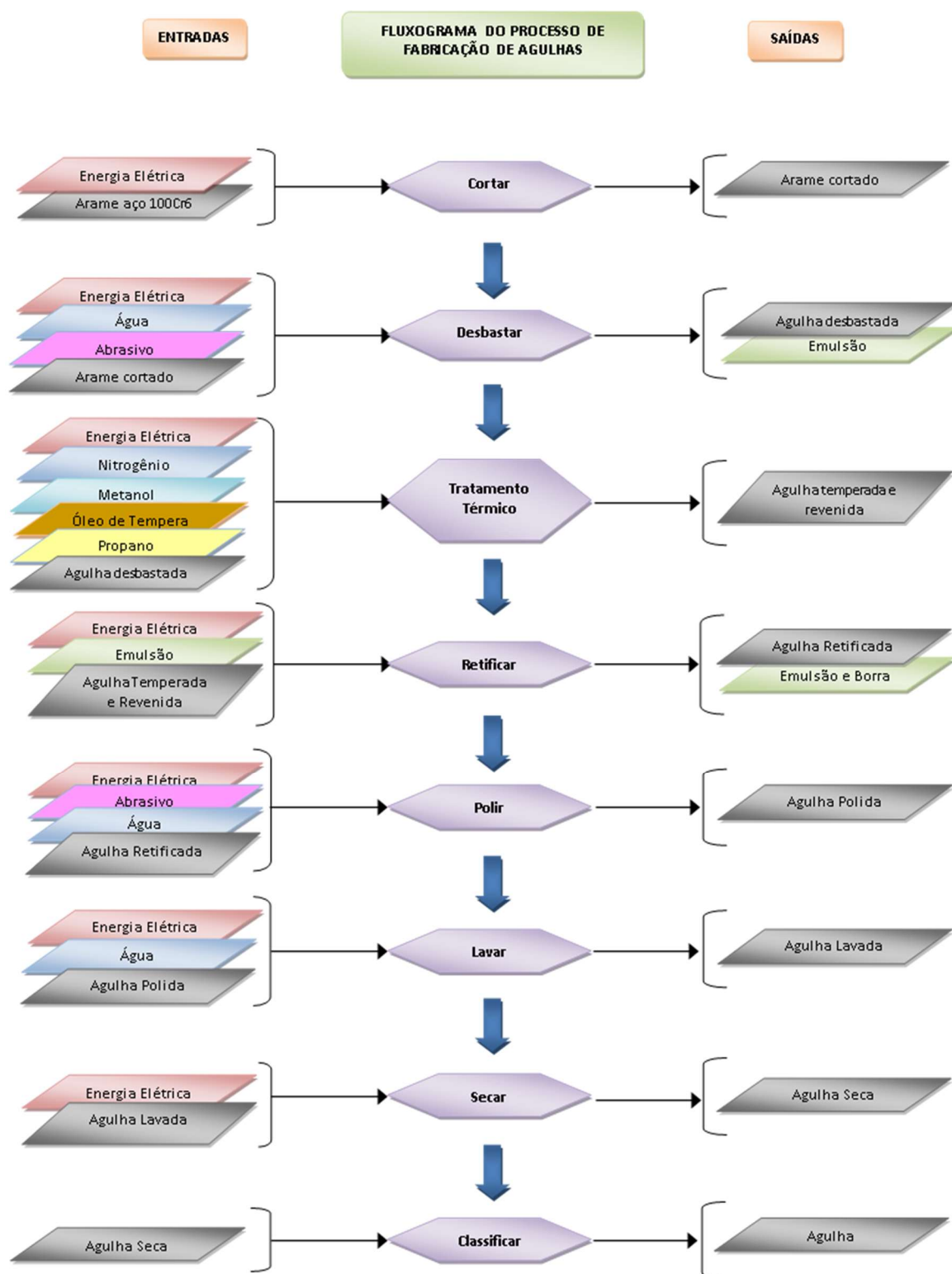
ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário/Peça
Energia Elétrica	20,71 kWh	$6,16 \times 10^{-2}$ kW
PA66 Granulado	13,86 g/ciclo	
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Gaiola de Plástico	12,38 g (4 cavidades) → 3,09 g/peça	
Galho	1,5 g (total) → 0,37 g/peça	

5.1.4 *Fabricação de Agulhas*

O processo de fabricação de anel interno para rolamento é dividido em operações sequenciais, que partem de arame de aço, que é cortado, agulha desbastada, tratada termicamente, retificada, polida, lavada, secada e classificada, no intuito de atender os requisitos necessários para desempenho durante aplicação. Abaixo descrição das etapas contendo informações relevantes para execução da ACV.

5.1.4.1 Fluxograma do Processo de Fabricação de Agulhas

Figura 13 Fluxograma do Processo de Fabricação de Agulhas.



5.1.4.2 **Corte**

O processo de utiliza bobinas de arame de aço 100Cr6, que é desbobinado para equipamento que realiza o corte do arame por cisalhamento, no qual o arame é introduzido entre duas matrizes, nesta etapa realiza-se pesagem dos lotes, condicionando-os para etapa seguinte.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: arame de aço e energia elétrica. Para as saídas observou-se: arame cortado. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 11.

Dados coletados

Etapa do Processo: Cortar

Descrição do Equipamento: Cortadeira

Quantidade de peças produzidas: 1,587 peças/minuto (95,220 peças/hora)

Tabela 11 Entradas e saídas do processo de corte.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário/Peça
Energia Elétrica	3,99 kWh	$4,19 \times 10^{-5}$ kW
Bobina de Arame de aço 100Cr6	125 kg	0,9195 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Arame de Aço Cortado	125 kg 0,9195 g/peça	

5.1.4.3 **Desbaste**

O processo de desbaste é realizado com as agulhas cortadas imersas em solução abrasiva pelo movimento de tambor rotativo, é reparada solução abrasiva e colocada agulhas

cortadas e o tambor rotativo executa movimentos para promover desbaste e quebra de cantos, condicionando o perfil para etapa de retífica.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: arame cortado, solução abrasiva e energia elétrica. Para as saídas observou-se: agulha desbastada.

A solução abrasiva utilizada nesta etapa é direcionada a Estação de Tratamento de Efluentes, ETE, tratada conforme padrões estabelecidos na resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, referente à disposição sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, nas condições e padrões de lançamento de efluentes. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 12.

Dados coletados

Etapa do Processo: Desbastar

Descrição do Equipamento: Tambor

Quantidade de peças produzidas: 400,91 peças/minuto (24.054,55 peças/hora)

Tabela 12 Entradas e saídas do processo de desbaste.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	3,91 kWh	$1,63 \times 10^{-4}$ kW
Água	250 litros	$1,04 \times 10^{-2}$ litros
Desengraxante	0,15 litros	$6,24 \times 10^{-6}$ litros
Cal	200 gramas	$8,31 \times 10^{-3}$ gramas
Carbonato de cálcio	500 gramas	$2,08 \times 10^{-2}$ gramas
Óxido de Alumínio	1500 gramas	$6,24 \times 10^{-2}$ gramas
Arame de aço 100Cr6 cortado	500 kg	0,9195 gramas

SAÍDAS	
Substância	Peso / Peça
Agulha	0,8767 g/peça

5.1.4.4 *Tratamento Térmico*

O processo de tratamento térmico para fabricação de agulhas é semelhante ao tratamento térmico apresentado na fabricação de anéis, descrito no processo de fabricação de anéis interno. A particularidade do forno utilizado na fabricação de agulhas a capacidade de fabricação reduzida, em comparação ao forno utilizado na fabricação de anéis. Para este estudo considera-se os processos de tratamento térmico com características similares.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: agulha desbastada, energia elétrica, gás nitrogênio, e combustíveis líquidos: Propano e metanol, óleo de tempera. Para as saídas observou-se: agulha tratada termicamente. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 13.

Dados coletados

Etapa do Processo: Tratamento Térmico

Descrição do Equipamento: Forno

Quantidade de peças produzidas: 62,50 peças/minuto (3,750 peças/hora)

Tabela 13 Entradas e saídas do processo de tratamento térmico.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	101,84 kWh	$2,72 \times 10^{-2}$ kW
Metanol	4 litros/h	$1,07 \times 10^{-3}$ litros
Propano	160 litros/h	$4,27 \times 10^{-2}$ litros

Nitrogênio	8 m ³ /h	2,13 x 10 ⁻³ m ³
SAÍDAS		
Substância	Peso / Peça	
Agulha tratada termicamente	0,8767 g/peça	

5.1.4.5 *Retífica*

O processo de retífica de agulhas apresenta características semelhantes aos processos de retífica de outros produtos, baseando-se na remoção de material através de rebolo abrasivo, com emulsão refrigerante. Entretanto para fabricação de agulhas, o equipamento apresenta algumas particularidades devido a geometria da agulha. Para este estudo considera-se os processos de retífica com características similares.

Em relação ao descarte de emulsão, deve-se considerar mesmo critério descrito no processo de retífica de anéis.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: agulha tratada termicamente, energia elétrica e emulsão. Para as saídas observou-se: agulha retificada. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 14.

Dados coletados

Etapa do Processo: Retificar diâmetro

Descrição do Equipamento: Retífica

Quantidade de peças produzidas: 673 peças/minuto (40.380 peças/hora)

Tabela 14 Entradas e saídas do processo de retífica.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	5,17 kWh	$1,28 \times 10^{-4}$ kW
Agulha Tratado Termicamente		0,8767 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Agulha Retificada	0,7982 g/peça	
Borra	0,0785 g/peça	

5.1.4.6 *Polimento*

O processo de polimento tem como principal objetivo eliminar o acabamento superficial da operação de retífica, e consequentemente apresentar uma diminuição da rugosidade da superfície, em relação a superfície retificada. Por tratar-se de um corpo rolante de rolamento, a característica superficial do produto é um aspecto que impacta diretamente na aplicação do rolamento.

O descarte da solução abrasiva é tratado igualmente ao resíduo do processo de desbaste.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: agulha retificada, energia elétrica e emulsão. Para as saídas observou-se: agulha polida, emulsão com borra. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 15.

Dados coletados

Etapa do Processo: Polimento

Descrição do Equipamento: Politriz

Quantidade de peças produzidas: 625 peças/minuto (37.500 peças/hora)

Tabela 15 Entradas e saídas do processo de polimento.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	4,67 kWh	$1,25 \times 10^{-4}$ kW
Agulha Retificada		0,7982 g
SAÍDAS		
Substância	Peso	
Agulha Polida	0,7931 g/peça	
Borra	0,0016 g/peça	

5.1.4.7 **Lavagem**

O processo de lavagem é realizado em máquina de lavar, que utiliza cestos para armazenar as agulhas durante lavagem. A lavagem é realizada com água no intuito de retirar resíduos remanescentes do processo de polimento, fator importante para aplicação do rolamento.

