

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DAS ROTAS TECNOLÓGICAS DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE MADEIRAS GERADOS PELAS INDÚSTRIAS MOVELEIRAS DE PETRÓPOLIS, BRASIL

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL ROUTES FOR THE DISPOSAL OF WOOD WASTE GENERATED BY THE FURNITURE INDUSTRIES OF PETRÓPOLIS, BRAZIL

Isabela Simões^a, Ana Ghislane Pereira van Elk^a, Joao Alberto Ferreira^a

^a Universidade do Estado do Rio de Janeiro

simoes.izabela@gmail.com, anaqhislane@eng.uerj.br, joaf.uerj@gmail.com

Submissão: 10 de dezembro de 2021

Aceitação: 14 de dezembro de 2021

Abstract

The wood value chain has as its main source a renewable raw material, although it still generates environmental impacts arising from the manufacture of products and inadequate waste management. The use of wood can reach less than 50% throughout its life cycle. The objective of this work was to evaluate the environmental impacts of different destinations of MDF waste generated in 11 industries in the furniture industry in Petropolis/RJ. Three destinations practiced by the industries were evaluated: landfill; burn; and sending to aviary bed. The alternative recycling destination route for the production of MDP was included. The methodology used was based on ISO 14040 and 14044 standards, and the modeling of life cycle impacts used the SimaPro® software. Ten categories of environmental impacts associated with the treatment of 1 kg of wood waste were evaluated. The destination with the lowest environmental impacts was recycling. For the alternatives practiced by the industries, the destination for burning presented most of the avoided impacts, while sending to landfill was the option with the higher environmental impacts. The scale of environmental impacts identified in this study is in line with the decision hierarchy indicated in the National Solid Waste Policy, as well as the circular economy concepts, which aim to prioritize recycling over “end-of-pipe” treatment options such as waste landfill.

Key words: Furniture industry; Life cycle assessment; Wood waste disposal; Petropolis (RJ); Brazil.

Resumo

A cadeia de valor da madeira tem como fonte principal uma matéria-prima renovável, apesar disso ainda gera impactos ambientais decorrentes da fabricação dos produtos e do manejo inadequado dos resíduos. O aproveitamento da madeira pode chegar a menos de 50% ao longo do seu ciclo de vida. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar os impactos ambientais de diferentes destinações de resíduos de MDF (*Medium Density Fiberboard*) gerados em 11 indústrias do polo moveleiro de Petrópolis/RJ. Foram avaliadas três destinações praticadas pelas indústrias: aterro sanitário; queima; e envio para granja para utilização em cama de aviários. Foi incluída a rota alternativa de destinações para reciclagem para a produção de MDP (*Medium Density Particleboard*). A metodologia utilizada apoiou-se nas normas ISO 14040 e 14044 e a modelagem dos impactos de ciclo de vida utilizou o software SimaPro®. Foram avaliadas dez categorias de impactos ambientais associadas ao tratamento de 1 kg de resíduos de madeira. A destinação que apresentou menores impactos ambientais foi a de reciclagem. Para as alternativas praticadas pelas indústrias a destinação para queima apresentou a maior parte dos impactos evitados, enquanto o envio para aterro sanitário foi a opção com mais impactos ambientais.

A escala de impactos ambientais identificados neste estudo vai em linha com a hierarquia de decisão apontada na Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil e com os conceitos de economia circular, que visam priorizar a reciclagem em detrimento de opções de tratamento de “fim-de-tubo” como o aterro de resíduos.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Industria Moveleira; Resíduos de Madeira; Petrópolis (RJ).

INTRODUÇÃO

O planeta reutiliza menos de 10% das 92.8 bilhões de toneladas anuais de minerais, combustíveis fósseis, metais e biomassa usados todos os anos em processos produtivos (Circle economy, 2019). A manutenção do consumo de recursos naturais dentro de limites ambientalmente sustentáveis exige uma otimização dos estoques e fluxos de materiais, energia e resíduos na busca do uso eficiente de todos os recursos (Ragossnig e Jovovic, 2016).

A economia circular propõe que o descarte de materiais deixe de ser apenas uma gestão de resíduos para integrar um processo de design de produtos e sistemas. A ideia é eliminar o conceito de lixo e visualizar um fluxo cíclico para cada material, permitindo que os produtos, componentes e materiais obtenham o máximo de valor e utilidade (Sehnm e Farias, 2019).

No Brasil, a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (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 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das metodologias que apoia e identifica alternativas para o aproveitamento dos resíduos, avaliando os impactos ambientais do ciclo de vida do material, inclusive com outros setores da economia (Hauschild *et al.*, 2017; Filho *et al.*, 2013). Dentro dessa perspectiva o uso de madeira reciclada como matéria-prima, em contraponto ao material virgem, apresenta-se como uma alternativa sustentável, promovendo a eficiência do uso de recursos e minimizando os potenciais impactos globais (Iritani *et al.*, 2015; Cordella e Hidalgo, 2016)

O setor moveleiro possui tradição no Estado do Rio de Janeiro (Brasil) na produção de móveis de madeira, onde o polo de móveis no município de

Petrópolis se destaca, concentrando cerca de 70 indústrias de micro e pequeno porte, que geram 1100 empregos diretos e indiretos, (FIRJAN, 2016).

Os produtos à base de madeira possuem efeitos positivos na mitigação das mudanças climáticas, por substituir produtos produzidos de materiais convencionais que gastam muita energia (Geng *et al.*, 2016) e reduzir os impactos ambientais referentes as emissões de GEE com a seleção de matérias primas menos danosas e energia proveniente de recursos renováveis e biogênicos (Linkosalmi *et al.*, 2016).

Embora a madeira seja considerada um recurso renovável, seu aproveitamento é importante, pois as florestas devem manter sua biodiversidade, produtividade e regeneração e seu potencial para cumprir as funções ecológicas, econômicas e sociais relevantes, em todos os âmbitos, local, nacional e global (MCPFE, 1993; 2002). A baixa eficiência do uso da matéria-prima pode elevar o custo do produto e uma maior geração de resíduos sólidos, colocando o Brasil como o segundo maior país gerador de resíduos de madeira do mundo, perdendo apenas para China (Faofast, 2021).

Para Xiong (2020), o desenvolvimento sustentável da indústria moveleira chinesa ainda 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.

