



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Tiago Floriano Filho


**Embalagens descartáveis na indústria automotiva: análise do ciclo
de vida para redução de resíduos sólidos**

Resende

2024

Tiago Floriano Filho

**Embalagens descartáveis na indústria automotiva: análise do ciclo de vida
para redução de resíduos sólidos**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Baptista

Resende

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

F635 Floriano Filho, Tiago.
Embalagens descartáveis na indústria automotiva: análise do ciclo de vida para redução de resíduos sólidos / Tiago Floriano Filho. – 2024.
85 f.

Orientador: Leonardo Baptista.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Gestão integrada de resíduos sólidos - Teses. 3. Embalagens - Teses. 4. Indústria automobilística - Teses. 5. Ciclo de vida do produto - Teses. I. Baptista, Leonardo. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 628.4.038

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

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

Assinatura

Data

Tiago Floriano Filho

**Embalagens descartáveis na indústria automotiva: análise do ciclo de vida
para redução de resíduos sólidos**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 16 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Baptista (Orientador)

Universidade de Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Profª Dra. Daniella Mulinari

Universidade de Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof. Dr. Derval dos Santos Rosa

Universidade Federal do ABC

Profª Dra. Sueli Aparecida de Oliveira

Universidade Federal do ABC

Resende

2024

DEDICATÓRIA

A minha família que participou comigo dessa jornada de imensos aprendizados, sem seu apoio, incentivo, carinho e paciência não seria possível essa grande conquista em minha vida. Muito obrigado minha querida esposa Fabiola e filhos Laís e Théó, eu amo muito vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço meu Orientador e Professor Dr. Leonardo Baptista que me ajudou muito nesse percurso. Seu bom direcionamento me deu tranquilidade diante dos inúmeros desafios.

Agradeço ao Professor Dr. Nilo Sampaio, meu professor na época da Graduação, e, depois nesse mestrado. Ele me encorajou muito a fazer esse curso, seu incentivo foi fundamental para meu desenvolvimento.

Quero agradecer a paciência e ensinamentos dos outros professores: Márcia Rosa, Marcia Marques, Ana Silvia Santos, Ubirajara Mattos, Karoline Frankenfeld, a professora e coordenadora do curso Alena Netto e o professor do meu estágio docente Eduardo Martins.

Agradeço também aos colegas de classe, foi excelente a troca de experiências e o coleguismo ficou evidente no dia a dia.

Não se pode falar de educação sem amor.

Paulo Freire

RESUMO

FLORIANO FILHO, Tiago. *Embalagens descartáveis na indústria automotiva: análise do ciclo de vida para redução de resíduos sólidos*. 2024. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

As estatísticas apontam que um caminhão de matéria-prima secundária por minuto é descartado nos oceanos e, 2,24 bilhões de toneladas de resíduos sólidos são gerados por ano no planeta. Segundo a ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), no Brasil em 2023 foram produzidas 2.324.838 unidades entre veículos leves, caminhões e ônibus. É impossível não considerar o efeito causado no meio ambiente por esse tipo de atividade industrial. Por exemplo, um grande impacto é o uso de embalagens descartáveis no transporte de peças utilizadas na produção. Por esse motivo o trabalho ficou concentrado nas embalagens e acessórios descartáveis, destacando os paletes de madeira, pois geram uma grande quantidade de resíduos sólidos após sua disposição. Quanto aos objetivos, a pesquisa classificou-se como exploratória, utilizou o conhecimento científico e tem como base a observação, análise e interpretação de dados. Segundo os procedimentos de coleta de dados foi feita revisão sistemática e pesquisa bibliográfica acompanhada de um estudo de caso. Através da Avaliação de ciclo de vida e do uso do software OpenLCA foram calculados os impactos ambientais dos paletes de madeira e foi desenhado um plano com alternativas de redução desses paletes e seus consequentes impactos. Este modelo de trabalho pode ser replicado a qualquer fábrica automotiva ou a outros tipos de indústrias que possuam uma cadeia de abastecimento similar a empresa do estudo de caso.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Embalagens descartáveis; Paletes; Indústria automotiva; OpenLCA; Ciclo de vida.

ABSTRACT

FLORIANO FILHO, Tiago. *Disposable packaging in the automotive industry: life cycle assessment to reduce solid waste*. 2024. 85 p. Dissertation (Master in Environmental Engineering) – Faculty of Engineering, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Statistics show that a truckload of secondary raw materials is dumped into the oceans every minute and that 2.24 billion tons of solid waste are generated on our planet every year. According to ANFAVEA (National Association of Motor Vehicle Manufacturers), 2,324,838 vehicles will be produced in Brazil in 2023, including small cars, trucks and buses. It is impossible to ignore the impact of this type of industrial activity on the environment. An important impact, for example, is the use of disposable packaging for the transportation of parts used in production. For this reason, the work focused on disposable packaging and accessories, especially wooden pallets, as they generate a large amount of solid waste once they are disposed of. In terms of objectives, the study was classified as exploratory. It is based on scientific knowledge and relies on observation, analysis and data interpretation. The methods of data collection were bibliographic research and a case study. Using life cycle assessment and OpenLCA software, the environmental impact of wooden pallets was calculated and a plan was drawn up with alternatives for reducing these pallets and the associated impact. This working model can be transferred to the automotive industry or other types of factories that have a similar supply chain to the case study company.