O descarte do resíduo líquido correspondente a solução contendo água, protetivo e resíduos da operação de polimento são enviados à ETE, e o tratamento e considerações para esta ACV.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: agulha polida, energia elétrica, água e protetivo. Para as saídas observou-se: agulha lavada. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 16.

Dados coletados

Etapa do Processo: Lavar

Descrição do Equipamento: Lavadora

Quantidade de peças produzidas nas operações de lavagem e secagem: 6.510,42 peças/minuto (39.0625 peças/hora).

Tabela 16 Entradas e saídas do processo de lavagem.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	3,23 kWh	$8,27 \times 10^{-6}$ kW
Água	200 litros	$5,12 \times 10^{-4}$ litros
Protetivo	0,10 litros	$2,56 \times 10^{-7}$ litros
Agulha		0,7931 gramas
SAÍDAS		
Substância	Peso / Peça	
Agulha	0,7931 gramas	

5.1.4.8 ***Secagem***

O processo de secagem é realizado no mesmo equipamento da operação de lavagem, e executado por aquecimento de ar sobre o cesto de agulhas afim de evaporar resíduo de água e secar totalmente as agulhas.

Por tratar-se de equipamento que realiza operações de lavagem e secagem, os dados de consumo de energia elétrica apontados nesta ACV são referentes ao consumo do equipamento, correspondendo a soma das duas operações.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: agulhas lavadas, energia elétrica. Para as saídas observou-se: agulhas secas.

5.1.4.9 **Classificação**

O processo de classificação de agulhas, é executado em equipamento que realiza inspeção visual superficial e classificação das agulhas em grupos de acordo com o dimensional do diâmetro.

Nesta etapa da ACV observou-se como principais entradas: agulhas secas, energia elétrica. Para as saídas observou-se: agulhas classificadas. Os valores de entrada e saída estão descritos na tabela 17.

Dados coletados

Etapa do Processo: Classificar

Descrição do Equipamento: Classificadora

Quantidade de peças classificadas: 14,93 peças/minuto (895,52 peças/hora)

Tabela 17 Entradas e saídas do processo de classificação.

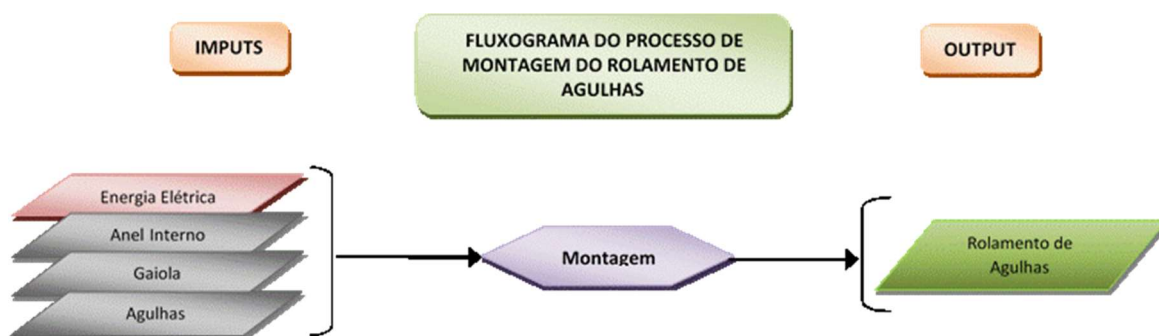
ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário / Peça
Energia Elétrica	1,83 kWh	$2,04 \times 10^{-3}$ kW
Agulha		0,7931 gramas
SAÍDAS		
Substância	Peso / Peça	
Agulha	0,7931 gramas	

5.1.5 **Montagem**

A montagem do rolamento de agulhas é separada em duas operações distintas: primeiramente a montagem da gaiola de agulhas e na sequencia montagem do rolamento.

5.1.5.1 Fluxograma do Processo de Montagem do Rolamento de Agulhas

Figura 14 Fluxograma do Processo de Montagem do Rolamento de Agulhas.



5.1.5.2 Montagem da Gaiola de Agulhas

A montagem da gaiola de agulhas é realizada em equipamento que faz a inserção das agulhas nos alojamentos da gaiola plástica, as agulhas e gaiolas são colocadas em alimentadores e abastecidas no dispositivo de montagem por gravidade, no momento que a agulha e gaiola estão na posição correta, o dispositivo punção que executa a prensagem da agulha no alojamento é acionado por sistema pneumático, e o movimento de rotação da gaiola por dispositivo elétrico. A retirada após montagem completa da gaiola de agulhas é manual. Os valores de entrada estão descritos na tabela 18.

Após montagem é realizado controle 100% nos rolamentos por equipamento eletrônico

Dados coletados

Etapa do Processo: Montagem e Controle

Descrição do Equipamento: Montadora

Quantidade de gaiolas montadas: 5,41 peças/minuto (324,32 peças/hora)

Tabela 18 Entradas do processo de montagem.

ENTRADAS		
Substância / Energia	Consumo	Consumo Unitário
Energia Elétrica (montagem)	2,629 kWh	$8,11 \times 10^{-3}$ kW
Energia Elétrica (controle)	1,709 kWh	$5,27 \times 10^{-3}$ kW
Agulha		20 agulhas
Gaiola		1 Gaiola

5.1.5.3 **Montagem do Rolamento**

A montagem embalagem dos rolamentos de agulha é de forma manual, realizada pelos colaboradores, a montagem consiste em apenas inserir o anel interno na gaiola de agulhas, e colocar na caixa da embalagem final.

5.2 ACV do Rolamento de Agulha

5.2.1 *Objetivo e definição do escopo*

Objetivo: Esta ACV tem por objetivo evidenciar impactos ambientais relevantes ao processo de fabricação de rolamento de agulha. O intuito do estudo poderá ser relevante para direcionamentos de ações de melhorias em termos ambientais. Os resultados também poderão ser utilizados como indicadores referenciais em relação aos processos de fabricação de outros componentes, que utilizam os equipamentos relacionados nesta ACV.

Escopo: A definição do escopo da ACV foi considerada: Sistema a ser estudado: processo de fabricação de rolamento de agulha em empresa brasileira;

Limites da ACV: os limites correspondem estritamente ao somente ao processo de fabricação do rolamento de agulhas. Descartes de resíduos, atividades manuais e de movimentação utilizadas no processo de fabricação, tempo ocioso de processo e *set up*, atividades de controle de qualidade manuais, descarte de peças danificadas devido inspeção, não foram consideradas nesta ACV. Notou-se que em algumas etapas do processo de fabricação ocorre eventuais perdas de frações da soluções e óleo na forma evaporada, porém estima-se que a quantidade dessa perda pode ser classificada como não impactante; pois a quantidade praticada pelos operadores na reposição destes insumos é desprezível, exemplo fluido de corte do torno, óleo de tempera no tratamento térmico. Devido a essa característica do processo, a eventual perda foi desconsiderada nos cálculos desta ACV.

Dados: a coleta de dados de consumo de energia elétrica foi realizada por sistema online de gerenciamento do departamento de instalações industriais, tempo de processo foi coletado por sistema utilizado no gerenciamento da produção, fichas técnicas de matéria prima, produtos químicos, e insumos foram coletados na Engenharia de Materiais,

mapeamento do processo in loco, e coletas de quantidade de consumo nas fichas de controle localizados em cada equipamento.

5.2.2 *Análise do Inventário*

A coleta dos dados foi realizada em cada etapa do processo de fabricação dos componentes do rolamento de agulha, de forma individual. Os dados foram compilados em formulário para análise de informações de processo/máquina.

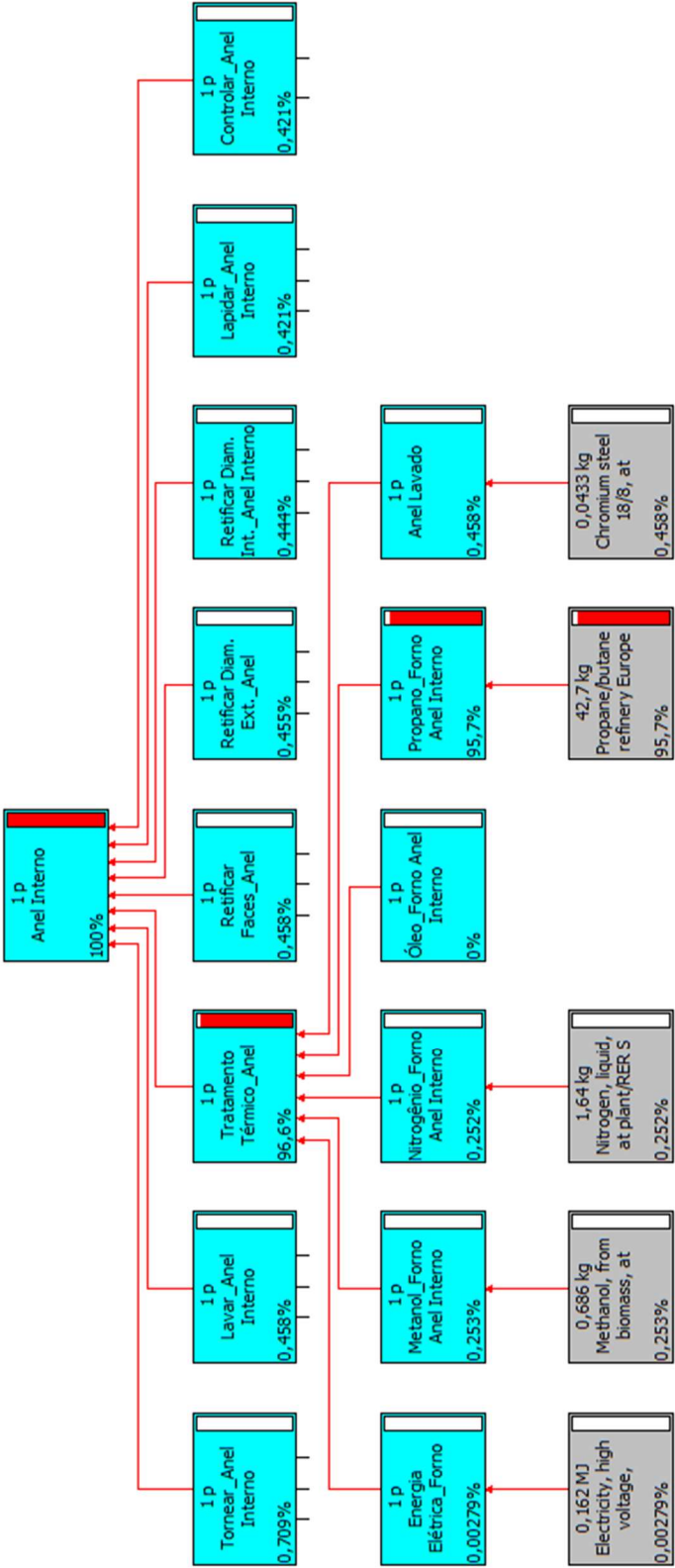
5.2.3 *Avaliação do Impacto*

A avaliação do impacto foi realizada no *software SimaPro®*, no qual os dados de entrada do inventário de energia elétrica foram ajustados para matriz energética brasileira, e substâncias utilizadas no processo foram ajustadas para unidade quilograma. Os dados foram compilados e apresentados na forma de fluxograma do processo de fabricação do rolamento demonstradas nas figuras 15, 16, 17, 18 e 19, os quais foram extraídos do *software SimaPro®*. Pode-se observar que em cada fluxograma inicia-se no processo de fabricação do componente com valor de 100%, representando a somatória de todos os valores dos impactos ambientais de todas as operações do processo de fabricação do respectivo componente. Os subníveis correspondem as operações de cada processo, que apresentam a contribuição individual dos impactos ambientais através das porcentagens, as barras vermelhas correspondem e ilustram o valor da porcentagem indicada em cada operação do processo.

