Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Izabela de Almeida Simões

Avaliação de Ciclo de Vida das diferentes rotas tecnológicas de disposição dos resíduos de madeiras gerados pelas indústrias moveleiras de Petrópolis/RJ

Rio de Janeiro
2021

Izabela de Almeida Simões

Avaliação de Ciclo de Vida das diferentes rotas tecnológicas de disposição dos resíduos de madeiras gerados pelas indústrias moveleiras de Petrópolis/RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Orientador: Prof. Dr. João Alberto Ferreira

Coorientadora: Prof.ª Dra. Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S593 Simões, Izabela de Almeida.
Avaliação de ciclo de vida das diferentes rotas tecnológicas de disposição dos resíduos de madeiras gerados pelas indústrias moveleiras de Petrópolis/RJ / Izabela de Almeida Simões. – 2021.
113f.

Orientador: João Alberto Ferreira.
Coorientadora: Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Ciclo de vida do produto - Teses. 3. Resíduos industriais - Teses. 4. Mobiliário - Teses. 5. Madeira - Teses. 6. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.) - Teses. I. Ferreira, João Alberto. II. Van Elk, Ana Ghislane Henriques Pereira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.4.034

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Izabela de Almeida Simões

Assinatura

Rio de Janeiro, 15 de setembro de 2021

Data

Izabela de Almeida Simões

Avaliação de Ciclo de Vida das diferentes rotas tecnológicas de disposição dos resíduos de madeiras gerados pelas indústrias moveleiras de Petrópolis/RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Aprovado em: 05/08/2021

Banca examinadora:

Prof.º Dr. João Alberto Ferreira (Orientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk

Prof.ª Dra. Ana Ghislane Henriques Pereira van Elk (Coorientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Elisabeth Ritter

Prof.ª Dr.ª Elisabeth Ritter
Faculdade de Engenharia – UERJ

Elisa Maria M Esteves

Dr.ª Elisa Maria Mano Esteves
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Dr.ª Alexandre Lioi Nascentes
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha amada filha Manuela e em especial ao meu esposo, sem o qual não teria conseguido concluir esta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força, saúde e fé nos momentos de dificuldade durante todo processo do mestrado.

Aos meus pais Daniel Simões e Marinalva Simões por todos os incentivos e investimentos em minha vida acadêmica e, principalmente, por sempre acreditar no meu potencial.

Ao meu marido Caio Porciúncula, pelo apoio, compreensão, companheirismo que foi essencial para que eu pudesse vencer mais esta etapa.

Ao meu orientador João Alberto, pela confiança em mim depositada e por todas as contribuições e dedicação, fundamentais para garantir que este trabalho acontecesse. Um exemplo de profissional e ser humano.

A minha coorientadora Ana Ghislane, por todos os ensinamentos e inúmeras colaborações, principalmente, por ter sido amiga e companheira em um dos momentos mais difíceis da vida.

A Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio e pela disponibilização das informações para a execução deste trabalho, tendo sido respeitado toda a confidencialidade das indústrias estudadas.

A todos que direta ou indiretamente participaram da minha vida durante todo o mestrado.

RESUMO

SIMÕES, I. A. *Avaliação de ciclo de vida das diferentes rotas tecnológicas de disposição dos resíduos de madeiras gerados pelas indústrias moveleiras de Petrópolis/RJ.* 2021. 113f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

A cadeia de valor da madeira apesar de ter como fonte principal uma matéria-prima renovável, gera impactos ambientais decorrentes da fabricação dos produtos e do manejo inadequado dos resíduos gerados, pois o aproveitamento da madeira ao longo do seu ciclo de vida pode chegar a menos de 50%. Por isso é importante avaliar rotas tecnológicas que reduzam o impacto ambiental da destinação destes resíduos. No setor moveleiro a maior parte das organizações são Pequenas e Médias Empresas (PME) pulverizando ainda mais os resíduos gerados e dificultando a melhor destinação dos resíduos de madeira gerados. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar os impactos ambientais das diferentes disposição dos resíduos de madeiras gerados em 11 indústrias do polo moveleiro de Petrópolis/RJ. Foram avaliadas três alternativas de destinação praticadas pelas indústrias: (i) aterro sanitário; (ii) queima em fornos e produção de vapor em lavanderia; e (iii) envio para granja no uso de cama para galinheiro. Além destas destinações também foi incluído um cenário de reciclagem para a produção de MDP (médium density particleboard), como uma alternativa para as indústrias estudadas. A metodologia desta pesquisa apoiou-se nas normas ISO 14040 e ISO 14044, seguindo as etapas de definição do objetivo e escopo, inventário de ciclo de vida, avaliação dos impactos ambientais e interpretação dos resultados. Foram coletadas as informações de consumo de matérias-primas e insumos, bem como a geração de resíduos e emissões que possibilitaram a mensuração dos impactos. Utilizou-se o software SimaPro® para a modelagem do ciclo de vida. Foram avaliadas dez categorias de impactos ambientais associadas ao tratamento de 1 kg de resíduos de madeira são elas: esgotamento de recursos minerais, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidades de água doce, marinha e terrestre e oxidação fotoquímica. Estas categorias foram consideradas por apresentarem os principais impactos provenientes da madeira, além de permitir uma comparação com os resultados encontrados neste estudo. A alternativa de destinação para reciclagem apresentou o melhor desempenho ambiental dentre as categorias de impacto selecionadas, reforçando o conceito de circularidade ao manter o valor agregado aos materiais. Das alternativas praticadas pelas indústrias, a destinação para queima obteve a maior parte dos impactos evitados, enquanto o envio para aterro sanitário apresentou a maior proporção de impactos ambientais. Apesar do gerenciamento de resíduos de madeira terem influência sobre os impactos ambientais na produção da indústria moveleira, a produção de painéis de MDF ainda tem maior representatividade com relação aos impactos ambientais de toda cadeia produtiva da fabricação de móveis.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Industria Moveleira. Resíduos de Madeira. Tratamento de Resíduos. Rotas tecnológicas. Reciclagem.

ABSTRACT

SIMÕES, I. A. *Life cycle assessment of the different technological routes for the disposal of wood waste generated by the furniture industries in Petropolis/RJ*. 2021. 113f. Dissertation (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The wood value chain, despite having as its main source a renewable raw material, generates environmental impacts arising from the manufacture of products and the inadequate management of the waste generated, as the use of wood throughout its life cycle can reach less 50%. Therefore, it is important to evaluate technological routes that reduce the environmental impact of the disposal of this waste. In the furniture sector, most organizations are Small and Medium Enterprises (SMEs), further pulverizing the waste generated and making it difficult to better dispose of the wood waste generated. The objective of this work was to evaluate the environmental impacts of different technological routes for the disposal of wood waste generated in 11 industries in the furniture industry in Petrópolis/RJ. Three disposal alternatives practiced by the industries were evaluated: (i) landfill; (ii) burning in ovens and steam production in laundry; and (iii) sending to a farm in the use of a henhouse bed. In addition to these destinations, a recycling scenario for the production of MDP (medium density particleboard – agglomerate panel consisting of agglutinated wood particles) was also included, as an alternative for the industries studied. The methodology of this research was based on the ISO 14040 and ISO 14044 standards, following the stages of definition of the objective and scope, life cycle inventory, assessment of environmental impacts and interpretation of results. Information on consumption of raw materials and inputs was collected, as well as the generation of waste and emissions, which enabled the measurement of impacts. SimaPro® software was used for life cycle modeling. Ten categories of environmental impacts associated with the treatment of 1 kg of wood waste were evaluated: depletion of mineral resources, acidification, eutrophication, global warming, ozone layer depletion, human toxicity, freshwater, marine and terrestrial ecotoxicities and photochemical oxidation. These categories were considered because they represent the main impacts from wood waste, in addition to allowing a comparison with the results in this study. Recycling alternative had the best environmental performance among the selected impact categories, reinforcing the circularity concept of keeping materials at their highest level of added value. Of the alternatives practiced by the industries, the energy recovery was the most benefit choice, while the landfill disposal had the highest proportion of environmental impacts in whole categories evaluated. Although the management of wood residues has an influence on the environmental impacts in the production of the furniture industry, the production of MDF panels is still more representative around environmental impacts of the entire furniture value chain.

Keywords: Life Cycle Assessment. Furniture industry. Wood Waste. Waste treatment. Technological routes. Recycling .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama dos Fluxos de Materiais na Economia Circular.....22
Figura 2 - Fases de uma ACV.....29
Figura 3 - Elementos Mandatórios e Opcionais na Fase da AICV 33
Figura 4 - Fluxograma do Processo Produtivo do Setor Moveleiro 52
Figura 5 - Fronteiras do Sistema considerando a Abordagem Consequencial (Substituta).....56
Figura 6 - Expansão do sistema.....57
Figura 7 - Mapa de Localização das Indústrias 61
Figura 8 - Rede do SimaPro.....63
Figura 9 - Cenário de Destinação de Resíduos.....64
Figura 10 - Exemplo de AICV *midpoint* e *endpoint* - Método IMPACT 2002+.....66
Figura 11 - Exemplificação do método de normalização.....67
Figura 12 - AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para aterro sanitário 69
Figura 13 - Rede - Aterro - Impacto de Eutrofização.....70
Figura 14 - Rede - Aterro - Impacto de Oxidação Fotoquímica.....71
Figura 15 - Impactos Ambientais normalizados - Aterro de Resíduos.....72
Figura 16 - AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para Granja 74
Figura 17 - Rede - Granja - Oxidação Fotoquímica.....75
Figura 18 - Rede - Granja – Acidificação 76
Figura 19 - Impactos ambientais normalizados - Granja 77
Figura 20 - Rede - Forno e Lavanderia – Eutrofização 79
Figura 21 - AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para Fornos e Lavanderias.....80
Figura 22 - Impactos Ambientais Normalizados - Resíduos enviados para Fornos e Lavanderias.....81
Figura 23 - Rede - Reciclagem - Aquecimento Global 83
Figura 24 - Impactos Ambientais - Reciclagem.....84
Figura 25 - Impactos Ambientais normalizados - Resíduos enviados para reciclagem 85
Figura 26 - Comparação de Impactos Ambientais entre Rotas Tecnológicas.....88

Figura 27 - Rede - Granja - Ecotoxicidade Marinha 91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Programas de avaliação de ciclo de vida 34
Tabela 2 - Banco de dados de ciclo de vida 37
Tabela 3 - Estudos com tipos de destinação de resíduos de madeira 47
Tabela 4 - Resultado da coleta dos dados primários 60
Tabela 5 - Distância média estabelecida para as rotas tecnológicas 61
Tabela 6 - Inventário de ciclo de vida das rotas tecnológicas empregadas 62
Tabela 7 - Indicadores de categorias de impacto 87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida
CHP	Cogeração
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO_{2eq}	Dióxido de Carbono Equivalente
DAP	Declaração Ambiental de Produto
EC	Economia Circular
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	International Organization for Standardization
MDF	*Medium Density Fiberboard* (Painel de aglomerado constituído de partículas de madeira aglutinadas)
MDP	*Medium Density Particleboard* (Placa de fibra de média densidade)
MFCA	*Material Flow and Cost Accounting*
NBR	Norma Técnica Brasileira
PME	Pequenas e Médias Empresas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SICV Brasil	Banco Nacional de Inventário de Ciclo de Vida

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **14**

Objetivos **18**

Estrutura Da Dissertação **18**

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **20**

1.1. Economia Circular **20**

1.2. Análise de Ciclo de Vida (ACV) **25**

1.2.1. Estrutura da ACV **28**

1.2.1.1. Definição de Objetivo e Escopo 29

1.2.1.2. Análise de Inventário de Ciclo de Vida – ICV 30

1.2.1.3. Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida – AICV 31

1.2.1.4. Interpretação dos Resultados 34

1.2.1.5. Softwares 34

1.2.1.6. Banco de Dados 36

1.2.1.7. Abordagem de ACV 38

1.3. Indústria Moveleira **38**

1.4. Gestão de Resíduos Sólidos e seu ciclo de vida **42**

2. METODOLOGIA **51**

2.1. Definição de objetivo e escopo **53**

2.1.1. Objetivo da ACV **53**

2.1.2. Escopo da ACV **54**

2.1.2.1. Unidade funcional **54**

2.1.2.2. Fronteiras do sistema **55**

2.1.2.3. Procedimentos de alocação **56**

2.1.2.4. Expansão do sistema **56**

2.1.3. Análise do inventário do ciclo de vida (ICV) **57**

2.1.3.1. Preparação e coleta dos dados **58**

2.1.3.2. Software **62**

2.1.4. Avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida (AICV) **64**

2.1.4.1. Descrição da AICV **64**

2.1.4.2. Normalização da AICV **66**

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES **68**

3.1. Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos 68
3.2. Granja 73
3.3. Forno e lavanderia 78
3.4. Reciclagem 82
3.5. Comparação 86
4. CONCLUSÃO 93
5. RECOMENDAÇÕES 97
REFERÊNCIAS 98

INTRODUÇÃO

O reflexo das últimas décadas é de um mundo de grandes avanços tecnológicos com uso intenso de materiais e, consequentemente, a geração de resíduos, aumentando a sua quantidade e complexidade, tendo uma destinação final muitas vezes inadequada. A preocupação com a destinação correta dos resíduos começou a ganhar força nos anos 1970 quando observou-se que sua disposição inadequada poderia trazer problemas ambientais relevantes e que afetaria a qualidade de vida da população (HAUSCHILD; OLSEN; ROSENBAUM, 2017).

A partir do início do século 21 ganhou força, como objetivo central da gestão de resíduos a contribuição para um ambiente saudável e sustentável para nossas sociedades. Para esta finalidade, a gestão de resíduos tem que estar focada na prevenção dos riscos à saúde pública e na poluição ambiental (RAGOSSNIG; JOVOVIC, 2016).

Há um claro entendimento de que o sistema linear de economia prevalente nas sociedades humanas está chegando ao seu limite. A manutenção do consumo de recursos naturais dentro de limites ambientalmente sustentáveis exige um novo modelo de sociedade que utilize e otimize os estoques e fluxos de materiais, energia e resíduos na busca do uso eficiente de todos os recursos (RAGOSSNIG; JOVOVIC, 2016).

O *desenvolvimento sustentável*, respeitando as diferenças entre regiões e países no mundo, é visto como o caminho para um novo modelo de sociedade que preserve o futuro da humanidade. Este desenvolvimento pode agregar contribuições em vários níveis, principalmente do setor privado que é grande impulsionador dos aspectos econômicos, através de inovações tecnológicas e grande influência dos mais diferentes públicos.

A promulgação da Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS no Brasil (Brasil, 2010), estabeleceu a responsabilidade socioambiental dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos quanto ao cuidado com os ciclos de vida dos produtos a fim de causar o mínimo de impacto ao meio ambiente (Reveilleau, 2011; Silva, 2018).

A PNRS inclui entre seus objetivos, a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento

dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; e a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais (BRASIL, 2010)

Além da conformação de uma legislação para regular a gestão dos resíduos, despertou-se o interesse por entender as melhores práticas de seu gerenciamento de acordo com suas características específicas.

No Brasil, apenas em 2006 foi possível desenvolver uma metodologia adequada que conseguisse comparar diferentes tecnologias para determinar aquelas que tivessem melhor desempenho na gestão dos resíduos. Com a criação da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foi possível avaliar os impactos ambientais dos fluxos finais dos resíduos gerados, inclusive correlacionando seus potenciais impactos com outros setores da economia (HAUSCHILD; OLSEN; ROSENBAUM, 2017; FILHO; JUNIOR; LUEDEMANN, 2013). Isto trouxe uma nova perspectiva sobre todo o ciclo de vida de um determinado produto podendo avaliar as diversas rotas tecnológicas existentes ao longo da cadeia de valor (PINTO; MATOS; SILVA, 2016).

O setor moveleiro possui tradição no Estado do Rio de Janeiro na produção de móveis de madeira e, quando comparado à outros setores industriais, possui predomínio de empresas de micro e pequeno porte que necessitam cuidar das externalidades ambientais aplicando a cultura de eficiência na produção, a eliminação de desperdícios e, por consequência, melhores resultados econômicos (FIRJAN, 2016). O mesmo foi percebido por Souza, *et al. (*2017b) que, ao realizarem diagnóstico ambiental em uma fábrica de móveis de pequeno porte, concluíram que o grande desperdício de matéria-prima e a quantidade de resíduos sólidos gerados no processo produtivo seriam menores se fossem aplicadas melhores tecnologias.

Trata-se de uma característica da cadeia produtiva da madeira no Brasil, o que inclui as serrarias e o setor moveleiro, que ainda é ineficiente no uso de recursos e também carece de boas práticas de gerenciamento dos resíduos gerados. Hillig *et al*. (2006), apontam que há uma variação extensa de utilização da madeira para a fabricação de produtos que podem apresentar rendimento menor que 50%. Esta baixa eficiência do uso da matéria-prima tem como consequências elevação no custo do produto e maior geração de resíduos sólidos, colocando o

Brasil como o segundo maior pais gerador de resíduos de madeira do mundo, perdendo apenas para China (FAOFAST, 2021).

Embora a madeira seja considerada um recurso renovável, a preocupação em torno do seu aproveitamento não deixa de ser vital, uma vez que a administração e o uso das florestas e terras florestais deve manter sua biodiversidade, produtividade e regeneração, capacidade, viabilidade e seu potencial para cumprir, agora e no futuro funções ecológicas, econômicas e sociais relevantes, nos níveis local, nacional e global, e que não causem danos a outros ecossistemas (MCPFE, 1993; 2002). Os bens e serviços ecossistêmicos ofertados pelas florestas, como os produtos à base de madeira, apresentam efeitos positivos na mitigação das mudanças climáticas, por substituírem produtos produzidos de materiais convencionais que gastam muita energia (Geng *et al*, 2016) e por reduzir os impactos ambientais referentes ás emissões de GEE com a seleção de matérias primas menos danosas e energia proveniente de recursos renováveis e biogênicos (Linkosalmi *et al*., 2016).

A fabricação de móveis utiliza acessórios metálicos e de plásticos, tintas, vernizes, adesivos, solventes e removedores que podem gerar impactos ambientais, (Maranho, 2011). Considerando que na indústria moveleira, a geração de resíduos no final dos diferentes processos pode chegar à metade da madeira original (Guarnieri, 2006), este é um aspecto muito significativo com relação à questão ambiental na avaliação do ciclo de vida de processos de base florestal.

A lacuna de conhecimento na gestão dos resíduos do setor moveleiro, provavelmente se deve à característica do mesmo ser composto principalmente de empresas que, de certo modo, despertam pouca atenção de entidades de controle ambiental. No entanto, o crescimento de pressões ambientais tem promovido o surgimento de diversos projetos para reutilização de resíduos de madeira, aumentando a consciência ambiental de empresas e consumidores (PINTO; MATOS; SILVA, 2016).

Há uma certa percepção de que os resíduos gerados pelas indústrias moveleiras não são gerenciados de forma a reduzir o impacto ao meio ambiente, faltando, inclusive, uma análise do potencial de reaproveitamento destes materiais como subprodutos para utilizações menores e de baixo valor, além da dificuldade na obtenção de dados relevantes da cadeia produtiva, impedindo uma análise com menos incertezas (MARANHO, 2011). O desenvolvimento sustentável do setor moveleiro requer um envolvimento de vários atores como governo, fabricantes e

consumidores devido à falta de conscientização da população, e a deficiências nas tecnologias, leis e regulamentos, (XIONG, 2020).

Para tanto, o destino destes resíduos é variado como o envio para queima em fornos, a utilização como cama de animais e para aterro sanitário, sendo alternativas muito comuns aplicadas em vários países (DAIAN, OZARSKA, 2009). Entretanto, não há a quantificação das externalidades ambientais geradas por estas alternativas, sendo importante entender os impactos ambientais de cada uma destas rotas tecnológicas.

Os resíduos de madeira podem ser reciclados internamente evitando, desta forma, a utilização de matéria-prima virgen~~s~~, reduzindo os impactos associados ao uso de matéria virgem bem como no seu ciclo de vida, transporte e até tratamento final (KIM, SONG, 2014). O custo destes resíduos (pelo desperdício de matéria-prima) pode representar de 2% a 8% em média das receitas geradas pelas empresas moveleiras. Para reduzir os desperdícios e recuperar parte dos resíduos, são necessários novos modelos de negócios e mais investimentos em design com o olhar nas perdas de matéria prima e menores perdas de receitas (DAIAN, OZARSKA, 2009).

A escassez de matérias-primas atingiu os maiores níveis dos últimos 19 anos sendo um cenário preocupante para quase todos os setores industriais do país (CNI, 2021), o que reforçou ainda mais a importância de ter um processo produtivo que gere menos desperdícios de insumos e maior reaproveitamento dos resíduos. Ainda assim não é possível assumir que apenas uma estratégia seja a melhor a depender do local que está sendo avaliado, uma vez que há resultados divergentes na avaliação de ciclo de vida de resíduos de madeira, requerendo que estudos sejam feitos de forma a abordar a problemática para cada caso (BERGERON, 2014).

É nesse contexto que se insere uma avaliação do desempenho ambiental de diferentes alternativas para destinação dos resíduos de madeira da indústria moveleira, explicitando as possíveis rotas tecnológicas que apresentam impactos ambientais positivos na cadeia de valor da madeira. A metodologia da Análise de Ciclo de Vida possibilitará a identificação das externalidades ambientais geradas por cada uma das rotas, permitindo uma tomada de decisão do usuário pretendido, podendo ser as próprias indústrias moveleiras, o órgão ambiental, ou *stakeholders*.

Objetivos

Geral

O objetivo do presente trabalho é caracterizar, por meio de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) os impactos ambientais das diferentes rotas tecnológicas de disposição dos resíduos de madeiras gerados pelas indústrias moveleiras.

Específicos

- Avaliar e identificar, através da Análise de Ciclo de Vida, de indústrias do polo moveleiro de Petrópolis-RJ, os principais impactos advindos dos resíduos de madeira gerados no processo produtivo da indústria moveleira.

- Através da ACV identificar as tecnologias e práticas que resultem em um menor impacto ambiental.

- Utilizar a ACV para identificar oportunidades e barreiras no gerenciamento dos resíduos de madeira.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução da problemática dos resíduos de madeiras e a falta de ferramentas para definição de melhores práticas de gerenciamento destes resíduos. O capítulo também apresenta os objetivos gerais e específicos desta pesquisa.

O segundo capítulo é destinado à revisão bibliográfica relacionada a importância da avaliação do ciclo de vida (ACV) como uma ferramenta da economia circular, frente aos impactos ambientais do processo produtivo e principalmente da geração de resíduos das indústrias madeireiras e moveleiras. Também é apresentado um panorama sobre a indústria moveleira e os impactos ambientais gerados por seus resíduos.

O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada para realizar a avaliação do ciclo de vida (ACV) dos resíduos de madeira em três diferentes destinações

(rotas tecnológicas) identificadas no diagnóstico ambiental nas indústrias do polo moveleiro de Petrópolis. Além destas também foi incluída uma quarta rota tecnológica, a reciclagem, como potencial destinação aos resíduos de madeira.

No capítulo quatro são apresentados o inventário do ciclo de vida (ICV), e os resultados obtidos da avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) das rotas tecnológicas estudadas. Neste capítulo também são discutidas as principais dificuldades encontradas na aplicabilidade das rotas menos impactantes nas indústrias moveleiras.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões e as considerações finais sobre a importância, os desafios e os benefícios do uso da Análise do Ciclo de Vida para avaliação da gestão dos resíduos de madeira, permitindo assim um melhor entendimento do assunto tratado neste estudo.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Economia Circular

O modelo linear de economia se consolidou e perpetuou após a revolução industrial, tendo como principais características a extração, a transformação, o uso e o descarte. Este modelo vem sendo questionado, uma vez que tanto os fluxos de matéria e energia da biosfera para a economia, como os fluxos de resíduos desta para o ambiente comprometem a capacidade dos ecossistemas em prover serviços ambientais (ELLEN MaCARTHUR FOUNDATION, 2015).

O modelo linear de economia baseia-se em uma dependência a grandes quantidades de materiais de baixo custo e fácil acesso, porém os efeitos negativos por ele causados estão ameaçando a estabilidade das economias e a integridade dos ecossistemas naturais que são essenciais para a sobrevivência da humanidade (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Os consumos de energia e recursos naturais estão aumentando rapidamente em consequência do aumento da população mundial e do crescimento econômico, o que pode levar o modelo atual à escassez de recursos (LIEDER; RASHID, 2016).

Uma alternativa a esse modelo de economia que vem ganhado força é a economia circular (EC), surgindo como um caminho atraente que oferece uma oportunidade para que a sociedade prospere, ao mesmo tempo em que reduz sua dependência de materiais finitos e fontes de energia não renováveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). A Economia Circular tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, fazendo distinção entre ciclos técnicos e biológicos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

A EC é uma proposta de modelo econômico que integra diversas escolas e linhas de pensamento, tais como: Ecologia Industrial, Engenharia do Ciclo de Vida, Gestão do Ciclo de Vida, Economia de Performance, entre outras (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2018).

Segundo Korhonen, Honkasalo, e Seppala (2018), a economia circular é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que limita o fluxo de produção a um nível que a natureza tolera e utiliza os ciclos dos ecossistemas nos ciclos econômicos, respeitando suas taxas de reprodução natural.

Para Ellen MacArthur Foundation (2015), a EC baseia-se em três princípios, conforme a Figura 1: (i) preservar e aprimorar o capital natural, através do controle do estoque dos recursos naturais finitos e equilíbrio do fluxo de utilização dos recursos renováveis; (ii) otimizar o rendimento dos recursos, de maneira a maximizar o valor e utilidade de produtos, componentes e materiais; e (iii) estimular a efetividade do sistema, através da identificação e remoção de externalidades negativas da economia.

A Confederação Nacional da Indústria - CNI (2018), afirma que é possível resumir os princípios e processos circulares em dois ciclos: os biológicos e os tecnológicos. Na Figura 1 são apresentadas as oportunidades de criação dos ciclos de vida dos produtos agregando valor à lógica econômica linear, que é representada pelo centro do diagrama.

Os ciclos biológicos (agro-florestal-natural) estão relacionados aos fluxos renováveis e ao aproveitamento em cascata, mas a regeneração dos recursos só será realmente atingida com uma abordagem de gestão territorial e de paisagem, integrando as atividades econômicas com os ecossistemas (CNI, 2018). É neste ciclo que se dá o consumo, onde alimentos e outros materiais de base biológica (como algodão e madeira) são projetados para retornar ao sistema através de processos como compostagem e digestão anaeróbica. Esses ciclos regeneraram os sistemas vivos, tais como o solo, que por sua vez proporcionam recursos renováveis para a economia (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Já nos ciclos técnicos (industriais) são apresentadas oportunidades de recuperação do valor dos produtos por meio de compartilhamento, manutenção, reutilização, remanufatura e reciclagem (CNI, 2018). Para que isso seja possível, o mecanismos de mercado deverão desempenhar um papel central, com o apoio de políticas públicas, instituições de ensino e formadores de opinião (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

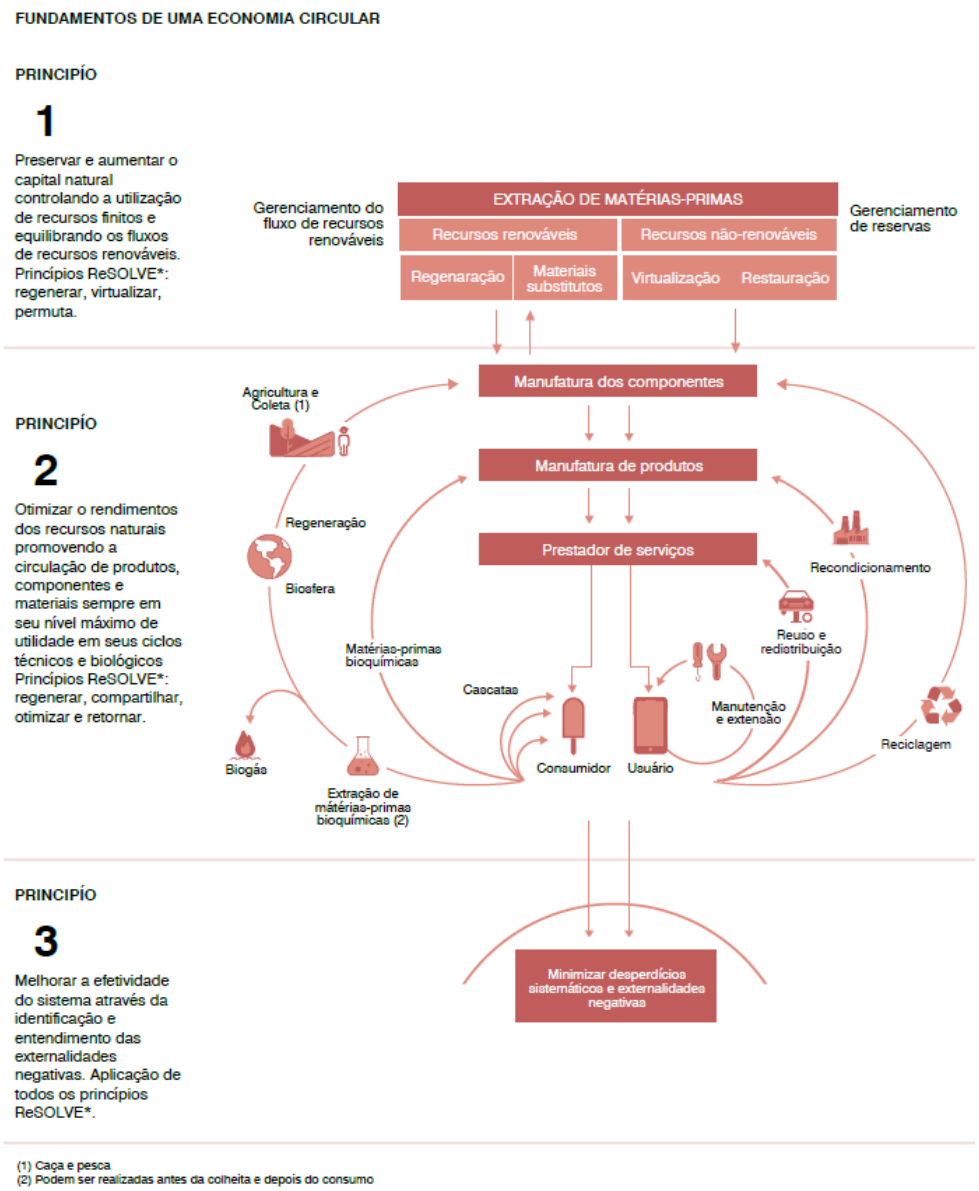

Figura 1 - Diagrama dos Fluxos de Materiais na Economia Circular

Fonte: CNI, 2018

Uma das vantagens no desenvolvimento de modelos de negócios baseados no conceito de economia circular é buscar estender ao máximo os materiais e produtos ao longo de todos os pontos do ciclo de vida, desde a extração das matérias primas, passando pela fase de consumo até o pós-consumo, quando as partes remanescentes inutilizadas de uma função podem ser recuperadas ou convertidas em um novo produto.

A transição da economia linear para a circular já vem ocorrendo paulatinamente com o surgimento de novos modelos de negócios e as atuais

tendências tecnológicas, sendo uma oportunidade de se implantar a maior mudança sistêmica do atual modelo econômico desde a revolução industrial (CNI, 2018).

O Relatório Global de Riscos (COLLINS, 2019), reforça que a transição do mundo para uma nova fase de política - centrada no Estado - continua, na qual a energia gasta na consolidação ou recuperação do controle dos riscos nacionais corre o risco de enfraquecer as respostas coletivas aos desafios globais emergentes. Para Jahda Swanborough (2019), o relatório também trouxe uma preocupante questão quanto as interconexões profundas entre os riscos ambientais e o nível de saúde humana, o crescimento econômico e segurança.