Estudos relacionados ao ciclo de vida da madeira mostram que no Brasil há grande geração de resíduos de madeira em função da baixa taxa de sua conversão em tora para madeira serrada, sendo os resíduos queimados ou deixados para decomposição, indicando que existe falta de informação sobre o potencial de reutilização daqueles que manipulam ou geram resíduos de madeira (Souza *et al.*, 2017). Dentro dessa perspectiva, é importante uma análise sobre o gerenciamento dos resíduos de madeira do setor moveleiro através do seu ciclo de vida com a possibilidade de explicitar as possíveis rotas

tecnológicas para a minimização dos impactos ambientais relacionados. E é dentro desse contexto que se insere o presente trabalho, pois seu objetivo é avaliar os impactos ambientais de diferentes destinações de resíduos de MDF (Medium Density Fiberboard) gerados em 11 indústrias do polo moveleiro de Petrópolis/RJ.

MATERIAIS E MÉTODOS

A ACV foi realizada nos dados resultantes de um levantamento realizado entre 2011 e 2012, pela Federação das Indústrias do Rio de Janeiro – FIRJAN, nos processos produtivos de 11 micro e pequenas empresas localizadas no Polo Moveleiro de Petrópolis/RJ. Através de visitas a área de produção e entrevistas com responsáveis pelas empresas foram obtidos dados de consumo de matéria-prima, energia elétrica, geração de resíduos de madeira MDF (placa de fibra de média densidade) e sua destinação final.

A metodologia adotada foi baseada nas normas ISO 14040 (ABNT, 2009) e ISO 14044 (ABNT, 2009) de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), seguindo as etapas de definição do objetivo e escopo, inventário de ciclo de vida, avaliação dos impactos ambientais e interpretação dos resultados.

O objetivo definido para esta ACV é comparar os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida dos tratamentos dados aos resíduos de madeira. Das quatro destinações consideradas no estudo, três são usualmente praticadas pelas indústrias como, aterro sanitário; queima para produção calor e vapor; envio para granja como cama de aviário; e uma (01) rota alternativa para a reciclagem na produção de MDP (painel de aglomerado constituído de partículas de madeira aglutinadas).

O escopo compreendeu as atividades desde a aquisição das placas de MDF até a disposição final dos resíduos gerados no processo produtivo. Para isso, foram considerados os tipos de resíduos gerados em cada etapa da produção do móvel, o transporte, o armazenamento e o tratamento.

Existem dois tipos de abordagem de ciclo de vida: atribucional (“*cut-off*”) ou consequencial (expansão do sistema). No caso da abordagem atribucional a carga ambiental de um determinado coproduto, resíduo a ser reciclado, ou ainda reciclagem interna não é considerada para o sistema de produto que irá reutilizá-lo tendo impacto zero. No

caso da abordagem consequencial são avaliados os sistemas de produto afetados por um determinado coproduto gerado no processo, ou seja, avalia as substituições empregadas em cada uma das etapas do sistema, podendo ter um impacto evitado pela reutilização de um coproduto ou a reciclagem de um resíduo.

A modelagem utilizada neste estudo foi a consequencial, uma vez que se busca nesta ACV comparar cenários distintos de produção, avaliando os impactos dos sistemas de produto que seriam evitados quando enviados para diferentes tratamentos dos resíduos. Associada a esta modelagem utilizou-se também a de expansão do sistema de ACV, uma vez que foram estudadas diferentes rotas tecnológicas de destinação de resíduos e comparados os impactos ambientais gerados por cada opção e os impactos ambientais evitados com o aproveitamento dos resíduos de madeira em outras aplicações.

No cenário da granja o produto substituto que será evitado é a maravalha que é produzida em serralherias e enviadas para granja. Há um impacto evitado na produção de maravalha, independente da origem de suas matérias-primas (resíduos ou placas), uma vez que necessitam passar por diversas etapas de processamento tais como esterilização em alta temperatura, secagem e ensacamento. Para a rota de queima em lavanderias e fornos o produto substituto é a lenha. Por fim na reciclagem, o produto substituto que está sendo considerado na expansão são as placas virgem de MDP (*medium density particleboard*).

As fronteiras do sistema estão ilustradas na Figura 1. Os dados primários foram coletados, tratados e inseridos no software SimaPro® 7.2 e para os dados secundários utilizou-se as bases de dados da Ecoinvent. A função do sistema de produto foi o tratamento de resíduos de madeira, considerando as fronteiras do sistema como *cradle-to-gate* (do berço ao portão) e o produto foi o resíduo de madeira.

Na Figura 1, estão delimitadas as Fronteiras do Sistema através da linha pontilhada em preto. Esta delimitação deu-se em função da obtenção e confiabilidade dos dados durante as visitas nas fábricas de móveis. O *cradle 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

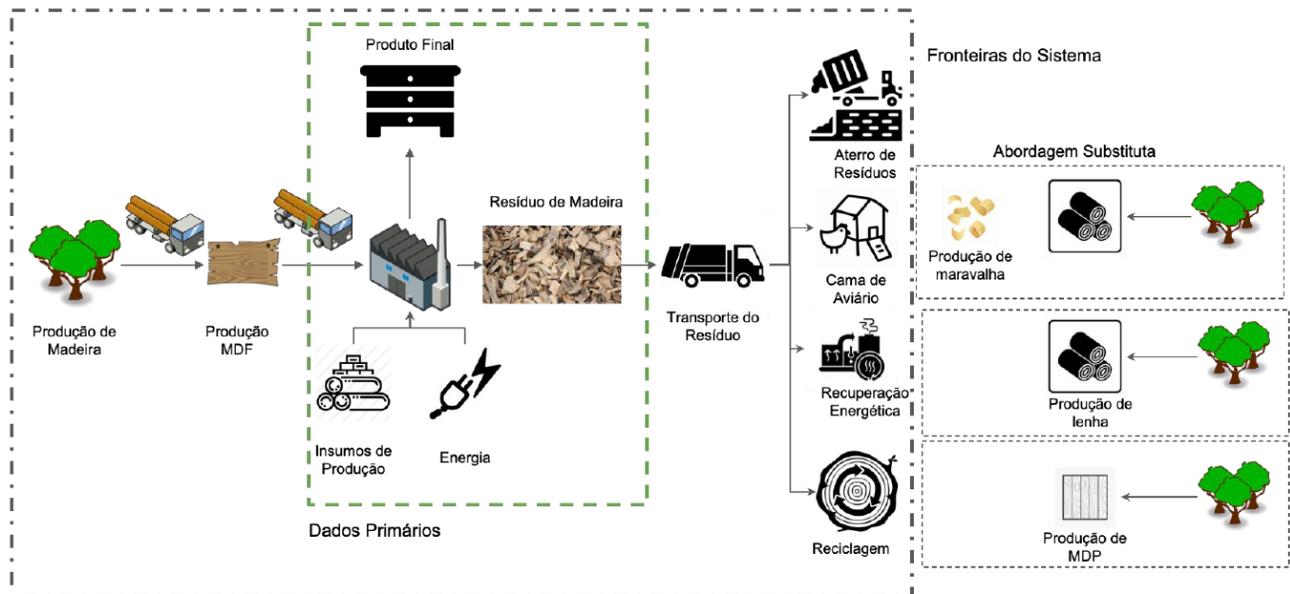
reciclagem ou o tratamento como resíduo sólido. Já o *cradle to gate* busca avaliar os processos até a fase de produção do produto, sem contar as fases de transporte/distribuição, uso e descarte do produto.