A figura 15 corresponde ao fluxograma principal da AICV do processo de fabricação do anel interno. Realizou-se a estratificação da operação de tratamento térmico, que representou maior impacto ambiental de todo o processo de fabricação do anel interno, com valor de 96,6 %. Estratificando em subníveis, o processo de tratamento térmico

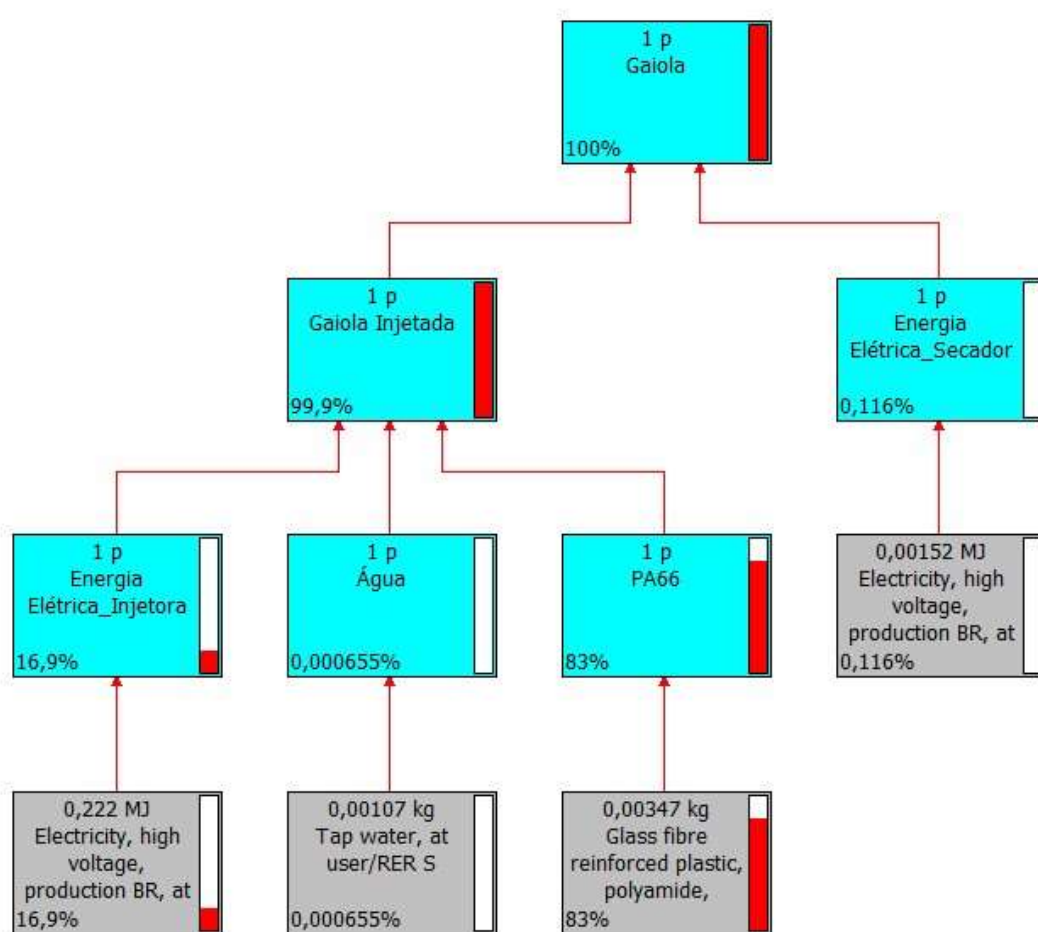
demonstrou-se que o consumo e queima do gás propano corresponde a um impacto ambiental de 95,7% no processo de tratamento térmico.

Figura 15 Fluxograma Principal do Processo de Fabricação do Anel Interno.



A figura 16 corresponde a AICV do processo de fabricação da gaiola plástica. Nota-se que o processo que apresenta maior impacto ambiental é a moldagem por injeção com valor de 99,9%. Estratificando o processo de moldagem da gaiola, observa-se que a fabricação do material plástico PA66 corresponde a um impacto ambiental de 83%.

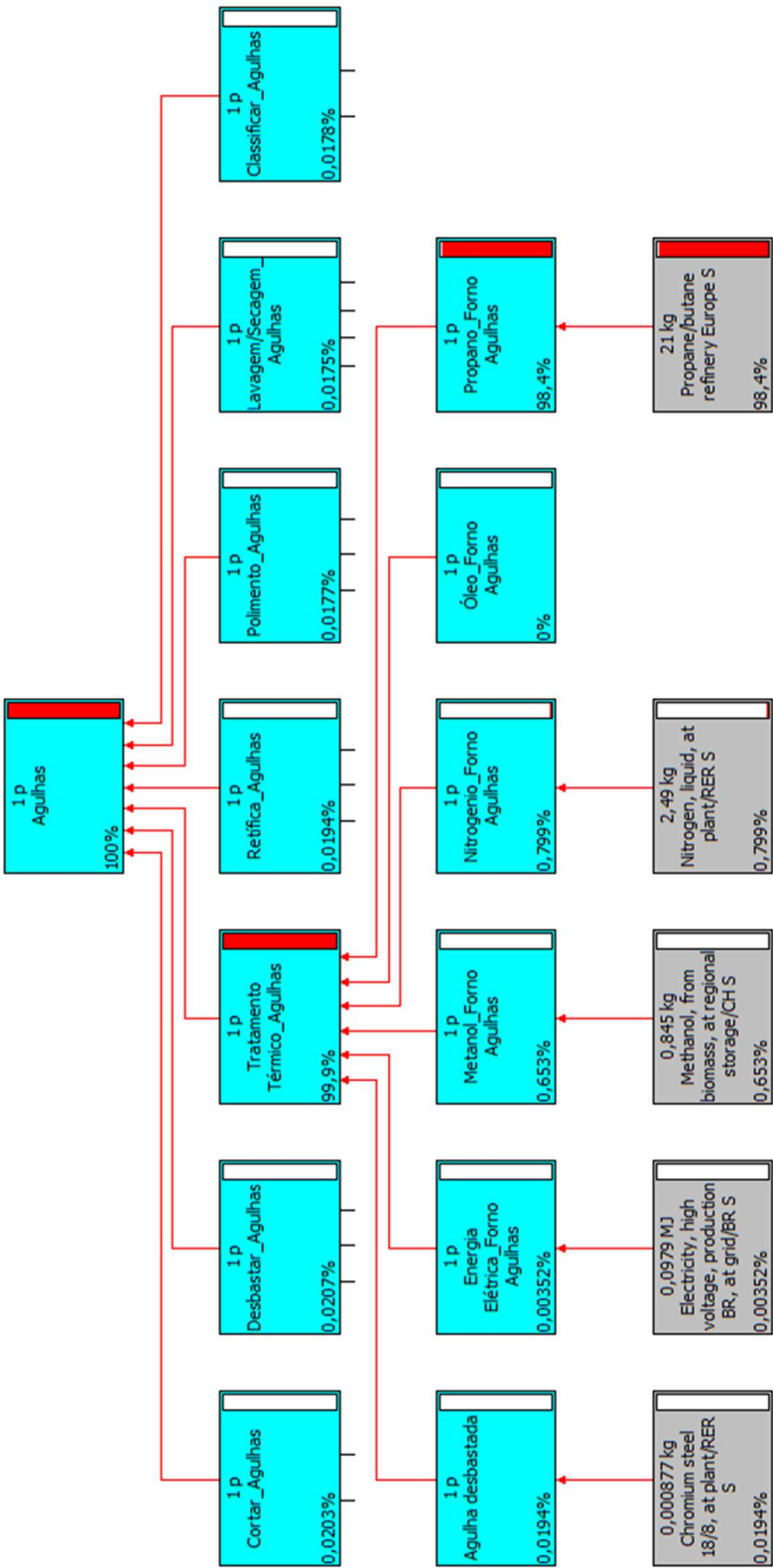
Figura 16 Fluxograma Principal do Processo de Fabricação da Gaiola Plástica.