Keywords: Solid waste; Disposable packaging; Pallets; Automotive industry; OpenLCA; Lifecycle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxo de embalagens descartáveis da indústria automotiva, partindo do fabricante de autopeças até a transformação em produto secundário após o processo de reciclagem.	15
Figura 2: Mapa brasileiro de 2024 das indústrias associadas à ANFAVEA.	17
Figura 3: Diagrama de Sankey referente aos resíduos sólidos coletados na Europa.	18
Figura 4: Representação gráfica dos 33 autores mais representativos e a quantidade de documentos por autor.	23
Figura 5: : Representação gráfica dos 22 países com maior número de documentos publicados e sua respectiva quantidade de documentos.	23
Figura 6: Representação gráfica da quantidade de publicações por ano dentro do universo dos 140 documentos previamente selecionados. A quantidade está no eixo vertical e os anos no eixo horizontal.	25
Figura 7: Representação gráfica da quantidade de citações por ano relacionando também o número de documentos.	25
Figura 8: Representação gráfica extraída do aplicativo VOSviewer demonstrando inter-relações (a) e, a densidade (b) da ocorrência das palavras-chave.	27
Figura 9: Unidade paletizada. Sobre o piso temos o palete de madeira, sobre o palete há caixas de papelão e acima delas há uma tampa de papelão para cobrir todo o conjunto.	31
Figura 10: Diferentes estruturas de papelão ondulado utilizadas na construção de caixas, separadores e tampas de papelão descartável.	32
Figura 11: Acessórios usados na proteção de peças automotivas, da esquerda para a direita temos um rolo de saco plástico liso, um saco plástico bolha e um saco de isomanta.	34
Figura 12: Processos produtivos tradicionais, sustentáveis e circulares, destacando seus recursos e tipo de destinação.	37
Figura 13: Estrutura da ACV mostrada em fases.	41
Figura 14: Na imagem mais acima temos paletes e alguns suportes de madeira dentro de caixas. Abaixo à esquerda temos as bolsas com material dessecante (para	

remoção de umidade do interior dos contêineres). E mais à direita há placas de papelão provenientes de caixas já desmontadas.....	47
Figura 15: Diagrama de Pareto dos resíduos sólidos da empresa do estudo de caso, classificados por tipo e volume, medidos em toneladas.....	48
Figura 16: ICV (Inventário do ciclo de vida) completo do palete de madeira, partindo do plantio das árvores, passando pela produção de madeira serrada, montagem do palete, uso e incineração na fase de disposição.....	50
Figura 17: Representação gráfica dos impactos do palete de madeira visualizados por ordem de importância.	52
Figura 18: Pareto das contribuições do impacto de Material particulado.	54
Figura 19: Pareto das contribuições do impacto de Uso de recursos, fósseis.	55
Figura 20: Pareto das contribuições do impacto de Alterações climáticas.....	56
Figura 21: Pareto das contribuições do impacto de Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana.	57
Figura 22: Pareto das contribuições do impacto de Eutrofização terrestre.	58
Figura 23: Pareto das contribuições do impacto de Toxicidade humana, não cancerígena.....	59
Figura 24: Pareto das contribuições do impacto de Toxicidade humana, cancerígena.	60
Figura 25: Pareto das contribuições do impacto de Acidificação.	61
Figura 26: Pareto das contribuições do impacto de Eutrofização marinha.....	62
Figura 27: Palete plástico injetado modelo 8279130 nas dimensões 1200x1000x165 mm do fabricante Schoeller Allibert.....	63
Figura 28: Gráfico comparativo de impactos ambientais entre um palete de madeira e um palete plástico por categorias de impacto.	65
Figura 29: Classificação da qualidade dos paletes segundo a EPAL (2024). Fora dessas classes não é permitido o uso/reúso dos paletes de madeira.....	71
Figura 30: Diferentes defeitos encontrados nos paletes de madeira (EPAL, 2024). Antes do uso ou reúso dos mesmos, é mandatório repará-los.	72
Figura 31: Palete de madeira PBR1 (palete brasileiro retornável) nas dimensões 1200x1000x135 mm (comprimento x largura x altura).	73
Figura 32: Comparativo de três diferentes padrões de paletes de madeira: <i>One-way</i> (descartável), EPAL (palete europeu retornável) e PBR (palete brasileiro retornável).	74