Segundo a Chefe da Iniciativa de Economia Circular no Fórum Econômico Mundial, uma economia mais circular é uma proposição lógica, mas não será um caminho de menor resistência, onde a disponibilidade e o rendimento linear dominam. Mudar o sistema exigirá liderança, colaboração, inovação e compromisso para romper o *status quo* (GAWEL, 2019).

Para países em desenvolvimento a adoção dos princípios da EC merece uma maior atenção, uma vez que a economia predominante se baseia na extração de recursos naturais, e para os quais não há uma proposta clara de funcionamento dos fluxos financeiros, podendo haver prejuízos e barreiras comerciais no futuro (RIBEIRO e KRUGLIANSKAS, 2017).

O Relatório Anual de Lacuna da Circularidade (CIRCLE ECONOMY, 2019), aponta que apenas 9% da economia global é circular, ou seja o planeta reutiliza menos de 10% das 92,8 bilhões de toneladas de minerais, combustíveis fósseis, metais e biomassa usados todos os anos em processos produtivos. Segundo o relatório, a EC é uma ferramenta para a mudança de paradigma, contribuindo com os governos na tomada de decisão para a migração de uma economia linear para uma economia circular.

A EC propõe que o descarte de materiais deixe de ser apenas uma gestão de resíduos para integrar um processo de design de produtos e sistemas. Com a ideia de eliminar o conceito de lixo e visualizar um fluxo cíclico para cada material, ela possibilita a criação de sistemas de reparo, reuso e remanufatura, além da reciclagem efetiva, permitindo que os produtos, componentes e materiais obtenham o máximo de valor e utilidade, através da distinção entre ciclos técnicos e biológicos (SEHNEM e FARIAS, 2019).

O conceito de economia circular surgiu recentemente como uma meta política, em um contexto de aumento dos preços dos recursos naturais e mudanças climáticas. Num modelo econômico circular, os resíduos tornam-se recursos a serem recuperados e revalorizados por meio da reciclagem e reutilização (GREGSON et al., 2015), iniciando um pensamento baseando no ciclo de vida de produtos.

A extensão da vida do produto iniciou-se como um meio de prevenção de resíduos e posteriormente em uma abordagem de argumentos que se concentra no design de objetos fabricados, nos quais a desmontagem, a adaptação e a reutilização são consideradas do início. Prevê uma economia baseada em recondicionamento, remanufatura e reciclagem (GREGSON *et al*., 2015).

Motta e Issberner (2018) afirmam que para a transição da economia circular ser bem-sucedida são necessárias ferramentas e metodologias que auxiliem com o enfrentamento dos *trade-off*, fornecendo tanto uma base de informação para as tomadas de decisões, quanto para a ratificação dos eventuais benefícios ambientais conquistados.

Muitas cidades e regiões, e de fato muitas empresas, têm abraçado objetivos de desenvolvimento sustentável com base nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (os ODS) que as Nações Unidas desenvolveram para uso global em 2015 (Nações Unidas Brasil, 2015). Embora as tentativas de atingir esses objetivos tenham levado a várias políticas e programas de ação em vários níveis, os problemas subjacentes não foram embora e a busca por estruturas mais poderosas e processos de implementação mais eficazes continuam. Uma delas é substituir o modelo "linear" de produção e consumo com fluxo de materiais em malha fechada. A economia circular resultante é considerada a melhor abordagem para alcançar muitos dos ODS que dizem respeito à integridade ambiental de nossos planeta (BALKAU e BEZEMA, 2019).

Para cidades, regiões e empresas, interessadas em resolver seus problemas de resíduos, não basta considerar apenas as alternativas de disposição de menor custo. Reduzir as quantidades de resíduos e recuperar materiais secundários em todas as possibilidades presentes, dentro do conceito de circuito fechado é mais importante do que nunca. Melhoria econômica, social e processos e relacionamentos organizacionais são necessários em tal contexto holístico - um esforço coordenado baseado em visões e objetivos de sustentabilidade. O uso de tais estruturas de gestão holística depende muito dos procedimentos de avaliação do ciclo de vida

(ACV) que consideram os impactos em pontos relevantes da cadeia de vida nos nossos sistemas de produção e consumo (BALKAU e BEZEMA, 2019).

1.2. Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Para Strothman (2017), uma ferramenta poderosa para quantificar e reportar os benefícios da economia circular é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que pode gerar informações sobre impactos ambientais e comparações de desempenhos ambientais entre produtos de mesma funcionalidade.

Sempre haverá impacto ao meio ambiente na fabricação de um produto, seja em função de seu processo produtivo, das matérias-primas consumidas ou devido ao seu uso e disposição final, independente do material utilizado seja ele feito de madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento (CHEHEBE, 1997).

ACV é uma análise dos efeitos ambientais associados às atividades produtivas, desde a retirada de matéria-prima na natureza, até a sua disposição final, quando os resíduos retornam à natureza. Através da ACV é possível identificar em que etapas ocorrem os impactos ambientais e quais são os mais relevantes, considerando todo ciclo de vida dos produtos (IRITANI, 2017).

Entre os inúmeros métodos e abordagens utilizados na tomada de decisão na gestão de resíduos, a ACV tem posição de destaque na estratégia temática sobre resíduos sugerida pela Comissão Europeia, que na verdade provaram fornecer políticas relevantes e consistentes (FINNVEDEN et al., 2007)

O Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o responsável pela publicação das normas ISO no Brasil, e considerando a necessária padronização quanto a metodologia de avaliação e aplicação do ACV publicou as normas NBR ISO 14040:2009 e NBR ISO 14044:2009.

A ABNT NBR ISO 14040 (2009) tem por objetivo especificar a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos da avaliação do ciclo de vida. Já ABNT NBR ISO 14044 (2009) especifica os requisitos e provê orientações para o ACV, abrangendo os estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV) e os estudos de inventários do ciclo de vida (ICV). Ainda relacionado a normatização da metodologia de ACV foi publicada em 2018, a Especificação Técnica ISO/TS 14071, que fornece

especificações adicionais às duas normas citadas, bem como fornece requisitos e diretrizes para a realização de uma análise crítica e competências do analista.

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), em 2004, definiu a ACV como ponto estratégico para a Avaliação de Conformidade de produtos, processos, serviços e pessoal. Em 2010, o INMETRO lançou o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida, que estabeleceu diretrizes no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), para dar continuidade e sustentabilidade às ações de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil (INMETRO, 2019).

Para SALLES (2009) os resultados dos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida, podem influenciar de maneira significativa nas negociações internacionais de um determinado produto, incentivando ou dificultando a sua entrada no mercado internacional. Assim, as descrições da qualidade dos dados são importantes para se entender a confiabilidade dos resultados do estudo e interpretá-los de forma adequada.

Existem várias maneiras de se conduzir uma ACV devido à complexidade dos sistemas ambientais e às diferentes condições e regionalidades que induzem impactos diferentes para um mesmo produto, requerendo modelos alternativos e específicos ao quantificar os impactos de ciclo de vida.

Segundo Silva *et al.* (2013), os estudos aplicados a ACV para produtos de base florestal tem se destacado nas áreas acadêmicas e empresariais, onde cerca de 10% destas pesquisas estão voltadas para essa temática garantindo uma melhor compreensão sobre desempenho no uso de energia e sequestro de carbono, avaliações comparativas com produtos de fontes não renováveis, análise ambiental para o desenvolvimento de novos e inovadores produtos, a questão do uso do solo e os impactos sobre a biodiversidade

Segundo Coronel *et al.* (2008), o setor de base florestal é responsável pela poluição através de gases como dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), óxido nítrico (NO_2), metano (CH_4) e pelo desmatamento. O que corrobora com o resultado encontrado por Puettmann et al. (2005), que ao realizarem o inventário do ciclo de vida de materiais de construção em madeira concluíram que ao utilizar resíduos de madeira (biomassa) como a principal fonte de combustível, se tem uma significativa redução das emissões atmosféricas quando comparados a Biomassa de CO_2 versus fóssil de CO_2.

O uso da madeira como biomassa no Brasil possui uma participação no balanço energético significativa, uma vez que as condições edafoclimáticas possibilitam uma maior produtividade nos plantios florestais. Ao avaliar o ciclo de vida da produção de 1 m^3 de lenha de eucalipto, os impactos ambientais mais significativos encontram-se na etapa de corte e extração, na fase de colheita na qual envolvem maquinários que consomem combustíveis fósseis e possuem em sua composição aço e alumínio (BARRANTES *et al.*, 2016).

Na cadeia de suprimentos da indústria com atividades de base florestal as maiores fontes de impactos têm origem no uso do solo, porém o desenvolvimento de tecnologias energéticas baseadas em biomassa florestal, aumenta o potencial de sustentabilidade do setor possibilitando o aproveitamento dos resíduos gerados nesta cadeia produtiva (SFEIR, SIMETTI e SILVA, 2015).

No Brasil, as atividades industriais madeireiras são altamente geradoras de resíduos de madeira, principalmente quando relacionados às indústrias de processamento mecânico como serrarias, fábricas de lâminas e de compensado. A geração de resíduos de madeira no meio urbano também possui sua relevância, uma vez que expressivos volumes destes resíduos advém da construção civil, da comercialização de produtos com embalagens com madeira, e das podas da arborização urbana (WIECHETECK, 2009).

A ACV do mobiliário de madeira e derivados de madeira, realizado por Keil (2012), apresentou que há falta de registros por parte das empresas principalmente referentes aos resíduos gerados como: refugos, serragem, pó de madeira, resíduos e emissões de gases do acabamento (verniz, tintas, solventes) e adesivos (adesivos secos e embalagens sujas).

Ao avaliar o Ciclo de Vida de Roupeiro de MDP (medium density particleboard), Silva *et al.* (2013) concluíram que a etapa de manufatura apresentou a menor contribuição para o potencial de impacto ambiental e as que apresentaram as maiores oportunidades de melhorias ambientais foram a obtenção de matérias primas, seguida da etapa de distribuição e produto.

Já ao avaliar o ciclo de vida do MDF (medium density fiberboard) Ribeiro e*t al*. (2016), constataram que a ecotoxicidade aquática é o fator ambiental mais presente e de maior relevância, provenientes das descargas de agentes poluidores através de águas usadas no processo de lavagem da matéria-prima.

Estudos relacionados ao ciclo de vida da madeira expõem que no Brasil há grande geração de resíduos de madeira em função da baixa taxa de conversão de madeira em tora para madeira serrada, sendo os resíduos queimados ou deixados para decomposição demonstrando que ainda existe falta de informação sobre o potencial de reutilização daqueles que manipulam ou geram resíduos de madeira (SOUZA, *et al.*, 2017a). Portanto, torna-se importante uma análise sobre o gerenciamento dos resíduos de madeira do setor moveleiro através do seu ciclo de vida com a possibilidade da explicitar as possíveis rotas tecnológicas para a minimização dos impactos ambientais relacionados.

Tendo em visa que a madeira ainda é um dos insumos principais para produção de moveis mesmo com a inserção de novos materiais a fim de substituí-los, e que os resíduos gerados no seu processamento não são gerenciados de forma a obter o melhor reaproveitamento (FASSI *et al.*, 2004), torna-se necessário avaliar os diferentes cenários de tratamento final, a fim de identificar práticas mais adequadas de acordo com cada realidade.

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) quantitativo, resulta em valores numéricos para as cargas ambientais considerando balanços de massa e energia em cada um dos passos do ciclo de vida dos produtos.

A estrutura metodológica do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) tem a capacidade de estimar as cargas ambientais envolvidas em um sistema de gerenciamento de resíduos e a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) interpreta os dados do ICV (aspectos ambientais) em categorias de impactos ambientais (MERSONI e REICHERT, 2017).

1.2.1. Estrutura da ACV

A gestão do ciclo de vida dos produtos envolve uma avaliação de vários aspectos ambientais e impactos potenciais iniciando na aquisição da matéria-prima à disposição final. A quantificação das entradas e saídas de um sistema de produto possibilita compreender as relações entre produto e meio ambiente (ABNT NBR ISO 14040, 2009). Esta técnica, segundo ABNT NBR ISO 14040 (2009), associada a um produto, é realizada mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas; a interpretação dos resultados das

fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos.

O estudo de ACV é dividido em 4 fases: (I) definição de objetivo e escopo, (II) análise de inventário de ciclo de vida, (III) avaliação de impactos de ciclo de vida e (IV) interpretação de resultados (Figura 2).

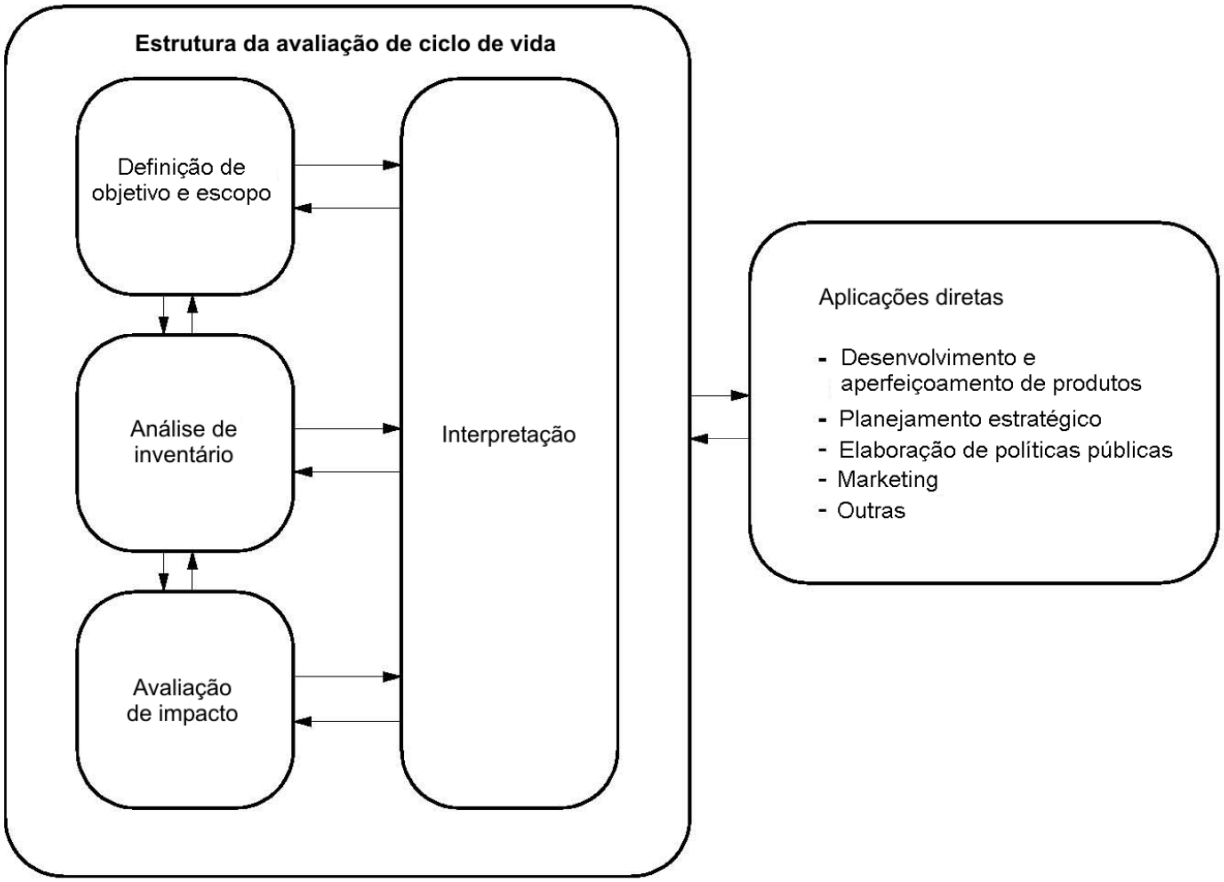

Figura 2 - Fases de uma ACV

Fonte: ABNT NBR ISO 14044:2009

1.2.1.1. Definição de Objetivo e Escopo

De acordo com as definições da ABNT NBR ISO 14040 (2009), ao definir o objetivo de uma ACV é declarado a aplicação pretendida, as razões para execução do estudo, a quem se pretende comunicar os resultados do estudo (público-alvo) e se há a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente.

Para a definição do escopo é fundamental que este promova subsídios para atingimento dos objetivos declarados, assegurando a abrangência, profundidade e o detalhamento do estudo. O escopo deve incluir os seguintes itens: a unidade funcional, a fronteira do sistema, fluxo de referência, requisitos da qualidade dos dados, comparações entre sistemas e considerações sobre análise crítica (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

A unidade funcional é a quantificação das funções identificadas do produto, os fluxos de entrada e saída, no qual são definidas as medidas de desempenho do produto em análise, de forma a garantir a comparabilidade dos resultados da ACV. A fronteira do sistema define os processos elementares a serem incluídos no sistema, identifica todas as etapas envolvidas no sistema de produto e quantifica todos os aspectos ambientais relacionados a cada uma destas etapas. O fluxo de referência é a medida das entradas e saídas de processos em um dado sistema de produto, ou seja, a base de cálculo dos dados requeridos para realizar a função expressa pela unidade funcional. Por fim, os requisitos de dados definem a qualidade com que os dados serão coletados, incluindo se estes virão de base secundária ou serão medidos diretamente em cada etapa do ciclo de vida do sistema de produto que está sendo desenvolvido a ACV.

1.2.1.2. Análise de Inventário de Ciclo de Vida – ICV

A Análise de Inventário de Ciclo do Vida (ICV) é a fase metodológica considerada a base da ACV, na qual são levantados dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto, relacionando as categorias de impactos. No final desta fase é obtido um ICV com as consequências sobre o meio ambiente de aspectos ambientais para o sistema estudado. A ICV é então uma ferramenta analítica usada para quantificar de forma abrangente os fluxos ambientais incluindo emissões no ar, efluentes líquidos, resíduos sólidos e o consumo ou falta de energia e outros recursos ao longo do ciclo de vida de produto ou processo.

Nesta fase é considerado que tudo que entra deve ser igual ao que sai do sistema estudado, em termos de energia ou massa, desde a extração das matérias-primas até o descarte final do produto.

De acordo com ABNT NBR ISO 14040 (2009) a Analise de Inventário do Ciclo de Vida envolve a compilação e quantificação das entradas e saídas de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida, sendo estas divididas em três etapas:

1. Coleta de Dados: etapa mais trabalhosa, onde é realizado o levantamento dos dados para cada processo elementar dentro da fronteira do sistema. Os dados podem ser primários ou secundários. Os dados primários são os levantados diretamente no local da fabricação do produto ou serviço estudado. Já os dados secundários são aqueles obtidos a partir de bases de dados ou da literatura. Estes podem ser classificados sob títulos gerais, incluindo:
    a. Entradas de energia, entradas de matérias-primas, entradas auxiliares, outras entradas físicas,
    b. Produtos, coprodutos e resíduos,
    c. Emissões atmosféricas, descargas para a água e solo, e
    d. Outros aspectos ambientais
2. Cálculos com os Dados: Em seguida à coleta de dados se faz necessário a realização de cálculos para ajustes dos fluxos de matérias e energia para cada processo elementar, referidos a unidade funcional estabelecida para o sistema de produto a ser modelado. As etapas necessárias são:
    a. Validação dos Dados Coletados,
    b. Correlação dos dados aos processos elementares (fluxo de referência),
    c. Correlação dos dados aos fluxos de referência e a unidade funcional.
3. Alocação de fluxos e liberações: Se dá a repartição dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto entre o sistema de produto em estudo e outro(s) sistema(s) de produto.

1.2.1.3. Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida – AICV

A Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV) é a fase na qual são avaliados os potenciais impactos ambientais das entradas e saídas de energia e materiais do sistema do produto que foram identificadas e quantificadas na fase anterior de Análise de Inventário de Ciclo do Vida (ICV). A AICV também fornece informações para a fase de interpretação do ciclo de vida.

Para estabelecer os critérios da AICV é necessário seguir os elementos mandatórios e opcionais (Figura 3), o que permite basear as categorias de impactos ambientais com foco no sistema estudado. A fim de garantir a confiabilidade do estudo proposto a transparência é um fator crítico, a seleção desses critérios que podem introduzir subjetividades e devem estar claramente descritos e relatados (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

A fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida – AICV que inclui elementos mandatórios (Figura 3), consiste em selecionar os dados do inventário e atribuir a categorias de impacto específicas. Após esta etapa os dados do inventário são multiplicados por fatores de equivalência para cada categoria de impacto e por fim todos os parâmetros incluídos na categoria de impacto são somados e o resultado da categoria de impacto é obtido (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

A fase opcional (Figura 3) da AICV inclui elementos como: i) normalização, que consiste no cálculo da magnitude dos resultados do indicador da categoria em relação a um valor de referência; ii) agrupamento, que consiste na atribuição das categorias de impacto e/ou danos segundo semelhanças, ou classificação das categorias de impacto em tópicos de proteção; iii) ponderação, que é o processo de conversão dos resultados do indicador das diferentes categorias de impacto a uma mesma base empregando fatores numéricos.

Por se tratar de uma ferramenta que possui uma série de limitações em sua metodologia, a AICV não é uma avaliação completa de todas as questões ambientais do sistema estudado. Segundo a ABNT NBR ISO 14040 (2009), algumas limitações para a elaboração de um sistema de ACV podem ser:

a) desenvolvimento limitado dos modelos de caracterização, análise de sensibilidade e análise de incerteza para a fase de AICV,
b) limitações da fase de ICV, tais como a definição de uma fronteira que não englobe todos os processos elementares possíveis para um sistema de produto ou que não inclua todas as entradas e saídas de cada processo elementar, uma vez que existem cortes e lacunas de dados,
c) limitações da fase de ICV, tais como dados de inventário com qualidade inadequada, causada, por exemplo, por incertezas ou diferenças nos procedimentos de alocação e agregação,

d) limitações na coleta de dados de inventário apropriados e representativos para cada categoria de impacto, e
e) A ausência de dimensões temporais e espaciais nos resultados do ICV.

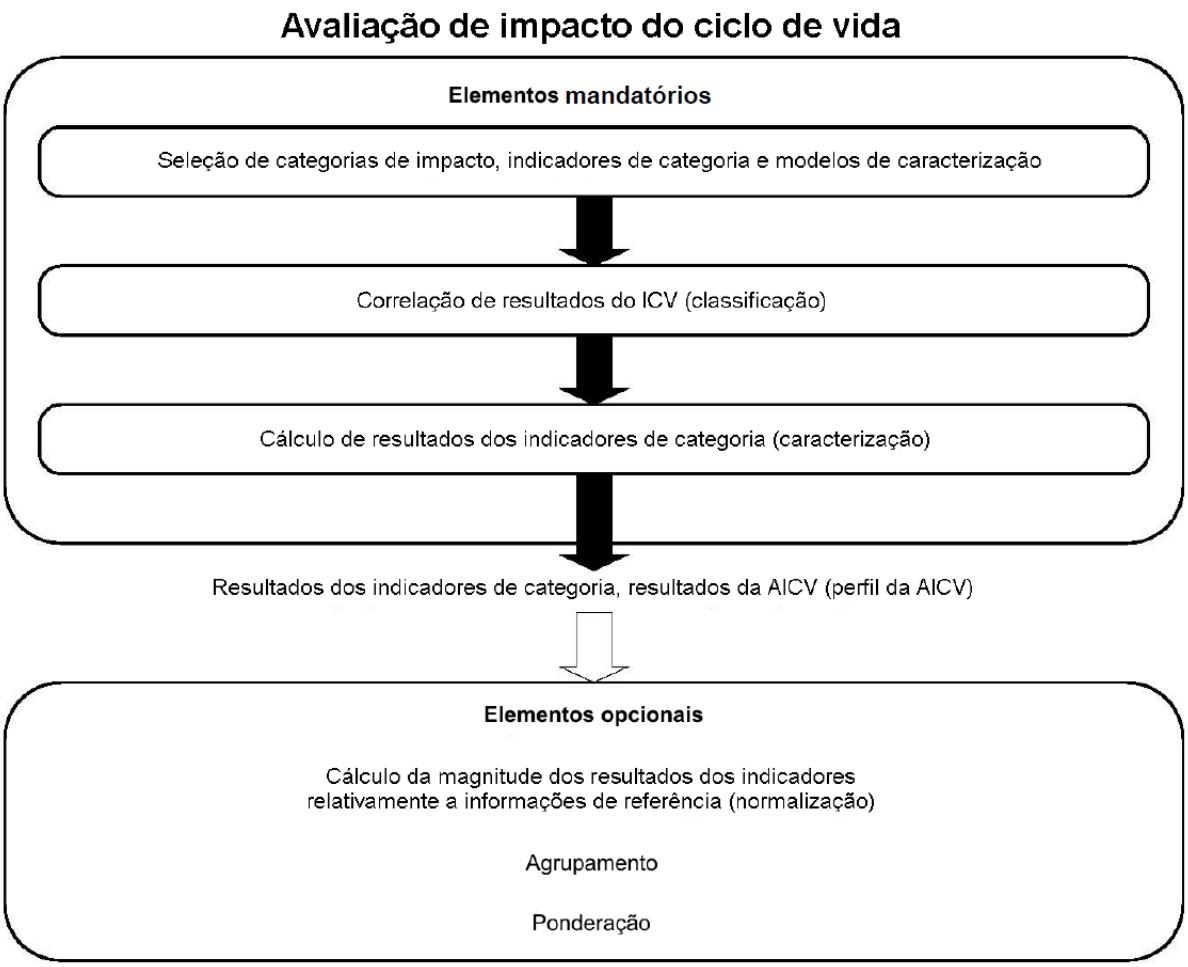

Figura 3 - Elementos Mandatórios e Opcionais na Fase da AICV

Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009

Para tanto é importante que as fronteiras do sistema de produto, bem como os requisitos de dados estejam delimitados e que sejam semelhantes a outros sistemas, quando se realiza uma ACV comparativa. Desta forma podem ser evitadas interpretações equivocadas a partir dos resultados obtidos nesta fase. ACV pode apresentar variações quanto às suas fronteiras de estudo: quando considera todo o ciclo do produto é denominada "*cradle to grave*"- do berço ao túmulo, quando o estudo é parcial e não considera o uso e disposição final chama-se "*cradle to gate*" – do berço ao portão (NETO *et al.*, 2020).

1.2.1.4. Interpretação dos Resultados

A utilização da ACV é uma importante ferramenta para identificação da geração de poluentes durante o processo produtivo, mensuração dos impactos ambientais relacionados ao consumo de insumos e aos tipos de tratamentos usados para a destinação dos resíduos e efluentes. Além de apoiar em uma tomada decisão quanto ao nível de sustentabilidade em cada etapa do desenvolvimento do produto.

Nesta fase os resultados da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou de ambas, são avaliados com relação ao objetivo e escopo definidos, a fim de se chegar a conclusões e recomendações sobre o estudo desenvolvido. Nesta etapa é possível avaliar, por exemplo, como a qualidade dos dados influenciam no resultado final, bem como identificar as etapas do ciclo de vida de um sistema de produto que causam mais impacto ambiental em determinadas categorias A fase de interpretação de resultados é essencial, pois permite ao desenvolvedor do estudo avaliar a consistência da ACV, bem como apontar conclusões para o usuário pretendido, tendo informações necessárias para tomadas de decisão.

1.2.1.5. Softwares

Existem diversos *softwares* que auxiliam o desenvolvimento de uma ACV, seja para a melhor organização e fluxo das informações do Inventário de Ciclo de Vida, seja para as modelagens de cenários ou cálculos de impactos de ciclo de vida. Alguns destes softwares estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Programas de avaliação de ciclo de vida

Programa	País de Origem	Site	Tipo
Open LCA	Alemanha	www.openlca.org	Gratuito
GaBi	Alemanha	www.gabi-software.com	Pago
Umberto	Alemanha	www.ifu.com/en/umberto	Pago
SimaPro	Holanda	www.simapro.com	Pago
Orware	Suécia	www.orware.com	Pago
Easetech	Dinamarca	www.easetech.dk	Pago
Gemis	Alemanha	http://iinas.org/gemis.html	Gratuito
OneClick LCA	Finlândia	www.oneclicklca.com	Pago

BEES	Estados Unidos	ws680.nist.gov/BEES/	Gratuito

Fonte: A autora, 2021

O *open LCA* é um *software* gratuito, desenvolvido em 2007, elaborado e mantido pela GreenDelta. Além de ser gratuito também possui código aberto o que possibilita que usuários possam sugerir melhorias (GREENDELTA, 2020). O *software* ainda conta com: (i) o *open LCA Nexus,* um repositório de dados de sustentabilidade do mundo que contém informações de diversas instituições; (ii) o conversor de formato de dados que permite replicar informações de um tipo de banco de dados para outro, facilitando a sua utilização; (iii) e o *open LCA CS* que é um servidor de colaboração para criação de dados e modelos de ACV.

O *software* GaBi também foi desenvolvido na Alemanha há mais de vinte anos e é um dos mais utilizados em estudos de ACV. Apesar de utilizar bancos de dados conhecidos, como Ecoinvent, GaBi apresenta seu próprio banco de dados que contém informações de mais de quinhentos e cinquenta (550) Declarações Ambientais de Produto – DAP (*Environmental Product Declarations – EPD*, em inglês*)*. O GaBi também permite o cálculo do Índice de Circularidade Material (*Material Circularity Indicator – MCI)*, que representa o grau de circularidade e varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de um (1) maior a quantidade de materiais utilizados no ciclo de vida do produto que possuem fluxos circulares, ou seja, se os materiais têm eficiência de 100% em reciclabilidade.

O *software* Umberto foi desenvolvido na Alemanha pelo IFU Hamburg e possui uma interface gráfica que permite visualizar os fluxos de materiais pelos diagramas *sankey.* Assim como outros *softwares* o Umberto também integra bases de dados utilizadas mundialmente, mas possui um diferencial que permite a análise integrada de custos, em uma metodologia de contabilidade de fluxo de materiais e custo (*Material Flow and Cost Accounting – MFCA,* em inglês). Desta forma é possível realizar análises de eficiência de energia e recursos e simular a utilização de novos materiais e processos para uma análise global de sua eficiência.

SimaPro é um *software* desenvolvido há mais de 30 anos pela Pré-Consultants e é um dos mais utilizados para o desenvolvimento de estudos de ACV. O *software* possui a maior parte das funcionalidades dos outros citados anteriormente, como pegadas ambientais, agrupamento de bancos de dados, além

de mais de 20 métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e mais de 9 bibliotecas de inventários, permitindo uma complexa avaliação de ciclo de vida atraves de uma análise da performance ambiental do objeto estudado. Suas várias aplicações podem ser destinadas para: pegadas de carbono e hídrica, design de produto, geração de declarações ambientais e definição de indicadores chaves de performance.

Um modelo de simulação, ORWARE (ORganic WAste REsearch) é usado principalmente como uma ferramenta para análises de sistemas ambientais de gestão de resíduos, abrangendo as frações orgânicas e inorgânicas dos resíduos urbanos, em que os fluxos físicos são descritos pelo mesmo vetor variável e envolve algumas dificuldades na aquisição de dados relevantes.

A Easetech foi desenvolvido pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos da Universidade Técnica da Dinamarca (Institute of the Environment and Resources of the Technical University of Denmark), e tem a vantagem de ter um banco de dados mais flexível e atualizado.

Desenvolvido por Öko-Institut GEMIS é um programa computacional de ACV e de banco de dados para energia, materiais e atividades de transporte.

O ONE CLICK LCA é um software de Avaliação de Ciclo de vida (ACV) e de Análise de Custos de Ciclo de Vida (ACCV) que é utilizado por especialistas da construção, consultores de construção sustentável, arquitetos, engenheiros, investidores, fabricantes e projetistas.

O BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) desenvolvido pelo “National Institute for Standards and Tecnology (NIST) Building and Fire Research Laboratory” é utilizado no setor de construção civil para avaliar o desempenho econômico e ambiental, apoiando na tomada de decisão de designers, construtores e fabricantes de produtos.