A figura 17 corresponde a AICV do processo de fabricação de agulhas. Realizou-se a estratificação da operação de tratamento térmico, que representou maior impacto ambiental de todo o processo de fabricação da agulha, com valor de 99,9 %. Estratificando em subníveis, o processo de tratamento térmico demonstrou-se que o consumo e queima do

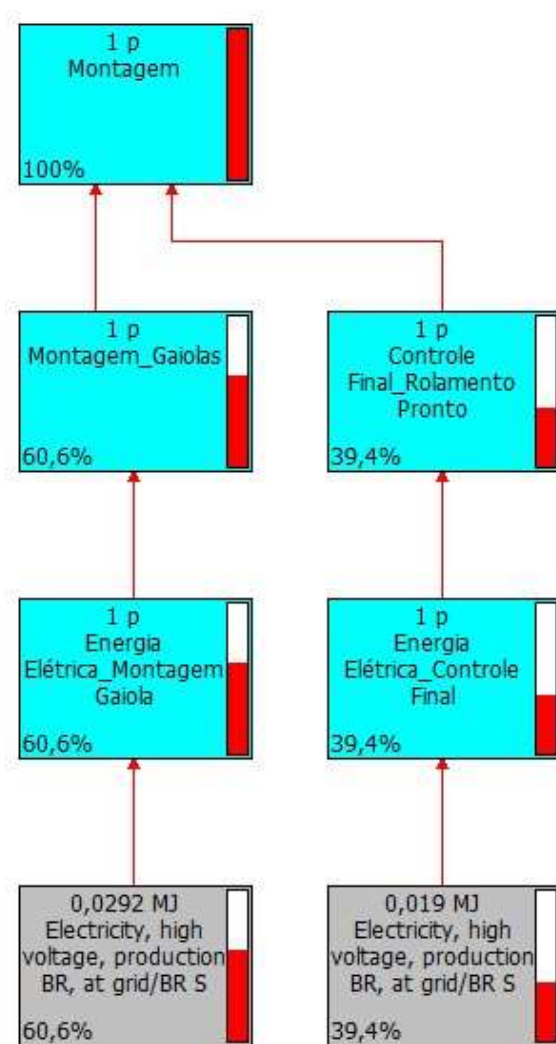
gás propano corresponde a um impacto ambiental de 98,4% no processo de tratamento térmico.

Figura 17 Fluxograma Principal do Processo de Fabricação da Agulha.



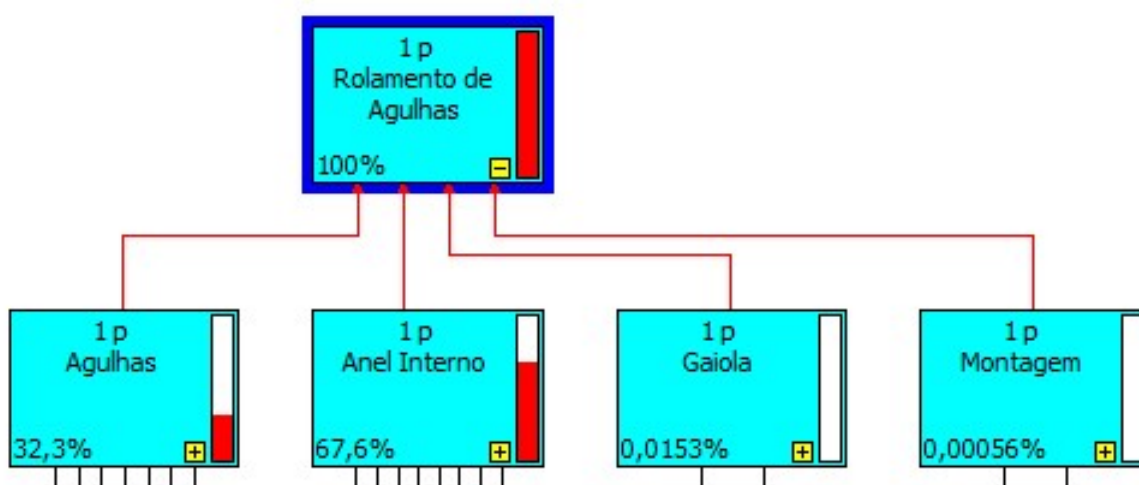
A figura 18 corresponde a AICV do processo de montagem das gaiolas e controle final do rolamento de agulhas. Nota-se que o processo que apresenta maior impacto ambiental é a montagem das gaiolas com impacto ambiental de 60,6%, o controle final apresenta impacto ambiental de 39,4%.

Figura 18 Fluxograma Principal do Processo de Montagem.



A figura 19 corresponde a AICV do processo de fabricação do rolamento de agulhas. Nota-se que o processo de fabricação do anel interno apresenta maior impacto ambiental com valor de 67,6%, o processo de fabricação de agulhas apresenta impacto ambiental de 32,3%. Os processos de moldagem da gaiola e montagem apresentam valores de 0,0153% e 0,00056%, respectivamente.

Figura 19 Fluxograma Principal do Processo de Fabricação do Rolamento de Agulhas.



5.2.4 Normalização e Ponderação

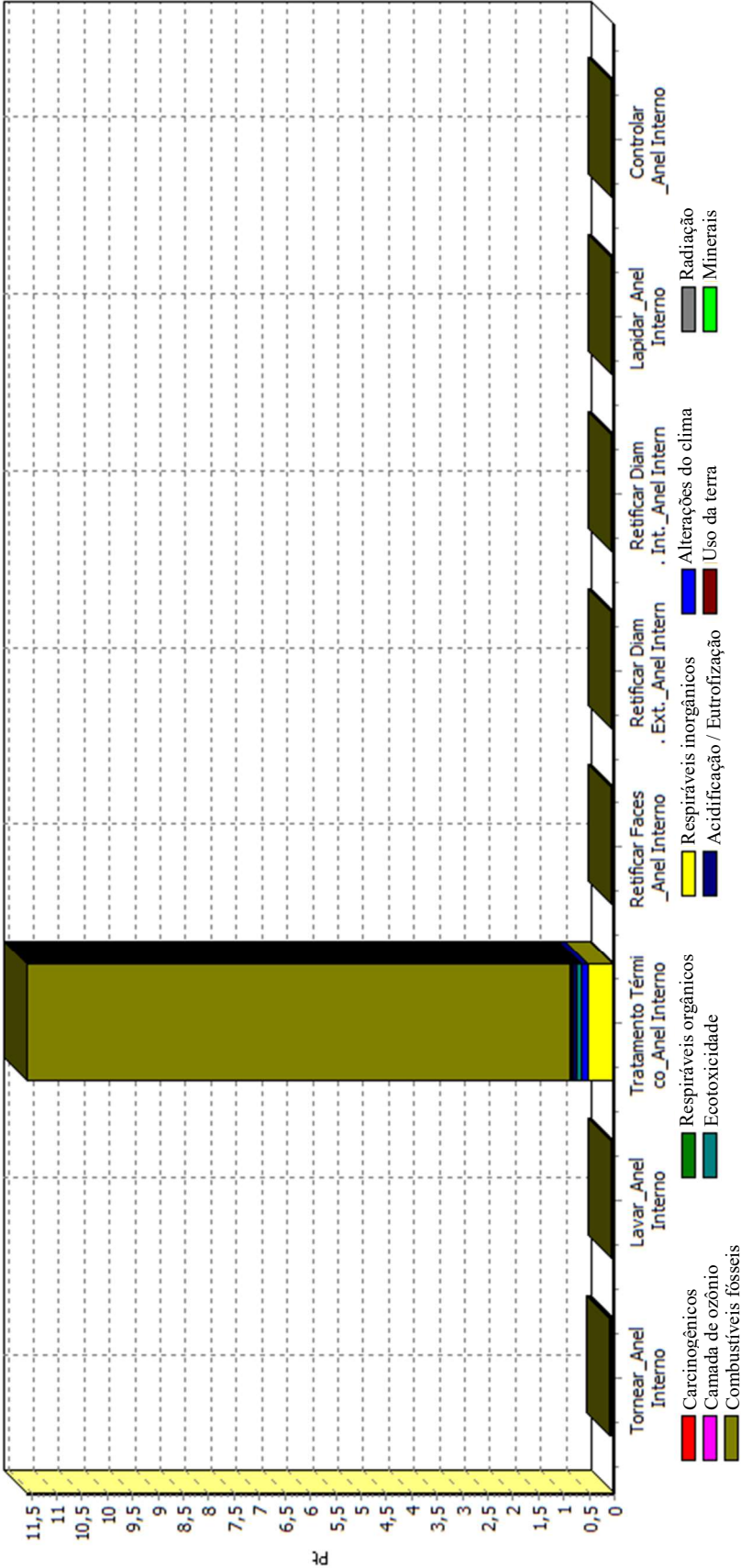
Após a compilação dos dados de Inventário no *software SimaPro®* e de padronizar a ponderação dos dados de forma hierárquica, realizou-se a caracterização e agrupamento dos dados de saída do inventário do processo de fabricação do rolamento de agulhas. Devido à grande dificuldade de interpretação dos dados gerados em várias unidades (DALY, PDF, PAF entre outras), realizou-se a normalização e ponderação dos dados, e estão descritos na Tabela 19, utilizando conceito de “*milipoint panel*”, observa-se que os processos de fabricação de anéis e agulhas impactam significativamente a categoria de combustíveis fósseis.

Com a normalização e ponderação dos dados de inventário dos processos de fabricação do rolamento de agulhas, o *software SimaPro®* proporciona a visualização na forma de gráficos. As figuras 19, 21, 23, 25, e 27 apresentam a ponderação por processo de fabricação, indicando o impacto ambiental por categorias. E figuras 20, 22, 24, 26, e 28 apresentam a ponderação única indicando o processo de fabricação de maior impacto ambiental

Tabela 19 Ponderação dos dados de inventário dos processos de fabricação.

Categoria de impacto	Agulhas	Anel Interno	Gaiola	Montagem
	(Pt)			
Carcinogênicos	0,01444	0,03144	0,00004	0,00001
Respiráveis orgânicos	0,00468	0,00951	0,00000	0,00000
Respiráveis inorgânicos	0,24221	0,54920	0,00030	0,00001
Alterações no Clima	0,06435	0,13691	0,00018	0,00001
Radiação	0,00139	0,00240	0,00000	0,00000
Camada de Ozônio	0,00229	0,00466	0,00000	0,00000
Ecotoxicidade	0,04063	0,20326	0,00001	0,00000
Acidificação/Eutrofização	0,03178	0,06464	0,00003	0,00000
Uso da Terra	0,02923	0,03859	0,00007	0,00001
Minerais	0,00603	0,18040	0,00001	0,00000
Combustíveis Fósseis	5,29474	10,76759	0,00207	0,00006

Figura 20 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Fabricação do Anel Interno.



A analisar 1 p 'Anel Interno'; Método: Eco-indicator 99 (H) V2.06 / Europe EI 99 H/H / pontuação única

Figura 21 Gráfico de Ponderação do Processo de Fabricação da Gaiola Plástica.