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 1 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.

Considerando que os resíduos de madeira gerados são provenientes da produção de móveis em MDF, para este estudo foi utilizada a placa de MDF 15mm 2,75 x 1.83m (m³) e a densidade média do MDF de 725 kg/m³. Para o fluxo de referência foi adotado unidade de medida o tratamento de 1 kg de resíduos de madeira. Para o consumo de energia considerou-se a média 10,72 kWh para a fabricação de uma cômoda (Piekarski *et al.*, 2012), uma vez que este móvel de dormitório é comum a todas as indústrias estudadas.

Figura 1. Fronteiras do Sistema



Fonte: Os autores, 2021

Apesar desta pesquisa ter sido realizada no Polo Moveleiro de Petrópolis, a destinação dos resíduos gerados por estas 11 empresas não são iguais. Devido à pulverização dos locais de destinações adotou-se como premissa o envio dos resíduos a destinos localizados a distâncias de 10 km em relação ao local de geração, com exceção da destinação ao Aterro Sanitário de Petrópolis em que se considerou a distância exata. A Tabela 1 apresenta as empresas de “A” a “K” e as rotas tecnológicas com as respectivas distâncias das empresas estudadas. Para calcular o impacto ambiental decorrente do transporte é necessário expressar a unidade no formato tonelada x

quilômetro (t.km). A unidade t.km foi utilizada por ser uma unidade usualmente empregada para quantificar transporte de resíduos ou demais materiais. Para isso considerou-se a quantidade de resíduo e a distância apresentada na Tabela 1.

O inventário de ciclo de vida (ICV) das destinações dos resíduos de madeira considerou, além das entradas e saídas, os produtos evitados que poderiam ser gerados a partir de cada rota tecnológica como a maravalha destinada às granjas e a lenha para queima em fornos (Tabela 2). O ICV foi elaborado a partir de um questionário de levantamento de informações ambientais junto às empresas. Este questionário obteve informações de

utilização das principais matérias-primas e destinação de resíduos. Os itens que aparecem como entradas são as matérias primas utilizadas para a fabricação dos móveis, enquanto as saídas são os produtos, coprodutos ou resíduos. Os coprodutos listados neste ICV são aqueles que serão utilizados para a abordagem consequencial,

ou seja, o produto evitado com as diferentes rotas tecnológicas. Todos em uma proporção de 1:1, representando que um quilo de resíduo de madeira evita a produção de um quilo de maravalha ou lenha. Já no caso da reciclagem, para cada 1 kg de resíduo de madeira considerou-se que é possível fabricar 0.8 kg de MDP (Kim e Song, 2014).

Tabela 1. Distância média estabelecida para as rotas tecnológicas

Rotas Tecnológicas	Empresas											Média	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
Granja (km)	10	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	10,00
Aterro Sanitário de Petrópolis (km)	43,3	38,4	37,9	44,8	36,9	31,1	47,2	26,4	31,1	49,1	37,9		38,5
Lavanderias (km)	10	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	10,00

Fonte: Os autores, 2021

Tabela 2. Inventário de ciclo de vida das rotas tecnológicas empregadas

Inventário de Ciclo de Vida	Aterro Sanitário	Granja	Queima	Reciclagem	Unidade
Entradas					
MDF	2,63E-03	2,63E-03	2,63E-03	2,63E-03	m ³
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	t.km
Saídas Produtos e Coprodutos					
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: Os autores, 2021

Para avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida (AICV), considerou-se o método CML 2002 por utilizar a caracterização de impactos do tipo *midpoint*, por ter uma abordagem global e por conseguir abranger um maior número de categorias de impacto em relação a outras metodologias (Mendes, 2013; Wolf *et al.*, 2012).

Foram quantificadas as categorias de impactos quanto a: esgotamento de recursos minerais, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre e oxidação fotoquímica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das modelagens foram expressos em termos percentuais e obtidos para cada uma das rotas, além da modelagem de comparação dos impactos ambientais entre as rotas tecnológicas e considerando os vários materiais utilizados.

Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos

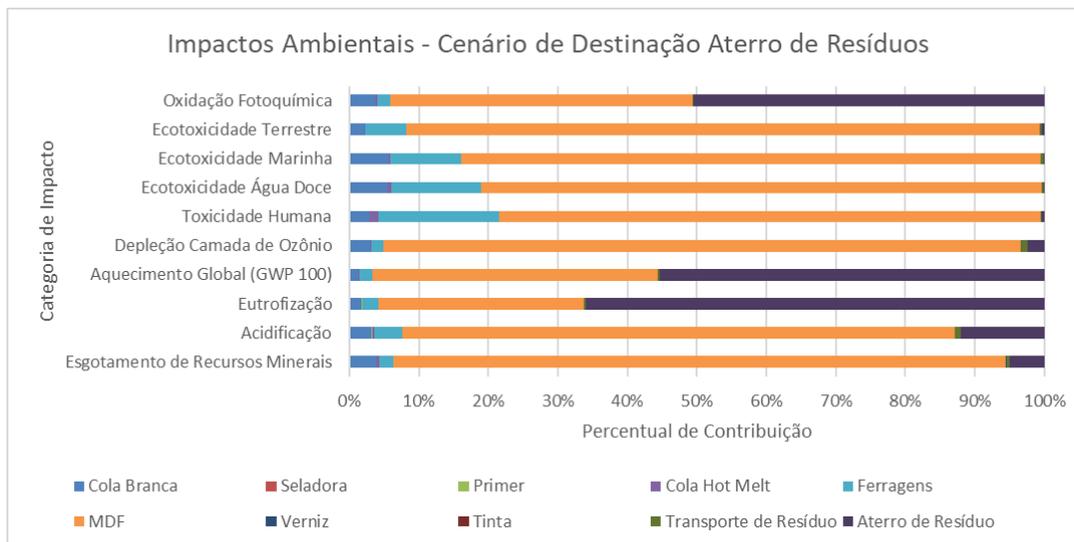
A Figura 2 apresenta a contribuição dos itens do ICV para cada uma das categorias de impacto avaliadas nesta rota tecnológica. Dentre os itens que mais contribuem para os impactos ambientais listados pela AICV a placa de MDF apresenta um papel relevante, tendo mais de 50% de participação

em uma perspectiva de ciclo de vida. Já para os impactos ambientais provenientes da disposição do resíduo de madeira em aterro os 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 2). Estas categorias também foram consideradas significativas para Henríquez (2016) e Mersoni e Reichert (2017) ao avaliarem diferentes cenários de disposição final.