1.2.1.6. Banco de Dados

Durante o desenvolvimento de Avaliações de Ciclo de Vida a coleta de dados de todas as etapas do sistema de produto pode ser inviável economicamente. Para tanto utiliza-se banco de dados com informações propriamente desenvolvida sobre o ciclo de vida de determinados produtos e/ou matérias-primas.

Um dos bancos de dados mais relevantes é o Ecoinvent que está na sua versão 3.7.1 e conta com mais de dezessete mil ICV nas mais diversas áreas como: energia, agricultura, transporte, biocombustíveis, materiais, químicos, materiais de construção, madeira e tratamento de resíduos (WEIDEMA *et al*, 2013). Existem diversas outras bases de dados que podem ter conteúdo específico para um determinado assunto ou para uma determinada região conforme listado na Tabela 2. Alguns softwares possuem base de dados própria como o GaBi.

O Banco Nacional de Inventário de Ciclo de Vida (SICV Brasil) é mantido pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) e abriga diversos Inventários de Ciclo de Vida de produtos nacionais, sendo a principal referência para utilização de dados nacionais para desenvolvimento de ACV. A quantidade de ICV, no entanto, ainda é pequena se comparada a outros bancos de dados como o Ecoinvent.

Tabela 2 - Banco de dados de ciclo de vida

Base de Dados	Origem	Abrangência
Eco-systèmes – ESR	França	Resíduos Eletroeletrônicos Residenciais
Ecoinvent	Suiça	Energia, agricultura, transporte, biocombustíveis, materiais, químicos, materiais de construção, madeira e tratamento de resíduos
EXIOBASE	Europeu	Matérias-primas e produtos industriais com dados globais
ELCD - Environment Life Cycle Database	Europeu	Matérias-primas, Produtos Industriais, Agricultura, Tratamento de Resíduos
ESU World Food LCA Database	Mundial	Matérias-primas e produtos da agroindústria
DATASMART LCI Package	Estados Unidos	Matérias-primas, energia, tratamento de resíduos e processos industriais
ALCIG	Suíça	Agricultura
Agrybalise	França	Agricultura
IDEA	Japão	Atividades produtivas nacionais
SHDB	Estados Unidos	Base de dados social
Wastewater LCI Initiative	Mundial	Tratamento de Efluentes
Agri Footprint	Holanda	Agricultura
SICV	Brasil	Atividades produtivas nacionais
U.S. Life Cycle	Estados	Atividades produtivas nacionais

Inventory (USLCI)	Unidos

Fonte: A autora, 2021

1.2.1.7. Abordagem de ACV

Existem dois tipos de abordagem de ciclo de vida: atribucional (“cut-off”) ou consequencial (expansão do sistema). No primeiro caso a carga ambiental de um determinado co-produto, resíduo a ser reciclado, ou ainda reciclagem interna não é considerada para o sistema de produto que irá reutilizá-lo. As consequências por não atribuir cargas ambientais a esses materiais são, por exemplo, deixar de usar uma determinada matéria-prima, evitando o seu esgotamento. A abordagem atribucional avalia os impactos sob o cenário de uma produção e mudanças no processo. Na escolha de estratégias tecnológicas que esteja visando a mudança de um sistema tecnológico, avaliando os impactos de longo prazo, o resultado da ACV pode ser de pouco valor e resultados interpretados de forma errática (SANDÉN, KARLSTRÖM, 2007).

No caso da expansão do sistema parte da carga ambiental é alocada no resíduo que será utilizado, e é muito utilizado para resíduos gerados na produção, ou seja, que não tenham virado algum produto que alcançasse a função desejada. Desta forma é possível caracterizar os impactos evitados de matérias-primas que seriam utilizados no lugar do resíduo. A ISO 14040:2009 recomenda que a alocação de cargas ambientais seja evitada por meio da expansão do sistema.

1.3. Indústria Moveleira

Há uma tendência mundial de mudança de origem da oferta de madeira das florestas naturais para florestas plantadas, em função das pressões para preservação das naturais pela sua importância na preservação ambiental (BRDE, 2003). Os movimentos ambientalistas e a necessidade imposta pela própria economia de base florestal têm levado o Brasil a uma substituição progressiva das florestas nativas pela silvicultura, no fornecimento de matéria-prima industrial BRDE, 2003).

Na União Europeia (EU), a capacidade limitada de produção de madeira para a indústria e um crescimento na sua utilização, tem gerado problemas no

fornecimento em algumas regiões da EU, havendo uma estimativa de déficit, em 2030, da ordem de 80 milhões de m³/ano. Desta forma, o reuso e a reciclagem de madeira tem um importante papel para reduzir os problemas de demanda da indústria madeireira da EU (ANTOINE; FERNANDO, 2019).

Embora o Brasil seja um grande produtor de madeira, com o aumento das exportações do produtos florestais, o consumo interno crescente e a ascensão de novos produtos, a demanda florestal passou a crescer a uma taxa superior a oferta, gerando problemas no suprimento do mercado. Conforme BRASIL (2017), Programa Nacional de Florestas – PNF, está ocorrendo um desequilíbrio entre a oferta e a demanda de madeira para o setor industrial madeireiro. Para atender o setor o Brasil possui aproximadamente 500 milhões de hectares (59% do seu território), composto por 97,60% de florestas naturais e 1,97% de florestas plantadas (BRASIL, 2019). São cortados cerca de 4,5% hectares por ano de floresta plantada, com um ritmo de reflorestamento de 1,5% hectares de novas florestas plantadas, o que, mantidas estas condições projeta uma crise de suprimento de madeira para a indústria madeireira no país (BALZAN *et al*., 2020).

De acordo com ABRAF (2013) e Fischer (2010), o setor de base florestal está dividido em dois segmentos: o primeiro relacionado às áreas de florestas plantadas e áreas de preservação de florestas nativas associadas (a extração vegetal e da silvicultura) e o segundo relacionado ao componente industrial (atividades de beneficiamento e processamento da madeira (celulose e papel, carvão vegetal renovável, chapas e painéis reconstituídos, madeira tratada para construção civil, insumos para produção de energia).

A indústria moveleira é composta em sua maioria por empresas familiares, de pequeno e médio porte (FIRJAN, 2015; BRAINER, 2018), com produção voltada para o mercado interno, baixa exigência de órgãos ambientais, baixa preocupação com a matéria-prima e perdas no processo, demonstrando um compromisso com meio ambiente menor comparado a outros setores (ULIANA e NOLASCO, 2009).

De acordo com a Centre for Industrial Studies (CSIL, 2018), em 2017 a produção mundial de móveis chegou a mais de US$ 400 bilhões, aumentando 3% em relação a 2016 e um crescimento cumulativo de 25% na última década. Destacam-se a Ásia-Pacífico com mais da metade da produção mundial, seguida pela Europa como a segunda maior região produtora do mundo.

O Brasil apresenta-se no ranking mundial como o quinto país com maior produção de MDF e de madeira em tora, o terceiro maior produtor de chapas de madeira e o segundo país com maior geração de resíduos de madeira do mundo (FAOFAST, 2021).

Segundo ABIMÓVEL (2019), o Brasil possui aproximadamente 19 mil indústrias do segmento mobiliário, apresentando-se como o 30º maior país exportador e 68º maior importador do mundo, produzindo cerca de 435,9 milhões de peças e gerando 268 mil empregos de forma diretos e indiretos. Além de destinar cerca de 6% das áreas plantadas brasileiras às indústrias de painéis de madeira e pisos laminado.

Para Sperotto (2018), tanto no Rio Grande do Sul quanto em todo País, predominam os micros estabelecimentos onde 80% das unidades de produção possuem no máximo nove empregados e os 20% restantes são distribuídos entre pequenas (16,0%), médias (3,5%) e grandes (0,5%) empresas. De acordo com a FIRJAN (2019), o setor moveleiro possui mais de 20 mil empresas gerando mais de 230 mil empregos diretos, cerca de 3,5% do total de trabalhadores formais do país.

O Estado do Rio de Janeiro, se mantém entre os seis maiores empregadores do setor, ficando atrás dos polos de São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná, Minas Gerais e Santa Catarina. Segundo Firjan (2019) até o mês de abril de 2018 as vendas de móveis no estado cresceram 14,2%, criando mais de 100 postos de trabalhos formais em um acumulado de 12 meses.

Na região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente no Município de Petrópolis, surgiu a 1ª empresa moveleira legalizada no Brasil se destacando como a cidade pioneira na fabricação de móveis. O polo moveleiro de Petrópolis possui um aglomerado de 70 empresas e um faturamento mensal de R$ 2,5 milhões, gerando cerca de 900 empregos diretos e indiretos (SÃO PAULO, 2020).

A cadeia produtiva da indústria moveleira se inicia com a extração de matérias-primas, passa pela transformação em diferentes segmentos industriais (tábuas e chapas de madeiras processadas, metais, tintas e vernizes, estofados, etc.), chega a fabricação em uma indústria moveleira e a entrega para o consumidor final (BALZAN *et al*., 2020). O setor moveleiro possui como principal matéria-prima de origem florestal as chapas de madeira processada como: o aglomerado, o MDP

(*medium density particleboard*) e MDF (*medium density fiberboard),* e a madeira maciça proveniente de florestas plantadas (BRAINER, 2018).

Os painéis de MDP são formadas a partir da redução de madeira em partículas, onde as mais finas encontram-se na superfície e as mais delgadas no interior e são impregnadas com resina sintética formando um colchão, pela ação controlada de calor, pressão, e podendo ser revestidos externamente por lâminas de madeira e resinas melamínicas (MAFESSONI, 2012). Já o MDF é produzido a partir de fibras de madeira, ao invés de partículas, aglutinadas e compactadas com resina sintética, através da ação controlada de calor, pressão e umidade. O MDF é amplamente utilizado na indústria moveleira sendo considerado como uma das principais matérias primas para fabricação de móveis (IBÁ, 2019).

Para SEBRAE (2014), a estruturação da cadeia produtiva de móveis congrega vários processos de produção que têm início na extração de matérias-primas brutas de diversos tipos e continuidade na sua transformação em matérias-primas elaboradas nas diferentes indústrias, sendo, por sua vez, finalmente transformadas em produtos mobiliários na indústria principal: a de móveis.

Segundo Kozak et al. (2008), os resíduos gerados em maior quantidade na fábrica de móveis localizada na cidade de Irati – PR são os resíduos de madeira (pó, cepilhos e aparas de painéis) e a menor proporção são resíduos de plásticos, metais e papel/papelão. O mesmo resultado encontrado por Farage *et al.* (2013), que ao realizar diagnósticos em 11 fábricas do Polo Moveleiro de Ubá - MG, concluiu que mais de 90% do total dos resíduos sólidos gerados correspondem à resíduos de madeira.

Ao avaliar as pegadas ambientais referente a 1 tonelada de pellets de madeira produzidos e exportados na Colúmbia Britânica (BC) do Canadá, Pa *et al.* (2012) concluíram que são gerados 295 kg de CO_2 equivalente (CO_2eq). O transporte marítimo ~~é~~ foi o principal contribuinte para todas as categorias de impacto, seguido da fase de colheita da madeira, que é realizada principalmente com máquinas movidas a diesel. Caso os pellets fossem consumidos apenas no mercado interno os impactos nas categorias de saúde humana, qualidade do ecossistema e nas mudanças climáticas reduziriam em 61%, 66% e 53%, respectivamente, demonstrando que apenas a origem renovável de um produto não é suficiente para justificar que ele possui um baixo impacto ambiental. É preciso estudar toda a cadeia produtiva para avaliar a influência de outras etapas.

Para Freire *et al.* (2015), entre as possibilidades de melhoria do desempenho ambiental de painéis está a substituição do uso de madeira de florestas plantadas por resíduos de madeira de outros processos industriais, além da utilização de fontes renováveis para geração de eletricidade utilizada no processo de fabricação dos painéis. A substituição de resinas a base de formaldeído por resinas naturais também são sugeridas, uma vez que o formaldeído quando emitido para a atmosfera tem potencial cancerígeno, o que acontece no processo de fabricação do painel de MDF.

1.4. Gestão de Resíduos Sólidos e seu ciclo de vida

O gerenciamento dos resíduos é cada vez mais necessário e exigindo um total conhecimento do setor, com dados atuais e confiáveis, que permita o acompanhamento da evolução alcançada e possíveis ajustes para a universalização e o crescimento da gestão dos resíduos (ABRELPE, 2020). A Política Nacional de Resíduos Sólidos PNRS (BRASIL, 2010), após uma década de sua publicação, ainda apresenta algumas dificuldades em sua total implantação como por exemplo a Logística Reversa dos produtos pós-consumo.

Reconhecer o resíduo sólido reutilizável e reciclável é uma das diretrizes que prioriza a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos na gestão de resíduos sólidos (MACHADO, 2012). Isso reforça a necessidade do aumento dos índices de reciclagem, a fim de diminuir o volume de material destinado aos aterros sanitários que é uma das regras da PNRS (BRASIL, 2010).

Em 2019, foram gerados 79 milhões de tonelada de resíduos Sólidos no Brasil, sendo 92% desses resíduos coletados e mais de 6 milhões de toneladas de resíduos não coletados tiveram uma destinação imprópria (ABRELPE, 2020). No mesmo ano, o estado do Rio de Janeiro gerou mais de 8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos tendo 99,5% de cobertura de coleta (ABRELPE, 2020).

Os principais resíduos gerados pelas indústrias moveleiras são classificados como não perigosos (classe II) como serragem, maravalha, cavacos de madeiras e sobras de tecidos e papelão, e de acordo com o processo produtivo podem gerar resíduos perigosos provenientes das cabines de pintura (Venzke, 2002). Segundo FAOFAST (2021), em 2019 a quantidade de produção de resíduos de madeira no

mundo foi de 232.858.637 m^3 e 23,4% dessa geração sendo de responsabilidade das Américas. Este cenário reforça ainda mais a importância de avaliar os impactos ambientais causados por esses resíduos no ambiente natural, na saúde humana e nos recursos naturais.

O baixo aproveitamento dos resíduos de madeira na indústria moveleira resulta numa perda de oportunidade para a própria indústria e para sociedade, através de novas fontes energéticas externas e evitando os altos custos e impactos ambientais relacionados à disposição ou utilização inadequada, uma vez que em muitas regiões os resíduos de madeira são considerados um problema (WIECHETECK, 2009).

A ACV demonstra ser uma ferramenta adequada para apresentar à sociedade como a iniciativa privada tem lidado com os resíduos gerados por seu processo e para a tomada de decisão na construção de soluções mais adequadas para a sociedade (REVEILLEAU, 2011). De acordo com Nunes e Serra (2019) das 15 indústrias moveleiras estudadas em Palmas - TO apenas uma doa seus resíduos para serem utilizados como combustíveis em caldeiras, enquanto as demais destinam seus resíduos de madeira para o aterro sanitário municipal.

Para Pereira (2003), é importante ter uma atenção especial quanto o reaproveitamento dos resíduos produzidos nas indústrias moveleiras, principalmente no que vem sendo praticado por diversos polos moveleiros como a utilização de resíduos de pó de serra de aglomerados e MDF para forração de granja, adubo de hortaliças ou incinerados sem controle para produção de energia, o que tem sido proibido em alguns estados do país, tais como Distrito Federal (Lei Estadual DF 6.819/2021) ou Minas Gerais (Lei Estadual MG 21.557/2014) por poder conter alguns componentes tóxicos.

Ao caracterizar o resíduo de MDF na forma de pó em uma fábrica de móveis de pequeno porte, Souza, (2017b) identificou que o material possui algumas limitações para aplicações em processos industriais, mas que podem ser atenuadas com algum tipo de beneficiamento, podendo o mesmo ser utilizado como carga de reforço em matriz polimérica.

Segundo Corrêa, Duarte e Abreu (2016), a falta de informação sobre os tipos e as quantidades de resíduos gerados no polo moveleiro de Belo Horizonte é um fator que contribui negativamente na busca por melhores alternativas de destinação

e por soluções coletivas que envolveriam e trariam oportunidades para grande parte das fabricas ali localizadas.

Já o estudo realizado em 32 indústrias moveleiras pernambucanas, apresentou que os resíduos de madeira são destinados como resíduos comuns por 14 indústrias, 9 realizam a doação ou venda, 5 encaminham para a reciclagem, 2 encaminham para a queima e 1 descarta através de empresa credenciada. Já para os resíduos de pó da madeira, 21 indústrias descartam no lixo comum, as demais doam para confecção de artesanato ou para queima em fornos de padarias (SANTOS *et al.*, 2017).

Os principais resíduos gerados pelas serrarias no município de Eunápolis-Ba são serragem (36,17%), lenha (25,53%), maravalhas (23,40%) e cavacos (12,77%), dos quais 55% são vendidos para a geração de energia em cerâmicas próximas ao município, 17% vendidos para utilização em baias de animal, 16% doados a interessados, 8% descartados em lixões e 2% utilizados na confecção de artefatos de madeira (CERQUEIRA, 2012).

Segundo Cassilha (2004), a utilização dos resíduos da madeira para reter a umidade do solo em granjas, currais e baias, é uma alternativa possível uma vez que a maioria desses resíduos não possui substancias tóxicas ao meio ambiente. Já Gomes *et al.* (2004), consideram como alternativas para o gerenciamento dos resíduos de madeira o processo de compostagem, a geração de energia e a fabricação de pequenos artefatos de madeira.

Para Munir *et al*. (2019), o uso de material de cama à base de madeira na produção animal pode ser incentivado devido às suas propriedades antimicrobianas, além de que após seu uso, este material pode ser reciclado ou biotransformado para ser usado para outros fins.

Outra opção encontrada por Berger, Gauvin e Brouwers (2020) foi utilizar resíduos de madeira para substituir a madeira convencional na confecção de placas de lã de cimento (WWCB), um compósito que é utilizado em tetos ou paredes. Segundo este estudo o resíduo de madeira é bastante compatível com o cimento branco, que é utilizado na produção do WWCB. O mesmo resultado foi encontrado por Almeida et al. (2020) que ao incorporarem os resíduo de MDF em massas cerâmicas evidenciaram que, até 10% do resíduo em forma de pó, pode ser incorporado em massas cerâmicas estruturais para produção de blocos porosos isolantes acústicos e térmicos.

Segundo Rivela *et al*. (2006) e Fonseca *et al.* (2018), a reciclagem de resíduos de madeira para a fabricação de painéis de aglomerados apresenta-se mais favorável do ponto de vista ambiental.

A reciclagem de fibra de madeira de resíduos de MDF para a fabricação de acessórios decorativos de interiores foi uma das alternativas estudadas por Ju E Roh (2017), comparando as características de tingimento e resistência à luz por corantes naturais de fibras virgem de Pinus e a fibra de madeira de resíduos de MDF, utilizando diversas tonalidades de cores. Apesar de apresentarem diferenças de tonalidade ao utilizar fibras recicladas, não houve diferença significativa quando comparado aos resultados obtidos pela fibra virgem.

Segundo Marchenko *et al.* (2020) o setor de energia possui uma tendência constante para desenvolvimento de novas tecnologias de energia ambientalmente corretas, e uma das alternativas estudadas em mini-Cogeração de Energia (CHP) na Rússia foi o uso de resíduos da indústria madeireira para a produção de energia elétrica e térmica. Os resultados mostraram que o custo da eletricidade da mini-CHP com combustível de madeira (lascas de madeira ou pellets) é significativamente menor do que o custo da eletricidade de uma central a diesel e pode competir com sucesso com as usinas a carvão e a gás se tiverem combustível de madeira barato em suas localizações.

Farage *et al*. (2013) ao avaliarem o potencial de reaproveitamento energético dos resíduos de madeira e seus derivados gerados em 11 empresas do Polo Moveleiro de Ubá/MG, concluiíram que os gases emitidos na queima desses resíduos não apresentaram parâmetros acima dos limites estabelecidos pelas normas ambientais.

Ao considerar o aumento dos resíduos de painéis de fibra de média densidade (MDF) e as atuais capacidades de descarte insuficientes e insatisfatórias, Hagel e Saake (2020) aplicaram o fracionamento de Resíduos de MDF por Refino de Vapor e obtiveram um extrato contendo até 30% de carboidratos e uma fração de fibra de alto rendimento. No resultado do estudo foi concluido que as fibras podem ser utilizadas em papel de embalagem ou reutilizadas na produção de MDF e por suas propriedades de estabilização o extrato pode ser utilizado como emulsificante de óleo em água (HAGEL e SAAKE, 2020).

Os impactos ao meio ambiente na produção dos painéis de madeira MDF envolvem o descarte dos resíduos gerados nos processos produtivos das indústrias

moveleiras, uma vez que muitos são depositados em aterros ou para queimas a céu aberto. A destinação para aterro sanitário, inclusive é a prática mais comum adotada na maior parte do mundo (KIM e SONG, 2014).

A maioria das indústrias moveleiras da Região Metropolitana de Recife ainda dispõe seus resíduos de maneira inadequada, principalmente o MDF, o qual não pode ser descartado no lixo comum ou queimado podendo contaminar o solo e os lençóis freáticos e nem doado para indústrias alimentícias. Isto demonstra que os representantes das indústrias ainda possuem uma baixa consciência ambiental, além da carência de ações que disseminem mais o tema por parte do poder público e organizações de apoio (SANTOS *et al.*, 2017).

Wiecheteck (2009) define que os resíduos de madeira podem ser destinados a partir de dois segmentos principais: como matéria prima para produtos como: reutilização, reciclagem e produtos de maior valor agregado; e para fins energéticos como: combustão direta e incineração, gaseificação, briquetagem/pelletização e pirólise. O estudo ainda ressalta que os resíduos de madeira são um problema em comum sendo geralmente dispostos ou utilizados inadequadamente, gerando custos elevados ou danos ambientais, bem como reforça que ao se conhecer o volume e a qualidade desses resíduos é possível identificar uma alternativa viável de sua utilização.

Os impactos ambientais dos projetos de móveis podem estar relacionados ao designers das peças considerando três pontos fundamentais: o esgotamento dos recursos naturais renováveis e não-renováveis; a poluição causada pelos resíduos gerados na aquisição e transformação da matéria-prima, na fabricação do móvel, no uso e o pós-uso do mobiliário; e projetos que reduzam ao máximo a geração de resíduos e que possibilitem ao máximo o seu reaproveitamento ou sua reciclagem (PEREIRA, 2003).

Estudo realizado no polo moveleiro de Belo Horizonte ressaltou a grande quantidade de resíduos gerados nas fabricas que poderiam ser aplicados e/ou utilizados em produtos, além de destacar oportunidades para futuras pesquisas relacionadas ao design e à engenharia de materiais que possam favorecer o desenvolvimento e a valorização deste setor (CORRÊA, DUARTE e ABREU, 2016).

Segundo o Relatório dos Resíduos não Reutilizados do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS et al., 2014) o formaldeído usado na fabricação de placas de MDF e encontrado nos resíduos é amplamente utilizado como fertilizante.

A incorporação de cerca de 10% de serragem de MDF em compostos fertilizantes contribui para o crescimento das plantas. Quando estes resíduos são adicionados aos resíduos sólidos urbanos para compostagem, a degradação do formaldeído chega a 90% e não há emissão de gases dessa substância.

Foram explicitados na tabela 3 os tipos de destinações dos resíduos de madeira, encontrados por outros autores nos cenários nacional e internacional. As destinações para reciclagem e queima (geração de calor e vapor) foram as alternativas mais estudadas pelos autores.

Tabela 3 - Estudos com tipos de destinação de resíduos de madeira

Autores	País	Destinações (Resíduos de Madeira)					
		Aterro Sanitário	Queima	Cama Animal	Reciclagem	Compostagem e Fertilizantes	Outros
Marchenko *et al.*	Russia		X				
Hagel e Saake	Alemanha				X		
Berger, Gauvin e Brouwers	Holanda				X		
Nunes e Serra	Brasil	X	X				
Fonseca *et al.*	Brasil				X		
Santos	Brasil	X	X		X		X
Ju e roh	Coréia				X		
FIERGS et al	Brasil				X		
Farege et al.	Brasil		X				
Cerqueira, Vieira e	Brasil	X	X	X	X		X
Barberena, Wiecheteck	Brasil		X		X	X	
Almeida et al.	Brasil				X		
Rivela *et al*.	Espanha				X		
Cassilha	Brasil		X	X	X	X	
Gomes *e Sampaio*	Brasil		X		X	X	

Fonte: Autora (2021)

Ao avaliar os impactos ambientais da cadeia de suprimento de madeira na Irlanda, Murphy, Devlin e Mcdonnell (2015) afirmam que a contribuição das operações florestais e do transporte são significativas para as emissões atmosféricas, sendo o uso da eletricidade na atividade de serração responsável pela maioria dessas emissões.

Testes de queima não controlados, em escala piloto, de resíduos de móveis de madeira encontraram como principais resultados o potencial impacto ambiental no fenômeno de smog fotoquímico da queima de madeira industrial incompleta, além da presença de compostos orgânicos, óxido de nitrogênio e outros compostos fenólicos e contendo nitrogênio (TATÀNO *et al*., 2009).

Ao avaliar a qualidade e o nível de poluição das águas residuais obtidos a partir da reciclagem de resíduos de MDF, Moeizi *et al.* (2019) encontraram os ácidos como materiais mais presentes nas águas residuais, além de compostos de cloreto de fenol, taninos e derivados de lignina e seus valores de DBO, DQO e compostos em suspensão foram superiores aos requisitos definidos na norma da Agência de Proteção Ambiental americana (Environmental Protection Agency – EPA).

Como as destinações dos resíduos de madeira podem gerar uma diversidade de impactos ambientais a depender da rota tecnológica empregada, é importante propor, além de novas oportunidades de reaproveitamento, uma avaliação do ciclo de vida destas alternativas, principalmente aqueles gerados nas micro e pequenas indústrias moveleiras, considerando quais cenários de destinação final podem ser menos impactantes ao meio ambiente.

Para Xará *et al.* (2001), a aplicação da ACV na gestão de resíduos possibilita apresentar as vantagens e desvantagens ambientais de diferentes cenários de tratamento de resíduos, possibilitando a comparação de diferentes estratégias de gestão para a tomada de decisões.

Para assegurar estudos e resultados confiáveis, são fundamentais considerar requisitos transversais que permeiam todas as fases de um ACV como a consistência dos métodos, hipóteses e dados, e a reprodutibilidade. Considerando que o sistema de ACV deve avaliar todos os processos no ciclo de vida do produto é possível realizar estudos de ACV customizados de acordo com interesse do estudo (JRC, 2010).

A aplicabilidade do estudo do ACV permite comparar o impacto ambiental de diferentes produtos com funções similares, porém é muito utilizada na área de gestão ambiental para comparar o impacto ambiental de diferentes tipos de tratamento de resíduos (incineração; aterro sanitário; compostagem, etc.), ou seja, o impacto ambiental de diferentes destinações de um mesmo resíduo (MARANHO, 2011).

Os resultados encontrados por Morris (2017) ao avaliar o ciclo de vida dos resíduos de madeira destinados para reciclagem, aterro ou queima, demonstraram que a rota de menor impacto ambiental foi a reciclagem, considerando os cenários avaliados. O estudo levou em conta o custo social específico sobre a destinação dos resíduos considerando sete aspectos (mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, doenças respiratórias, não cancerígenas, cancerígenas e ecotoxicidade). Para rotas de destinação, aquela que apresentou melhor resultado financeiro, ou seja, que gera menor índice de taxação, foi a reciclagem.

Um dos resultados encontrados após avaliar os resíduos gerados pelas empresas do polo moveleiro de Belo Horizonte, foi a falta de conscientização dos empresários em relação ao tratamento adequado dos mesmos principalmente em sua segregação na geração (CORRÊA, DUARTE e ABREU, 2016).

Ao realizar a ACV de resíduos de madeira gerados a partir de atividades de construção de edifícios, Hossain e Poon (2018) obtiveram resultados que demostraram reduções significativas dos impactos ambientais para a produção de aglomerado e compósito madeira-cimento a partir de resíduos de madeira em comparação com o uso de madeira virgem. Já geração de energia a partir de biocombustível derivado de resíduos de madeira foi considerada melhor estratégia para redução de emissões de gases de efeito estufa quando comparada à geração de energia do carvão. Um estudo semelhante da análise do ciclo de vida com base em gases de efeito estufa e energia de produtos para fabricação de um painel de fibra de média densidade (MDF) da indústria irlandesa, apresentou melhoria nas emissões da fabricação ao substituir o gás natural por uso de fonte alternativa de energia térmica, como resíduos de madeira (MURPHY; DEVLIN e MCDONNELL, 2015).

A Análise do Ciclo de Vida da utilização dos resíduos de madeira para a fabricação de tábuas compostas para produção de energia em caldeiras e para a produção de painéis de aglomerados na Finlândia, indicou a produção de energia de

resíduos de madeira como a melhor opção quanto aos impactos ambientais líquidos em todas as categorias de impacto ambiental avaliadas (MANNINEN, JUDL e MYLLYMAA, 2015).

Farias *et al.* (2016), compararam o ciclo de vida de três diferentes tipos de materiais utilizados em produtos moveleiros: a madeira maciça, o MDF e o compensado, com o objetivo de escolher aquele com menor impacto ambiental para projetos. O compensado foi o material que mais gerou resíduos, cerca de 70 % a mais do que o MDF, além de gerar mais resíduos tóxicos. Porém, devido à baixa eficiência do processamento da madeira, os resíduos de processo envolvendo os três materiais, ainda possuem grande relevância sob os impactos de ciclo de vida, ressaltando a importância de que a escolha de um material deve levar em consideração todas as suas etapas de ciclo de vida.

Para Pa *et al.* (2012), a avaliação do ciclo de vida referente a substituição da lenha tradicional por pellets de madeira no aquecimento residencial na Colúmbia Britânica no Canadá, apresentou a redução de 95% do impactos na saúde humana, 26% na qualidade do ecossistema, 17% na mudança climática e 34% no consumo de energia primária.

Para Myllymaa e Dahlbo (2012), a reciclagem de madeira de alta qualidade é uma solução viável para o meio ambiente, desde que haja mercado para absorver o produto reciclado, retendo o carbono na madeira por um período mais longo. Esta reciclagem reduzirá os impactos climáticos a curto prazo e a queima dos resíduos de menor qualidade poderá ser utilizada como fonte de energia orgânica, desde que sejam avaliados as tecnologias adequadas para a recuperação energética.

2. METODOLOGIA

Considerado um importante polo industrial e comercial de movelaria, o Polo de Móveis de Petrópolis possui mais de 70 indústrias formais e informais constituídas principalmente por micro e pequenas empresas que atuam na fabricação e comercialização de móveis gerando 700 empregos diretos e outros 400 indiretos (SÃO PAULO, 2020).

Devido à importância econômica e o impacto ambiental deste aglomerado de industrias na região, este trabalho baseou-se em visitas realizadas a 11 micro e pequenas indústrias do setor moveleiro, localizadas no Polo Moveleiro de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro, no período de novembro de 2011 à janeiro de 2012, na realização de um diagnóstico ambiental da indústria moveleira realizado pela FIRJAN com a participação da autora do presente trabalho, visando o cumprimento da legislação ambiental, ao mesmo tempo apontando os pontos fortes e vulnerabilidades, bem como as oportunidades para a atividade industrial.

As indústrias estudadas fornecem serviços de marcenaria sob encomenda para todo o estado do Rio de Janeiro, tendo como produto principal a produção de móveis em MDF, como dormitório, cabides, dentre outros. Para essa atividade produtiva, as empresas contam juntas com 159 funcionários em uma área total média de 878,00 m^2 e operando em regime de 01 turno diário de 8 horas, durante 05 dias na semana.

Foram levantados para este estudo apenas os tipos de resíduos de madeira gerados no processo produtivo, não sendo avaliado os resíduos gerados na fase pós-uso do produto. De forma a garantir a padronização dos dados, utilizou-se a média mensal de geração para cada tipo de resíduos de madeira.