Figura 33: Exemplo de uma caixa aberta com peças onde se pode ver o espaço vazio na sua parte superior (desperdício).76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Acessórios mais usados na proteção de peças automotivas durante o transporte e manuseio.....	33
Tabela 2: Resíduos sólidos coletados entre janeiro de 2022 e março de 2023 na indústria do estudo de caso. Os valores estão expressos em toneladas.	40
Tabela 3: Impacto ambiental causado por uma unidade de palete de madeira descartável, calculado no software OpenLCA, usando o método de cálculo Environmental Footprint midpoint.....	51
Tabela 4: Tabela comparativa direta de impactos ambientais entre um palete de madeira e um palete plástico por categorias de impacto.	64
Tabela 5: Quantidade mínima de reúsos (ciclos) do palete plástico retornável para que cause menos impactos em relação ao uso de palete de madeira descartável...	67
Tabela 6: Ganhos nos impactos ambientais referentes ao reúso de um palete de madeira descartável (estudo de caso da montadora localizada no interior do estado do Rio de Janeiro).	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAS	Associação Brasileira de Supermercados
ACV	Avaliação do ciclo de vida
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CFC	Clorofluorcarbonos
EPAL	<i>European Pallet Association</i> (Associação Europeia de Paletes)
ICV	Inventário do ciclo de vida
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
MP	Materiais particulados
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PBR	Palete brasileiro retornável
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEF	<i>Product Environmental Footprint</i> (Pegada Ambiental do Produto)
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
VCI	<i>Volatile corrosion inhibitor</i> (inibidor de corrosão volátil)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 - OBJETIVOS	20
1.1 Objetivo geral	20
1.2 Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO 2 - REVISÃO SISTEMÁTICA	21
2.1 Metodologia da revisão sistemática.....	21
2.2 Resultados da revisão sistemática	22
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
3.1 As embalagens descartáveis automotivas.....	30
3.2 Classificação dos resíduos sólidos.....	34
3.3 Economia linear e circular	36
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA	39
4.1 Visita a campo.....	39
4.2 Análise quantitativa dos resíduos sólidos	39
4.3 ACV (Avaliação do ciclo de vida).....	41
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 Identificação dos resíduos sólidos de embalagens	46
5.2 Diagrama de Pareto	48
5.3 ACV do palete de madeira	49
5.3.1 ICV (Inventário do ciclo de vida)	49
5.3.2 Impactos atuais do palete de madeira.....	51
5.4 Plano de melhoria	62
5.4.1 Troca do palete atual por palete plástico retornável	62
5.4.2 Reúso do palete atual	68
5.4.3 Troca do palete atual por palete de madeira retornável	72
5.4.4 Troca do palete atual por outro mais leve	75
5.4.5 Melhoria na taxa de ocupação das embalagens	75
5.5 Dificuldades.....	77
CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	81

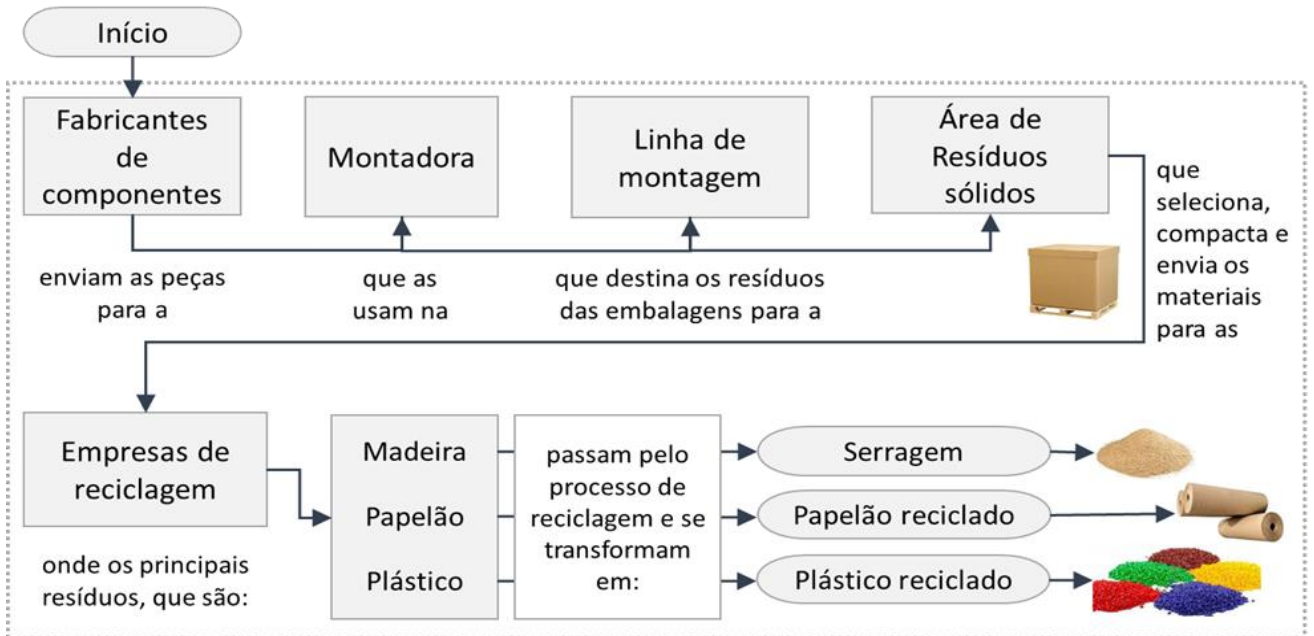
INTRODUÇÃO

Segundo a ONU, Organização das Nações Unidas, no mundo é descartado um caminhão de matéria-prima secundária por minuto nos oceanos (dados de 2023). Para mudar essa situação, é preciso que os países se organizem e que haja sistemas e políticas eficientes para a gestão dos resíduos. Os números mostram que dos 2,24 bilhões de toneladas de resíduos sólidos gerados por ano no planeta, apenas 55% são controlados.