O grande precursor 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.

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 2. AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para aterro sanitário



Fonte: Os autores, 2021

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 boa parte dos resíduos deixarão de ir para aterros caso haja a segregação correta dos resíduos passíveis de reciclagem e de compostagem, aumentando assim a vida útil do aterro, reduzindo as emissões 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 e Mendes, 2014; Sottoriva, 2011).

Granja

A alternativa de destinação dos resíduos para granja é adotada por parte das indústrias participantes do estudo, sendo uma alternativa substituta à maravalha produzida pelas serrarias e

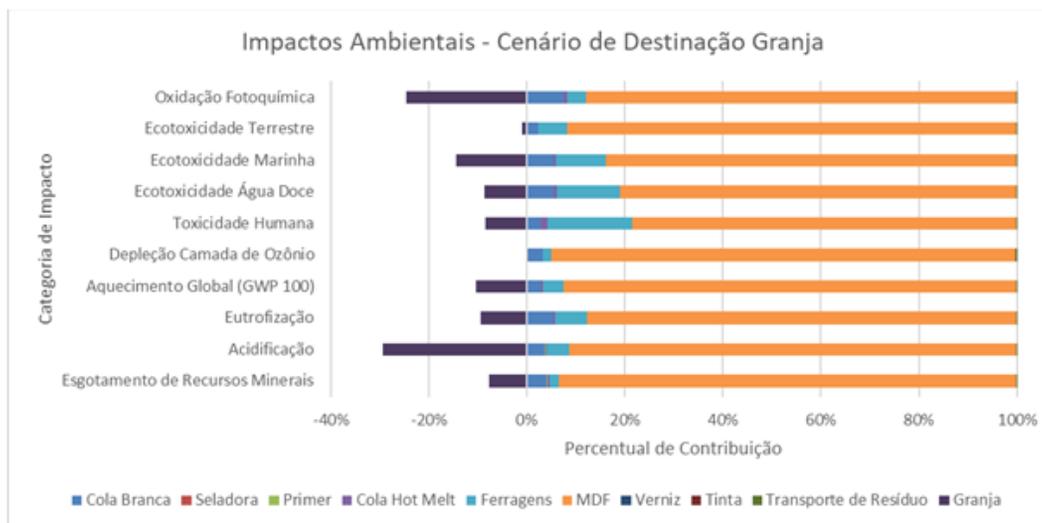
resultando em impactos negativos no ciclo de vida, como pode ser observado na Figura 3.

Esta 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, isto por estarem relacionados aos impactos provenientes do consumo de energia para a produção da maravalha.

A fabricação da placa de MDF apresentou os maiores impactos ambientais listados pela AICV, enquanto a destinação para granja apresentou impactos negativos para quase todas as categorias avaliadas com destaque para a oxidação fotoquímica e a acidificação (Figura 3).

Figura 3. AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para Granja



Fonte: Os autores, 2021

Os impactos evitados neste cenário são negativos por considerar o ciclo de vida relacionado à produção de maravalha, independente da origem de suas matérias-primas (resíduos ou placas virgens), em virtude deste processo produtivo envolver consumo energético para o seu beneficiamento.

Ao comparar os impactos ambientais da operação de três sistemas de manejo de dejetos (compostagem aeróbia, 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 à serragem, foi o

material que mais causou impacto nas categorias, ecotoxicidade marinha, ocupação de terras agrícolas e transformação de terra natural. A ecotoxicidade marinha foi também o resultado encontrado por Lima (2019) como uma das categorias mais impactantes, ao avaliar o ciclo de vida do processo de produção de frangos de corte.

Para Munir *et al.* (2019), o uso de material à base de madeira na produção animal pode ser incentivado devido às suas propriedades antimicrobianas, além de poder ser reciclado.

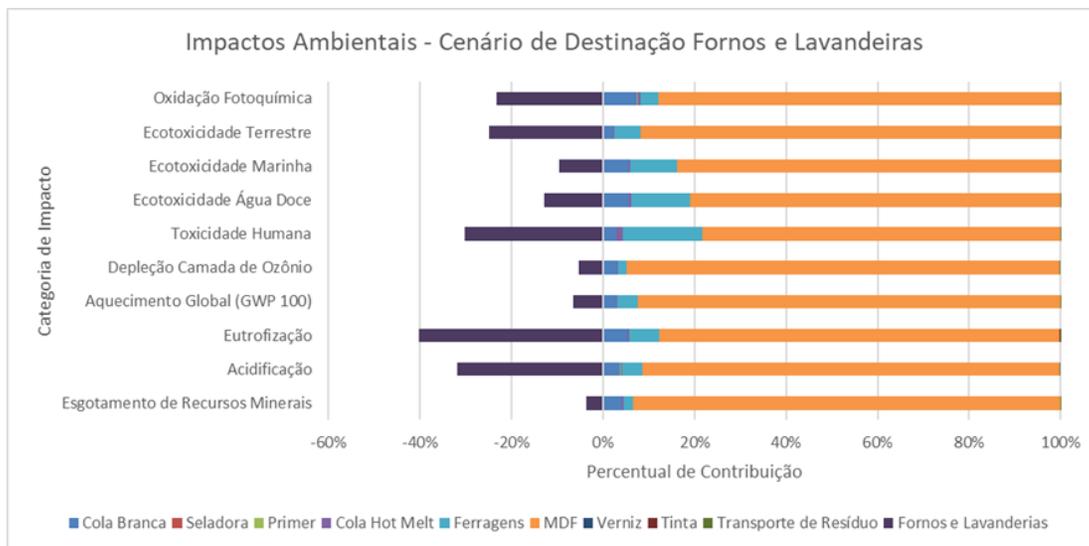
Forno e Lavanderia

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, já que o CO₂ 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.

Nesta rota o resíduo de madeira torna-se substituto à lenha queimada em fornos para a produção de energia, calor ou vapor. Esta substituição prevê uma redução de impactos, principalmente nas categorias de acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre e oxidação fotoquímica, conforme apresentado na Figura 4. Os impactos relacionados a eutrofização e a acidificação obtiveram resultados mais expressivos chegando próximo a 40% dos impactos evitados (Figura 3). Estes resultados estão associados ao processo de produção de MDF e a produção da madeira, principalmente na etapa da colheita e nos equipamentos utilizados.