Realizou-se o acompanhamento de todo processo produtivo dessas indústrias, desde a chegada da matéria prima até a obtenção do produto final, passando pelas áreas de estocagem de materiais, administrativas, manutenção e armazenamento de resíduos. As informações deste estudo foram obtidas através das visitas à área de produção e das entrevistas com o responsável pela indústria com vistas ao preenchimento de formulários específicos para cada etapa do diagnóstico.

O processo de produção das indústrias moveleiras visitadas é estabelecido pelo seguinte fluxo de atividades: aquisição de painéis de MDF; corte de madeira;

furação/tupiação; lixação; coladeira de borda; montagem; acabamento e entrega. Para cada uma dessas etapas foram levantados os aspectos e impactos ambientais, além de como os controles operacionais eram usados pelas indústrias para minimizar impactos. No fluxograma apresentado na Figura 4 encontram-se todas as atividades desenvolvidas na fabricação de móveis e os principais aspectos ambientais a elas relacionados.

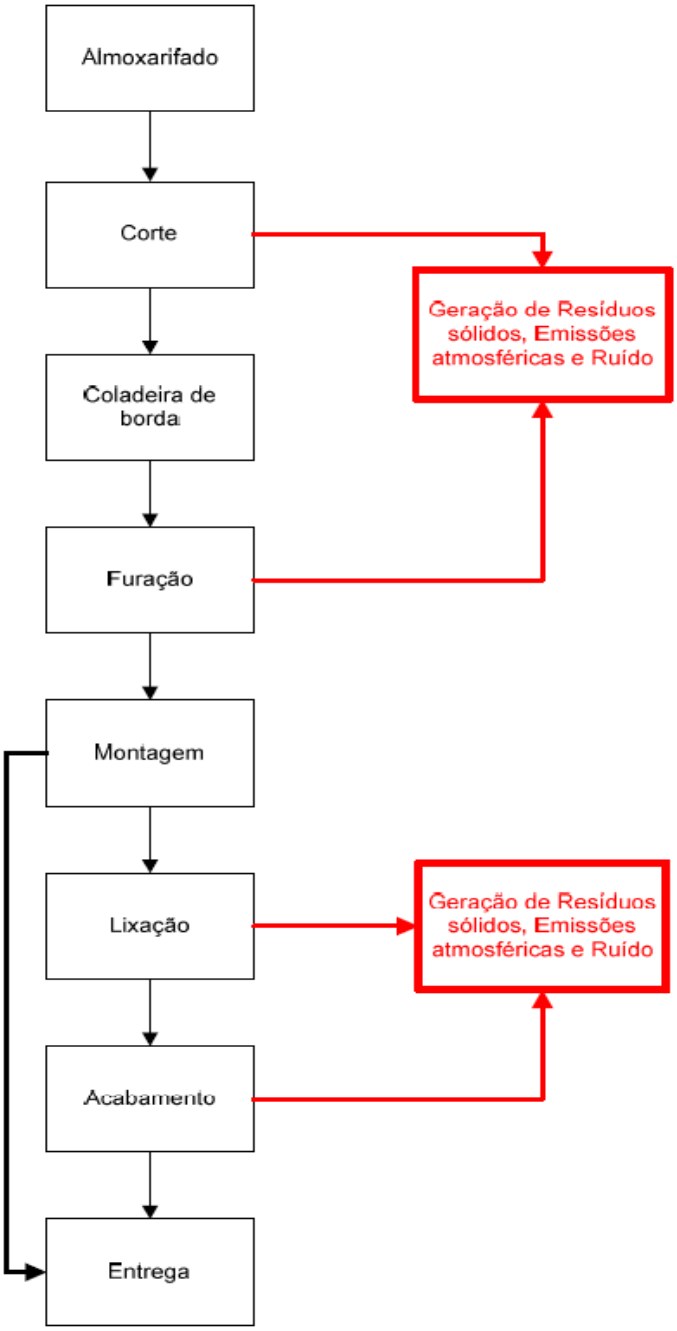

Figura 4 - Fluxograma do Processo Produtivo do Setor Moveleiro

Fonte: A autora, 2021

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da Avaliação de Ciclo de Vida desta pesquisa apoiou-se nas recomendações internacionais das normas ISO 14040 e ISO 14044. Conforme estes instrumentos normativos, o trabalho foi conduzido através das quatro fases distintas:

1ª Fase, a definição do objetivo e escopo;

2ª Fase, a análise do inventário do ciclo de vida (ICV);

3ª Fase, a avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV);

4ª Fase, as interpretações dos resultados finais.

Nesta pesquisa a abordagem de ACV utilizada será de expansão do sistema uma vez que serão estudadas diferentes rotas tecnológicas de destinação de resíduos e serão comparados os impactos ambientais gerados por cada opção e os impactos ambientais evitados com o reaproveitamento dos resíduos de madeira em outras aplicações. Não foi considerada nesta avaliação as fases de uso e descarte final do produto fabricado, limitando-se à avaliação dos resíduos gerados na etapa de produção.

2.1. Definição de Objetivo e Escopo

2.1.1. Objetivo da ACV

Para esta ACV, definiu-se que o objetivo é comparar os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida dos tratamentos dados aos resíduos de madeira, a partir de dados de geração de 11 indústrias moveleiras, considerando quatro (4) rotas tecnológicas: aterro sanitário, queima em fornos ou caldeira de lavanderia, utilização em granja e a reciclagem para a produção de MDP. As três primeiras rotas são aquelas mapeadas durante o diagnóstico e praticadas pela indústria. A rota de reciclagem para produção de MDP é uma alternativa que engloba conceitos de circularidade e vem sendo empregada como opção para aproveitamento dos resíduos de madeira.

No desenvolvimento da modelagem de cenário do sistema de tratamento dos resíduos de madeira gerados no processo produtivo, foi utilizado o *software SimaPro® 7.2*.

2.1.2. Escopo da ACV

O escopo compreendeu as atividades desde a aquisição da matéria prima até a sua disposição final. Para isso, foram considerados os tipos de resíduos gerados em cada etapa da produção do móvel, o transporte, o armazenamento e o tratamento. Os dados de uso do produto e descarte final não foram considerados. Estes dados foram analisados e quantificados considerando os balanços de massas, de energia e emissões atmosféricas. O escopo aplicado considerou o estabelecimento da unidade funcional e a seleção da base de dados conforme descrito a seguir.

2.1.2.1. Unidade Funcional

Produtos, processos e serviços todos tem uma função. Ao comparar produtos, é importante fazer isso de forma equitativa - os produtos devem cumprir a mesma função. Portanto, é necessário definir uma base para os cálculos, a chamada unidade funcional. Uma unidade funcional é a unidade à qual a carga ambiental está relacionada (MARQUES, 1997).

É a unidade funcional que define a característica do sistema a ser estudado. O sistema a ser estudado contempla os resíduos de madeiras gerados a partir do processo de fabricação de um móvel. Apesar do produto ser o móvel a unidade funcional que se deseja estudar são as práticas de gerenciamento dos resíduos gerados por este processo. De forma a permitir a comparação das práticas com outros estudos de ACV gerenciamento de resíduos de madeira é importante que a unidade funcional esteja associada ao tratamento de resíduos sólidos. Por isso a unidade funcional desta pesquisa é o tratamento de 1kg de resíduo de madeira. De forma a parear a base de comparação com outros estudos também se utilizou como base o fluxo de referência de 1 kg de resíduo de madeira.

Em termos percentuais será possível avaliar o impacto das práticas de gerenciamento de resíduos sólidos no ciclo de vida do móvel de madeira enquanto que em termos quantitativos será possível avaliar as práticas de resíduos de madeira bem como comparar com outros estudos de ACV.

2.1.2.2. Fronteiras do sistema

O sistema produtivo de fabricação de móveis de MDF inicia-se nas monoculturas de reflorestamento de Eucalyptus e Pinus, onde ocorrerá a extração das madeiras e seu transporte até a indústria de produção dos painéis de MDF, sendo então transportados até as indústrias moveleiras.

Esta pesquisa delimitou as Fronteiras do Sistema, ilustrado através da linha pontilhada em preto na Figura 5. Esta delimitação deu-se em função da obtenção e confiabilidade dos dados durante as visitas nas fabricas de móveis. O *craddle to grave* caracteriza-se como a abordagem de fronteiras do sistema quando busca analisar todo o ciclo de vida de um produto, até a sua destinação final, seja ela a reciclagem ou o tratamento como resíduo sólido. Já o *craddle to gate* busca avaliar os processos até a fase de produção do produto, sem contar as fases de transporte/distribuição, uso e descarte do produto.

Uma vez estabelecido os limites dos sistemas da ACV, foram considerados como dados primários os resultados obtidos nos formulários de Pré-Diagnóstico, nas visitas in loco e nas entrevistas, que estão destacados na

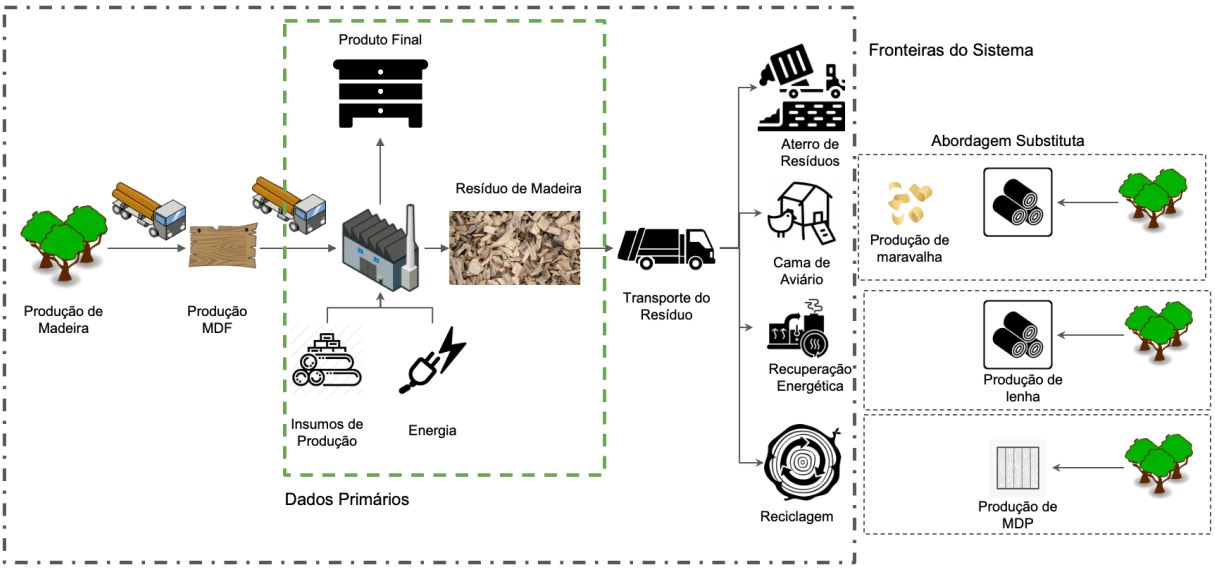

Figura 5 através da linha pontilhada em verde. Para os dados secundários foram considerados o consumo médio de energia para produção de móvel, o transporte dos resíduos de madeira até seu destino final e as rotas tecnológicas utilizadas para o tratamento dos resíduos.

Como a ACV é consequencial foram avaliadas as substituições empregadas em cada uma das etapas. Para a granja o produto substituto que será evitado é a maravalha que é produzida em serralherias e enviadas para granja. Considerando que há um impacto evitado na produção de maravalha, independente da origem de suas matérias-primas (resíduos ou placas), uma vez que necessitam passar por um processo de esterilização em alta temperatura, por trigonometria por máquinas especiais e ainda por uma etapa de ensacamento. Para a rota de queima em lavanderias e fornos o produto substituto é a lenha. Por fim na reciclagem o produto substituto é o próprio MDP.

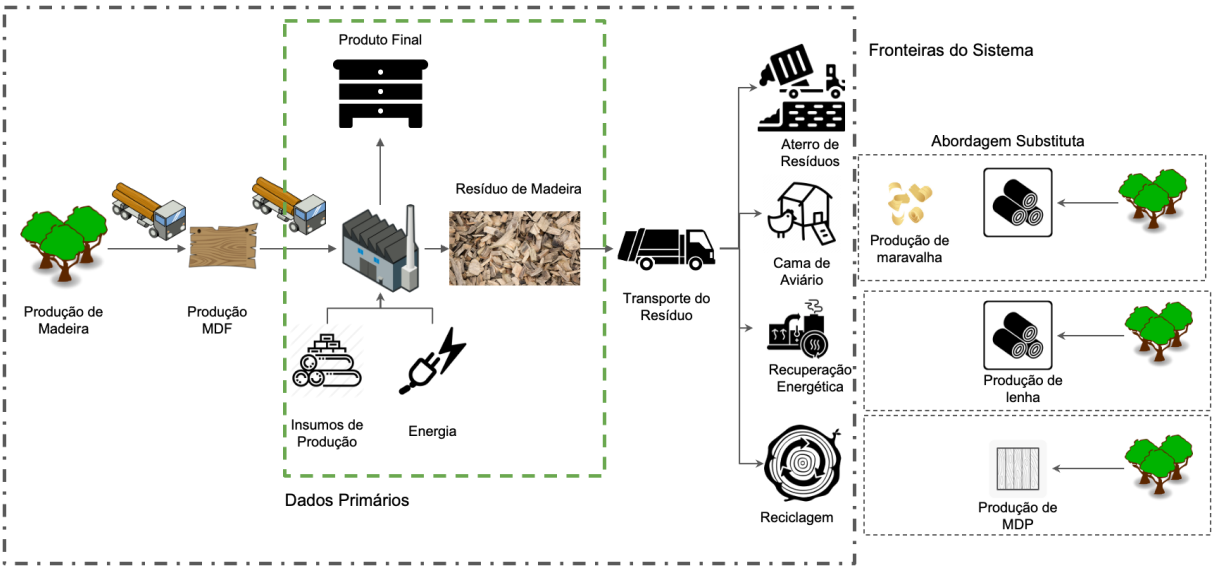

Figura 5 - Fronteiras do Sistema considerando a Abordagem Consequencial (Substituta)
Fonte: A autora, 2021

2.1.2.3. Procedimentos de Alocação

Os dados incluem todas as matérias-primas e insumos necessários para a produção considerando uma alocação dos impactos provenientes do processo produtivo e não do descarte do produto após o seu uso. Como foram elaborados cenários para cada uma das rotas definidas, a alocação dos impactos será de 100%.

2.1.2.4. Expansão do sistema

A expansão do sistema é a forma utilizada na ACV Consequencial para avaliar os sistemas de produto afetados por um determinado co-produto gerado no processo (MUNIZ, 2012). Conforme sugerido pela NBR ISO 14.044 (2009), a fim de evitar alocação entre as saídas foi utilizada neste estudo a expansão do sistema para avaliar os sistemas de produto que seriam evitados para os diferentes tratamentos dos resíduos. Dessa forma, a substituição dos materiais virgens pelos resíduos de madeira, como: a substituição de maravalha, lenha e placas de madeira foram consideradas na Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV).

Para este estudo foi aplicada a expansão do sistema, onde os resíduos gerados no processo produtivo da confecção de móveis torna-se um co-produto como alternativa de substituição de produtos que pertenciam a outros processos produtivos. A figura 6 ilustra a aplicação da expansão do sistema, os impactos evitados na fabricação da maravalha, da lenha e da placa de MDP foram devido a substituição desses materiais pelos resíduos de madeiras gerados das indústrias moveleiras.

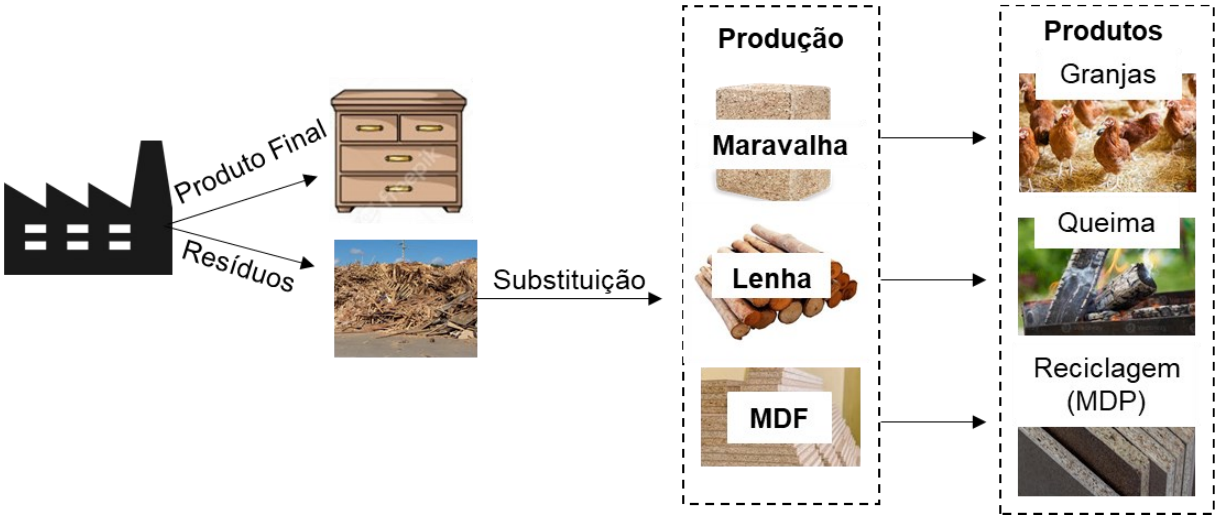

Figura 6 - Expansão do sistema

Fonte: Autora, 2021.

2.1.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) consistiu em quantificar e analisar os *inputs (entradas)* e os *outputs* (saídas) referentes ao sistema proposto neste estudo.

De forma a garantir a confiabilidade na elaboração do inventário, foram utilizados como dados primários aqueles coletados nas indústrias visitadas, possuindo assim uma melhor representatividade no cenário produtivo das micro e pequenas industrias regionais. Porém, para os dados que não foram possíveis identificar no levantamento in loco utilizou-se como dados secundários aqueles obtidos através da literatura técnica e de bancos de dados disponíveis.

2.1.3.1. Preparação e Coleta dos dados

Os dados coletados foram obtidos junto às indústrias através de visitas e preenchimento do formulário padrão (Anexo 1). Este foi desenvolvido considerando o processo de fabricação, coleta dos dados de consumo de matérias-primas, água, combustível, fontes de emissões atmosféricas, geração de efluentes, emissões de ruídos ambientais e número de funcionários, além dos resíduos gerados no decorrer do processo produtivo. Este estudo se concentrou em avaliar os impactos gerados pelos resíduos de madeira provenientes da produção de móveis, devido à baixa eficiência produtiva nas 11 empresas estudadas, pois em média cerca de 42% da matéria-prima virgem consumida se transforma em resíduos.

O sistema estudado foi modelado de forma a abranger as entradas (inputs) e saídas (outputs) coletadas nas industrias participantes deste estudo. Foram consideradas todas as entradas: madeira (MDF), tinta ou verniz, ferragem, colas, solventes e energia elétrica.

Foram identificados por indústrias o consumo mensal de cada matéria-prima, e estes imputados na ferramenta de cálculo através da média consumida de cada matéria-prima para todas as indústrias estudadas. As placas de MDF utilizadas no processo de fabricação de móveis eram quantificadas por m^3/mês.

O MDF tem densidade típica que varia 650 a 800 kg/m^3 e com dimensões de 1.830 mm a 2.750 mm e espessura de 3,0 até 30,00 mm, com ou sem revestimento de polímeros (PIEKARSKI, LUZ e FRANCISCO, 2012). Para este estudo foi utilizada

a placa de MDF 15mm - 2,75 x 1,83m (m^3) e a densidade média do MDF de 725 kg/m^3. O Inventário da produção do MDF, desde a floresta até a produção do painel, utilizou como referência a base de dados o Ecoinvent. O material contido na base de dados está como *Medium Density Fibreboard, at plant/BR*.

Para o processo de fabricação de móvel, a energia elétrica alimenta todo o processo produtivo sendo insumo de entrada para todos os processos contemplados na fronteira do sistema estudado. Considerando que o consumo de energia para fabricação de um móvel varia conforme o produto a ser fabricado, foi utilizado o consumo médio de energia de 10,72 kWh para a fabricação de uma cômoda (PIEKARSKI, LUZ e FRANCISCO, 2012), uma vez que este móvel de dormitório era comum a todas as indústrias estudadas.

Estão apresentados na Tabela 4 os dados primários coletados nas 11 indústrias visitadas. Os dados foram divididos em três grupos: entradas, saídas de produtos e saídas de resíduos. A maior parte dos dados foram coletados em unidade de massa (kg). Isto porque o banco de dados secundários, utilizado para o cálculo de impacto de ciclo de vida dos produtos requer os dados de forma mássica. Os dados de consumo de MDF foram coletados em metros cúbicos (m^3) e para os dados de energia considerou-se o valor em kWh. A penúltima coluna aponta as médias anuais de consumo de matérias-primas e geração de resíduos pelas indústrias estudadas. No entanto com a unidade funcional desta pesquisa é o tratamento de 1 kg de resíduo de madeira é necessário transformar todos estes números para base 1. Para tanto utilizou-se a quantidade média de resíduos gerados que foi de 2.657,65 kg e dividiu-se todas as entradas utilizadas no processo produtivo. Estes números serão utilizados para a modelagem do ciclo de vida no *software* SimaPro.

Tabela 4 - Resultado da coleta dos dados primários

Inventário de Ciclo de Vida	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Empresa I	Empresa J	Empresa K	Média	Média - Unidade Funcional
Entradas													
MDF (m^3)	9,81	3,02	3,02	3,02	8,00	10,00	1,00	20,00	6,04	3,02	10,00	6,99	2,63E-03
Cola branca (kg)	30,00	108,00	3,00	105,00	126,00	0,00	21,00	50,00	50,00	15,00	30,00	48,91	1,84E-02
Ferragens (kg)	50,00	5,00	5,00	5,00	60,00	5,00	50,00	5,00	5,00	5,00	50,00	22,27	8,38E-03
Verniz (kg)	0,00	0,06	0,01	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,04	0,02	7,37E-06
Tinta (kg)	0,00	0,10	0,01	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,08	0,03	1,07E-05
Primer (kg)	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,24	8,94E-05
Cola Hot Melt (kg)	0,00	0,00	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,82	6,84E-04
Seladora (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	1,85E-06
Solventes (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	2,05E-06
Energia Elétrica (kWh)													1,07E+01
Saídas - Produto													
Móvel de Madeira													1
Saídas- Resíduos													
Serragem (kg)	475,43	158,48	79,24	79,24	79,24	79,24	47,54	1584,77	237,72	158,48	475,43	314,07	
Aparas/cavacos (kg)	731,36	731,36	219,41	146,27	950,76	146,27	365,68	7313,56	1097,03	146,27	731,36	1143,57	
Pó do filtro (kg)								1800,00	300,00	1500,00		1200,00	
Soma	1206,79	889,83	298,65	225,51	1030,00	225,51	413,22	10698,33	1634,75	1804,75	1206,79	2657,65	1

Fonte: A autora, 2021

Para o cálculo de transporte de resíduos considerou-se a distância real apenas do Aterro Sanitário de Petrópolis em Cascatinha. Para as demais rotas tecnológicas, foi estabelecido dez (10) quilômetros, uma vez que estes resíduos são destinados para diferentes comércios para queima em fornos a lenha, lavanderia e forro de granjas/aviários. Na Tabela 5 encontra-se a distância referente ao transporte dos resíduos de madeiras para o tratamento final.

Conforme apresentado na Figura 7, as 11 (onze) indústrias estudadas encontram-se em um aglomerado moveleiro, onde a distância média é de 4 km entre elas. Apenas a indústria H está localizada com um distanciamento maior com aproximadamente 9,5 km das outras 10 industrias.

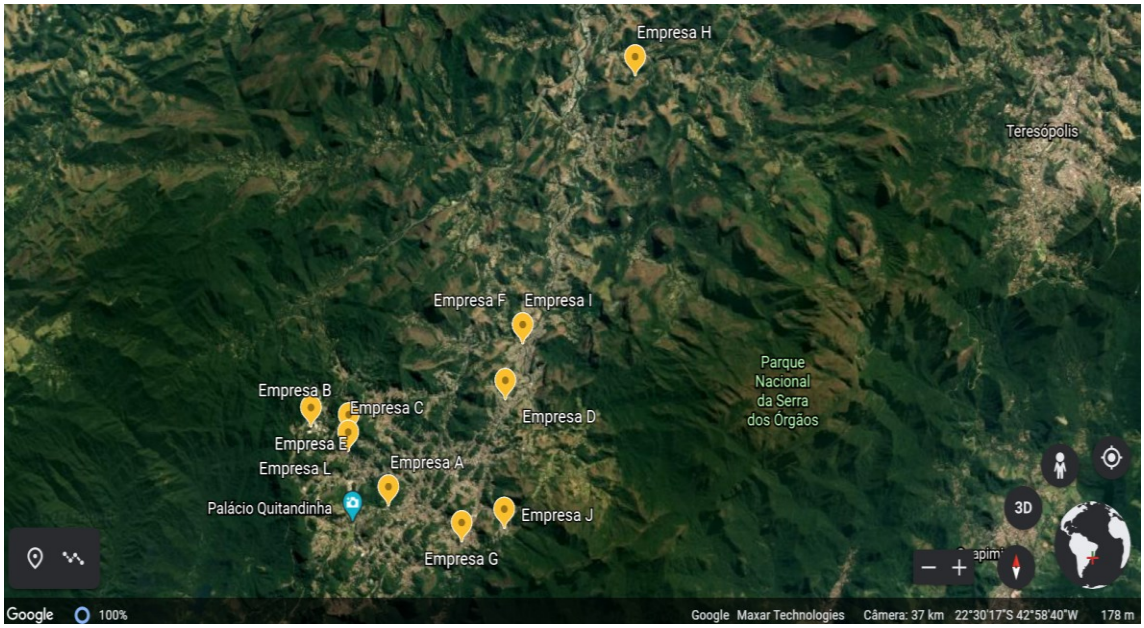

Figura 7 - Mapa de Localização das Indústrias

Fonte: A autora, 2021

Tabela 5 - Distância média estabelecida para as rotas tecnológicas

Rotas Tecnológicas	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Empresa I	Empresa J	Empresa K	Média
Granja (km)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**
Fornos (km)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**
Aterro Sanitário de Petrópolis -	43,3	38,4	37,9	44,8	36,9	31,1	47,2	26,4	31,1	49,1	37,9	**38,55**
Lavanderias (km)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**
Reciclagem (km)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**

Fonte: A autora, 2021

As distâncias devem ser expressas no formato tonelada.quilômetro (tkm). Para tanto a quilometragem foi multiplicada pelo valor de 0,001 tonelada. O ICV final, utilizado para os cálculos de impacto de ciclo de vida está detalhado na Tabela 6 Além das entradas e saídas (de produto e resíduo) também foram apontados os produtos evitados que poderiam ser gerados a partir de cada rota tecnológica. No caso do envio do resíduo ao aterro sanitário não existe nenhum produto evitado. Com relação à alternativa do envio do resíduo para a granja a produção da maravalha é evitada, enquanto que na queima do resíduo em lavanderia e fornos é evitada a produção e uso de lenha, todos em uma proporção de 1:1, ou seja, um quilo de resíduo de madeira evita a produção de um quilo de maravalha ou lenha. Já

no caso da reciclagem, segundo (KIM e SONG, 2014) para cada 1 kg de resíduo de madeira é possível fabricar 0,8 kg de MDP.

A partir das informações obtidas na Tabela 4, foi possível definir o ICV de cada rota tecnológica, com as entradas e saídas da Tabela 6 sendo os dados médios definidos no fluxo de referência da unidade funcional.

Tabela 6 - Inventário de ciclo de vida das rotas tecnológicas empregadas

Inventário de Ciclo de Vida	Aterro	Granja	Lavanderia e Forno Padaria/Pizzaria	Reciclagem	Unidade
Entradas					
MDF	2,63E-03	2,63E-03	2,63E-03	2,63E-03	m³
Cola branca	1,84E-02	1,84E-02	1,84E-02	1,84E-02	kg
Ferragens	8,38E-03	8,38E-03	8,38E-03	8,38E-03	kg
Verniz	7,37E-06	7,37E-06	7,37E-06	7,37E-06	kg
Tinta	1,07E-05	1,07E-05	1,07E-05	1,07E-05	kg
Primer	8,94E-05	8,94E-05	8,94E-05	8,94E-05	kg
Cola Hot Melt	6,84E-04	6,84E-04	6,84E-04	6,84E-04	kg
Seladora	1,85E-06	1,85E-06	1,85E-06	1,85E-06	kg
Solventes	2,1E-06	2,1E-06	2,1E-06	2,1E-06	kg
Energia Elétrica	10,72	10,72	10,72	10,72	kWh
Transporte dos Resíduos	0,039	0,01	0,01	0,01	tkm
Saídas Produtos e Co-Produtos					
Móvel (unidade)	1	1	1	1	unidade
Maravalha (Produto Evitado)	-	1	-	-	kg
Lenha (Produto Evitado)	-	-	1	-	kg
MDP (Produto Evitado)				0,8	kg
Saídas - Resíduos de Madeira					
Resíduo de Madeira	1	1	1	1	kg

Fonte: A autora, 2021

2.1.3.2. Software

Para este estudo foi utilizado o *software* ***SimaPro®*** (*System for Integrated Environmental Assessment of Products)* desenvolvido pela companhia holandesa PRé Consultants, no qual é possível escolher os próprios ICVs que serão utilizados e importar outras bases de dados. As bases de dados selecionadas para este estudo foram da Ecoinvent (ECOINVENT, 2012).

O *SimaPro* foi utilizado para as modelagens do estudo de ACV por possuir algumas características que permitem uma análise de qualidade, como a rede do *SimaPro* que é uma representação gráfica onde é apresentada a visão geral sobre todo o ciclo de vida de um determinado sistema de produto, como no exemplo da

Figura 8. Desta forma é possível identificar possíveis anomalias e realizar análises iniciais dos resultados de uma modelagem.

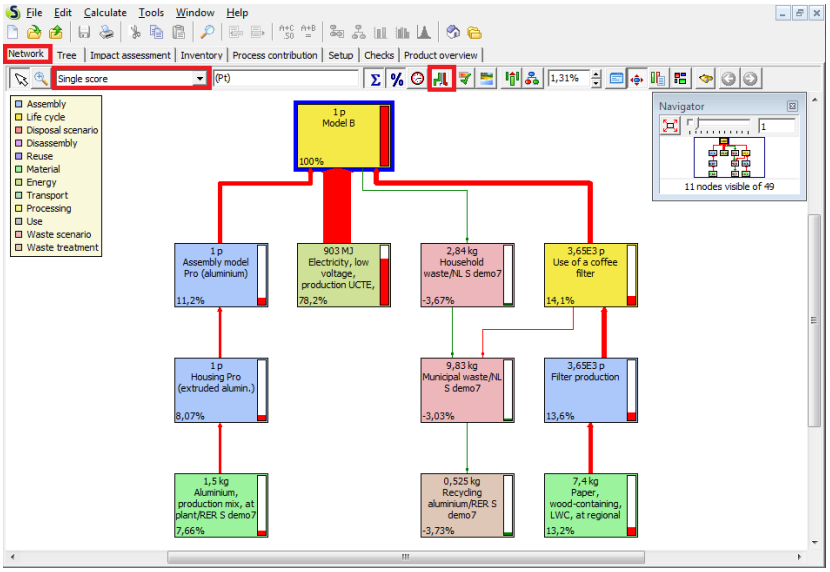

Figura 8 - Rede do SimaPro

Fonte: PRé Sustainability, 2021

A visualização do banco de dados do *SimaPro*, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, permite reunir as informações de diversas bases de dados e também do resultado de projetos anteriores, o que facilita a combinação de resultados em novos estudos tornando a interface de visualização de materiais e produtos mais atrativa ao usuário.

Além destas funcionalidades o *SimaPro* possui também uma função de cenário de destinação de resíduos, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o que permite a avaliação de diversas rotas tecnológicas de tratamento de resíduos. Desta forma é possível simular as diferentes rotas tecnológicas previstas para os resíduos de madeira e obter uma visão geral destes resultados.