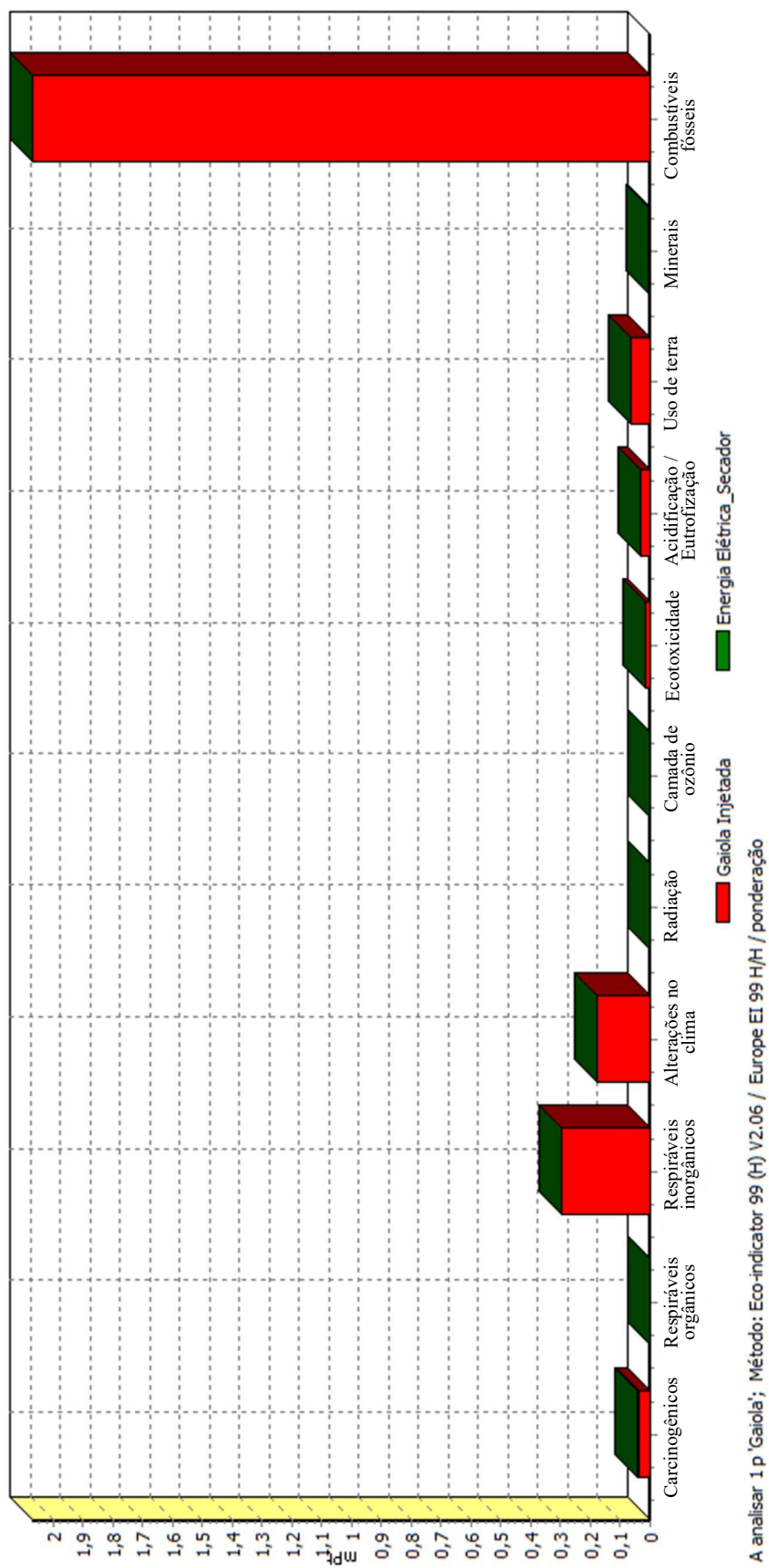


Figura 22 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Fabricação da Gaiola Plástica.

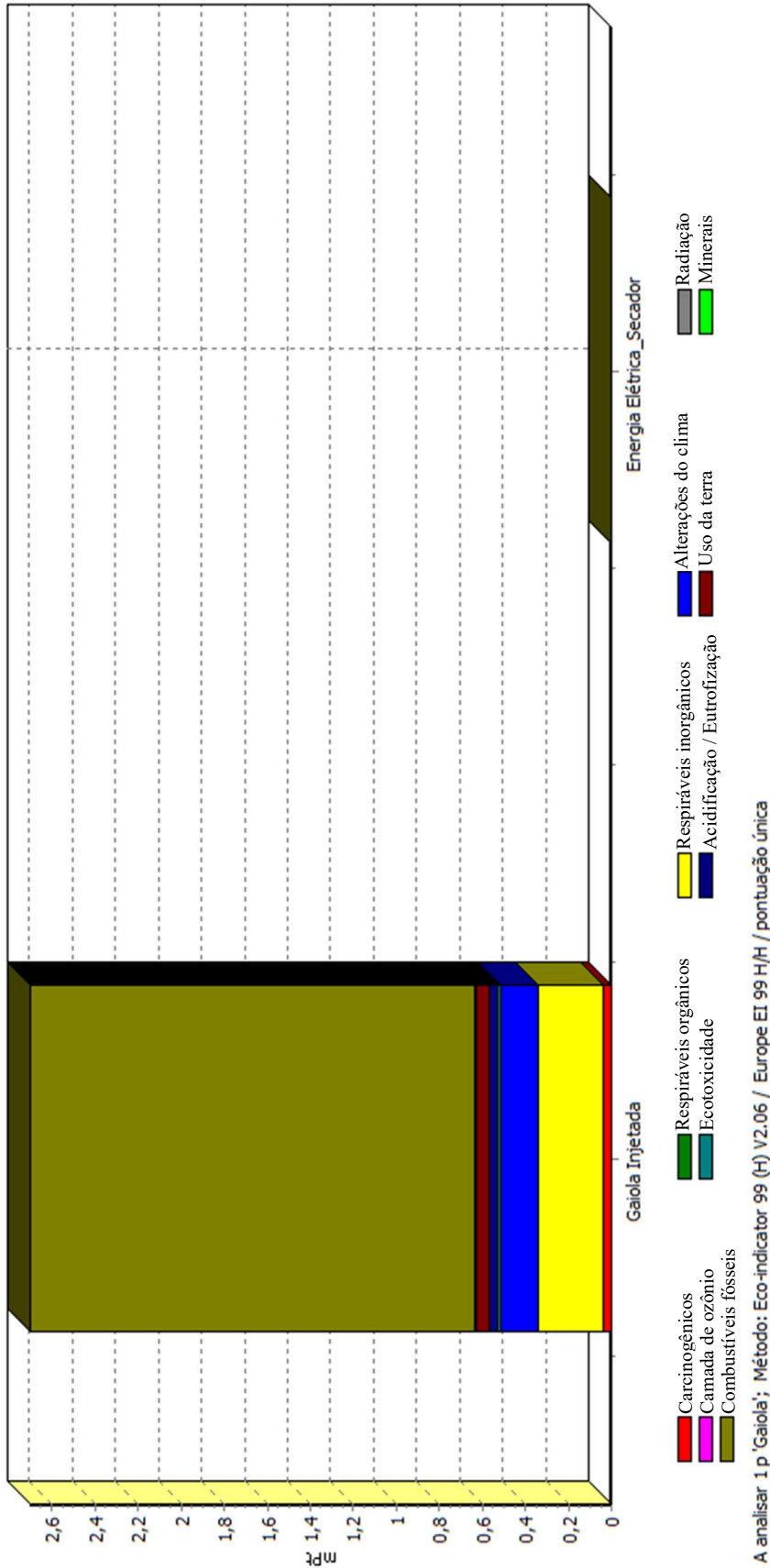


Figura 23 Gráfico de Ponderação do Processo de Fabricação da Agulha.

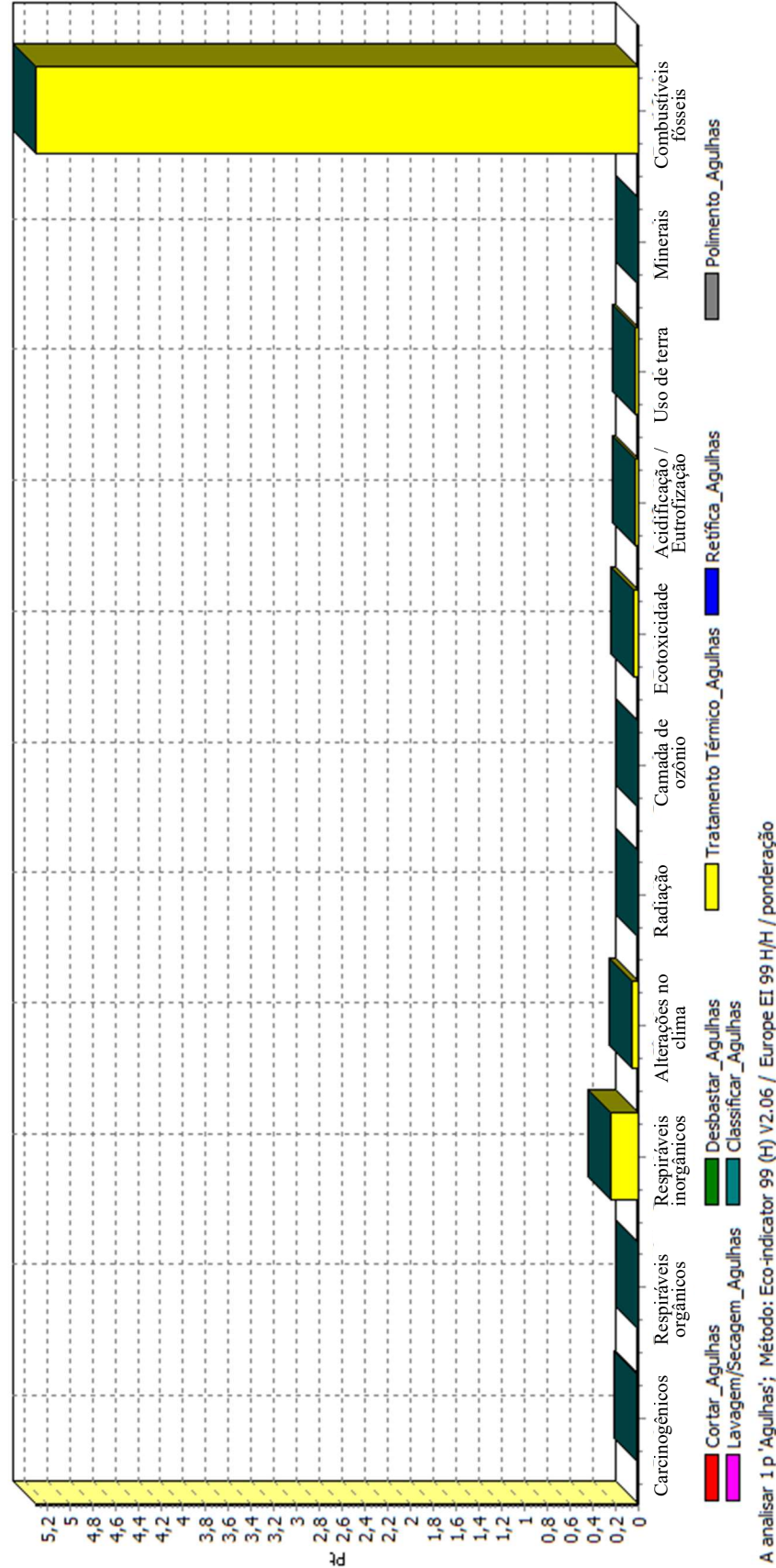


Figura 24 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Fabricação da Agulha.