As categorias, depleção da camada de ozônio, aquecimento global e esgotamento de recursos minerais apresentaram um menor percentual de impactos evitados, visto que a energia proveniente de biomassa não representa uma redução das emissões de CO₂eq, 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 4. AICV da Rota de destinação de resíduo de madeira para Fornos e Lavanderias



Fonte: Os autores, 2021

Durante o levantamento de informações não foi possível realizar o monitoramento de gases resultantes da queima do resíduo de produção. Assim, utilizou-se como referência dados

secundários da base do Ecoinvent sobre resíduos de madeira em geral. Esta premissa aumenta o nível de incerteza do resultado devido a não contabilização da emissão de componentes químicos presentes na

composição do MDF tais como resinas e colas.

Os receptores destes resíduos, identificados no diagnóstico ambiental, são pequenos comerciantes que possuem equipamentos, como fornos e pequenas caldeiras, sem um sistema de controle de queima ou do tratamento dos gases gerados. Este tipo de queima pode ser proibido 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 (Sul, 2017), autoriza a queima de resíduos de MDF e MDP sob determinadas condições como a queima em temperatura acima de 750°C e que os resíduos não contenham produtos halogenados ou revestidos com PVC. O estado do Rio de Janeiro não possui legislação específica para queima desse material, estabelecendo apenas medidas de controle e monitoramento das emissões, através do Programa de Monitoramento de Fontes Fixas – PROMON Ar, para os empreendimentos classificados como de alto potencial poluidor, por força de restrições das licenças ambientais (INEA, 2021).

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.

Mesmo a queima de resíduos de madeira requer a destinação de cinzas geradas durante o processo. Alguns tipos de painéis de MDF podem conter elementos tóxicos como cromo, cobre e arsênio que aumentam o potencial de riscos ambientais associados à destinação dos resíduos das cinzas (Farage *et al.*, 2013). Por isso é importante identificar na cadeia produtiva, opções tecnológicas que diminuam a utilização destes componentes tóxicos aumentando a possibilidade de reutilizar os resíduos de MDF e das cinzas geradas pelo processo de queima, como por

exemplo para utilização como adubo orgânico (Silva, 2018).

Reciclagem

A reciclagem não é uma rota tecnológica praticada 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 foi possível observar que a reciclagem pode reduzir os impactos de ciclo de vida de todas as categorias avaliadas na modelagem, conforme mostra a Figura 5. Esta prática tem sido aplicada em países da Europa, possibilitando o reuso de resíduos de madeira para a fabricação de MDP que, dependendo do país, chega a 95% do total de resíduo reciclado (Garcia e Hora, 2017).

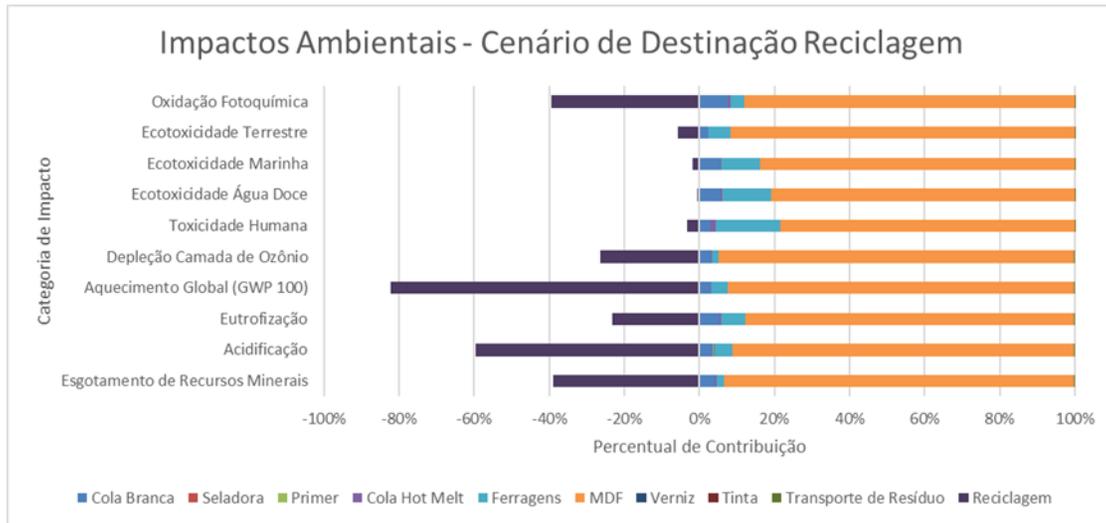
Dentre os impactos positivos de maior contribuição do ponto de vista percentual está a redução proporcional das emissões de gases de efeito estufa, representada pela categoria de aquecimento global (*global warming*), chegando a mais de 80% dos impactos evitados, conforme apresentado na Figura 5. Este 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 (água e energia).

Merrild e Christensen (2009) indicam que a destinação do resíduo de madeira para reciclagem e transformação em MDP pode evitar a emissão de 909 kg de CO₂e/t de resíduo, e que o potencial de redução de emissões pode chegar até 1,9 t de CO₂e/t de resíduo dependendo da maneira como é realizado o gerenciamento do resíduo, baseado nas simulações realizadas.

As categorias acidificação e oxidação fotoquímica, também obtiveram mais de 40% de seus impactos evitados, conforme Figura 5. Essa redução é decorrente da redução do processo de produção de energia para a fabricação de matéria-prima para a fabricação de MDP.

Neste caso entende-se que a energia evitada para a fabricação do MDP advém exclusivamente de fontes fósseis. No Brasil esse valor é reduzido porque a matriz energética é predominantemente de energias renováveis. 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.

Figura 5. Impactos Ambientais - Reciclagem



Fonte: Os autores, 2021

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). Resultados encontrados por Araujo (2012), ao avaliar o ciclo de vida de móveis de MDF e MDP, demonstram que a reciclagem das fibras é melhor alternativa para o fim de vida do móvel. O autor conclui, no entanto, que o maior problema para o fechamento do ciclo biológico do berço ao berço do MDF não é a presença do formaldeído, mas a variedade de revestimentos, aditivos que são materiais com longo tempo de degradação e difícil reciclagem ou reaproveitamento.

Considerando que apenas 9% da economia global é circular, que são reutilizados menos de 10% dos recursos usados nos processos produtivos (Circle Economy, 2019), com a escassez de matérias-primas atingindo os maiores níveis dos últimos 19 anos (CNI, 2021), a reciclagem torna-se uma alternativa relevante, tanto pela redução no esgotamento dos recursos naturais, como pelo fomento de uma cadeia produtiva com a criação de empregos diretos e indiretos (Reveilleau, 2011). A reciclagem também foi uma alternativa ambientalmente benéfica encontrada por Iritani (2015) ao substituir o MDP por resíduos de madeira como matéria-prima para a produção de aglomerado.