No Brasil, para a aplicação efetiva da lei 12.305/10, que trata da PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), há diversos problemas como baixo orçamento e gerenciamento de muitos municípios, em especial os pequenos. E, como a responsabilidade é compartilhada, além do governo e a população, as instituições privadas devem trabalhar no sentido de criar oportunidades para a redução e controle dos resíduos sólidos gerados pelos seus processos (LUNA; VIANA, 2019).

Na indústria automotiva, as embalagens descartáveis são usadas na proteção, armazenamento e transporte de componentes (MONTEIRO; ALMEIDA, 2020) e, após seu uso vão compor o montante de resíduos sólidos resultante da sua atividade produtiva. Na Figura 1 abaixo podemos ver um fluxo padrão simplificado dos pontos por onde uma embalagem descartável passa, desde a entrada na montadora até seu fim de uso. Cada empresa pode ter um fluxo diferente do outro dependendo das características no que tange o fluxo de materiais.

Figura 1: Fluxo de embalagens descartáveis da indústria automotiva, partindo do fabricante de autopeças até a transformação em produto secundário após o processo de reciclagem.



Fonte: o autor.

Explicando um pouco mais sobre o fluxo demonstrado na Figura 1, de forma geral, as indústrias montadoras de veículos compram as peças de diferentes fabricantes, que são especialistas em produzir determinados componentes. Isto é, as montadoras apenas usam as peças para compor o veículo e, as empresas especialistas em iluminação, por exemplo, vendem para as montadoras os faróis, lanternas e luzes de neblina. Outras fabricam e vendem bancos, já outras são especializadas em vidros, etc. Logo, existe um fluxo de entrega de peças muito intenso entre a montadora e essas empresas fornecedoras de peças, pois, para se construir um veículo, as fábricas utilizam entre 3.000 a 4.000 componentes.

As peças são movimentadas em caixas a granel, e, para fazer esse transporte, as mesmas são presas sobre paletes, que permitem o uso de máquinas como empilhadeiras nos processos de carregamento e descarregamento. Assim que recebe um componente, a montadora o envia para sua linha de produção e em seguida, em um local adequado, faz o armazenamento dos resíduos sólidos de embalagem, que podem ser paletes de madeira, sacos plásticos de proteção, caixas de papelão, etc.