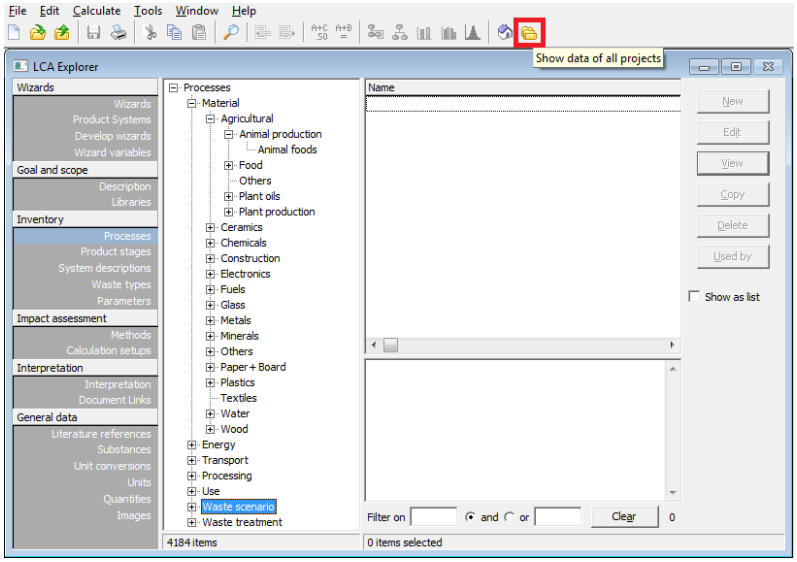

Figura 9 - Cenário de Destinação de Resíduos

Fonte: PRé Sustainability, 2021

2.1.4. Avaliação de Impacto Ambiental do Ciclo de Vida (AICV)

2.1.4.1. Descrição da AICV

A partir do ICV obtido na etapa anterior foi possível calcular os potenciais impactos ambientais derivados de cada uma das rotas tecnológicas de tratamento do resíduo de madeira. Na abordagem de ACV os impactos ambientais podem ser caracterizados como *midpoint* ou *endpoint.* Os impactos ambientais do tipo *midpoint* são aqueles que representam mecanismos ambientais intermediários, enquanto que os do tipo *endpoint* representam os impactos diretamente à saúde humana, ambiente natural ou recursos naturais, conforme exemplo da Figura 10 (ABNT, 2009).

Alguns métodos combinam as duas abordagens e são chamados “combinados”. Desta forma os cálculos do método apresentam resultados tanto de impacto tipo *midpoint* como do tipo *endpoint*. As categorias de impacto possuem fatores de caracterização que determinam a sua abrangência, podendo ser nacional, continental ou global, de acordo com as suas características (MENDES, 2013).

Estes impactos ambientais podem ser mensurados a partir de alguns métodos que são amplamente utilizados em abordagens de ciclo de vida. As entradas e saídas de um sistema de produto são transformadas em indicadores de impacto

apropriados à cada categoria de impacto ambiental selecionada através de fatores de caracterização. Esses fatores de caracterização utilizam uma substância chave que ilustra a categoria de impacto que se deseja mensurar. Um exemplo é o CO_{2eq} (Dióxido de carbono equivalente) que é uma substância utilizada para mensurar impactos relacionados ao aquecimento global. Estes fatores são determinados a partir de pesquisas e referenciados nos métodos. As categorias de impactos consideradas mais comuns, de acordo com Mendes (2013) são:

- Mudança Climática ou Aquecimento Global;
- Depleção da Camada de Ozônio;
- Acidificação;
- Eutrofização;
- Formação de foto-oxidantes;
- Ecotoxicidade;
- Toxicidade Humana;
- Esgotamento de Recursos;
- Uso da Terra

Para este estudo foi considerado o método CML 2002 por utilizar a caracterização de impactos do tipo *midpoint, por ter* uma abordagem global (à exceção das categorias de acidificação e foto oxidantes) e por conseguir abranger um maior número de categorias de impacto em relação às outras metodologias citadas. (MENDES, 2013; WOLF *et al.,* 2012).

Existem diversos métodos disponíveis para a etapa de AICV como CML 2002, Eco-indicator 99, Ecological Scarcity, EDIP, EPS 2000 e Impact 2002. A escolha do método baseou-se na aplicabilidade para o Brasil, uma vez que muitos desses métodos possuem fatores de caracterização regionais o que dificulta a aplicação para regiões brasileiras.

Apesar dos métodos EDIP 97 e USEtox também serem métodos de AICV de avaliação *midpoint*, o primeiro é um método mais antigo enquanto o USEtox apesar de mais recente é destinado, principalmente para avaliação de substâncias químicas, deixando de fora algumas avaliações importantes para este estudo que tem como foco principal o resíduo de madeira.

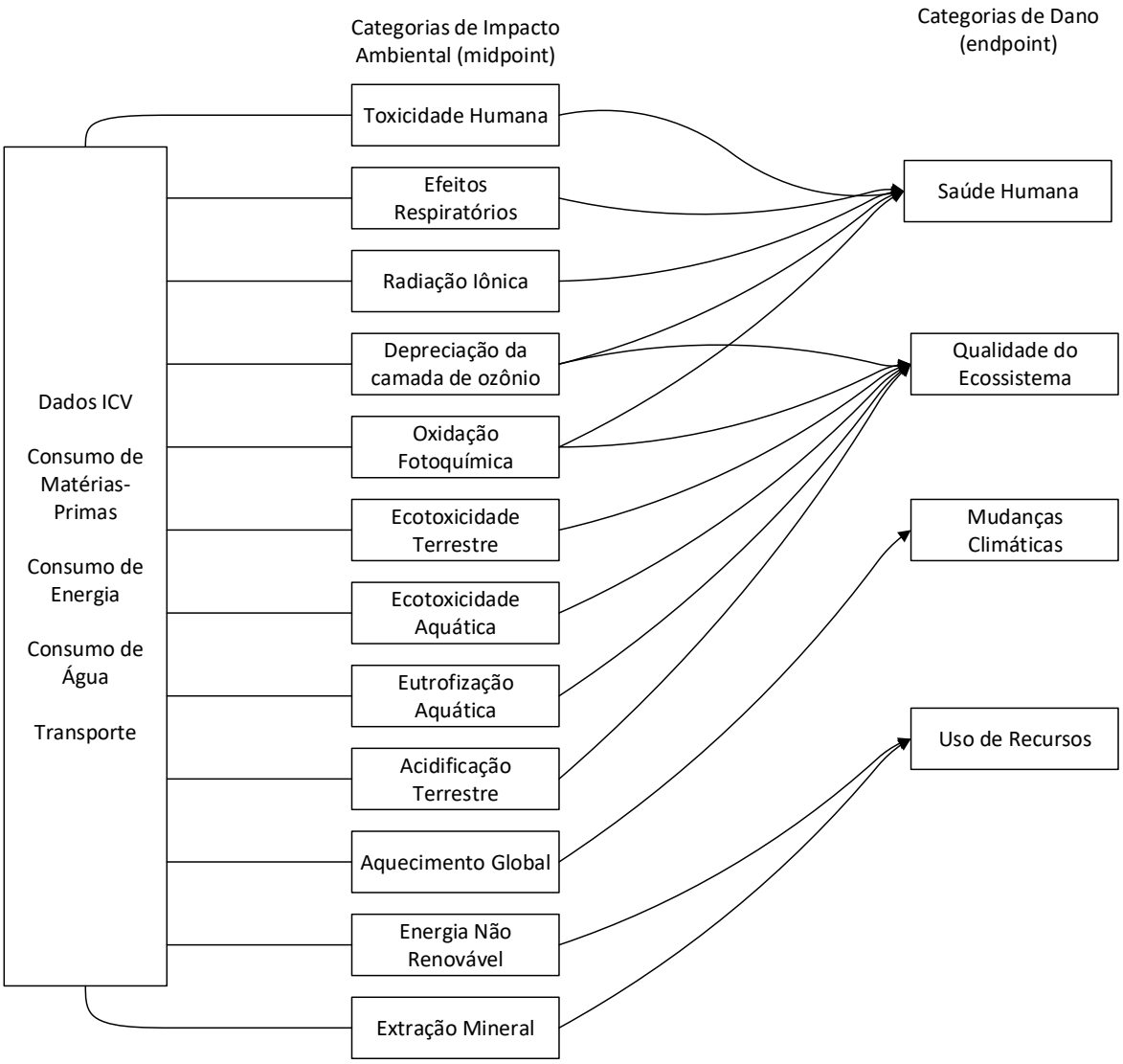

Figura 10 - Exemplo de AICV *midpoint* e *endpoint* - Método IMPACT 2002+

Fonte: adaptado de JRC, 2010

2.1.4.2. Normalização da AICV

Após a mensuração dos impactos ambientais do ciclo de vida de um produto é possível realizar uma comparação entre as categorias de impacto por um método de normalização. Devido aos indicadores com unidades incomensuráveis é necessário mitigar a incomparabilidade dos critérios e outras condições que interferem na interpretação final, onde os resultados dos indicadores de categoria

são relacionados a uma situação de referência, fornecendo informação sobre sua significância relativa.

Para tanto utiliza-se fatores de normalização que normalmente varia entre [0,1] e determinam um peso para cada impacto de forma a defini-los como uma mesma base de comparação. Os valores normalizados não apresentarão uma unidade ou unidades comuns. No caso do CML 2001 é feita com base nas emissões per capita de um cidadão médio do mundo, com base no ano de 1995, que é a última referência para o método. De forma a exemplificar o processo de normalização a Figura 11 ilustra os impactos gerados por um cidadão/ano para as categorias de mudanças climáticas e eutrofização, onde através de unificação das unidades é possível comparar a intensidade dos impactos.

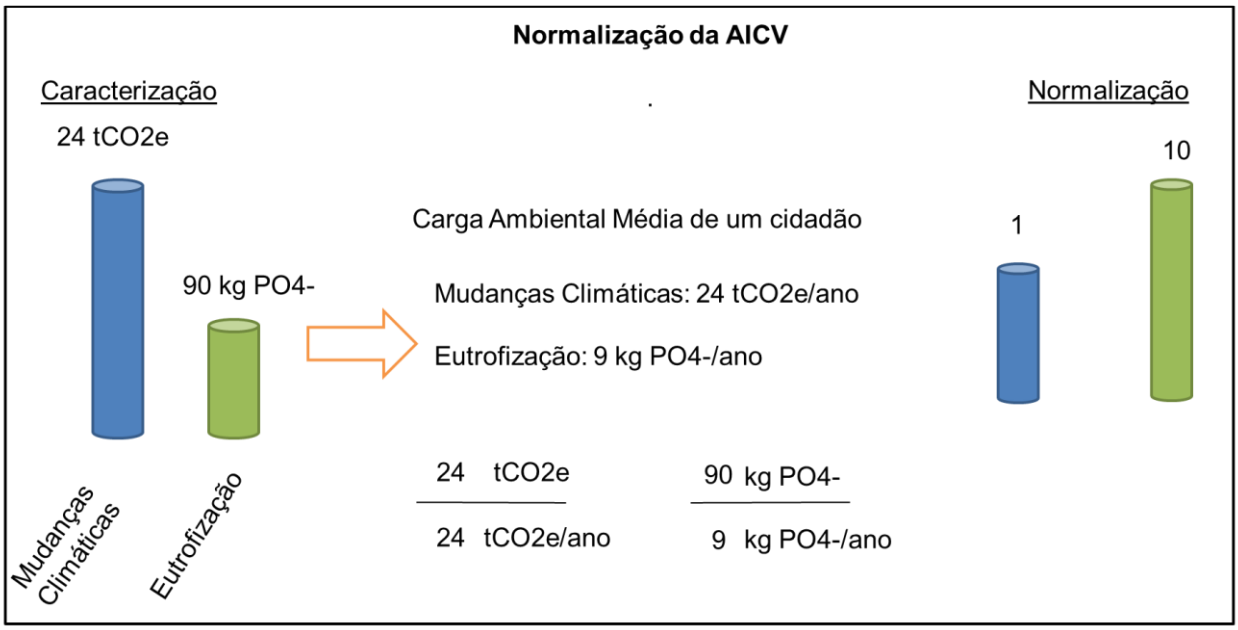

Figura 11 - Exemplificação do método de normalização
Fonte: Autora, 2021.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das modelagens foram obtidos para cada uma das quatro (04) rotas: aterro sanitário; queima; envio para cama de aviários e a rota alternativa de destinação para reciclagem para a produção de MDP, considerando o ICV apresentado no item 3.1.3 do capítulo de metodologia. Também foi modelada a comparação dos impactos ambientais entre as rotas tecnológicas. Os resultados foram expressões em termos percentuais e normalizados.

No *SimaPro* a modelagem dos impactos de ciclo de vida é realizada inserindo os dados para cada etapa do ciclo de vida de um sistema de produto estudado. No caso desta pesquisa foram inseridos os dados referentes primários às matérias-primas utilizadas na fabricação do móvel, a energia consumida na fábrica e os resíduos gerados pela sua produção. Neste último caso também são consideradas as estratégias utilizadas para a destinação do resíduo gerado já que esta fase ainda se encontra dentro dos limites de responsabilidade da indústria. Os dados da floresta e os dados da produção de MDF foram obtidos a partir do banco de dados do Ecoinvent.

Através da Rede, resultante da modelagem *no SimaPro*, é possível rastrear de onde estão vindo os impactos. Na Figura 12 os resíduos destinados para a granja são indicados por setas em vermelho que indicam os impactos gerados por cada etapa do ciclo de vida e setas em verde que indicam o impacto evitado, ou seja, o que deixou de acontecer com a adoção da nova destinação do resíduo. A largura das setas indica a intensidade do impacto.

3.1. Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos

A destinação dos resíduos de madeira para o aterro sanitário de resíduos é a rota tecnológica mais usual entre as empresas levantadas na presente pesquisa. Como pode ser observado na Figura 12, dentre as etapas do ciclo de vida que mais contribuem para os impactos ambientais listados pela AICV, a placa de MDF apresenta um papel relevante, tendo mais de 50% de participação em uma perspectiva de ciclo de vida.

As categorias de impacto ambiental nas quais a disposição do resíduo de madeira em aterro possui destaques são principalmente: (i) eutrofização dos corpos hídricos, que está diretamente ligada à produção de lixiviado; (ii) o aquecimento global, pelas emissões de gases de efeito estufa; (iii) e oxidação fotoquímica, ocasionada pelas emissões de compostos voláteis, resultantes da degradação do MDF no aterro sanitário.

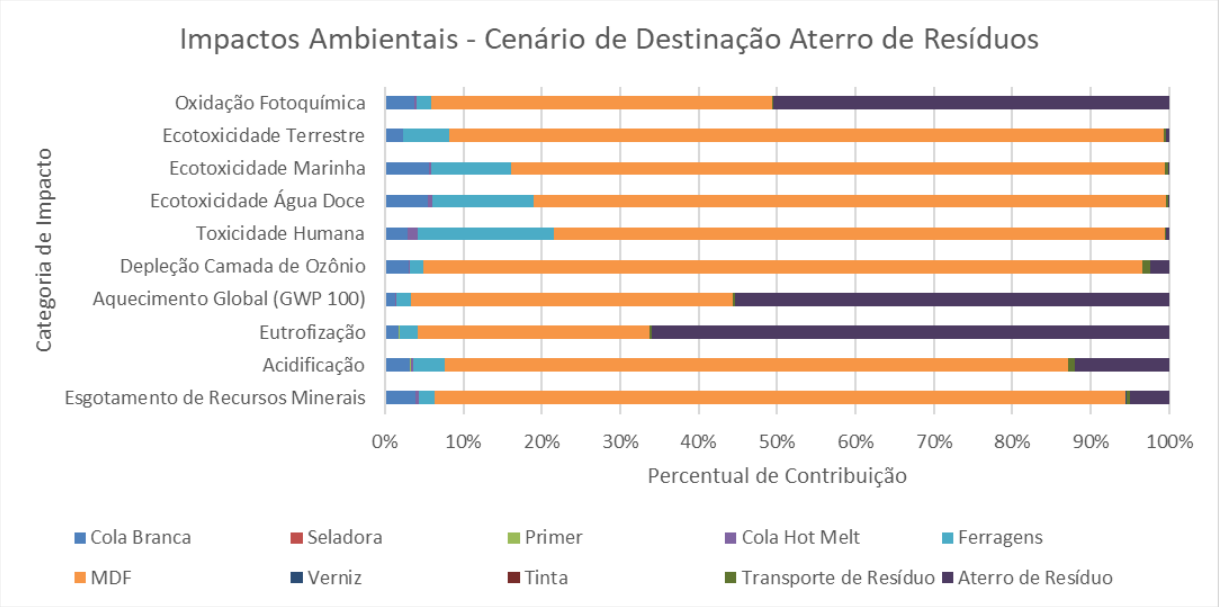

Figura 12 - AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para aterro sanitário

Fonte: A autora, 2021

O grande percursor do impacto de eutrofização derivado da produção do MDF em suas principais categorias vem da resina que é utilizada na produção, que é composta, principalmente, por formaldeído. Ainda neste mesmo processo é possível observar a contribuição também da produção da ureia que advém de plantas químicas.

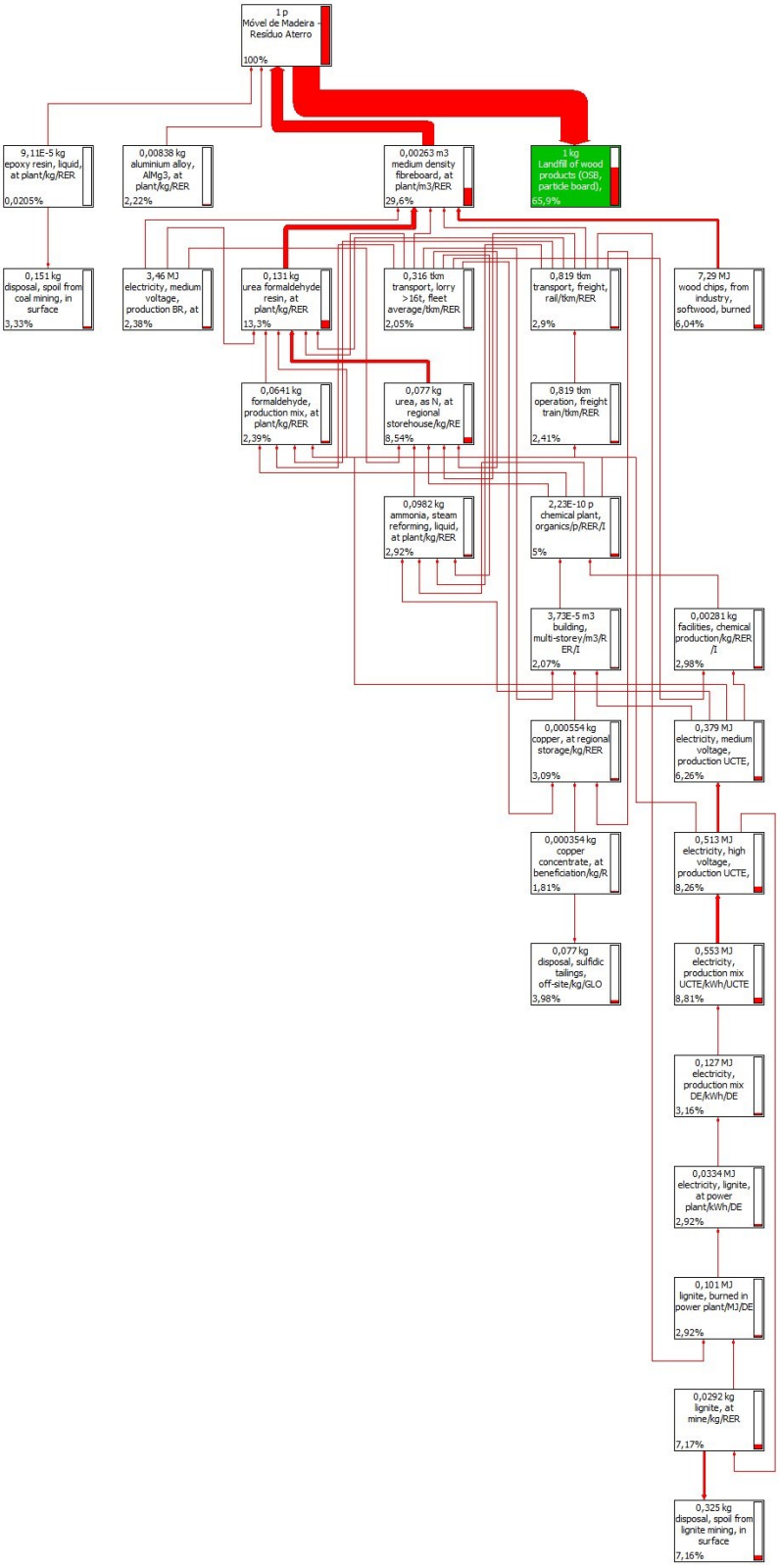

Figura 13 - Rede - Aterro - Impacto de Eutrofização

Fonte: A autora, 2021

No impacto ambiental de oxidação fotoquímica, no qual a contribuição do aterro ainda é significativa, o MDF também é relevante, a contribuição também advém, principalmente, da resina bem como do gás natural e da eletricidade utilizada na sua produção. Em menor contribuição a cola branca utilizada na produção também contribui para oxidação fotoquímica principalmente pela composição do acetato de vinila que contribui para emissão de compostos voláteis.

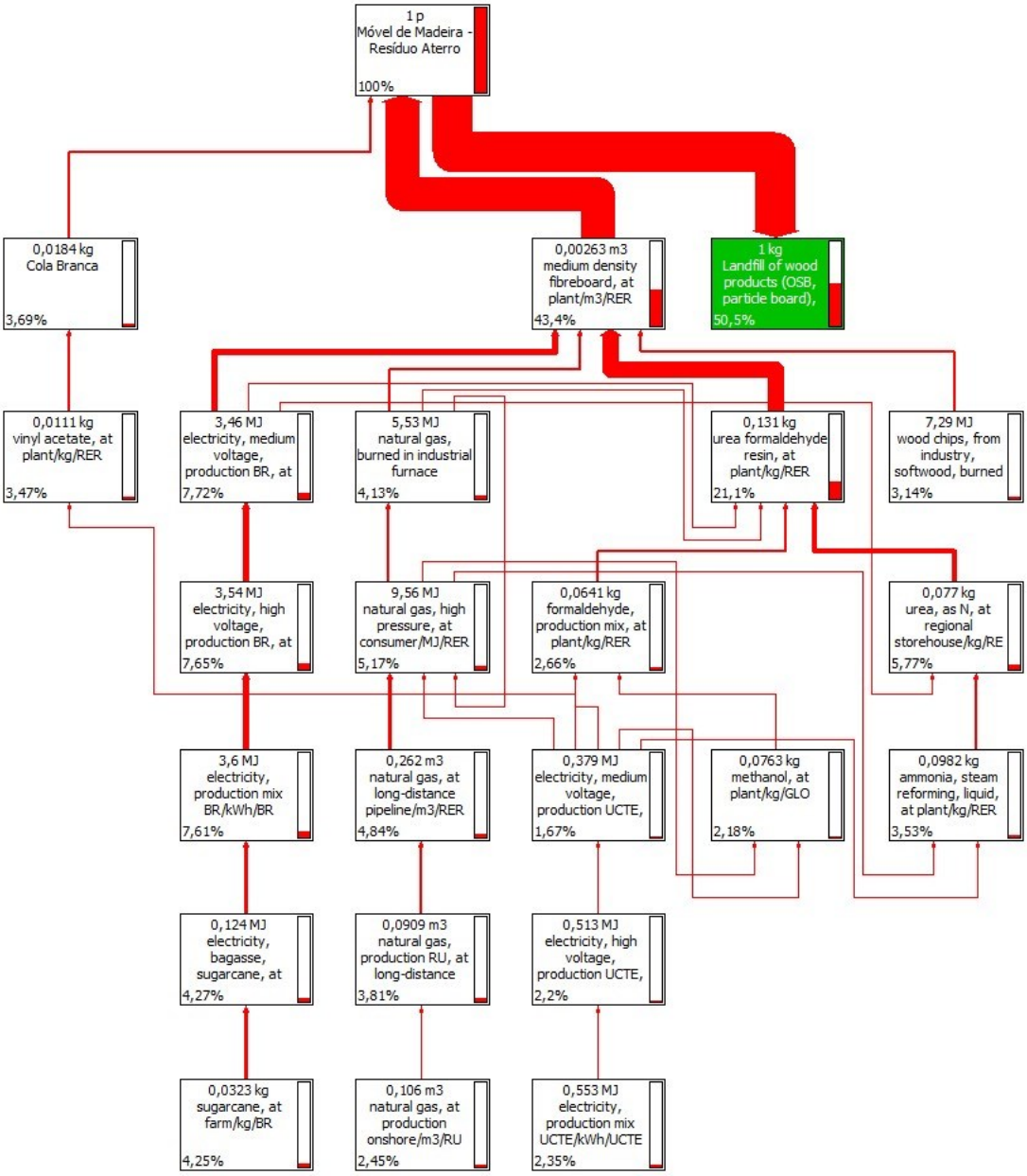

Figura 14 - Rede - Aterro - Impacto de Oxidação Fotoquímica

Fonte: A autora, 2021

Quando as categorias de impactos são normalizadas (Figura 15), a ecotoxicidade marinha ganha relevância, pois é considerado o impacto mais significativo em comparação com as outras categorias. Esta categoria está associada a produção do lixiviado sendo a principal atividade responsável pelo impacto no aterro sanitário, mesmo com sistema de tratamento e dentro dos padrões de lançamentos estabelecidos pelos órgãos competentes, ainda assim não se igualam aos padrões encontrados na natureza. Portanto, a destinação dos resíduos para outros tipos de tratamento gera uma redução das emissões líquidas nesta etapa.

Em relação aos impactos de ciclo de vida, além da Ecotoxicidade Marinha, a categoria de Aquecimento Global tem a maior contribuição na fase de tratamento de fim de vida, principalmente pela produção de metano (CH_4), em função da decomposição anaeróbia dos resíduos.

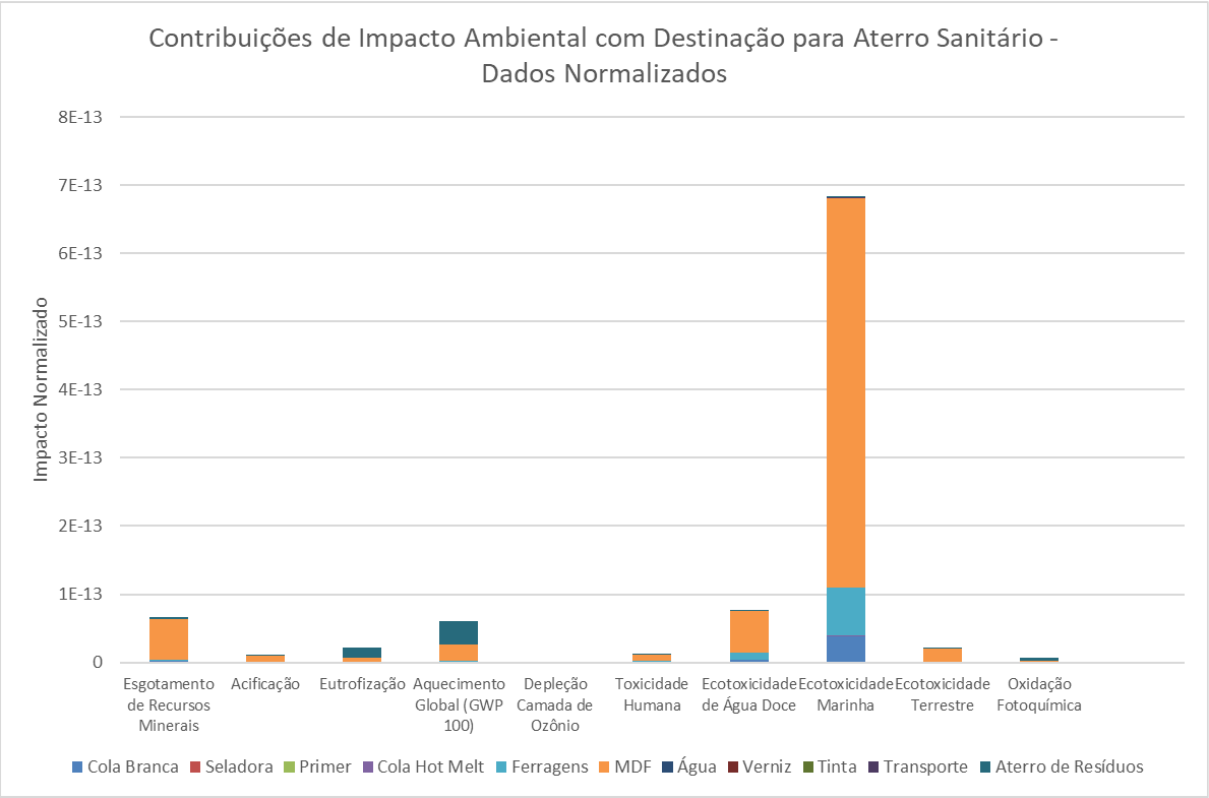

Figura 15 - Impactos Ambientais normalizados - Aterro de Resíduos
Fonte: A autora, 2021

O estudo relacionado ao ciclo de vida da produção de painéis de madeira desenvolvido por Ribeiro *et al.* (2016), também encontrou como uma das categorias

de maior relevância a ecotoxicidade marinha, principalmente, pela descarga de efluentes com compostos químicos, como a resina de ureia nos corpos hídricos, o que promove o aumento deste impacto.

Em relação aos impactos de ciclo de vida, além da Ecotoxicidade Marinha, a categoria de Aquecimento Global tem a maior contribuição na fase de tratamento de fim de vida, principalmente pela produção de metano (CH_4), em função da decomposição anaeróbia dos resíduos. Categoria esta também considera significativa para Henríquez (2016) e Mersoni e Reichert (2017), ao avaliarem diferentes cenários de aterro sanitário.

O envio dos resíduos de madeira para aterro sanitário encontra-se como uma das práticas mais utilizadas pelas indústrias moveleiras, segundo Santos *et al.*, (2017) e Nunes e Serra (2019). Os resultados obtidos neste estudo, reforçam a necessidade de substituir práticas atualmente utilizadas por alternativas mais eficientes, uma vez que 80% dos resíduos deixarão de ir para aterros caso haja a segregação correta dos resíduos passíveis de reciclagem e de compostagem, aumentado assim a vida útil do aterro, reduzindo as emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE) seguindo o que preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e encaminhando apenas rejeitos para aterro sanitário (REICHERT, 2014, SOTTORIVA, 2011).

Segundo Henríquez (2016), Mersoni e Reichert (2017), os aterros que incluíram o aproveitamento energético dos resíduos apresentaram menor potencial de impacto ambiental.

3.2. Granja

A alternativa de destinação dos resíduos para Granja é uma alternativa substituta à maravalha produzida pelas serrarias. Esta destinação é adotada pela grande parte das indústrias participantes do estudo. Essa opção reduz a necessidade de deslocamento, principalmente pelo fato das granjas estarem próximas às indústrias moveleiras, e também pela falta de necessidade de produzir a serragem utilizada pelas granjas. Por isso alguns destes impactos são considerados impactos positivos ao meio ambiente, como pode ser observado na Figura 16.

Os impactos evitados neste cenário são negativos por considerar o ciclo de vida relacionado a produção de maravalha, independente da origem de suas

matérias-primas (resíduos ou placas virgens), uma vez que este processo produtivo necessita passar por uma esterilização em alta temperatura, trigonometria, máquinas especiais e ainda por uma etapa de ensacamento.

A representação do gráfico traz uma perspectiva de um total de impactos ambientais de cada categoria. Quando este percentual atinge 100% de forma negativa significa que outras etapas do ciclo de vida foram totalmente neutralizadas gerando uma externalidade positiva para o meio ambiente.