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).

Comparação das Rotas Tecnológicas

Para a quantificação dos impactos ambientais é necessário que as categorias sejam feitas com uma unidade de referência que permitam a comparação dos impactos de diferentes substâncias, como o CO₂eq da categoria de Aquecimento Global. A Tabela 3 apresenta os valores nominais para cada uma das categorias de impacto avaliadas dentre as 4 rotas de destinação de resíduo apresentadas neste trabalho.

Dentre as rotas de destinação estudadas a que apresentou o menor impacto foi a rota para a reciclagem para transformação em MDP, refletindo o resultado de estudos que compararam outros métodos de gerenciamento de resíduos de madeira (Hossain e Poon, 2018). Esta destinação apresentou o menor impacto para cinco das dez categorias estudadas: Esgotamento de Recursos Minerais,

Acidificação, Aquecimento Global, Depleção da Camada de Ozônio e Oxidação Fotoquímica. Já entre as dez categorias a que apresentou o menor impacto foi a eutrofização. A Figura 6 apresenta a comparabilidade dos impactos em termos percentuais, a contribuição da redução de impacto

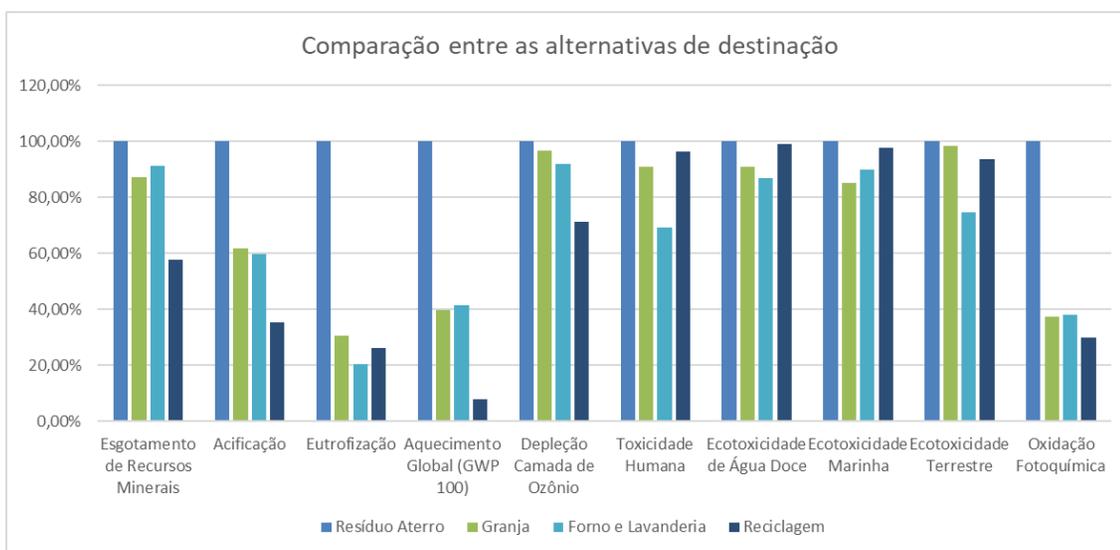
ambiental ao trocar uma rota tecnológica praticada pelas indústrias estudadas por uma alternativa menos impactante, como a reciclagem, no qual é possível reduzir impactos em mais de 90% como no caso de Aquecimento Global.

Tabela 3. Impactos ambientais das rotas tecnológicas avaliadas

Categoria de Impacto	Unidade	Resíduo Aterro	Granja	Forno e Lavanderia	Reciclagem
Esgotamento de Recursos					
Minerais	kg Sb eq	1,05 e ⁻⁰²	9,20 e ⁻⁰³	9,61 e ⁻⁰³	6,08 e ⁻⁰³
Acidificação	kg SO ₂ eq	3,80 e ⁻⁰³	2,35 e ⁻⁰³	2,27 e ⁻⁰³	1,34 e ⁻⁰³
Eutrofização	kg PO ₄ - eq	2,94 e ⁻⁰³	9,02 e ⁻⁰⁴	5,96 e ⁻⁰⁴	7,65 e ⁻⁰⁴
Aquecimento Global (GWP 100)					
Depleção Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	1,16 e ⁻⁰⁷	1,12 e ⁻⁰⁷	1,07 e ⁻⁰⁷	8,27 e ⁻⁰⁸
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	6,37 e ⁻⁰¹	5,79 e ⁻⁰¹	4,42 e ⁻⁰¹	6,13 e ⁻⁰¹
Ecotoxicidade de Água Doce	kg 1,4-DB eq	1,55 e ⁻⁰¹	1,41 e ⁻⁰¹	1,34 e ⁻⁰¹	1,53 e ⁻⁰¹
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DB eq	3,51 e ⁺⁰²	2,99 e ⁺⁰²	3,16 e ⁺⁰²	3,43 e ⁺⁰²
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	5,60 e ⁻⁰³	5,51 e ⁻⁰³	4,18 e ⁻⁰³	5,25 e ⁻⁰³
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄	6,20 e ⁻⁰⁴	2,31 e ⁻⁰⁴	2,35 e ⁻⁰⁴	1.85 e ⁻⁰⁴

Fonte: Os autores, 2021

Figura 6. Comparação de Impactos Ambientais entre Rotas Tecnológicas



Fonte: Os autores, 2021.

A necessidade de avaliar outros impactos ambientais é importante, pois a maior parte de estudos de ACV não considera 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 ocorrido neste estudo.

A reciclagem para a produção de MDP ainda

não é uma prática das indústrias estudadas, dependendo, portanto, de aquisição de maquinário ou de contato com empresas que tenham interesse na produção deste tipo de material. É importante destacar que, as rotas tecnológicas, a exceção do aterro de resíduos, apresentam impactos “negativos”, por essa razão são consideradas alternativas por evitarem um maior impacto através do seu aproveitamento (Kim e Song, 2014).

Já entre as rotas praticadas pelas indústrias estudadas a recuperação energética para queima dos resíduos é superior 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). 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.