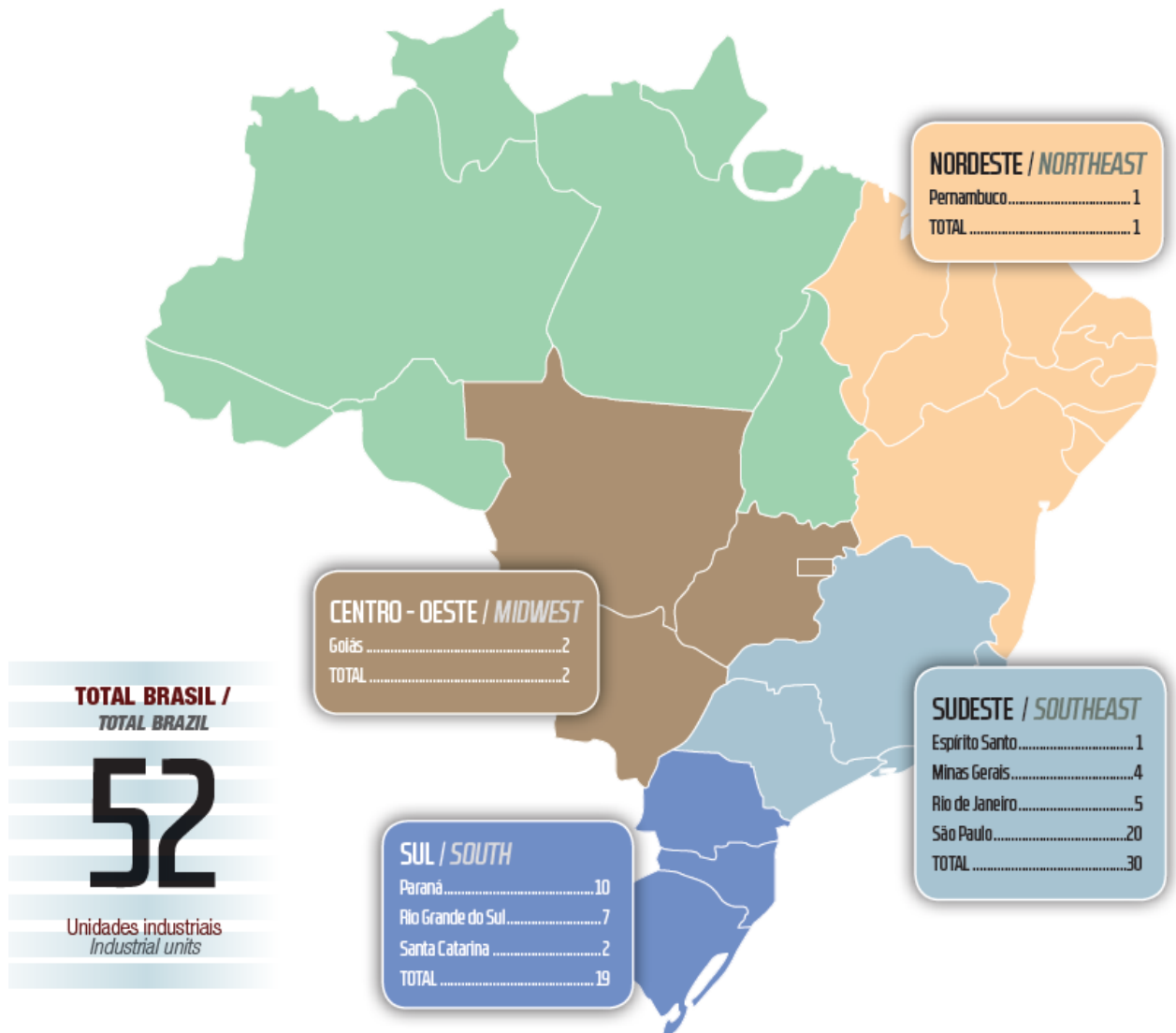
Em muitas situações, as montadoras contratam uma empresa credenciada para fazer a destinação de seus resíduos. No entanto, vale lembrar que, de acordo com a lei, o passivo ambiental é de responsabilidade da fábrica automotiva e sua contratada é caracterizada como corresponsável em caso de destinação inadequada. Ou seja, quando ocorre algum problema ambiental, a punição vai para montadora que não pode terceirizar suas obrigações segundo a legislação brasileira.

Sobre as embalagens descartáveis, podemos dizer que se trata de um resíduo limpo e de fácil reciclagem. Portanto, a madeira do palete pode ser transformada em serragem e depois usada em outras aplicações. O plástico também pode ser transformado em plástico granulado e ser reusado. O papelão idem. O que se vê na prática é a reciclagem de tudo que é possível pelas fábricas para atender a legislação e suas metas ambientais internas. De acordo com Silva e Martins (2019), nas indústrias, as embalagens descartáveis vêm sendo substituídas por embalagens retornáveis, atendendo os programas ambientais e junto, também reduzindo custos.

Já na área acadêmica, a literatura sobre embalagens industriais automotivas traz o estudo de Khan *et al.* (2021) que dá destaque aos impactos ambientais dos paletes produzidos em madeira, plástico e material compósito. O artigo de Na, Sim, Lee (2019) aborda a logística reversa das embalagens. Enquanto Caldas (2021) foca na Avaliação do ciclo de vida e pegada de carbono do uso de paletes de madeira pela indústria.

Voltando a área automotiva, na Figura 2, vemos o mapa brasileiro das indústrias associadas à ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), que produzem autoveículos, máquinas agrícolas e rodoviárias, motores e componentes. Essas indústrias estão concentradas na região Sudeste e Sul do país. O estado de São Paulo é o que tem maior participação (38%) e o 2º colocado é o Paraná (19%).