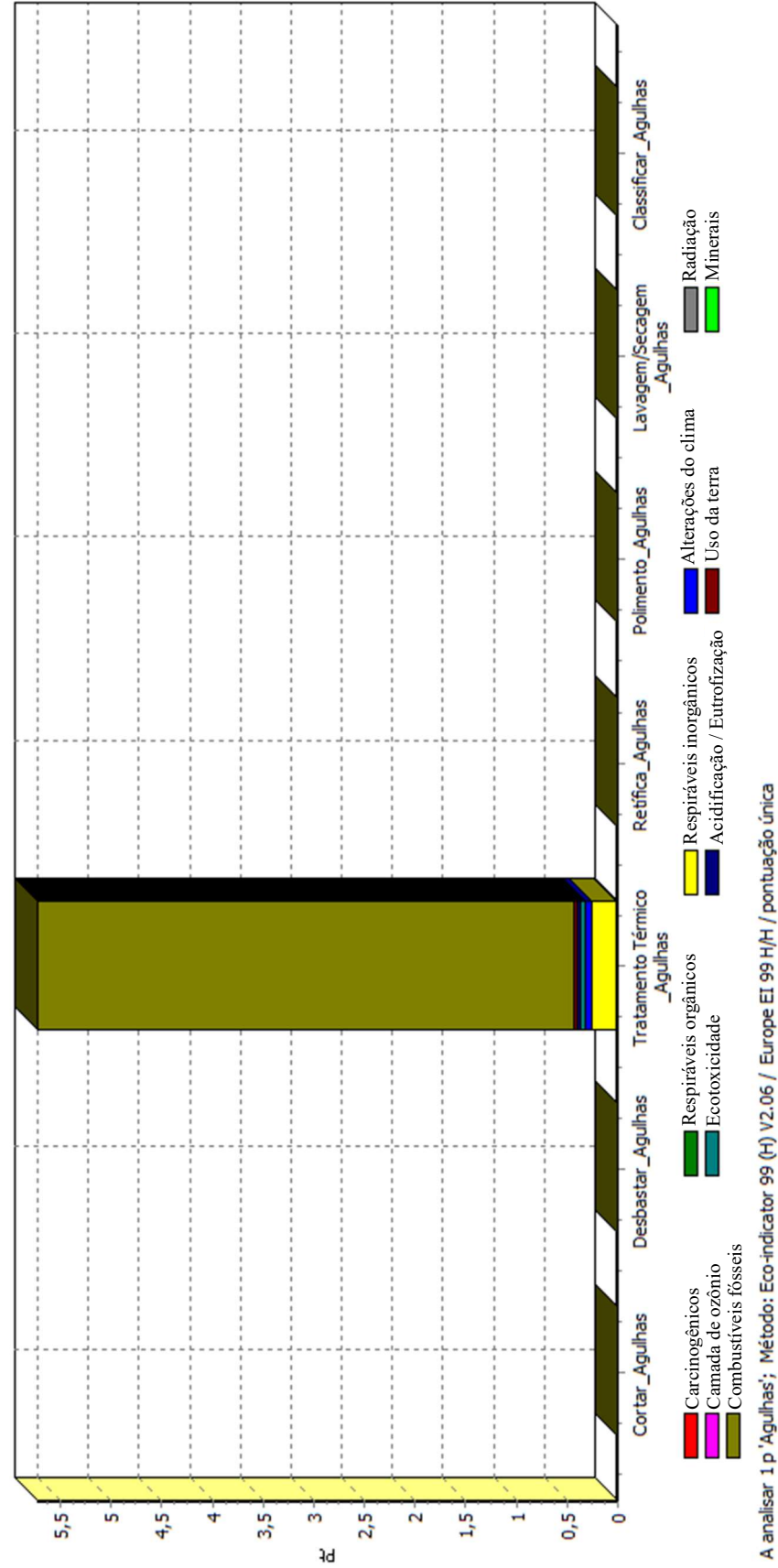


Figura 25 Gráfico de Ponderação do Processo de Montagem e Controle Final.

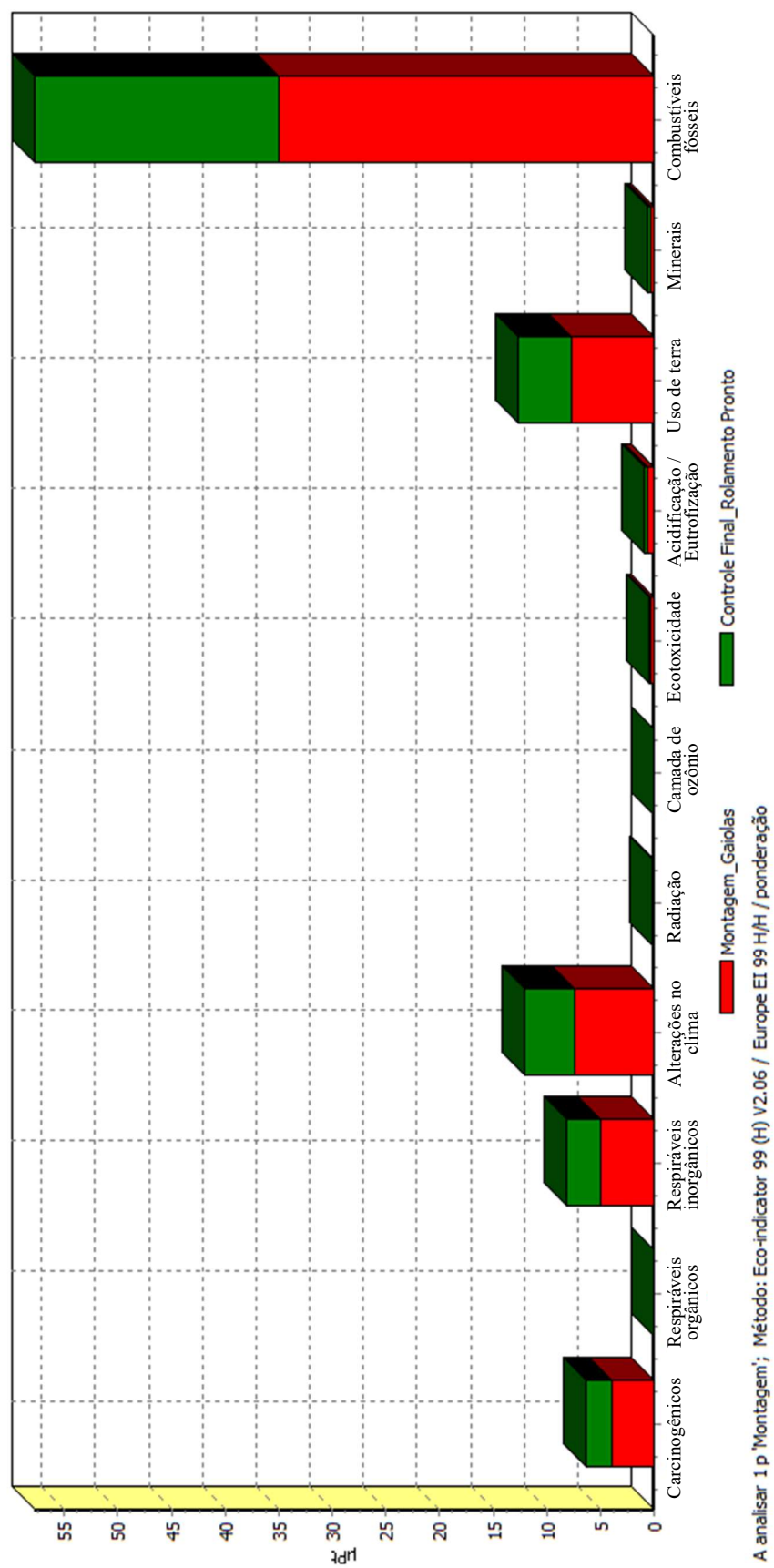


Figura 26 Gráfico de Ponderação Única do Processo de Montagem e Controle Final.