Existem algumas oportunidades ambientais estudadas decorrente dos rejeitos gerados pós tratamento, como o aproveitamento de cinzas de madeira (MDF) na produção de composto orgânico, onde a mistura das cinzas da queima da madeira, do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes com a adição da ureia, colaboram para produção de um adubo orgânico rico em nutrientes (Silva, 2018). Outra oportunidade é a utilização dos resíduos de MDF como cobertura de aterro. O estudo de Lee *et al.* (2014) mostra que a utilização de camadas alternadas de solo e MDF podem reduzir ou eliminar a liberação de formaldeído para a atmosfera e ter uma redução de formaldeído de 70% a 99% no lixiviado, já que essa substância pode ser decomposta por microrganismos contidos no solo usado na camada de cobertura.

O melhor desempenho ambiental para categoria de impacto da Ecotoxicidade Marinha se deu na destinação para cama de aviário da granja, considerando que não foi avaliado o impacto após o uso da cama. Para Lima (2019), um dos fatores que mais influenciam a emissão de gases nas granjas de produção são os resíduos gerados da cama de aviário.

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), Pinto *et al.* (2016), que os impactos decorrentes da matéria-prima principal tem maior representatividade com relação aos impactos ambientais, reforçando a necessidade de práticas adequadas para o gerenciamento de resíduos gerados. Contudo, já há estudos que propõem melhorias 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 (RUF), 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). No entanto, Araujo (2012) ressalta que, um estudo mais detalhado, junto as agências certificadoras de materiais florestais, poderá avaliar a real necessidade da substituição ou redução da resina, em razão das emissões durante o seu uso serem mínimas.

Os resultados da ACV validam, através da quantificação de impactos, a hierarquia da gestão de resíduos que deve ser seguida, como apontada na PNRS, que sugere iniciar pela não geração, redução, aproveitamento e reciclagem (de materiais ou energética), sendo a disposição final do resíduos em aterro a última opção a ser seguida (Brasil, 2010; Reveilleau, 2011). Priorizar as ações recomendadas pela PNRS pode aumentar a sustentabilidade do ciclo de vida de um material (Dahlbo *et al.*, 2005). Outra oportunidade seria a inclusão do MDF na lista de produtos vinculados à logística reversa como uma alternativa para a recuperação e destinação do material (Araujo, 2012).

Ainda há dificuldades na interpretação e comparação dos resultados de outros estudos de ACV, por utilizarem abordagens heterogêneas para a definição da unidade funcional, limites do sistema e métricas de avaliação de impacto (Cordella e Hidalgo, 2016). Sob o ponto de vista da qualidade dos dados, a carência de um ICV com dados nacionais tem limitado o número de estudos de ACV voltados para o setor de resíduos (Laurent *et al.*, 2014), influenciando nas comparações dos resultados desta ACV com avaliação nacionais que contenham quantidade relevante de resultados de forma a permitir uma análise dos resultados desta pesquisa.

CONCLUSÕES

O levantamento realizado pelo diagnóstico ambiental nas 11 empresas do Polo Moveleiro de Petrópolis demonstrou que o processo de fabricação dos móveis possui uma geração de resíduos de madeira significativa, tendo uma média da quantidade dos resíduos gerados no processo de fabricação de móveis de 42% em relação à matéria-prima utilizada. 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.

Todas as rotas tecnológicas, à exceção do aterro de resíduos, apresentaram impactos evitados. Contudo, a reciclagem das placas/painéis de MDP foi a rota que apresentou menores impactos ambientais em 50% dos impactos avaliados.

Entre as alternativas praticadas pelas indústrias estudadas a recuperação energética dos resíduos de madeira, através da queima, apresentou a maior parte dos impactos evitados, tornando-se um substituto à lenha queimada em fornos para a produção de energia, tanto para a produção de calor ou vapor. Entretanto, ressalta-se a necessidade de realizar mais estudos de avaliação de ciclo de vida do processo de queima de MDF, com mais detalhes sobre os produtos resultantes.

Ao comparar as categorias de impactos entre as 4 rotas estudadas, a eutrofização apresentou o menor valor, obtendo o menor resultado para as destinações da queima, granja e reciclagem, sendo a rota de queima a de menor entre as 3 rotas investigadas. Já a ecotoxicidade (marinha e água doce) obteve os maiores impactos, decorrente principalmente do uso de substâncias químicas na produção de placas MDF.

A maior contribuição de impactos ambientais na indústria moveleira é decorrente da etapa de fabricação do MDF, onde os resultados da AICV demonstraram que os impactos provenientes da matéria-prima principal, o MDF, tem maior representatividade com relação aos demais.

A ACV 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.

O presente estudo mostra que a escala de impactos ambientais identificados neste estudo vai em linha com a hierarquia apontada na Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, e com os conceitos de economia circular, que visam priorizar a reciclagem em detrimento de opções de tratamento de “fim-de-tubo” como o aterro de resíduos.

Referências bibliográficas

ABNT, Associação brasileira de normas técnicas (2009), NBR ISO 14.040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro.

ABNT, Associação brasileira de normas técnicas (2009), NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro.

Araujo, G. M. G. (2012) Desafios para aplicação da metodologia do berço-ao-berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP, p. 88.

Azolim, J. (2018) Avaliação do ciclo de vida das etapas de construção e operação de sistemas de manejo de dejetos suínos, 105 f.

Brasil (2010) Política nacional de resíduos sólidos lei nº 12.305, publicada em 2 de agosto de 2010.

Cordella, M., Hidalgo C. (2016). Analysis of key environmental areas in the design and labelling of furniture products: Application of a screening approach based on a literature review of LCA studies, The Institution of Chemical Engineers (IChemE), v. 8, p. 64–77.

Circle economy (2019) Relatório anual de gap da circularidade. Acesso em 16 de julho de 2021, disponível em: <https://www.circle-economy.com/circular-economy/insights-publications>

CNI. Confederação Nacional das Indústrias (2021). 68 % das indústrias estão com dificuldades para obter insumos no Brasil. Acesso em 16 de julho de 2021, disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/economia/68-das-industrias-estao-com-dificuldades-para-obter-insumos-no-brasil/>

Dahlbo, H., Hoskela, S., Laukka, J., Myllymaa, T., Jouttijärvi, T., Melanen, M., Tenhunen, J. (2005) Life cycle inventory analyses for five waste management options for discarded newspaper, waste management and research. v. 23, n. 4, p. 291–303.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (2020). Balanço energético nacional 2020. Acesso em 16 de julho de 2021, disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>

FAOFAST, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). Produção e comércio florestal. Acesso em 30 de maio de 2021, disponível em: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/fo/visualize>.

Farage, R. M. P., Rezende A. A. P., Silva C. M., Nunes W. G., Carneiro A. C. O., Vieira D. B., Rodrigues C. L. S. (2013) Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá-MG, v. 23, n. 1, p. 203–212, Doi: 10.5902/198050988454.

Filho, O. C., Junior N. L. S., Luedemann G. (2013). A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil, Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, Doi: 10.1017/cbo9781107415324.004.