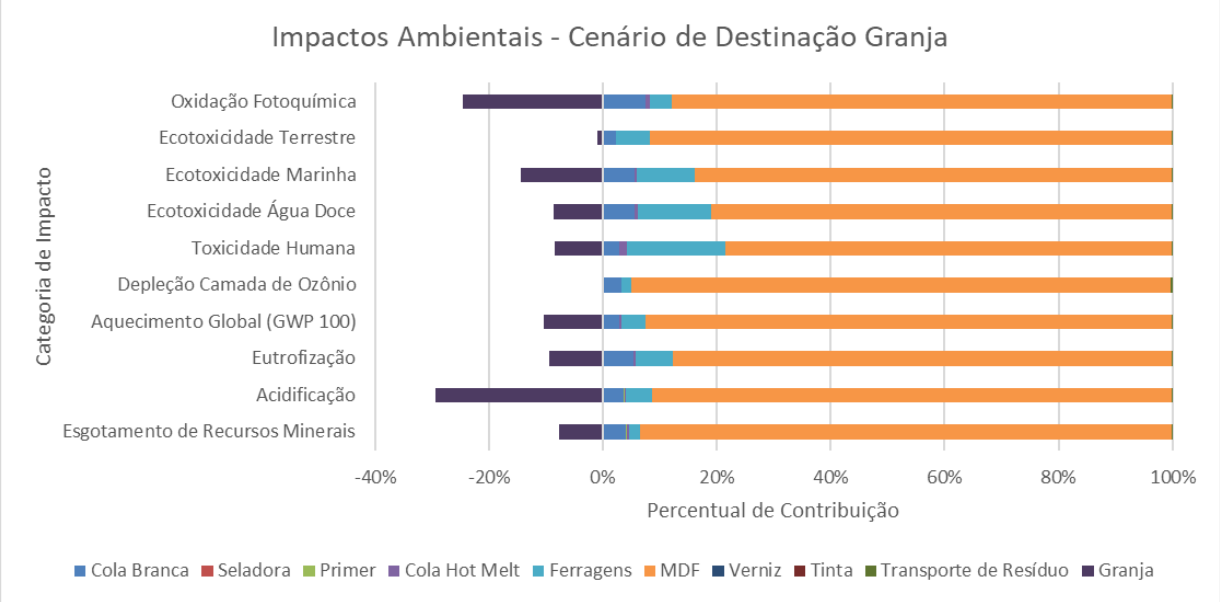

Figura 16 - AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para Granja

Fonte: A autora, 2021

O impacto do ciclo de vida dos painéis de MDF contribuíram com mais de 80% em todas as categorias de impactos selecionadas. Por sua vez, a destinação dos resíduos apresentou impactos negativos para quase todas as categorias, exceto para a categoria de depleção da camada de ozônio. Isto porque a substituição da maravalha por resíduos para esta categoria não são relevantes, uma vez que não há emissão para a atmosfera de compostos que causem depleção da Camada de Ozônio.

Os impactos que obtiveram os maiores percentuais foram a oxidação fotoquímica e acidificação (Figura 17), isto por estarem relacionados aos impactos provenientes do consumo de energia para a produção da maravalha (Figura 18).

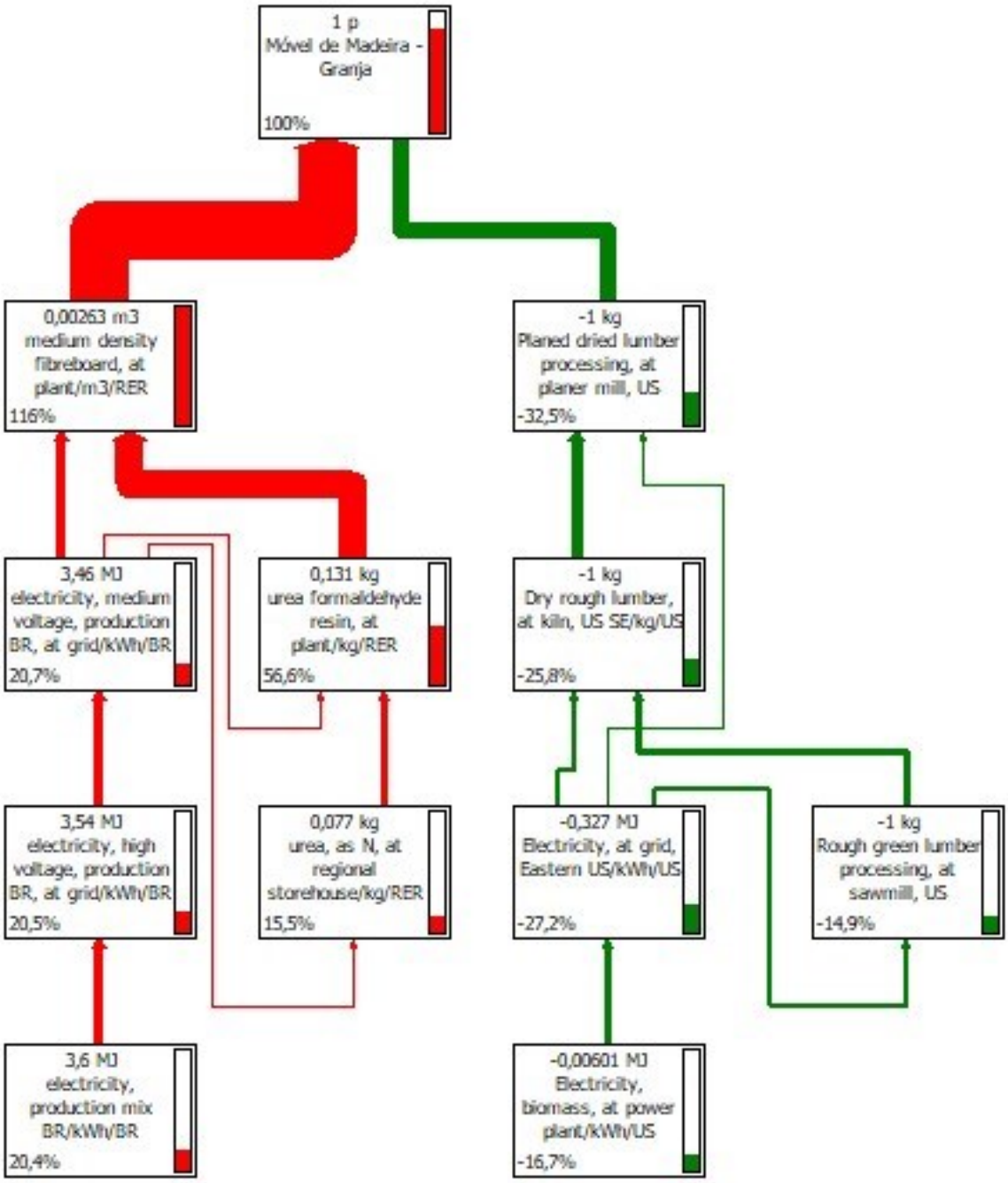

Figura 17 - Rede - Granja - Oxidação Fotoquímica

Fonte: A autora, 2021

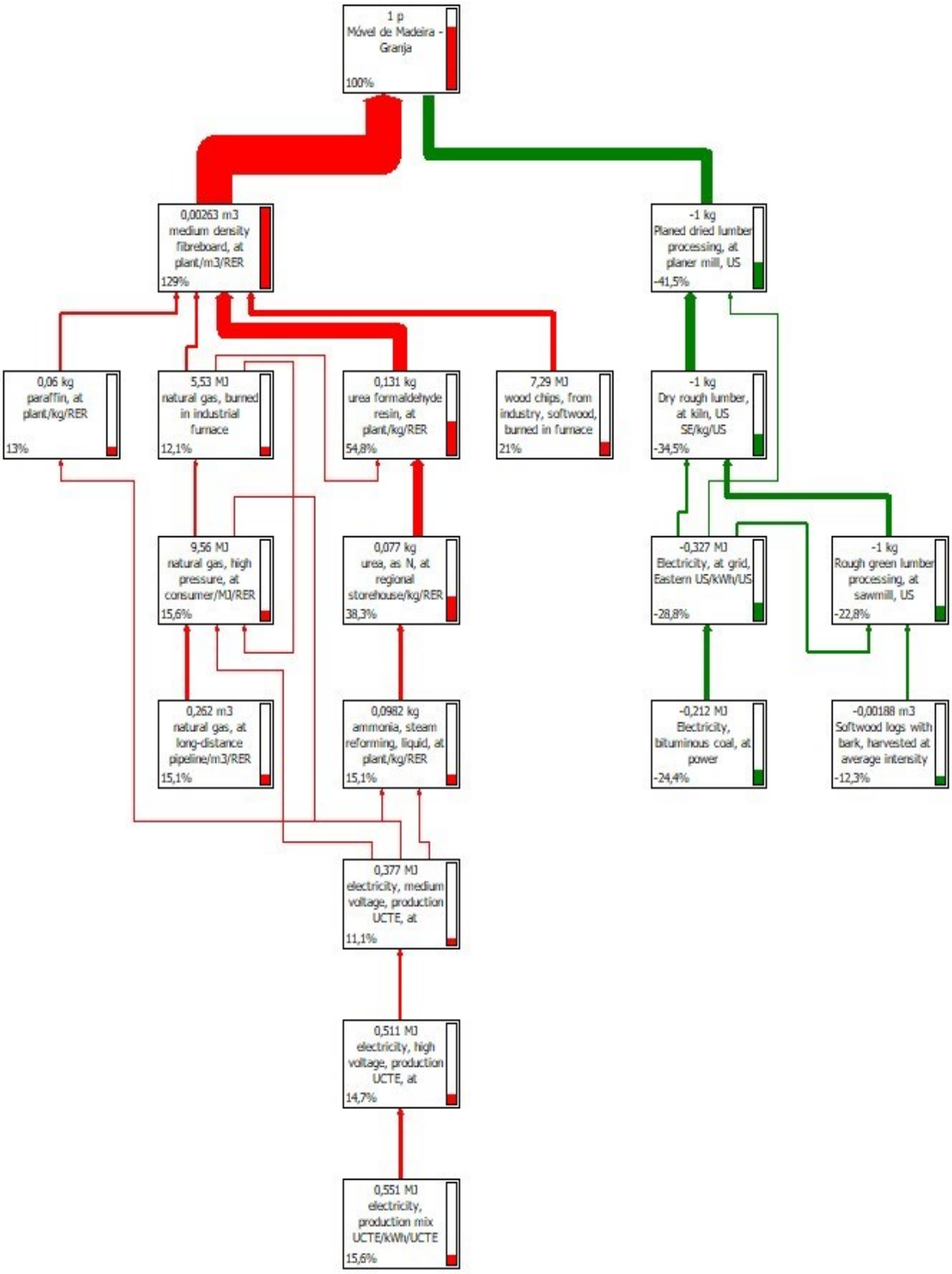

Figura 18 - Rede - Granja – Acidificação

Fonte: A autora, 2021

Os resultados normalizados demonstram que a ecotoxicidade marinha e de água doce tem uma contribuição maior em relação às outras categorias de impacto. Este resultado deve-se, principalmente, pela contribuição de ciclo de vida da produção das placas MDF. Porém, para esta mesma categoria é possível observar (Figura 19) o impacto evitado quando há a substituição da maravalha por resíduos de madeira.

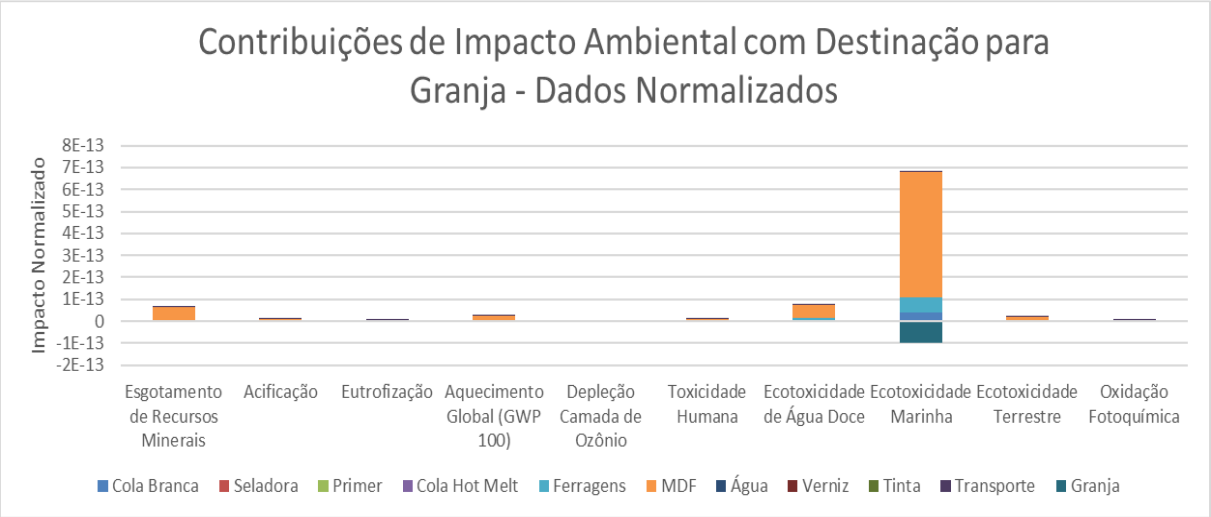

Figura 19 - Impactos ambientais normalizados - Granja
Fonte: A autora, 2021

Como já discutido no item anterior a resina de ureia é a que gera maior contribuição para o impacto de ecotoxicidade marinha, principalmente na fase de fabricação do MDF. É possível observar que a contribuição mais relevante da ecotoxicidade marinha é decorrente da produção de MDF e que por sua vez tem a maior contribuição decorrente do uso de ureia na produção. Para Lima (2019), a criação de frangos foi a fase do ciclo de vida que mais contribuiu para o potencial de aquecimento global e ecotoxicidade aquática marinha.

Ao comparar os impactos ambientais da operação de três sistemas de manejo de dejetos (compostagem , biodigestor anaeróbio e esterqueira anaeróbia) oriundos da atividade de suinocultura, utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Azolim (2018) concluiu que a maravalha quando comparada a serragem foi o material que mais causou impacto nas categorias, ecotoxicidade marinha, ocupação de terras agrícolas e transformação de terra natural.

3.3. Forno e Lavanderia

O resíduo de madeira neste caso torna-se substituto à lenha queimada em fornos para a produção de energia, seja para a produção de calor ou vapor. Para tanto esta substituição também prevê uma redução do impacto com a adoção deste tipo de tecnologia.

É importante considerar que a base de dados do Ecoinvent não apresenta processos de queima específicos para resíduos de MDF, apenas para madeira. O processo de queima de MDF pode emitir outros tipos de poluentes associados aos componentes químicos associados à sua produção, porém não há base de dados no Ecoinvent que possibilitasse esta modelagem, aumentando a incerteza dos resultados apresentados.

A redução destes impactos tem destaque, principalmente, nas categorias de acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre e oxidação fotoquímica, conforme apresentado na Figura 21. Os impactos relacionados a eutrofização e a acidificação obtiveram resultados mais expressivos chegando próximo a 40% dos impactos evitados. Estes resultados estão associados ao processo de produção de MDF e a produção da madeira, principalmente na etapa da colheita e nos equipamentos utilizados (Figura 20).

As categorias, depleção da camada de ozônio, aquecimento global e esgotamento de recursos minerais apresentaram um menor percentual de impactos evitados (Figura 21), visto que a energia proveniente de biomassa não representa uma redução das emissões de CO_{2eq}, pois são emissões biogênicas e não usam recursos minerais. A redução dessas emissões está associada aos processos produtivos da lenha, como a não utilização de equipamentos para colheita, transporte e beneficiamento da mesma.

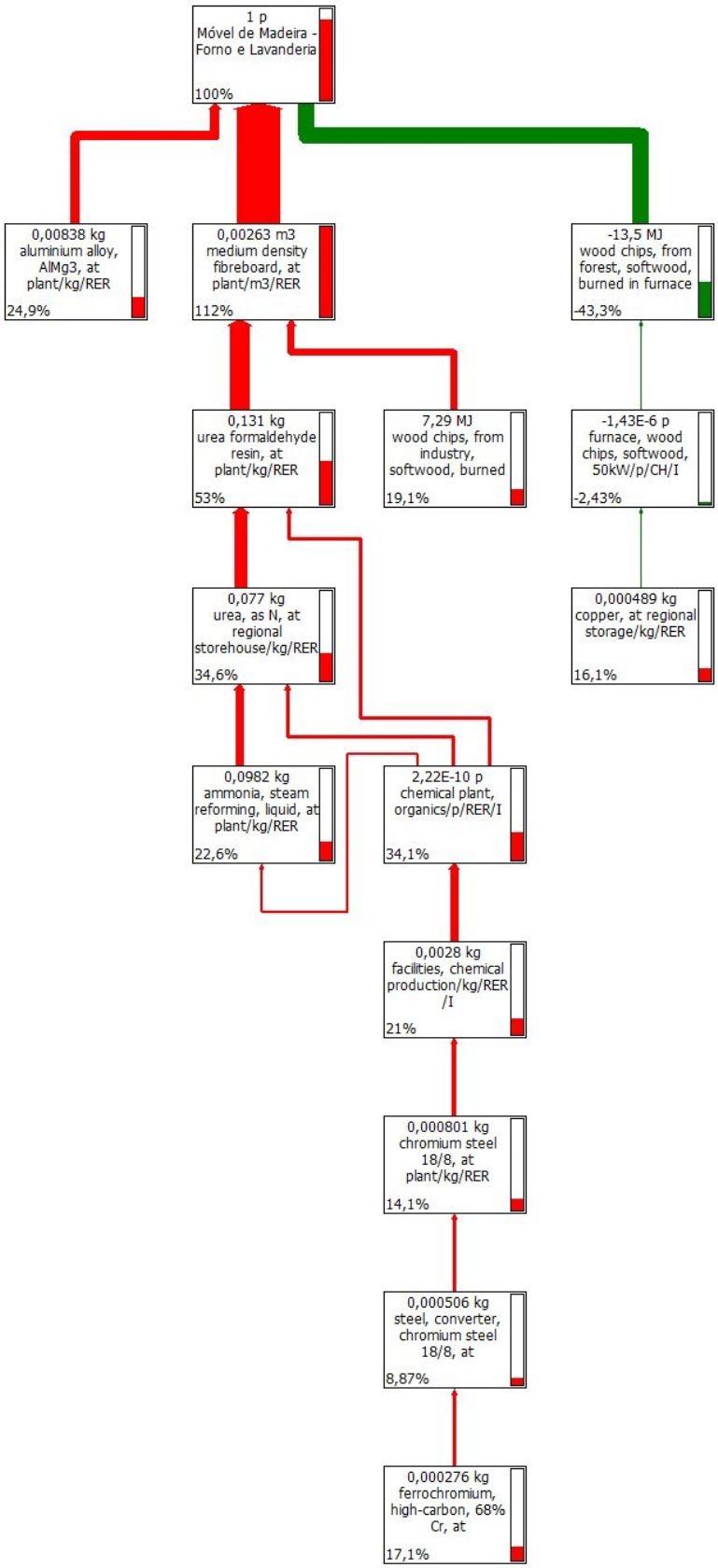

Figura 20 - Rede - Forno e Lavanderia – Eutrofização

Fonte: A Autora, 2021

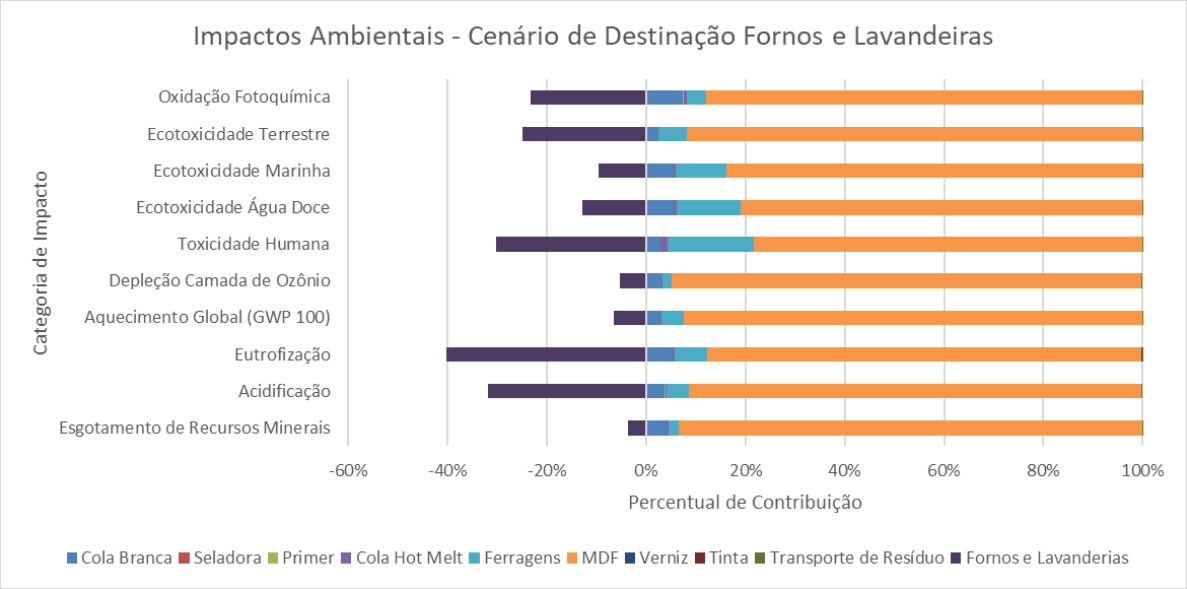

Figura 21 - AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para Fornos e Lavanderias
Fonte: A autora, 2021

A ecotoxicidade marinha é destaque na comparação sendo a categoria de impacto normalizada de maior relevância para o ciclo de vida da madeira, especificamente na produção de MDF, porém para a queima dos resíduos de madeira este impacto torna-se negativo (Figura 22). Como se utiliza uma abordagem consequencial da ACV, ou seja, da substituição de uma rota tecnológica convencional pelo reaproveitamento do resíduo, há um impacto evitado sobre a utilização de madeira de origem virgem. Desta forma apresenta-se a redução dos impactos associados.

A produção de energia a partir de resíduos de biomassa tem sido considerada como uma solução para a redução de emissões de gases de efeito estufa, sendo uma alternativa interessante para este tipo de categoria, uma vez que o CO_2 emitido para a atmosfera faz parte de um ciclo neutro de carbono (KIM e SONG, 2014; MORRIS, 2017). Ainda assim é importante considerar outros impactos ambientais que podem ser evitados com a recuperação energética e que podem ser mais significativos que a redução das emissões de GEE.

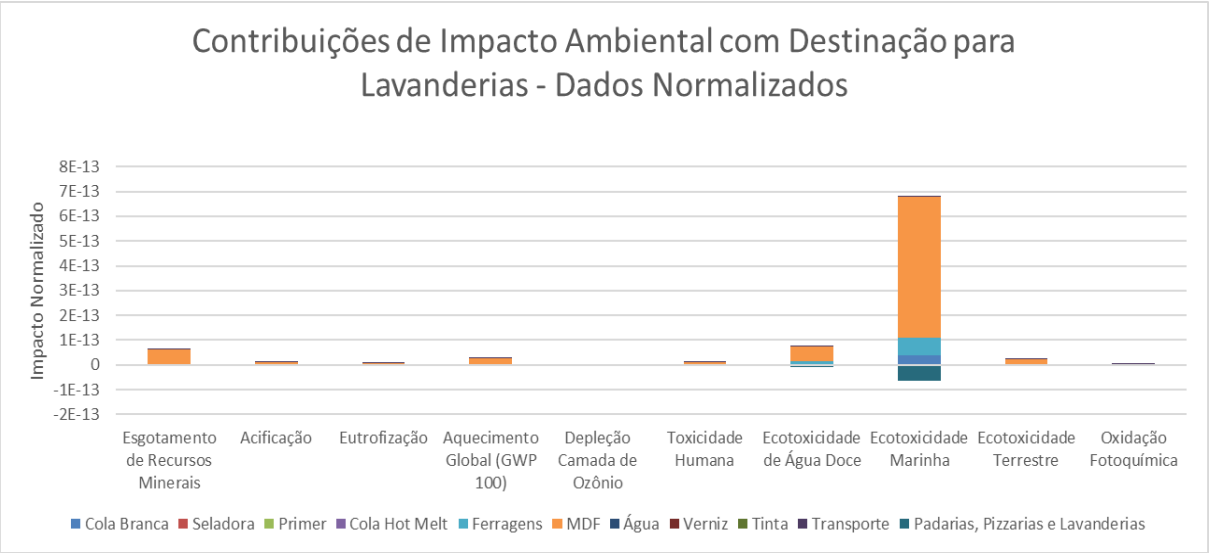

Figura 22 - Impactos Ambientais Normalizados - Resíduos enviados para Fornos e Lavanderias
Fonte: A autora, 2021

Os receptores destes resíduos, identificados no diagnóstico ambiental, são pequenos comerciantes que possuem equipamentos, como fornos e pequenas caldeiras. Portanto, não possuem sistemas sofisticados de controle de queima destes resíduos ou do tratamento dos gases emitidos para a atmosfera. Este tipo de queima pode ser proibida caso o órgão ambiental responsável identifique que as emissões da queima dos resíduos de madeira da indústria moveleira não atendem aos padrões de emissões. No Rio Grande do Sul, por exemplo, a Resolução CONSEMA nº 370/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017), autoriza a queima de resíduos de MDF e MDP sob determinadas condições como a queima em condições de temperatura acima de 750 ºC e que os resíduos não contenham produtos halogenados ou revestidos com PVC. Isso porque o formaldeído, que é uma das bases das resinas utilizadas, tem um alto potencial cancerígeno (TOMELERI, 2019).

A queima de resíduos de madeira, quando feita de forma legal e controlada, pode ser utilizada para diversos usos energéticos, dentre eles gerar energia elétrica, diminuindo a dependência do Sistema Interligado Nacional, mas também adotando uma fonte de energia renovável para a sua matriz energética. Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2020), a matriz energética elétrica brasileira ainda tem uma contribuição de quase 15% de fontes não renováveis de energia. A produção de energia também pode gerar outros benefícios diretos como a

economia financeira e a eliminação dos resíduos do processo, diminuindo os custos associados à transporte e destinação.

A queima de resíduos de madeira requer a destinação das cinzas geradas no processamento. Alguns tipos de painéis de MDF podem conter elementos tóxicos como cromo, cobre e arsênio que aumenta o potencial de riscos ambientais associados à destinação destes resíduos (FARAGE, REZENDE, *SILVA*, 2013). Por isso é importante identificar na cadeia produtiva opções tecnológicas que diminuam a utilização destes componentes tóxicos mas também o envio de resíduos de MDF e das cinzas geradas pelo processo de queima para aterros sanitários, que não são preparados para receber resíduos com substâncias tóxicas (TOMELERI, 2019).

Assim, é importante que sejam realizados estudos de ciclo de vida do processo de queima de resíduos de MDF com foco nas emissões resultantes desta alternativa de tratamento.

3.4. Reciclagem

A reciclagem não é uma rota tecnológica comum entre as empresas estudadas. Todavia é uma alternativa para resíduos de madeira podendo servir para o desenvolvimento de novos produtos com valor agregado. A partir das modelagens é possível observar que a reciclagem pode evitar diversos impactos de ciclo de vida reduzindo a contribuição da pegada ambiental pela geração de resíduo, conforme Figura 23.

Dentre os impactos positivos de maior contribuição do ponto de vista percentual está a redução proporcional das emissões de gases de efeito estufa, representada pela categoria de aquecimento global (*global warming)*, chegando a mais de 80% dos impactos evitados (Figura 23). Este destaque se dá pela substituição da madeira virgem por resíduos de madeira na produção de placas de MDP, evitando assim os impactos gerados durante a etapa de produção de madeira (agua e energia).

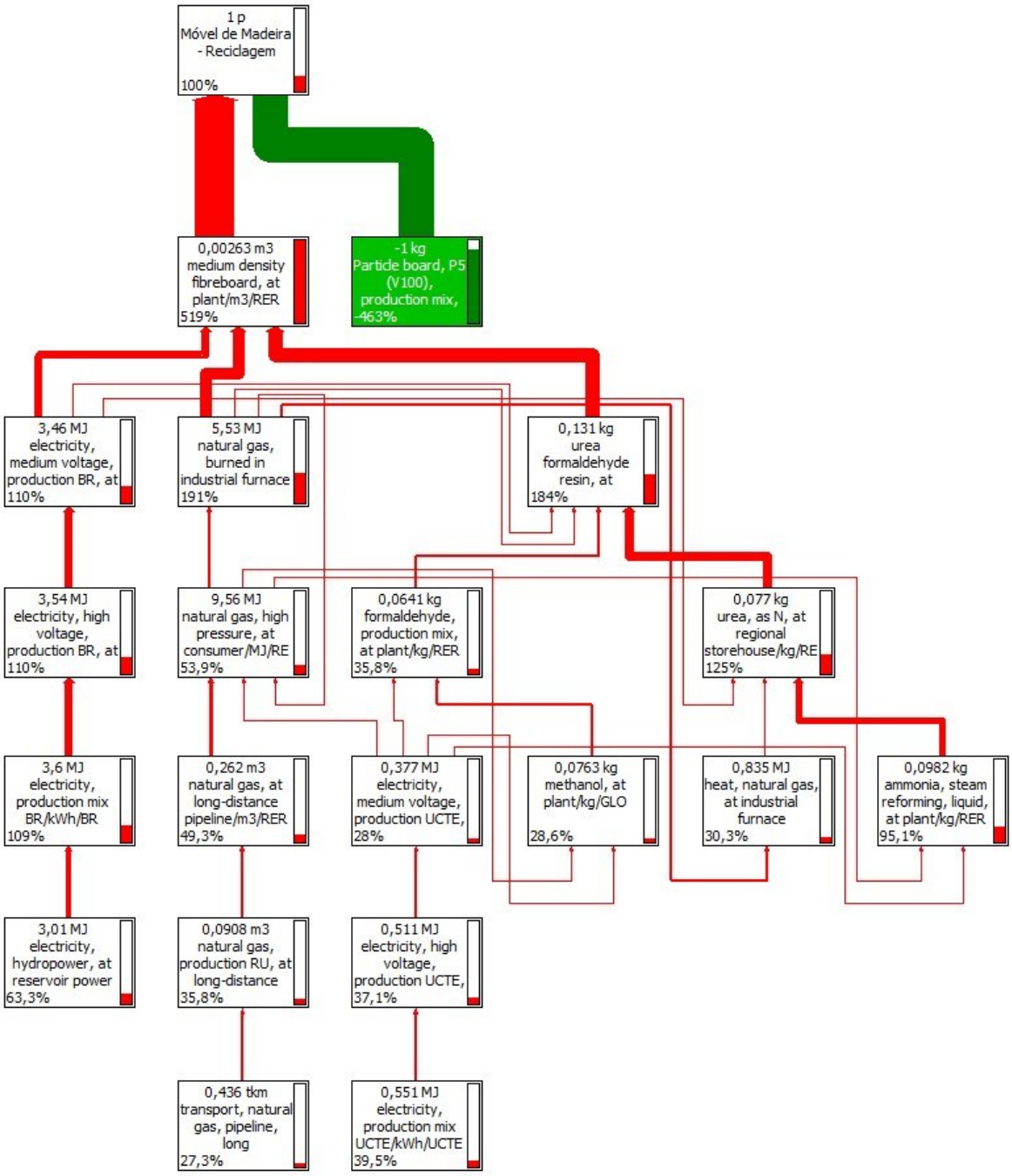

Figura 23 - Rede - Reciclagem - Aquecimento Global

Fonte: A autora, 2021

As categorias acidificação e oxidação fotoquímica, conforme Figura 24, também obtiveram mais de 40% de seus impactos evitados. Essa redução é decorrente da redução do processo de produção de energia para a fabricação de matéria-prima para a fabricação de MDP.