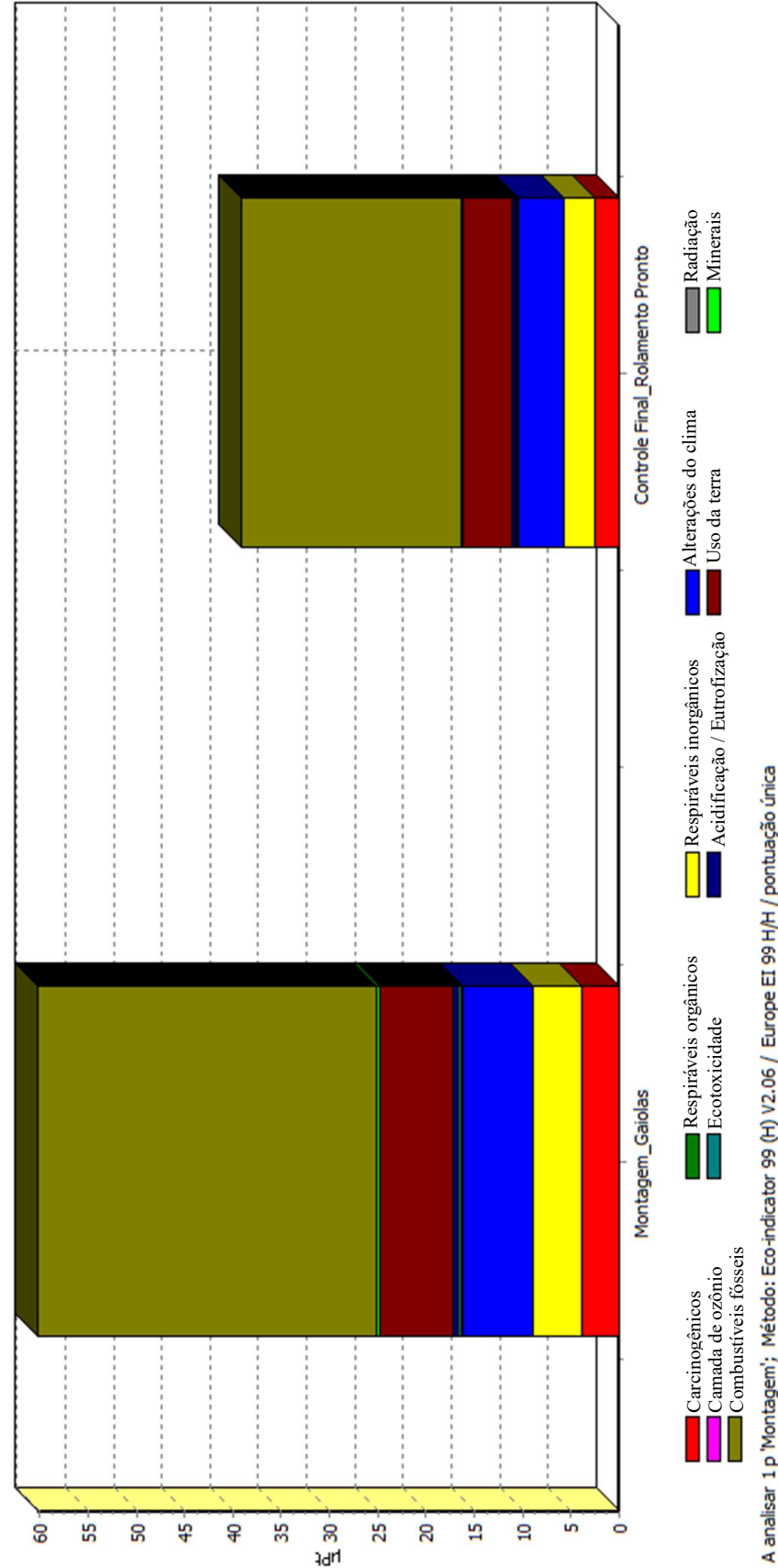


Figura 27 Gráfico de Ponderação do Rolamento de Agulhas.

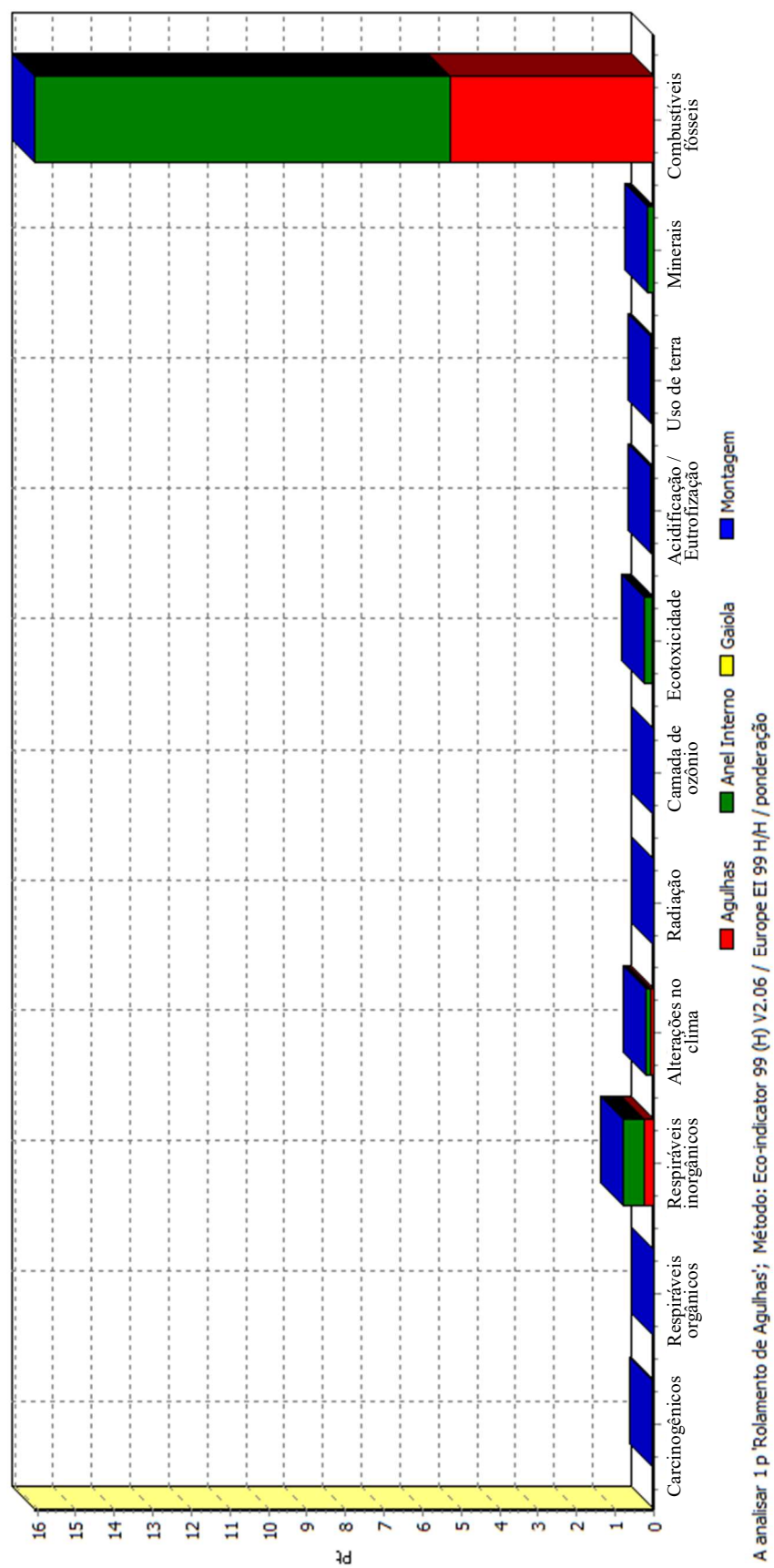
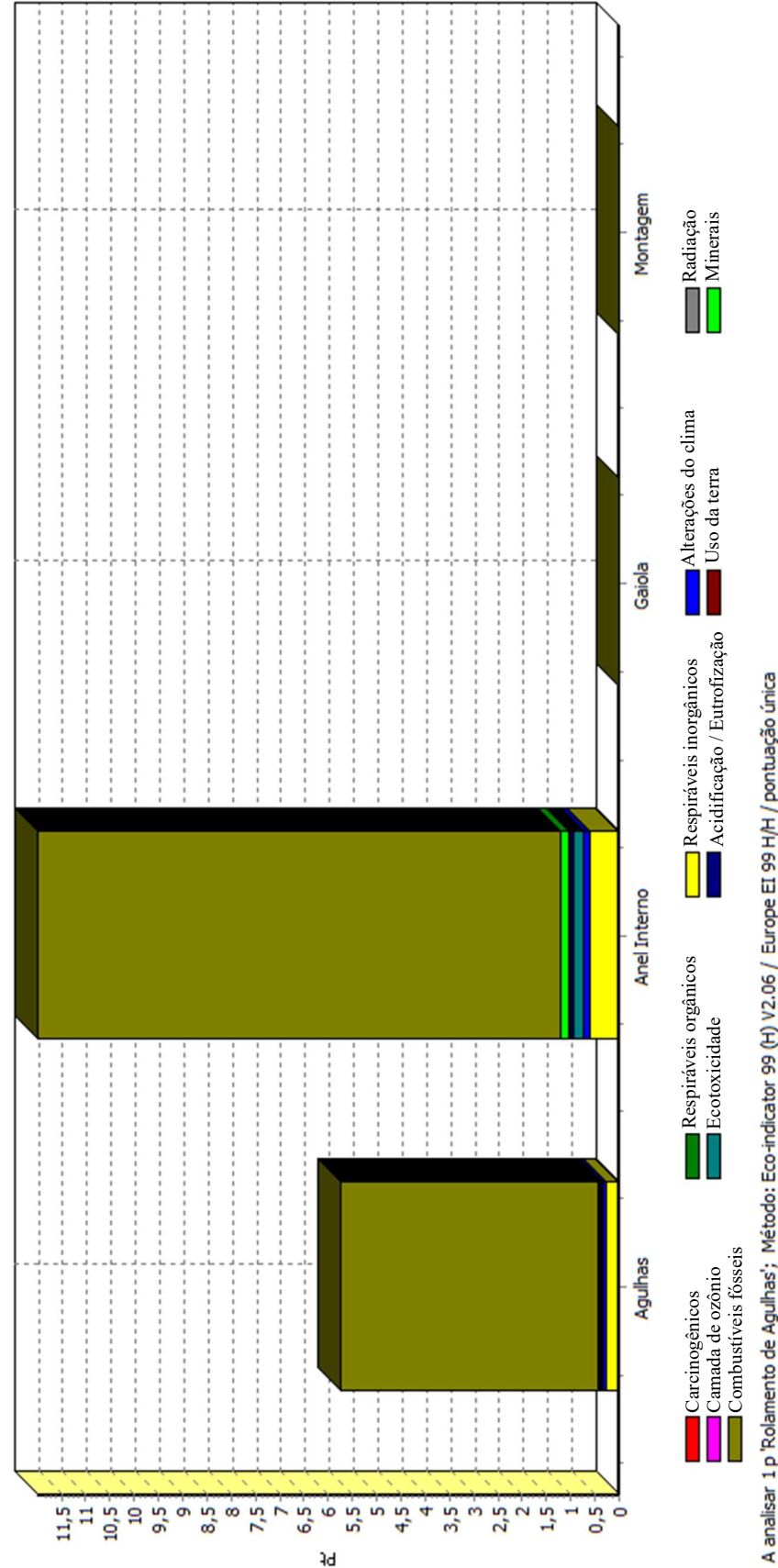


Figura 28 Gráfico de Ponderação Única do Rolamento de Agulhas.



A analisar 1 p 'Rolamento de Agulhas'; Método: Eco-indicator 99 (H) V2.06 / Europe EI 99 H/H / pontuação única

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados nessa ACV, o processo de fabricação do rolamento de agulhas apresenta acentuado impacto ambiental na categoria de combustíveis fósseis, com valores de 16,06 Pt, em comparação com as categorias de: respiráveis inorgânicos com valores de 0,79 Pt, ecotoxicidade com valores de 0,24 Pt, alterações no clima com valores de 0,20 Pt, minerais com valores de 0,19 Pt, acidificação/eutrofização com valores de 0,10 Pt, uso da terra com valores de 0,07 Pt, carcinogênicos com valores de 0,05 Pt, respiráveis orgânicos e camada de ozônio com valores de 0,1 Pt, e radiação com valores de 0,004 Pt. Em análise dos dados dos processos de fabricação de cada componente do rolamento de agulha, pode-se identificar que o processo de fabricação de anéis interno corresponde com maior contribuição para impactos ambientais com 67,6%. Para o processo de fabricação de agulhas com 32,3%. Para processo de fabricação da gaiola plástica com 0,0153%, e para processo de montagem com 0,00056%, ilustrado na figura 19.