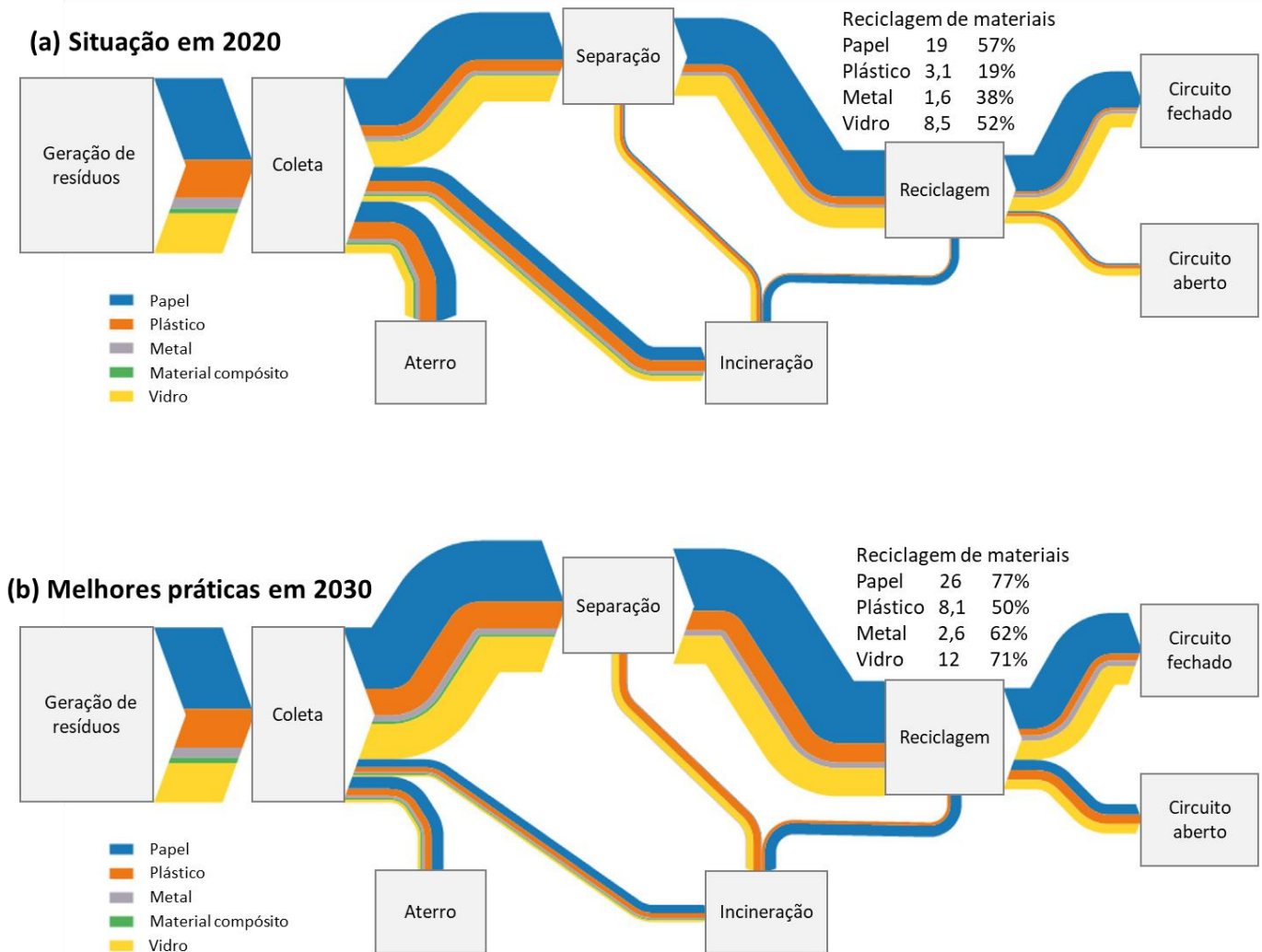
Figura 2: Mapa brasileiro de 2024 das indústrias associadas à ANFAVEA.



Fonte: ANFAVEA, (2024).

Conforme citam Tallentire e Steubing (2020), as metas de reciclagem na Europa para 2030 são ambiciosas, mais 18 milhões de toneladas de resíduos sólidos poderiam ser recolhidos anualmente se as melhores práticas fossem aplicadas. A Figura 3 mostra os fluxos de materiais coletados em 2020 contra o cenário de melhores práticas no futuro (2030), bem como a quantidade de cada material que entra na etapa de reciclagem (em milhões de toneladas) e a taxa de reciclagem para ambos os cenários.

Figura 3: Diagrama de Sankey referente aos resíduos sólidos coletados na Europa.



Legenda: (a) Situação no ano de 2020; (b) Projeção para 2030 caso as melhores práticas de coleta forem aplicadas.

Fonte: Tallentire e Steubing (2020), traduzido pelo autor.

Em todo o mundo, o aumento da reciclagem é de suma importância para a redução de impactos do uso e descarte indevido desses materiais no meio ambiente. Porém, de forma geral, reduzir e reusar são mais desejáveis que reciclar, pois, a reciclagem, apesar de ser algo positivo ao meio ambiente, para ser realizada, gera impactos ambientais, pois, demanda recursos para o transporte dos resíduos, gasto de energia elétrica com máquinas de separação e outros equipamentos

utilizados em seu processo. E também, vale ressaltar, de acordo com a Figura 3, que a reciclagem pode ser feita em circuito fechado, quando o resíduo retorna para o ciclo original, e, pode também ser em circuito aberto, que é quando ele se destina a um outro ciclo diferente do seu nativo de acordo com Pereira, Gomes, Pacheco (2023). É um fato que as embalagens descartáveis fazem parte da cadeia logística na indústria automotiva e que geram mais e mais resíduos sólidos à medida que cada veículo sai da linha de produção.