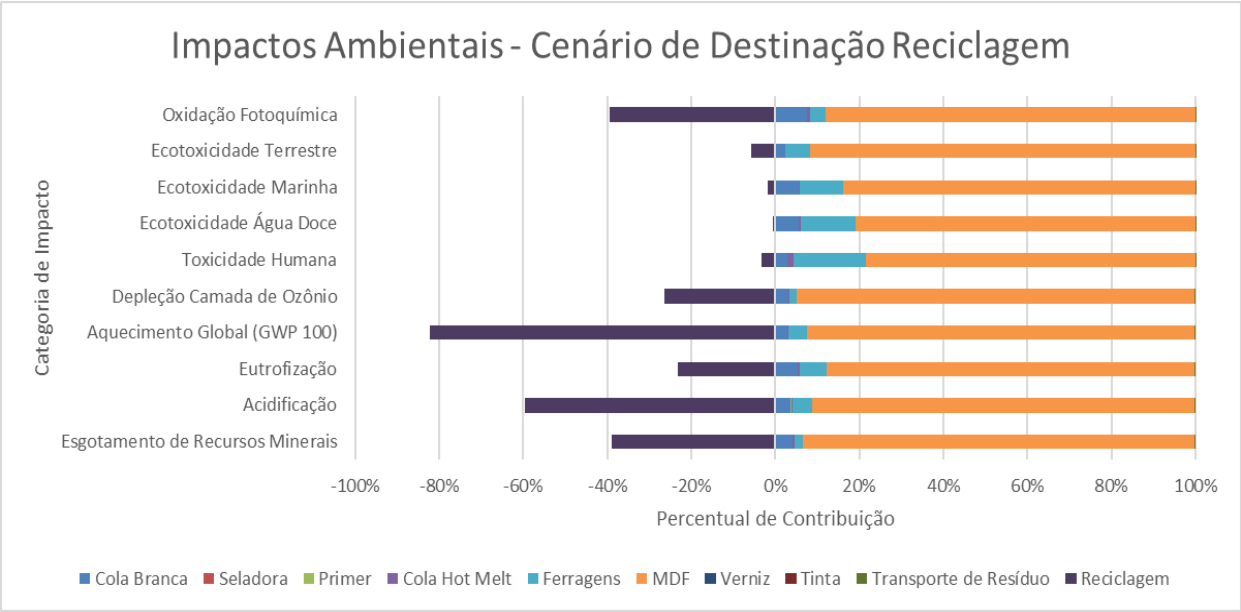

Figura 24 - Impactos Ambientais - Reciclagem

Fonte: A autora, 2021

De acordo com a Figura 25, a ecotoxicidade marinha novamente é destaque na produção de MDF, quando realizada a normalização entre as categorias de impactos. Considerando as etapas de fabricação e utilização de resinas de Ureia-Formaldeído.

Já os destaques dos impactos evitados ficou para as categorias de aquecimento global e esgotamento de recursos minerais. Estas redução deve-se a substituição da matéria-prima da fabricação do MDP por resíduos de madeira, evitando assim os impactos associados a etapa de plantio, colheita e beneficiamento da madeira virgem.

Considerando que apenas 9% da economia global é circular, reutilizamos menos de 10% recursos usados todos os anos em processos produtivos (CIRCLE ECONOMY, 2019) e que a escassez de matérias-primas atingiu os maiores níveis dos últimos 19 anos (CNI, 2021), a reciclagem torna-se uma alternativa importante não só pela redução do esgotamento dos recursos naturais, mas por também proporcionar a criação de empregos diretos e indiretos com o fomento à uma cadeia de reciclagem (REVEILLEAU, 2011). Esta pratica tem sido muito aplicada em países da Europa, possibilitando o reuso de resíduos de madeira para a fabricação de MDP que chega a 95% do total resíduo reciclado dependendo do país (GARCIA e HORA, 2017; ANTOINE; FERNANDO, 2019).

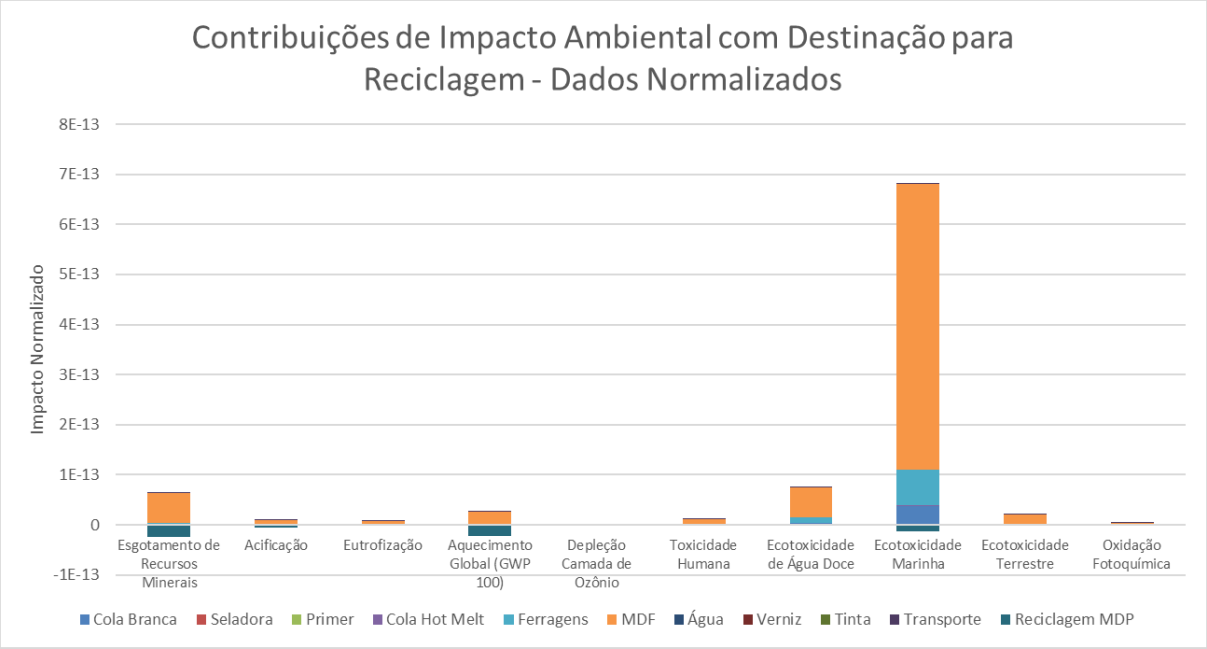

Figura 26 - Impactos Ambientais Normalizados - Reciclagem
Fonte: A autora, 2021

A destinação do resíduo de madeira, segundo Merrild e Christensen (2009), para reciclagem e transformação em MDP pode evitar a emissão de 909 kg de CO_2eq/ton de resíduo. Merrild e Christensen (2009) observaram também que a quantidade possível de emissão evitada pode variar a depender da maneira como é realizada o gerenciamento do resíduo até a chegada no local de reciclagem. Entretanto o potencial de redução de emissões pode chegar até 1,9 ton de CO_2eq/ t de resíduo. Neste caso entende-se que a energia evitada para a fabricação do MDP advém exclusivamente de fontes fósseis. No Brasil como a matriz energética possui uma contribuição grande de energias renováveis esse valor é reduzido. Esta

quantidade de emissões evitadas considera apenas as fases de transporte e tratamento do resíduo, desconsiderando as fases anteriores do ciclo de vida da madeira.

O resultado encontrado por Araujo (2012) ao avaliar o ciclo de vida de móveis de MDF e MDP, que apresenta a reciclagem das fibras como melhor alternativa para o tratamento final do produto. Este ainda conclui que o maior problema para o fechamento do ciclo biológico do berço ao berço do MDF, pode não estar na presença do formaldeído, mas na variedade de revestimentos, aditivos e no fato de se tratar de um material que possui um tempo de degradação muito longo. Estes resultados reforçam a discussão de que a reciclagem de materiais pode reduzir os impactos ambientais advindos do uso de energia, água e outros recursos utilizados com materiais virgens (KIM e SONG, 2014).

O resultado obtido ao avaliar o ciclo de vida do envio dos resíduos de MDF como matéria prima na produção de painéis de MDP, reforça a importância da implementação de uma economia circular onde descarte de materiais deixe de ser apenas uma gestão de resíduos para integrar um processo de design de produtos e sistemas (SEHNEM e FARIAS, 2019). Além de atender os objetivos estabelecidos na PNRS que inclui entre outros, a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Há no entanto a necessidade do estímulo para o uso deste tipo de alternativa visto que não é realizada atualmente pelas indústrias estudadas. De certa forma é importante que exista um incentivo por parte do governo para o desenvolvimento desta atividade mas também um movimento de organização que possa potencializar os benefícios do uso deste tipo de destinação. Para que este tipo de modelo de negócio seja rentável para a indústria moveleira e para o reciclador é importante que eles estejam próximos a fim de reduzir os custos logísticos de transporte, que pode afetar a rentabilidade diretamente (GARCIA e HORA, 2017).

3.5. Comparação

Cada categoria de impacto analisada utiliza uma unidade de referência para unificar os valores de impacto ambiental. Dentre as categorias avaliadas utiliza-se os seguintes indicadores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Indicadores de categorias de impacto

Categoria de Impacto	Sigla	Descrição
Esgotamento de Recursos Minerais	kg Sb eq	antimônio equivalente
Acidificação	kg SO_2eq	dióxido de enxofre equivalente
Eutrofização	g PO_4^{3-} eq	fosfato equivalente
Aquecimento Global	kg CO_2eq	dióxido de carbono equivalente
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	Tricloromonofluormetano equivalente
Toxicidade Humana	1,4 DBeq	1,4-dichlorobenzeno equivalente
Ecotoxicidade Marinha	1,4 DBeq	1,4-dichlorobenzeno equivalente
Ecotoxicidade Aquática	1,4 DBeq	1,4-dichlorobenzeno equivalente
Ecotoxicidade Terrestre	1,4 DBeq	1,4-dichlorobenzeno equivalente
Oxidação Fotoquímica	kg C_2H_4	Etileno equivalente

Fonte: Adaptado de JRC, 2010

Dentre as quatro rotas tecnológicas avaliadas aquela que apresentou menores impactos ambientais em cinco dos dez impactos avaliados foi a destinação para a reciclagem para transformação em MDP (Figura 26), são eles: Esgotamento de Recursos Minerais, Acidificação, Aquecimento Global, Depleção da Camada de Ozônio e Oxidação Fotoquímica. Os mesmos resultados encontrado por Hossain e Poon (2018), ao compararem disposição em aterro dos resíduos de madeira com cenários alternativos incluindo a reciclagem, reaproveitamento e energia.

No entanto, a reciclagem para a produção de MDP ainda não é uma prática convencional das indústrias estudadas, dependendo, portanto, de aquisição de maquinário ou de contato com empresas que tenham interesse na produção deste tipo de material. Por isso a ACV é ferramenta importante para demonstrar o balanço positivo de novos modelos de negócio que incluam a recuperação de materiais dentro de um contexto de circularidade (ARAÚJO, 2020b).

De acordo com os princípios da economia circular, a reciclagem de madeira deve ser preferencial, principalmente na produção de painéis, considerando ainda, que o reuso de biomaterial contribui para a fixação do carbono por um período maior (ANTOINE; FERNANDO, 2019). O incentivo à circularidade pode ser estimulado por outros modelos de negócio que visem, por exemplo, a recuperação de recursos para a produção de subprodutos como compósito madeira-plástico ou compósito madeira-cimento. Os resíduos agro industriais, inclusive da produção moveleira podem ser utilizados para este fim (ARAÚJO, 2020a). O fomento ao desenvolvimento de

produtos a partir dos resíduos aumenta a circularidade do sistema produtivo e reduz o uso de matérias-primas e etapas anteriores de processos industriais que também causam impacto ao meio ambiente (ARAÚJO, 2020b).

Em percentuais a destinação para aterro sanitário obteve o pior desempenho em comparação a outras destinações, apresentando os maiores valores para todas as categorias de impactos estudadas (Figura 27). Este resultado fortalece os princípios estabelecidos na PNRS (BRASIL, 2010), onde se faz necessário o reconhecimento do resíduo sólido como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. Além de obter cenários que necessitam, conforme os objetivos da PNRS, promover o incentivo às indústrias da reciclagem com vistas a fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados, e ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos.

A necessidade de avaliar outros impactos ambientais é importante pois a maior parte de estudos de ACV não considera outras categorias de impacto além de mudanças climáticas e uso da energia (MORRIS, 2017). Além disso poucos estudos de ACV consideram a avaliação de rotas como reciclagem, queima e disposição em aterro na mesma pesquisa (MORRIS, 2017), tal como discorrido neste estudo.

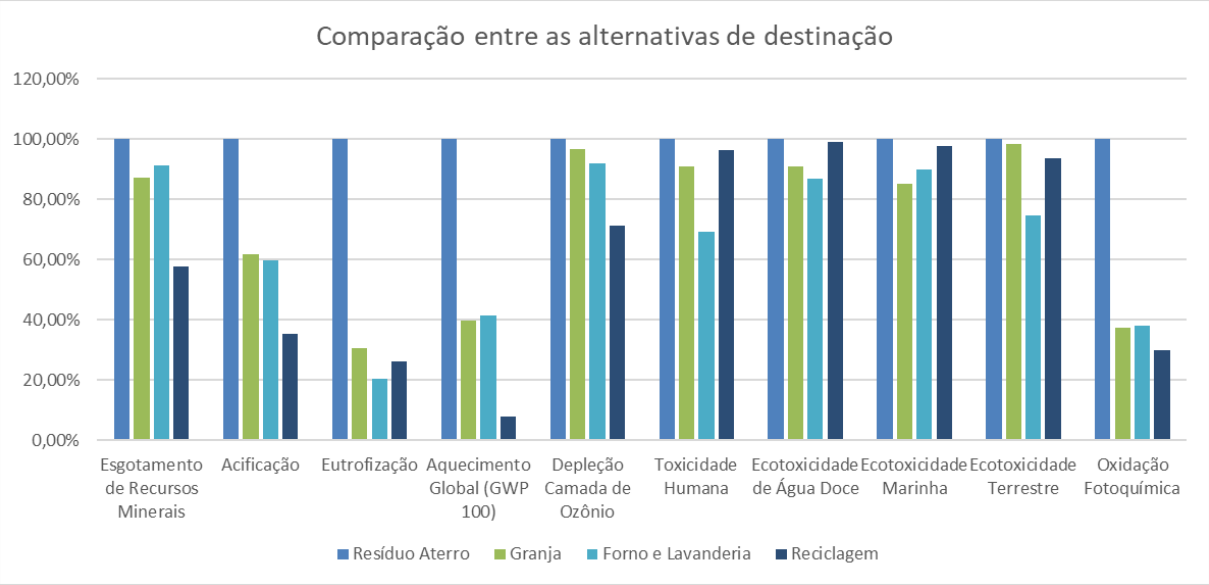

Figura 27 - Comparação de Impactos Ambientais entre Rotas Tecnológicas

Fonte: A autora, 2021

Entre as alternativas praticadas pelas indústrias estudadas a recuperação energética dos resíduos é melhor do que à opção do aterro dos resíduos, reforçando esta opção para outros resíduos semelhantes, como o papel, que também tem origem renovável (DAHLBO. *et al.*, 2005). A queima dos resíduos de madeira em substituição a madeira virgem obteve o melhor desempenho em 06 (seis) categorias de impactos são elas: acidificação, eutrofização, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade de agua doce e ecotoxicidade terrestre.

Porém, a avaliação dos impactos se deu através dos dados secundários obtidos na base do Ecoinvent, sendo avaliada a queima de resíduos de madeira e não de MDF, o que pode influenciar os resultados finais da comparação, cabendo que sejam aprimoradas as informações de queima de resíduos de MDF através de estudos específicos. Para Mustafa,*et al.* (2019), ao avaliarem as emissões tóxicas de madeira processada a superfície colada e o processo de fabricação introduziram cerca de 5% de compostos de nitrogênio orgânico no MDF e isso produziu níveis muito altos de cianeto de hidrogênio (HCN) imediatamente após o início da queima. Este resultado destaca a importância de estudos relacionados a redução ou substituição de resinas a base de formaldeído na fabricação de painéis de MDF.

Ao avaliar o potencial de aproveitamento de cinzas de madeira (MDF) na produção de composto orgânico, Silva (2018) concluiu que a mistura das cinzas da queima da madeira, do lodo proveniente da ETE – Estação de Tratamento de Efluentes com a adição da ureia, colaboram para produção de um adubo orgânico rico em nutrientes e altamente rentável para a indústria que produz os resíduos orgânicos e consequentemente o composto orgânico.

O envio dos resíduos de madeira para granja, servindo de cama de aves, em substituição a maravalha, apresentou o melhor desempenho ambiental para a categoria de ecotoxicidade marinha, uma das mais relevantes em todos os cenários estudados (Figura 28). Isto porque o consumo de energia para fabricação e transporte da maravalha considera o uso extensivo de energia, principalmente de origem fóssil, com destaque para o petróleo.

Este estudo não avaliou o impacto após o uso da cama de aviário na granja, o que poderá alterar o resultado encontrado ao se avaliar todo o ciclo de vida dos resíduos de madeira até esgotadas todas as possibilidades de tratamento, recuperação e não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. Para Lima (2019), um dos fatores que mais influenciam a

emissão de gases nas granjas de produção são os resíduos gerados a partir dos dejetos com a cama sendo o principal contribuinte para potencial de aquecimento global.

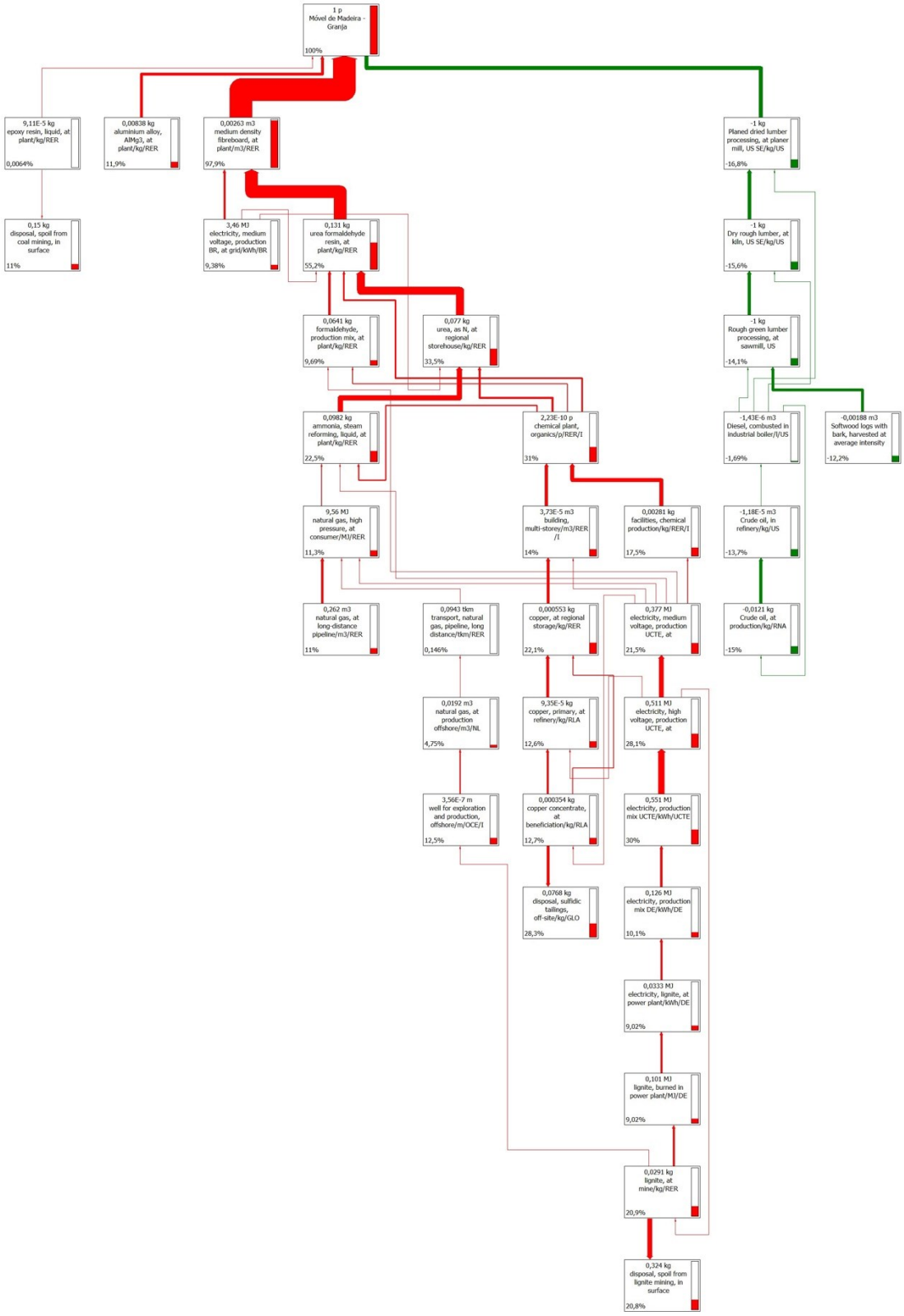

Figura 28 - Rede - Granja - Ecotoxicidade Marinha

Fonte: A autora, 2021

É importante destacar que, todas as rotas tecnológicas, a exceção do aterro de resíduos, apresentam redução de impactos, ou seja, são consideradas alternativas que evitam um impacto maior com o seu reaproveitamento, assim como apontado por Kim e Song (2014). Porém, LEE; PREWITT; MUN (2014) concluíram que a utilização de tratamento contendo 5 camadas alternadas de solo e MDF em um aterro simulado em laboratório, reduziu as concentrações de formaldeído no ar e lixiviado em 70% e 99%, respectivamente. Com base nos resultados encontrados da lixiviação de formaldeído após 4 semanas de armazenamento em água os resíduos de MDF podem ser reciclados como composto ou cobertura morta (LEE; PREWITT; MUN, 2014).

Ainda assim a maior contribuição de impactos ambientais na indústria moveleira ainda é decorrente da etapa de fabricação do MDF. Os resultados da AICV demonstraram, assim como Keil (2012), que os impactos decorrentes da matéria-prima principal, no caso o MDF, tem maior representatividade com relação aos impactos ambientais. Tal fato já havia sido abordado também por Pinto, Matos e *Silva (*2016), como significativo na cadeia produtiva de painéis de madeira, reforçando a necessidade de práticas adequadas para o gerenciamento de resíduos gerados.

Alguns estudos propõem melhorias do desempenho ambiental no ciclo de vida da produção do painel de madeira MDF, como por exemplo, a extinção do consumo de gás natural na planta térmica, redução do consumo de energia elétrica, redução no consumo da resina Ureia-Formaldeído, adoção de substâncias menos agressivas na composição do produto, redução no consumo de madeira e minimização de distância dos fornecedores de madeira (PIEKARSKI, 2013; RIBEIRO, *et al*., 2016).

Demonstra-se portanto que além do melhor gerenciamento dos resíduos há a necessidade de ampliar as análises de melhores tecnologias na cadeia de valor da madeira que adotem substâncias menos agressivas na composição do produto, assim como sugerido por Ribeiro *et al.* (2016). Uma das alternativas sugeridas por Santos *et al.* (2017) é a formação de iniciativas coletivas de forma a potencializar o uso e estimular ações mais efetivas, já que a indústria ainda tem uma geração de resíduos pulverizada.

Os resultados da ACV validam através da quantificação de impactos a hierarquia da gestão de resíduos que deve ser seguida, apontada na PNRS, que

sugere iniciar pela redução, em seguida pelo caminho da reciclagem (de materiais ou energética) e deixar a disposição final do resíduos em aterro como a última opção a ser seguida (BRASIL, 2010; REVEILLEAU, 2011). De certa forma cada uma destas opções tem uma influência direta no efeitos de ciclo de vida. Por isso, priorizar as ações recomendadas pela PNRS pode aumentar a sustentabilidade do ciclo de vida de um material (DAHLBO. *et al.*, 2005). Já para Araujo (2012), a inclusão do MDF na lista de produtos vinculados à logística reversa poderia ser uma alternativa para a recuperação e destinação do material, uma vez que possui efeitos nocivos quando destinado de maneira imprópria.

Cabe ainda pensar em uma responsabilidade compartilhada da gestão dos resíduos entre a iniciativa privada, Poder Público e a sociedade onde todos assumam responsabilidades que garantam o menor impacto ambiental. A responsabilidade por parte da sociedade tem pressionado a iniciativa privada a rever a visão sobre a sua a atividade econômica, que tem mais foco na atividade econômica e pouca atenção às externalidades ambientais geradas (REVEILLEAU, 2011).

Sob o ponto de vista da qualidade dos dados, ainda há uma deficiência em ICV com dados nacionais o que tem limitado o número de estudos de ACV voltados para o setor de resíduos (LAURENT *et al.*, 2014). Para o desenvolvimento de ACV é priorizado o uso de informações primárias, ou seja, coletadas ou medidas na fonte. Quando essa coleta de informações não é viável procura-se utilizar dados secundários, provenientes de bancos de dados. Como o Brasil possui poucos dados nacionais disponíveis de ICV, principalmente para o setor de madeira, os resultados de ACV aumentam a sua imprecisão uma vez que foi necessário utilizar dados internacionais.

4. CONCLUSÃO

O levantamento realizado pelo diagnóstico ambiental nas 11 empresas do Polo Moveleiro de Petrópolis demonstrou que o processo de fabricação dos móveis é pouco eficiente, uma vez que a geração de resíduos é significativa. Este fato reforça a importância de um gerenciamento de resíduos adequado no sentido de incentivo de políticas para redução dos resíduos no processo, reaproveitamento dos resíduos gerados e destinação adequada dos rejeitos. As indústrias avaliadas, não possuem controle da quantidade de resíduos enviada para cada uma das alternativas apontadas neste estudo, tendo apenas o quantitativo total de resíduos gerado pela empresa.

A geração de resíduos de madeira é inerente ao processo de fabricação de móveis, entretanto é possível adotar princípios da economia circular ao longo da cadeia de valor que permitam reduzir estas quantidades e desta forma minimizar o impacto gerado. Além de tornar o processo mais eficiente há práticas de reciclagem como a utilização das sobras para a produção de MDP, que podem proporcionar uma redução do uso de materiais virgens e assim reduzir possíveis impactos ambientais, além da geração de receita e inserção de novos modelos de negócios. Para tanto, é importante o desenvolvimento de novas práticas de fabricação que permitam o maior aproveitamento da matéria-prima empregada na fabricação, como também em tecnologias e modelos de negócio que permitam reter valor dos resíduos de madeira através do seu aproveitamento.

Contudo, a falta de estudos que comparem as diferentes formas de valorização e/ou aplicação desse tipo de resíduo torna a tomada de decisão mais difícil para as empresas. Atualmente, dentre as alternativas estudadas, aquela que vem mais sendo aplicada é o aproveitamento como fonte de energia em fornos, mas ainda é uma percentagem pequena em relação à geração. A maior parte ainda é destinada para aterros sanitários.

O método de ACV ainda possui certas barreiras como a disponibilidade de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) com dados brasileiros, bem como de métodos de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV). Por ser um estudo de escala regional a ausência de modelos compatíveis que possibilitem normalizar os impactos ambientais a nível regional, e não global, aumenta as incertezas do estudo.

De acordo com o método de AICV utilizado, dentre as categorias de impactos estudadas a ecotoxidade apresentou os maiores valores para o ciclo de vida da produção do MDF. Quando avaliados os impactos provenientes no fim de vida do resíduo de madeira, esta categoria obteve impactos evitados, exceto a destinação para aterro sanitário. E a categoria que não teve valores expressivos após a normalização foi a depleção da camada de ozônio, devido ao fato de utilizar resíduos de madeira no lugar de madeira virgem, evitar o uso de equipamentos utilizados para colheita, transporte e beneficiamento da lenha que seria utilizada.

Em todos os cenários foi possível observar a contribuição mais relevante da ecotoxicidade marinha, decorrente da etapa do ciclo de vida da produção de placas de MDF, que utiliza os dados do Ecoinvent para o Brasil (*Medium Density Fibreboard, at plant/BR).* A etapa de lavagem das chapas de MDF, que utilizam resina de ureia influenciam para uma maior contribuição desta categoria de impacto ambiental.

Dentre as alternativas praticadas atualmente pelas empresas, a recuperação energética dos resíduos de madeira através da queima em fornos ou na produção de vapor em lavanderias demonstra-se como a alternativa que proporciona a maior parte dos impactos evitados quando comparado com outros materiais virgens. Enquanto isso o aterro de resíduos demonstra-se como a alternativa com a maior intensidade de impactos ambientais quando comparadas com as outras alternativas, sendo a alternativa que mantém o maior nível de impacto ambiental.

Corroborando com a PNRS, a utilização da ACV voltado para o gerenciamento de resíduos também evidenciou que a destinação para aterro sanitário deve ser evitada. Porém, existem alguns benefícios como o aumento da vida útil do aterro, a redução dos impactos ambientais no futuro e geração de energia através do aproveitamento de biogás.

O potencial de aproveitamento destes resíduos é significativo, quer seja como matéria-prima secundária, quer seja pelo seu potencial energético. No entanto, para potencializar o uso destes resíduos como matéria-prima alternativa em outros processos, as empresas devem promover o gerenciamento correto destes no seu processo industrial, já que é um aspecto relevante do processo produtivo. Ao comparar o consumo de matéria prima com a quantidade de resíduos gerados nas 11 empresas estudas, a média da quantidade dos resíduos gerados no processo de fabricação de móveis era de 42% em relação à matéria-prima utilizada, ratificando a

baixa eficiência na conversão do recurso em produto. A reciclagem dos resíduos de MDF para a produção de placas/painéis de MDP além de manter os resíduos como produtos de alto valor agregado ainda contribui para evitar impactos ambientais. Mesmo com as soluções externas ao gerenciamento do resíduo é importante que outras medidas que tem potencial de reduzir ainda mais os impactos ambientais, também sejam consideradas. A reciclagem interna produzindo co-produtos a partir dos resíduo de madeira pode reduzir os custos de destinação e ser uma nova fonte de receita para as indústrias, assim como a utilização de equipamentos e técnicas que reduzam na fonte a geração de resíduos de madeira. Estas soluções, no entanto, dependem de investimento e, consequentemente, uma análise financeira por parte das empresas.

Este estudo demonstrou que o uso da ACV para avaliar os impactos ambientais do processo produtivo da indústria moveleira e sua destinação de resíduos, contribui para a transição para a economia circular, com aportes de informações, conhecimentos e oportunidades inovadoras. A ACV mostra-se demonstra-se portanto uma ferramenta importante para avaliar as opções utilizadas e que devem ser substituídas por alternativas mais eficientes, promovendo uma mudança de perspectiva de um sistema linear de produção para um sistema circular, integrando as cadeias de produção, otimizando o uso da matéria-prima, e preservando, portanto, os recursos naturais dentro dos limites aceitáveis para a sua manutenção.

5. RECOMENDAÇÕES

Para a continuidade deste estudo são recomendadas novas pesquisas que possam englobar alguns dos temas descritos abaixo:

1) Este estudo não avaliou a aderência dos cenários de destinações de resíduos junto às legislações ambientais existentes, não sendo possível associar os impactos ambientais relacionados a sua destinação e ao atendimento legal. Por isso cabe avaliar a pertinência de adequação de políticas públicas e regulação que auxilie na melhor destinação dos resíduos gerados.
2) Na avaliação do ciclo de vida realizada nas 11 indústrias, evidenciou-se que o maior impacto de toda a cadeia produtiva do móvel se dá no ciclo de vida da produção dos painéis MDF. Reforçando a importância da realização de um estudo que avalie o ciclo de vida da cadeia de valor da madeira, do quanto as matérias primas e insumos impactam na gestão dos resíduos de madeira da indústria moveleira.
3) Além da deficiência na coleta de dados junto às empresas esta pesquisa precisou utilizar bases de dados internacionais, aumentando a incerteza dos resultados obtidos uma vez que são utilizadas tecnologias que não são aplicadas pela indústria nacional. Para tanto é importante o fortalecimento de Inventários de Ciclo de Vida com dados nacionais que possam reduzir a incerteza dos resultados de ACV desenvolvidas no Brasil.
4) O estudo limitou-se a observar as alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos na região do Polo Moveleiro de Petrópolis. Não foram avaliadas alternativas de destinação em outras regiões. A avaliação de outras tecnologias pode colaborar para novas oportunidades de alternativas tecnológicas menos impactantes.