Em análise dos dados dos resultados do processo de fabricação de anéis interno, que representa 67,6% de impacto ambiental em toda fabricação do rolamento, apresenta acentuado impacto na categoria de combustíveis fósseis com valor de 10,76 Pt. Para categorias de: respiráveis inorgânicos com valores de 0,54 Pt, ecotoxicidade com valores de 0,20 Pt, minerais com valores de 0,18 Pt, alterações no clima com valores de 0,13 Pt, acidificação/eutrofização com valores de 0,06 Pt, uso da terra com valores de 0,038 Pt, carcinogênicos com valores de 0,031 Pt, respiráveis orgânicos com valores de 0,009 Pt, camada de ozônio com valores de 0,004 Pt, e radiação com valores de 0,002 Pt. Em análise representativa dos dados do processo de fabricação de anéis internos, pode-se identificar que a etapa de torneamento representa 0,709 %, lavagem com 0,458%, tratamento térmico com 96,6%, retífica de faces com 0,458%, retífica do diâmetro externo com 0,455%, retífica do diâmetro interno com 0,444%, lapidação e controle com 0,421%. Estratificou-se a etapa de

tratamento térmico, que apresentou maior impacto ambiental, e apresenta o consumo do gás propano como integrante responsável por 95,7% da operação de tratamento térmico, ilustrado na figura 15.

Em análise dos dados dos resultados do processo de fabricação de gaiola plástica, que representa 0,0153% de impacto ambiental em toda fabricação do rolamento, apresenta impacto ambiental nas categorias de combustíveis fósseis com valores de 2,07 mPt, respiráveis inorgânicos com valores de 0,30 mPt, alterações no clima com valores de 0,18 mPt, uso da terra com valores de 0,07 mPt, carcinogênicos com valores de 0,03 mPt, ecotoxicidade e minerais com valores de 0,01 mPt, radiação, respiráveis orgânicos e camada de ozônio apresentaram valores abaixo de 0,001 mPt. Em análise representativa dos dados do processo de fabricação de gaiola plástica, pode-se identificar que o processo de moldagem é responsável por 99,9%, e a etapa de secagem da matéria prima com 0,116%, dos impactos ambientais. Estratificando-se a etapa de moldagem, verificou-se que a maior contribuição para impactos ambientais é a fabricação da matéria prima plástica com 83%, ilustrado na figura 16.

Em análise dos dados dos resultados do processo de fabricação de agulhas, que representa 32,3% de impacto ambiental em toda fabricação do rolamento, apresenta acentuado impacto na categoria de combustíveis fósseis com valor de 5,29 Pt. Para categorias de: respiráveis inorgânicos com valores de 0,24 Pt, alterações no clima com valores de 0,064 Pt, ecotoxicidade com valores de 0,040 Pt, acidificação/eutrofização com valores de 0,031 Pt, uso da terra com valores de 0,029 Pt, carcinogênicos com valores de 0,014 Pt, minerais com valores de 0,006 Pt, respiráveis orgânicos com valores de 0,004 Pt, camada de ozônio com valores de 0,002 Pt, e radiação com valores de 0,001 Pt. Em análise representativa dos dados do processo de fabricação de agulhas, pode-se identificar que a etapa de corte de arame representa 0,0203 %, desbaste com 0,0207%, tratamento térmico

com 99,9%, retífica com 0,0194%, polimento com 0,0177%, lavagem e secagem com 0,0175%, e classificação com 0,0178%. Estratificou-se a etapa de tratamento térmico, que apresentou maior impacto ambiental, e apresenta o consumo do gás propano como integrante responsável por 98,4% da operação de tratamento térmico, ilustrado na figura 17.

Em análise dos dados dos resultados do processo de montagem, que representa 0,00056% de impacto ambiental em toda fabricação do rolamento, apresenta impacto ambiental na categoria de combustíveis fósseis com valor de 0,058 mPt, uso da terra com valores de 0,013 mPt, alterações no clima com valores de 0,012 mPt, respiráveis inorgânicos com valores de 0,008 mPt, carcinogênicos com valores de 0,006 mPt, acidificação/eutrofização, minerais, e ecotoxicidade com valores de 0,001 mPt, radiação, respiráveis orgânicos, e camada de ozônio com valores abaixo de 0,0002 mPt. Em análise representativa dos dados do processo de montagem, pode-se identificar que a etapa de montagem das gaiolas representa 60,6%, e controle do produto acabado com 39,4%. Ambas as etapas representam apenas consumo de energia elétrica, e diferença de valores referente a consumo específico de cada equipamento, ilustrado na figura 18.

Com resultados do estudo da ACV identificou-se que a etapa do processo de fabricação do rolamento de agulhas que apresenta maior impacto ambiental corresponde a fabricação de anéis interno, seguido de forma ordenada por impactos, a fabricação de agulhas, fabricação de gaiolas plásticas, e montagem. Estratificando os impactos para as etapas do processo de fabricação, observa-se que o tratamento térmico promove significativo impacto ambiental na categoria de combustíveis fósseis, que causa impacto aos recursos naturais e danos ao ecossistema, devido ao consumo do gás propano.

A caracterização da etapa do processo e do causador de significativo impacto ambiental no atual processo de fabricação do rolamento de agulhas, permite que a empresa,

eventualmente, direcione ações internas de melhorias no contexto ambiental no intuito da redução de impactos ambientais.

7 **DIVULGAÇÕES**

Resumo simples parcial apresentado em evento:

MURBACH JUNIOR, E; MANCINI, SANDRO D.; GIANELLI, B. F.
“Inventário Energético em Indústria de Autopeças”. In: 5th International Workshop |
Advances in Cleaner Production – Academic Work, São Paulo – SP, 2015.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.Y.C. NEE, S.L. SOH, S.K. ONG. Design for Disassembly for Remanufacturing: Methodology and Technology. International Scientific Committee of the 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering. [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 407-412.

AHBE, S., BRAUNSCHWEIG, A., MUELLER - WENK, R. Methodology for Ecobalances Based on Ecological Optimization. BUWAL (SAFEL). Bern, p. Environmental Series 133. 1990.

BARBIERI, J. C.; CAJAZEIRA, J. E. Avaliação do Ciclo de Vida do Produto como Instrumento de Gestão da Cadeia de Suprimento – O Caso do Papel Reciclado. SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, XII, São Paulo, 2009.

COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

CURRAN, M. A. Environmental Life Cycle Assessment. ISBN 0-07-015063-X. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 1996.

EKDAHL, Å. Life Cycle Assessment on SKF's Spherical Roller Bearing. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Department of Environmental Systems Analysis. Göteborg, p. 141. 2001. (1400-9560).

FERREIRA, J. V. R. Análise de Ciclo de Vida dos Produtos. [S.l.]: [s.n.], 2004.

GIANELLI, B. F. Tese de Doutorado - Avaliação de Ciclo de Vida Comparativa dos Processos de Anodização e Oxidação Eletrolítica com Plasma de Liga de Alumínio. Bauru: [s.n.], 2014.

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. The eco-indicator99: A damage oriented method for life cycle impact assessment: Methodology report. [S.l.]: [s.n.], 2001.

IBRAHIM, G. D. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE SACOS PLÁSTICOS PRODUZIDOS POR RECICLAGEM: ESTUDO DE CASO EM SEROPÉDICA. Foz do Iguaçu: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Outubro 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO/TR 14062:2002 Environmental management - Integrating environmental aspects into product design and development. International Organization for Standardization. Geneva, p. 24. 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO/TS 14048:2002 Environmental management - Life cycle assessment - Data documentation format. International Organization for Standardization. Geneva, p. 41. 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO/TR 14047:2012 Environmental management - Life cycle assessment - Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations. International Organization for Standardization. Geneva, p. 85. 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO/TR 14049:2012 Environmental management - Life cycle assessment - Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis. International Organization for Standardization. Geneva, p. 48. 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization. Geneva, p. 28. 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Organization for Standardization. Geneva, p. 54. 2006.

MARTIN, U. Preparation of a Life Cycle Assessment at the INA-Plant in Fort Mill, South Carolina (USA). University of Applied Sciences Weihenstephan, Department Triesdorf - Division Environmental Protection. Fort Mill, p. 121. 2003.

MURBACH JUNIOR, E., MANCINI, SANDRO D., GIANELLI, B. F. Inventário Energético em Indústria de Auto Peças. 5th International Workshop | Advances in Cleaner Production - Academic Work. Sao Paulo: [s.n.]. 2015. p. 9.

MURRAY, C. J.; LOPEZ, A. D. Quantifying disability: data, methods and results. Bulletin of the World Health Organization, v. 72, n. 3, p. 481, 1994.

NSK, M. & C. <http://www.nsk.com.br>. NSK, 01 Julho 2015. Disponível em: <<http://www.nsk.com.br/Artigo.asp?Aid=60>>.

NTN do Brasil, 01 Julho 2015. Disponível em: <<http://www.ntn.com.br/pdfServicos/indiceA2/indiceA2.pdf>>.

S. RENOU, J.S. THOMAS, E. AOUSTIN, M.N. PONS. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. Journal of Cleaner Production, n. 16, p. 1098-1105, 2008.

SCHAEFFLER. Schaeffler Brasil, 03 jul. 2015. Disponível em: <http://www.schaeffler.com.br/content.schaeffler.com.br/pt/branches/industry/motorcycles_specvehicles/product/transmission/gearshift/nrb/nrb.jsp>.

SEO, E. S. M. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: FERRAMENTA GERENCIAL PARA TOMADA DE DECISÃO. INTERFACEHS - Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v. 1, n. 1, Art 4., 2006.

T.F. GO*, D.A. WAHAB, M.N.AB. RAHMAN, R. RAMLI, C.H. AZHARI. Disassemblability of end-of-life vehicle: a critical review of evaluation methods. Journal of Cleaner Production, n. 19, p. 1536-1546, 2001.

VINÍCIUS GONÇALVES MACIEL, RAFAEL BATISTA ZORTEA, WAGNER MENEZES DA SILVA, LUIZ FERNANDO DE ABREU CYBIS, SANDRA EINLOFT, MARCUS SEFERIN. Life Cycle Inventory for the agricultural stages of soybean production

in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Journal of Cleaner Production, n. 93, p. 65-74, jan. 2015.

YOKOTE, A. Y. INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELETRICA NO BRASIL. São Paulo: Dissertação Apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.