CAPÍTULO 1 - OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho é fazer a avaliação do ciclo de vida do resíduo de embalagem descartável mais significativo de uma empresa automotiva localizada no interior estado do RJ (estudo de caso) e, traçar um plano de melhoria para redução de impactos no meio ambiente.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar os tipos de resíduos sólidos provenientes das embalagens descartáveis (visita a campo).
- Analisar através de diagrama de Pareto qual resíduo de embalagem tem maior impacto em volume físico (medidos em toneladas).
- Quantificar os impactos ambientais atuais do resíduo mais representativo utilizando a metodologia ACV (Avaliação de ciclo de vida) e o software OpenLCA.
- Propor um plano com opções para redução dos impactos do resíduo que apresentou maior volume.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO SISTEMÁTICA

No sentido de ter uma pesquisa mais objetiva e prover subsídios para a revisão bibliográfica, foi elaborada uma revisão sistemática de literatura com foco na avaliação de propostas de reciclagem de embalagens descartáveis da indústria automotiva, bem como reuso e avaliação de ciclo de vida.

2.1 Metodologia da revisão sistemática

A coleta de documentos foi feita usando as bases de dados Web of Science, acessadas através do Portal de Periódicos da CAPES (2024). O modo padrão de busca era configurado para procurar em todos os campos, opção chamada *All Fields*. No entanto, para que a procura fosse mais precisa, foi escolhido o modo de busca pelas palavras-chave definidas pelos autores e foram designados os seguintes termos (em português e em inglês): ciclo de vida ou *lifecycle*, embalagem descartável ou *disposable packaging*, palete ou *pallet*, indústria automotiva ou *automotive industry*. Com isso, a pesquisa retornou 44.744 resultados.

Após essa etapa, foram aplicados outros filtros. No Campo de filtros rápidos (*quick filters*) foi marcada a opção de acesso aberto (*open access*) para que filtrem os documentos públicos. Nesse momento a quantidade de registros foi para 13.104. No campo “Áreas de pesquisa” (*Research areas*), foram selecionadas as seguintes áreas: Engenharia (*Engineering*) e Ciências da Ecologia e Meio Ambiente (*Environmental Sciences Ecology*) por terem mais relação com o propósito da pesquisa. A partir daí ficaram 6.400 registros. No campo “Categorias do Web of Science” (*Web of Science Categories*), foram selecionadas: Engenharia de Produção (*Engineering Manufacturing*), Ciências Ambientais (*Environmental Sciences*) e Engenharia Ambiental (*Engineering Environmental*). Nesse instante a quantidade de registros baixou para 2.190.

Como ainda restaram muitos resultados, foi aplicado um outro filtro no campo de Tópicos de citação de tamanho médio (*Citation topics meso*), escolhendo as áreas: Design e Fabricação (*Design & Manufacturing*), Ciência da Sustentabilidade (*Sustainability Science*), Cadeia de Suprimentos e Logística (*Supply Chain & Logistics*), Fabricação (*Manufacturing*), Ciências ambientais (*Environmental Sciences*). Com isso, a lista de registros caiu para 717 resultados. Agora, no campo de Tópicos de citação de tamanho curto (*Citation topics micro*), foram escolhidos os seguintes itens: Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain*) e Avaliação do ciclo de vida (*Lifecycle assessment*). De acordo com a documentação da *Web of Science* (CLARIVATE, 2024), uma melhor granularidade dos dados pode ser obtida usando o filtro de Tópicos de citação de tamanho curto (*Citation topics micro*). Com isso, restaram 140 documentos que foram selecionados para análises posteriores. Sobre o período da análise, haviam documentos entre 2006 e 2024, para ter uma quantidade significativa de dados, foram considerados todos os anos de publicação, mas, caso necessário, poderiam ser excluídos alguns anos.

Para construir e exibir relações bibliométricas das palavras-chave foi utilizado o software gratuito VOSviewer, que é uma ferramenta flexível, de fácil uso e relevante, pois, usa também entradas de bases altamente conceituadas na bibliometria: *Web of Science* e Scopus/Elsevier, (KIRBY, 2023). O aplicativo foi baixado do site internet do fabricante e utilizada a versão 1.6.20.