REFERÊNCIAS

ABIMÓVEL; MOBILIÁRIO, A. B. das I. do. *Relatório setorial da indústria de móveis no Brasil.* Sobre o setor. 2019. Disponível em: <http://www.brazilianfurniture.org.br/sobresetor>. Acesso em: 30 maio 2021.

ABRAF. *Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012.* Brasília: 2013. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3887>. Acesso em: 27 jan. 2020.

ALMEIDA, E. P. et al. Preparação de blocos porosos utilizando resíduos de MDF na formulação de massas cerâmicas estruturais. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, RJ, v. 25, n. 1, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0918>. Acesso em: 31 de ago. de 2021.

ANTOINE. P; FERNANDO. A. L. *Wood waste management: The best practices. In: BIOREG EUROPEAN WOOD WASTE PLATFORM*, 2019. Disponível em: <https://www.bioreg.eu/assets/best-practices/BIOREG-The-Best-Practices-In-Wood-Waste-Management.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ARAÚJO, C. K. Avaliação dos métodos para aplicação da análise do inventário do ciclo de vida na indústria moveleira. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Santa Catarina, v. 53, n. 9, p. 109, 2020b. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/10237>. Acesso em: 20 jan. 2021.

_____. *Práticas de economia circular no sistema produtivo de painéis de madeira.* 2020a. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)– Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

ARAUJO, G. M. G. de. *Desafios para aplicação da metodologia do Berço-ao- berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP.* 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental)- Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. p. 88.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. 2018/2019. São Paulo, 2019. Acesso em: 19 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 14040:* gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. [S.l: s.n.]. Rio de Janeiro, 2009.

AZOLIM, J. *Avaliação do ciclo de vida das etapas de construção e operação de sistemas de manejo de dejetos suínos*. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos)– Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Rio Grande do Sul, 2018.

BALKAU, F.; BEZAMA, A. Life cycle methodologies for building circular economy in cities and regions. *Waste Management & Researc*h: the journal for a sustainable circular economy, v. 37, n. 8, p. 765–766, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X19864489>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BALZAN, K. M. et al. Aspectos da cadeia produtiva moveleira do brasil e o rio grande do sul nesse contexto. *Revista Perspectiva,* Erechim, v. 44, n.166, p. 7-18, jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31512/persp.v.44.n.166.2020.95.p.7-18>. Acesso em: 31 ago. 2021.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (BRDE). *Florestamento na região sul do Brasil - uma análise econômica*. 51 f. Curitiba, 2003. Disponível em: <https://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/Florestamento%20na%20Regiao%20Sul%20do%20Brasil.pdf> Acesso em: 24 jul. 2020.

BARRANTES, L. D. S., et al. *Avaliação do ciclo de vida da madeira de eucalipto para produção de energia no Brasil*. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 2016. Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1064216/1/2016AA32.pdf> Acesso em: 20 ago. 2020.

BERGER, F., GAUVIN, F., BROUWERS, H. J. H. The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite. *Construction and Building Materials*, v. 260, p. 119786, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119786> Acesso em: 22 ago. 2020.

BERGERON, F. C. Assessment of the coherence of the Swiss waste wood management. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 91, p. 62–70, set. 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.011. Acesso em: 13 ago. 2020.

BRAINER, M. S. de C. P. Setor moveleiro: aspectos gerais e tendências no Brasil e na área de atuação do BNB. *Caderno Setorial do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste*, Brasília, v. 34, n. 3, p. 1–22, jun. 2018. Disponível em: < https://www.bnb.gov.br/documents/80223/3585904/moveis_34-2018.pdf/f0e0657f-a6c2-db33-f139-04d95692453e> Acesso em: 10 set. 2019.

BRASIL. *Lei n.13.576*, de 26 de dezembro de 2017 - Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. [S.l: s.n.]. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm> Acesso em: 30 jul. 2020.

_____. *Lei n. 12.305*. Política Nacional de Resíduos Sólidos. [s.n.]. Brasília, 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 5 ago. 2020.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Programa Nacional de Florestas (PNF).* Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/florestas/programa-nacional-de-florestas>. Acesso em: 22 maio 2020.

CASSILHA, A. C. et al. Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. *Revista Educação & Tecnologia,* Paraná, p. 1–14, 2004. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/revedutec-ct/article/view/1142/739>. Acesso em: 10 mar.2020.

CENTER FOR INDUSTRIAL STUDIES (CSIL). *CSILI World Furniture Outlook At Salone Del Mobile in Milan.* World Furniture Online, Milão, 2018. Disponível em: <https://www.cocinaintegral.net/csil-world-furniture-outlook-at-salone-del-mobile-milano/>. Acesso em: 31 ago 2020.

CERQUEIRA, P. H. A. et al. Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 506–510, out./dez. 2012.

CHEHEBE, J. R. *Analise do ciclo de vida de produtos*: ferramenta gerencial da ISO 14000. [S.l: s.n.]. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

CIRCLE ECONOMY. *Relatório Anual de Gap da Circularidade*. [S.l: s.n.]. Estados Unidos, 2019.

COLLINS, A. *The Global Risks: report 2019*. In: WORLD ECONOMIC FORUM. Insight Report. [S.l: s.n.], ed.14th. Geneva, 2019. Disponível em: < http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf>. Acesso em: 5 maio 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *68 % das indústrias estão com dificuldades para obter insumos no Brasil.* Brasília, 2021. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/economia/68-das-industrias-estao-com-dificuldades-para-obter-insumos-no-brasil/>. Acesso em: 20 out. 2019.

_____. *Economia Circular*. [S.l: s.n.], Brasília, 2018. Disponível em: < http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-sustentavel/temas-de-atuacao/economia-circular/>. Acesso em: 22 de dez. de 2019.

CORONEL, D. A. et al. O aproveitamento dos resíduos do setor florestal de Lages-Santa Catarina. *Revista Ciências Sociais em Perspectiva*, Santa Catarina, v. 7, n. 12, p. 75–92, 2008.

CORRÊA, G. R.; DUARTE, A. L.; ABREU, L. G. de. Resíduos da indústria moveleira: diagnóstico nas empresas associadas ao sindimov-mg. p. 4214–4225, In: *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design* [= Blucher Design Proceedings, v. 9, n. 2]**.** São Paulo: Blucher, 2016.

DAHLBO, H. et al. Life cycle inventory analyses for five waste management options for discarded newspaper. *Waste Management and Research*, v. 23, n. 4, p. 291–303, Sep. 2005.

DAIAN, G.; OZARSKA, B. Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v. 17, n. 17, p. 1594–1602, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.07.008. Acesso em: 31 ago. 2020.

ECOINVENT. *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*. Zurich, 2012. Disponível em: www.ecoinvent.org. Acessado em: Mar. 2021

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Rumo à economia circular*: o racional de negócio para acelerar a transição. Ellen MacArthur Foundation. 2015. p. 22.

_____. *Uma economia circular no Brasil:* uma abordagem exploratória inicial. p. 1–31, 2017. Disponível em: <https://depositorioceds.espm.edu.br/wp-content/uploads/2021/04/UmaEconomiaCircularnoBrasil.pdf>. Acesso em: 30 maio 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA- EPE (BRASIL). *Balanço Energético Nacional 2020:* ano base 2019. [S.l: s.n.], Rio de Janeiro: EPE, 2020.

FARAGE, R. M. P. et al. Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de ubá-MG. *Ciência Florestal*, Santa Maria: Redalyc.org, v. 23, n. 1, p. 203–212, jan./mar. 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53425660018>. Acesso em: 06 maio 2021

FARIAS, B. S. S. et al. Comparativo de impactos ambientais entre produtos provenientes da madeira para projetos de mobiliário. p. 4143–4154, 2016. In: *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design [= Blucher Design Proceedings, v. 9, n. 2].* São Paulo: Blucher, 2016.

FASSI, E. et al. Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. *Revista Educação & Tecnologia*, Curitiba, v. 8, p. 209–228, 2004. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/grupos/tema/25indus_moveleira_ambiental.pdf.>. Acesso em: 24 maio 2021

FIERGS. et al. *Relatório dos resíduos não reutilizados (Produto da Atividade 6), objetivando identificar novos empreendimentos possíveis para reaproveitamento, considerando as principais potencialidades e restrições*. Porto Alegre, dez 2014.

FILHO, O. C., JUNIOR, N. L. S., LUEDEMANN, G. A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*. Texto para Discussão do IPEA, Nº 2205. Rio de Janeiro: Ipea, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2016.

FINNVEDEN, G.et al. Environmental and economic assessment methods for waste management decision-support: possibilities and limitations. *Waste Management & Research*, vol. 25, n. 3, pp. 263-269, 2007.

FIRJAN. Gestão ambiental para marcenarias e indústrias de mobiliário do rio de janeiro. [S.l: s.n.], 2016. Disponível em: < https://www.firjan.com.br/publicacoes/manuais-e-cartilhas/gestao-ambiental-para-marcenarias-e-industrias-de-mobiliario-do-rio-de-janeiro-1.htm>. Acesso em: 13 out. 2020.

_____. *Pesquisa diagnóstico da indústria moveleira do estado do Rio de Janeiro*. 2015. Disponível em: <http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8F4F4C1F2E014F5037FC7A5908>. Acesso em: 13 out. 2020.

_____. Retratos de uma história social: a indústria moveleira do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s.n.], p. 188, 2019.

FISCHER, A. O Fomento Na Indústria De Base Florestal. *Informe Gepec*, Toledo, v. 13, n. 2, p. 6–19. Jul./dez. 2010.

FONSECA, É. D. S. et al. *Reutilização de resíduos de MDF de pequenas marcenarias da cidade de Itu-São Paulo*. São Paulo, 2018. p. 6–12.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED (FAOFAST). *Produção e comércio Florestal*. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/FO/visualize>. Acesso em: 30 maio 2021.

FREIRE, A. L. F. et al. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados: Uma revisão de literatura. *Revista Espacios*, Venezuela, v. 36, n. 10, p. 3, 2015.

GARCIA, C. A.; HORA, G. State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries. *Waste Management*, v. 70, p. 189–197, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17306931>. Aceso em: 20 ago. 2020.

GAWEL, A. *The Growth of the Circular Economy About the Research.* In: WORLD ECONOMIC FORUM, 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/02/4-key-steps-towards-a-circular-economy>. Acesso em: 19 maio 2019.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 114, p. 11–32, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012287>. Acesso em: 10 jun. 2020.

GOMES, J. I. et al. Aproveitamento de Resíduos de Madeira em Três Empresas Madeireiras do Estado do Pará. *Anais do 1º Seminário Nacional sobre Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto*. Pará: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. p. 1–5.

GREENDELTA. *OpenLCA*. 2020. Disponível em: <www.openlca.org>. Acesso em: 10 maio 2020.

GREGSON, N. et al. Interrogating the Circular Economy : The Moral Economy of Resource Recovery in the EU. *Economy and Society*, V. 44, n. 2. April, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013353>. Acesso em: 15 mar. 2020.

HAGEL, S., SAAKE, B. Fractionation of waste MDF by steam refining. *Molecules*, v. 25, n. 9, p. 1–20, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules25092165>. Acesso em: 15 mar. 2020.

HAUSCHILD, M. Z.; OLSEN, S. I.; ROSENBAUM, R. K. *Life Cycle Assessment*: Theory and Practice. [S.l.], Ed. Springer International Publishing. Switzerland, 2017.

HENRÍQUEZ, A. I. M. *Análise de ciclo de vida (acv) de sistemas integrados de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos para cidades de médio porte*. 2016. 11–40 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia)- Universidade Federal de Itajubá. Minas Gerais, 2016.

HILLIG, E. et al. *Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento*. In: XXVI ENEGEP. Fortaleza, v. 25, n. 26. p. 1–7, Ed. Enegep, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_8192.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

HOSSAIN, M. U., POON, C. S. Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities. *Journal of Cleaner Productio,*. v. 177, p. 387–397, 2018. Disponível em: < http://hdl.handle.net/10397/77469>. Acesso em: 31 mar. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Sumario Executivo: Dados do Relatório IBA 2019-ano base 2018. *Indústria Brasileira de Árvores*. [S.l: s.n.], 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-sumarioexecutivo2019.pdf>. Acesso em: 30 set. 2020.

INMETRO. Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida. *Resolução n. 06 de 22 de dezembro de 2016.* Dispõe sobre a aprovação do Plano de Ação Quadrienal 2016-2019 do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida; e dá outras providências. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000256.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2021.

IRITANI, R. D. *Modelo de Gestão Orientado a Economia Circular e a melhoria de desempenho ambiental do ciclo de vida de produtos.* 2017. Tese (Doutorado em Processos e Gestão de Operações) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. doi:10.11606/T.18.2017.tde-04122017-100309. Acesso em: 31 ago. 2021.

JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V. (org.). *Política Nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Barueri*: Manole, 2012. p 732.

JOINT RESEARCH CENTRE (JRC). International Reference Life Cycle Data System (ILCD). Handbook : *Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. Ed.* European Commission - Institute for Environment and Sustainability. [S.l: s.n.], 2010. Disponível em: < https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2021.

JU, S. G.; ROH, J. Manufacture of dyed recycling wood fiber using waste MDF, *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. v. 45, n. 3, p. 297–307, maio 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5658/WOOD.2017.45.3.297>. Acesso em: 26 mar. 2020.

KEIL, M. M. L. *Avaliação do ciclo de vida (acv) do mobiliário de madeira e derivados de madeira produzido na região do planalto norte catarinense*. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Disigne)-Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

KIM, M. H.; SONG, H. B. Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 69, p. 199–207, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.039>. Acesso em: 06 mar. 2020.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPALA, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations, *Ecological Economics*, v. 143, issue C, p. 37-46. 2018

KOZAK, A. P. et al. Identificação, quantificação e classificação dos resíduos sólidos de uma fábrica de móveis. *Revista Acadêmica:* ciências agrárias ambientais, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 203-212, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/view/10478>. Acesso em: 31 fev. 2019.

LAURENT, A. et al. Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management.* v. 34, n. 3, p. 573–588, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045>. Acesso em: 10 maio 2020.

LEE, M.; PREWITT, L.; MUN, S. P. Formaldehyde release from medium density fiberboard in simulated landfills for recycling. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, v. 42, n. 5, p. 597–604, 2014.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production,* v. 115, p. 36–51, 2016.

LIMA, N. D. da silva. Estimativa dos impactos ambientais no processo produtivo de frangos de corte. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2019.

LUZ, Beatriz (org.). *Economia Circular Holanda-Brasil: da teoria à prática*. Da teoria à prática. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017

MACHADO, P. A. L. Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: *Revista Do Tribunal Regional Federal,* Brasília*,* v. 24, n. 7, p. 25–33, jul. 2012.

MANNINEN, K.; JUDL, J.; MYLLYMAA, T. Life cycle environmental impacts of different construction wood waste and wood packaging waste processing methods. Reports of the Ministry of the Environment 29en [S.l: s.n.] [online], 2015. Disponível em: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/160204/YMrep_29en_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 23 maio 2020.

MARANHO, J. M. Análise do ciclo de vida de produtos na indústria moveleira: restrições e oportunidades de benefícios na implantação. [S.l: s.n.], 2011. Dissertação (MBA em Gestão Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/39202?locale-attribute=pt_BR>. Acesso em: 09 mar. 2020.

MARCHENKO, O. et al. Economic efficiency assessment of using wood waste in cogeneration plants with multi-stage gasification. *Applied Sciences*, Switzerland. v. 10, n. 21, p. 1–15, 2020.

MARQUES, M. . Life Cycle Analysis and Modelling of Waste Management. University of Lund, Lund. Department of Water Resources Report Nº 3215/1997:2, p. 28p., 1997.

MCPFE. *Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management as Adopted by the Ministerial Conferences on the Protection of Forests in Europe (MCPFE)* Expert Level Meeting. p. 6, 2002. Disponível em: <https://www.foresteurope.org/documentos/improved_indicators.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2020.

MENDES, L.; TREICHEL, M.; BELING, R. R. *Anuário Brasileiro da Silvicultura 2016*. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2016. Disponível em: http://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2016/04/anuario-de-silvicultura-2016.pdf>. Acesso em: 24 set. 2020.

MERRILD, H.; CHRISTENSEN, T. H. Recycling of wood for particle board production: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management and Research*, v. 27, n. 8, p. 781–788, nov. 2009.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de residues sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: O caso do município de Garibaldi, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, Rio Grande do Sul., v. 22, n. 5, p. 863–875, 2017.

MOEIZI B. et al. Investigation of the Quality and Pollution Level of Waste Water Obtained from Recycling of MDF Wastes. *Journal of Environmental Science and Technology* v. 21, n. 9, nov. 2019. Disponível em: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=765728>. Acesso em: 17 maio 2020.

MORRIS, J. Recycle, Bury, or Burn Wood Waste Biomass?: LCA Answer Depends on Carbon Accounting, Emissions Controls, Displaced Fuels, and Impact Costs. *Journal of Industrial Ecology*. v. 21, n. 4, p. 844–856, 2017.

MOTTA, W. H.; ISSBERNER, L. Rumo à economia circular : qual o papel da ACV?. p. 92–97. *Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida*. In: VI-Congresso sobre Gestão do Ciclo de Vida. Brasília, DF: Ibict, 2018.

MUNIR, M. T. et al. Wood Based Bedding Material in Animal Production: A Minireview. *Appro Poult Dairy & Vet Sci* , v. 6, n. 4, p. APDV.000644.2019, 2019.

MUNIZ, V. C. F. Análise da fundamentação da avaliação do ciclo de vida consequencial. p. 87, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

MURPHY, F.; DEVLIN, G.; MCDONNELL, K. Greenhouse gas and energy based life cycle analysis of products from the Irish wood processing industry, *Journal of Cleaner Production*, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.001>. Acesso em: 30 set. 2020.

MUSTAFA, B. G. et al. *Toxic Emissions from Processed Wood in Cone Calorimeter Tests.* In: 15th International Conference on Fire Science and Engineering Interflam 2019, p. 11, jul. 2019.

MYLLYMAA, T., DAHLBO, H. Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa, 2012.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.* Brasília, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso: 25 out. 2020.

NETO, L. A. S. et al. Avaliação dos métodos para aplicação da análise do inventário do ciclo de vida na indústria moveleira. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 126-152, dez. 2020. ISSN 2238-8753. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/10237>. Acesso em: 01 set. 2021.

NUNES, B. R. S.; SERRA V., J. C. Quantificação de resíduos de madeira provenientes de empresas moveleiras de pequeno porte e alternativas de aproveitamento. *Revista Ciência da Madeira - RCM*, v. 10, n. 3, p. 189–196, ago. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/14275/11127> Acesso em: 29 jun. 2020.

PA, A. et al. Environmental footprints of British Columbia wood pellets from a simplified life cycle analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment,* 17 (2). pp. 220-231. ISSN 0948-3349. Disponível em: <https://resolver.caltech.edu/CaltechAUTHORS:20120228-085937146>. Acesso em: 01 set 2020.

PEREIRA, A. F. Ecodesign na indústria moveleira. Revista da madeira - edição n°77. 2003.

PIEKARSKI, C. M. et al. *Avaliação Do Ciclo De Vida Do Painel De Madeira Mdf Utilizando O Software Umberto*. In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, p. 1–14, Rio Grande do Sul: Enegep, out. 2012.

_____. Proposta de melhoria do desempenho ambiental associado ao ciclo de vida da produção do painel de madeira mdf. 147 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

PINTO, L. S. D.; MATOS, C. C.; SILVA, M. L. F. da. Resíduos sólidos de madeira: aplicabilidade de resíduo de serragem de MDF no design de ambientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGNE p. 4253–4262, 2016, Belo Horizonte: P&D, out. 2016

PRé Sustainability. SIMAPRO. website: https://simapro.com/. Acessado em: Março 2021.

PUETTMANN, M. E.; WILSON, J. B. Life-cycle analysis of wood products: Cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. *Wood and Fiber Science*. v. 37, n. 2001, p. 18–29, 2005.

RAGOSSNIG, A. M., JOVOVIC, A. Waste management life cycle: Sensitisation - Implementation/integration - transition - Optimisation. *Waste Management and Research.* v. 34, n. 9, p. 813–815, 2016.

REICHERT, G. A., MENDES, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. v. 19, n. 3, p. 301–313, 2014.

REVEILLEAU, A. C. A. D. A. Política nacional de resíduos sólidos: aspectos da responsabilidade dos geradores na cadeia do ciclo de vida do produto. *Revista Internacional de Direito e Cidadania*. n. 10, jun. 2011, p. 163–174, 2011. Disponível em: <https://silo.tips/download/politica-nacional-de-resodios-solidos-aspectos-da-responsabilidade-dos-geradores>. Acesso em: 24 abr. 2020.

RIBEIRO, A. C. P. et al. *Avaliação do Ciclo de Vida do MDF*. 2016. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2192262/mod_resource/content/1/Aula 10 - Avaliação do ciclo de vida do produto.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

RIBEIRO, F. D. M.; KRUGLIANSKAS, I. *A Economia Circular no contexto europeu*: Conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. Engema, p. 1–16, 2017.

RIVELA, B. et al. Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture. *Science of the Total Environment*, v. 357, n. 1–3, p. 1–11, 2006.

SALLES, A. C. Emissões de Gases do Efeito Estufa dos Dormentes de Ferrovia de Madeira Natural e de Madeira Plástica no Brasil e na Alemanha com Base nos seus Ciclos de Vida. 201 p. 2009. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Ana_Claudia_Nioac_de_Salles.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2021.

SANDÉN, B. A.; KARLSTRÖM, M. Positive and negative feedback in consequential life-cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. v. 15, n. 15, p. 1469–1481, 2007.

SANTOS, T. C. R. D. M. M. et al. Ecoeficiência na indústria moveleira: um olhar voltado para a sustentabilidade. In: XIX ENGEMA. São Paulo, dez. 2017. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/19/anais/arquivos/504.pdf>. Acesso em 6 abr. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria De Desenvolvimento Econômico. *Guia do investidor*. [S.l: s.n.], São Paulo, 2020.

SEBRAE. Normas técnicas na cadeia produtiva do setor moveleiro de pequenos negócios. [S.l: s.n.]. 2014. Disponível em: https://respostas.sebrae.com.br/boletim-normas-tecnicas-na-cadeia-produtiva-do-setor-moveleiro-de-pequenos-negocios/

SEHNEM, S.; PEREIRA, S. C. F. Rumo à Economia Circular: Sinergia Existente entre as Definições Conceituais Correlatas e Apropriação para a Literatura Brasileira. *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa*, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 35-62, jan. 2019. ISSN 1677-7387. Disponível em: <http://www.periodicosibepes.org.br/index.php/recadm/article/view/2581>. Acesso em: 01 set. 2021.

SFEIR, T. D. A., SIMETTI, R., SILVA, D. A. Avaliação de Ciclo de Vida da Produção de Pellets de Madeira – Aplicação em Indústria Brasileira. XXIII Jornadas Jóvenesn. August. p. 22, Argentina, 2015.

SILVA, D. A. L. et al. *Avaliação do Ciclo de Vida de Roupeiro Composto por Material Aglomerado (MDP)*. In: 4TH INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, n. 2007, p. 1–10, 2013.

SILVA, V., SOUZA A. Potencial de aproveitamento de cinzas de madeira (mdf) no processo industrial moveleiro na produção de composto orgânico. In: SIMPÓS- V SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO. *Anais do V Seminário de Pós-Graduação.* v. 5. Uberaba, 2018.

SOTTORIVA, P. R. da S. Análise do ciclo de vida dos resíduos recicláveis e perigosos de origem domiciliar. *Revista do Desenvolvimento Regional*, v.6, n.3,p.62–79,2011. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6547638>. Acesso em: 12 dez. 2020.

SOUZA, C. A. et al. Contribuições para a adaptação de inventários de ciclo de vida de madeira serrada utilizada em estrutura de telhados no estado de São Paulo. LALCA - *Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, p. 90, 2017a.

SOUZA, D. M. et al. Resíduos de mdf:diagnóstico ambiental e caracterização para uso como carga em matriz polimérica. p. 1672–1681, 2017b.

SPEROTTO, F. Q. Setor moveleiro brasileiro e gaúcho: características, configuração e perspectiva. *Indicadores Econômicos FEE*, v. 45, n. 4, p. 43–60, 2018. .

STROTHMAN, P.; SONNEMANN, G. Circular economy, resource efficiency, life cycle innovation: same objectives, same impacts?, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 22 No. 8, pp. 1327-1328. 2017.

SUL, G. do E. R. G. do. *Resolução CONSEMA nº 370*. Dispõe sobre o regramento para o uso de derivados de madeira, em especial MDF e MDP (Medium Density Fiberboard e Médium Density Particleboard), não contaminados, como combustível alternativo/principal. Rio Grande do Sul, 2017.

SWANBOROUGH, J. *6 coisas que aprendemos sobre o meio ambiente em Davos 2019*. In: WORLD ECONOMIC FORUM, jan. 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/the-environment-was-high-on-the-agenda-in-davos-but-what-actually-happened/>. Acesso em: 14 dez. 2020.

TATÀNO, F. et al. *Resíduos de madeira de móveis*: caracterização experimental de propriedades e testes de queima. ScienceDirect, p. 2656–2665, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.012.

TOMELERI, J. O. P. *Consequências do uso de madeira tratada com CCA e de painéis de MDF como combustível em processos de combustão.* 2019. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11170.>

ULIANA, L. R.; NOLASCO, A. M. *Diagnóstico da Geração de Resíduos na Produção Industrial de Móveis como Subsídio para a Gestão Empresarial.* In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. São Paulo, mai. 2009.

VENZKE, S. C. *A situação do ecodesing em empresas moveleiras da região de Bento Gonçalves, RS*: análise da postura e das práticas ambientais. 125 p. 2002. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

WEIDEMA, B. P. et al. *Overview and methodology: Data quality guideline for the Ecoinvent database version 3*. Ecoinvent Report , v.3. St. Gallen: The Ecoinvent Centre. pp. 70-79. 2013

WIECHETECK, M. *Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos*. Curitiba: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, 2009. 40 p.

WOLF, M.-A. et al. *JRC Reference Report on the International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. Disponível em: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/JRC-Reference-Report-ILCD-Handbook-Towards-more-sustainable-production-and-consumption-for-a-resource-efficient-Europe.pdf>. Acesso em 11 set. 2020

XARÁ, S. et al. *A aplicação da análise do ciclo de vida no planeamento da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos*. In: INTERNATIONAL CHEMICAL ENGINEERING CONFERENCE, 8th - CHEMPOR'2001, jul. 2015, p. 1467–1474, 2001. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.14/6966>. Acesso: 20 abr. 2020.

ANEXO

Anexo 1

CTS Centro de Tecnologia SENAI - RJ ambiental

Sistema FIRJAN SENAI-RJ

1. DADOS CADASTRAIS

RAZÃO SOCIAL:	
CNPJ:	
DATA:	
ENDEREÇO:	
CONTATO REPRESENTANTE	
Nome:	
E-mail:	
Cargo:	
Telefone:	

Nº DE FUNCIONÁRIOS		**ÁREA (m^2)**		**Água pública = sanitário / banheiro Poço = beber**
Na Administração		Produção		
Na Produção		Total		

IMÓVEIS	a) ÁREA CONSTRUÍDA PARA ADMINISTRAÇÃO								m^2
	b) ÁREA CONSTRUÍDA PARA PRODUÇÃO								m^2
	c) ÁREA DO TERRENO NÃO EDIFICADO								m^2
	d) ÁREA TOTAL								m^2
CONSUMO DE ÁGUA	Indicar vazão de água consumida, segundo fonte de abastecimento (m^3/dia)								
	a) SISTEMA PARTICULAR OU MUNICIPAL (rede)								m^3/dia
	b) ÁGUA SUPERFICIAL (rios, lagos, etc.)								m^3/dia
	c) ÁGUA SUBTERRÂNEA (poço)								m^3/dia
	d) OUTRA FONTE:								m^3/dia
	e) TOTAL								m^3/dia
	A EMPRESA POSSUI OUTORGA OU CADASTRO DO POÇO?			SIM			NÃO		
USO DE ÁGUA	Estimar vazão média de água consumida, segundo utilização (m^3/dia)								
	a) ÁGUA DE PROCESSO								m^3/dia
	b) INCORPORAÇÃO AO PRODUTO								m^3/dia
	c) ÁGUA DE REPOSIÇÃO EM CIRCUITO FECHADO DE RESFRIAMENTO								m^3/dia
	d) ÁGUA DE CIRCUITO ABERTO DE RESFRIAMENTO								m^3/dia
	e) ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE CALDEIRA								m^3/dia
	f) ÁGUA DE USO SANITÁRIO								m^3/dia
	g) OUTRO(S) USO(S):.								m^3/dia
	h) TOTAL								m^3/dia
	i) Nº DE PESSOAS SERVIDAS NO ITEM "f"								pessoas

CTS Centro de Tecnologia SENAI - RJ ambiental

Sistema FIRJAN SENAI-RJ

2. ASPECTOS GERAIS

2.1 Descritivo

2.2 Conformidade Legal

Multas / Notificações? ☐ Sim. ☐ Não.

Obs.

Ações civis públicas?	☐ Sim.	☐ Não.
Inquéritos civis ou criminais relativos ao meio ambiente?	☐ Sim	☐ Não
Existência de legislação e/ou restrições legais locais?	☐ Sim.	☐ Não.

Obs.

2.3 Resíduos

A empresa possui local para armazenamento de resíduos gerados?	☐ Sim.	☐ Não.
A empresa segrega resíduos perigosos dos resíduos comuns?	☐ Sim.	☐ Não.

RESÍDUOS GERADOS			
RESÍDUO	VOLUME MENSALMENTE	FORMA DE ARMAZENAMENTO	DESTINO

2.4 Efluentes Líquidos

Há lançamentos de efluentes de esgoto sanitário?	☐ Sim.	☐ Não.
Qual a forma de tratamento: ☐ Fossa ☐ Fossa+Filtro ☐ ETE x nenhum ☐ outros_____		
A empresa é atendida por sistema publico de esgoto?	☐ Sim.	☐ Não.
Há lançamentos de efluentes do processo?	☐ Sim.	☐ Não.
Os efluentes do processo são tratados antes do lançamento?		
Há monitoramento?	☐ Sim.	☐ Não.

Quais são as fontes de geração de efluente?

CTS Centro de Tecnologia SENAI - RJ ambiental

Sistema FIRJAN SENAI-RJ

2.5 Emissões Atmosféricas

Há fontes de emissões pontuais?		Sim		Não
Há sistema de tratamento para emissões?		Sim		Não
Há monitoramento?		Sim		Não

Quais são as fontes de geração?

2.6 Ruído Ambiental

Há fontes de ruído ambiental?		Sim		Não
São feitas medições ou cálculos de níveis de ruído ambiental?		Sim	x	Não

Quais são as fontes de geração?

2.7 Produtos Perigosos

A empresa manipula e armazena líquidos combustíveis e inflamáveis?		Sim		Não
A empresa possui local específico para seu armazenamento?		Sim		Não
A empresa manipula e armazena produtos perigosos?		Sim		Não
A empresa possui local específico para seu armazenamento?		Sim		Não

2.8 Lista de matérias primas, insumos e produtos perigosos e inflamáveis

Matéria prima, insumo ou produto	Volume armazenado	Volume usado mensalmente	Forma de armazenamento