FIRJAN, Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (2016) Gestão ambiental para marcenarias e indústrias de mobiliário do rio de janeiro. 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: 30 maio 2021

Garcia, C. A. e Hora, G. (2017) State-of-the-art of waste wood supply chain in germany and selected european countries, waste management, v. 70, p. 189–197. Doi: 10.1016/j.wasman.2017.09.025.

Geng, A., Ning, Z., Zhang, H., Yang, H. (2019). Quantifying the climate change mitigation potential of China's furniture sector: Wood substitution benefits on emission reductio, Ecological Indicators, p. 10, Doi: [org/10.1016/j.ecolind.2019.04.036](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.036).

Hauschild, M. Z., Rosenbaum R. K., Olsen S. I. (2017) Life cycle assessment: theory and practice, Springer International Publishing. Doi: 10.1007/978-3-319-56475-3_22

Henriquez, A. I. M. (2016) Análise de ciclo de vida (ACV) de sistemas integrados de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos para cidades de médio porte. Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em engenharia de energia, Universidade Federal de Itajubá, 157pp.

Hossain, M. U. e Poon, C. S. (2018) Comparative lca of wood waste management strategies generated from building construction activities, Journal of Cleaner Production, v. 177, p. 387–397. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.233. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.233>.

INEA Instituto Estadual do Ambiente (2021). Emissões Industriais. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoramentodoar-EmiQualidade/Emissoesatmosfericas/Emissesindustriais/index.htm&lang=>

Iritani, D.R., Silva, D.A.L., Saavedra, Y.M.B., Graef, P.F.F., Ometto, A.R. (2015). Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry, Journal of Cleaner Production, p. 11, Doi: 10.1016/j.jclepro.2014.05.029

Keil, M. M. L. (2012) Avaliação do ciclo de vida (ACV) do mobiliário de madeira e derivados de madeira produzido na região do planalto norte catarinense.

Kim, M. H. e Song, H. B. (2014) Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems, Journal of Cleaner Production, v. 69, p. 199–207. Doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.039.

Laurent, A., Bakas I., Clavreul J., Bernstad A., NieroaM., Gentil E., Hauschild M. Z., Christensen T. H. (2013) Review of lca studies of solid waste management systems - part I: lessons learned and perspectives, Waste Management, v. 34, n. 3, p. 573–588. Doi: 10.1016/j.wasman.2013.10.045.

Lee, M., Prewitt L, Mun S. P. (2014) 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. Doi: 10.5658/wood.2014.42.5.597.

Lima, N. D. S. (2019) Estimativa dos impactos ambientais no processo produtivo de frangos de corte. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 74pp.

Linkosalmi, L., Husgafvel, R., Fomkin, A., Junnikkala, H., Witikkala, T., Kairi, M., Dahl, O. (2016) Main factors influencing greenhouse gas emissions of wood-based furniture industry in Finland, Journal of Cleaner Production, p.10, Doi: 10.1016/j.jclepro.2015.11.091

MCPFE. (2002) "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. Disponível em: https://www.foresteurope.org/documentos/improved_indicators.pdf.

Mendes, N. C. (2013) Métodos e modelos de caracterização para a avaliação de impacto do ciclo de vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 149pp.

Merrild, H. e Christensen, T. H. (2009) 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. Doi: 10.1177/0734242x09349418.

Mersoni, C., Reichert, G. A. (2017) Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da avaliação do ciclo de vida: o caso do município de Garibaldi, RS, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 863–875, Doi: 10.1590/s1413-41522017150351.

Morris, J. (2017) Recycle, bury, or burn wood waste biomass? Ica answer depends on carbon accounting, emissions controls, displaced fuels, and impact costs, *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 4, p. 844–856, 2017. Doi: 10.1111/jiec.12469.

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.

Piekarski, C. M. (2013) Proposta de melhoria do desempenho ambiental associado ao ciclo de vida da produção do painel de madeira mdf. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 148pp.

Piekarski, C. M. Luz L. M., Francisco A. C., Kovalski J. L., Zocche L. (2012) Avaliação do ciclo de vida do painel de madeira mdf utilizando o software umberto, XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Producao, Bento Gonçalves, Brasil.

Pinto, I. S. D. *et al* (2016) Resíduos sólidos de madeira: aplicabilidade de resíduo de serragem de mdf no design de ambientes, 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Minas Gerais, Brasil.

Ragossnig, A. M. e Jovovic, A. (2016) Waste management life cycle: sensitisation - implementation/integration - transition - optimisation, *Waste Management and Research*, v. 34, n. 9, p. 813–815, 2016. Doi: 10.1177/0734242x16661064.

Reichert, G. A. e Mendes, C. A. B. (2014) Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos, *Revista Engenharia sanitaria e ambiental*, v. 19, n. 3, p. 301–313, 2014. Doi: 10.1590/s1413-41522014019000001145.

Reveilleau, A. C. A. D. A. (2011) 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° June, p. 163–174.

Ribeiro, A. C. P., Rocha S. B. S., Amaral T. M., Barbosaal P. P., (2016) Avaliação do ciclo de vida do mdf, *Revista Simpósio de Engenharia de Produção*, 11pp.

Sehnm, S. e Farias, C. (2019) Rumo à economia circular: sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira, *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa*, p. 35–62, Doi: <https://doi.org/10.21529/RECADM.2019002>.

Silva, V. e Souza A. (2018) Potencial de aproveitamento de cinzas de madeira (MDF) no processo industrial moveleiro na produção de composto orgânico, V Seminário de Pós-Graduação, Uberaba, Brasil.

Silva, A. Carolina (2018). Panorama da comercialização das embalagens em geral pós-consumo coletadas pelos programas municipais de coleta seletiva nas capitais do nordeste brasileiro, 225 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Sottoriva, P. R. S. (2011) Análise do ciclo de vida dos resíduos recicláveis e perigosos de origem domiciliar, *Revista do desenvolvimento regional*, issn-e 1982-6745, vol. 16, no. 3, 62–79, 2011.

Souza, C. A., Pigozzo R. J. B., Silva F. B., Arduin R. H., Oliveira L. A., Teixeira C. E. (2017) 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, Doi: 10.18225/lalca.v1i1.3074.

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. Wolf, M. A., Döpmeier C., Kusche O. (2012) The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Format – Basic Concepts and Implementation of Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Method Data Sets, Innovations in Sharing Environmental Observations and Information

Xiong X., Ma Q, Yuan Y., Wu Z., Zhang M. (2020) Current situation and key manufacturing considerations of green furniture in China: A review, *Journal of Cleaner Production*, p 15, Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121957.