2.2 Resultados da revisão sistemática

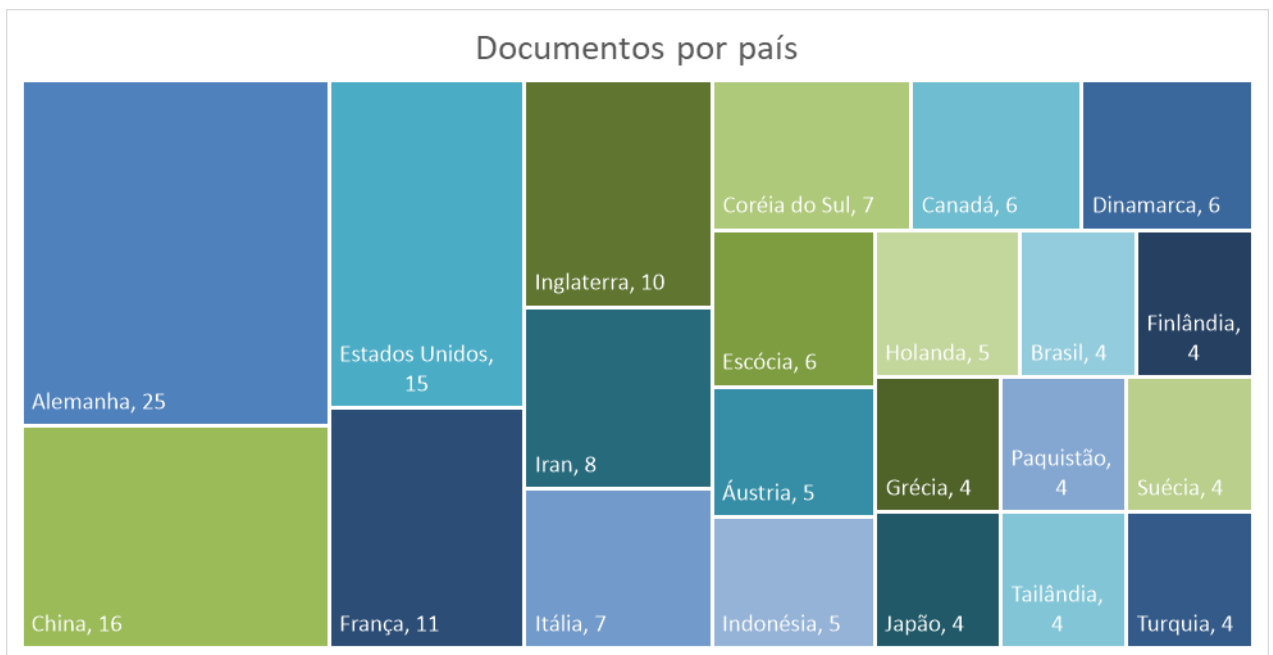
Na base de dados *Web of Science* foram extraídas três listas no formato Microsoft Excel relacionando: quantidade de documentos por autor (Figura 4), quantidade de documentos por país (Figura 5) e por ano (Figura 6). Também havia na base de dados a função de exportar os dados de citações de documentos (Figura 7), opção *Citation report*.

Figura 4: Representação gráfica dos 33 autores mais representativos e a quantidade de documentos por autor.



Fonte: o autor.

Figura 5: : Representação gráfica dos 22 países com maior número de documentos publicados e sua respectiva quantidade de documentos.

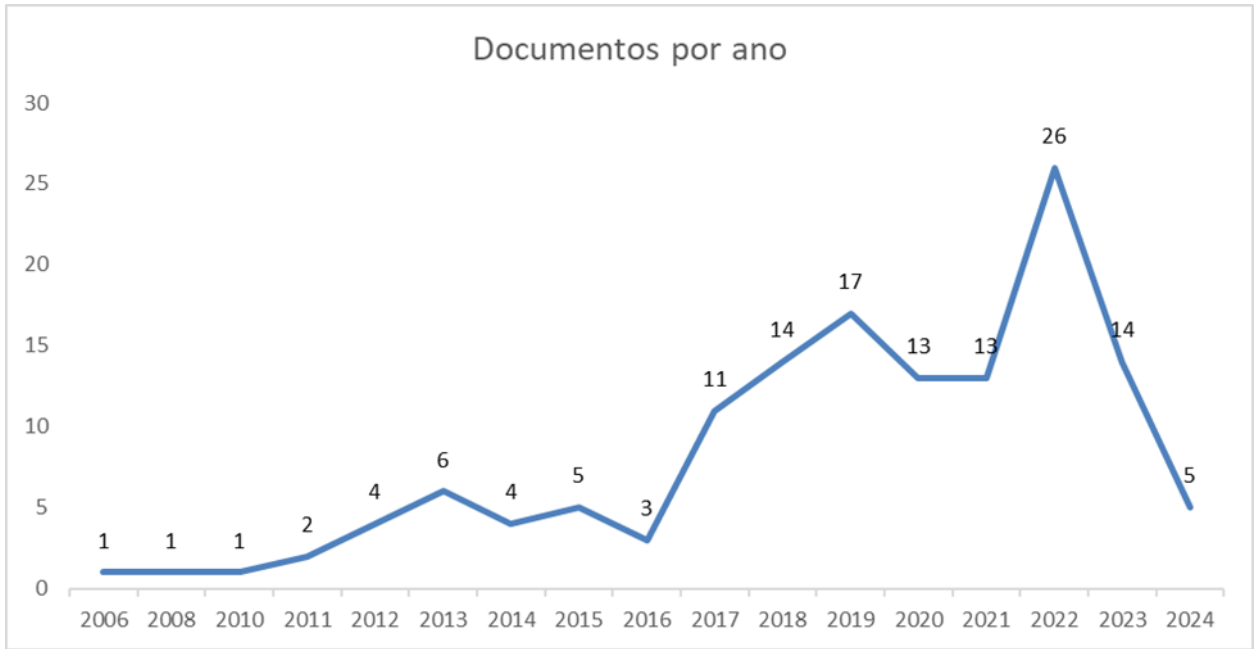


Fonte: o autor.

Segundo a Figura 5, há uma predominância de países desenvolvidos na pesquisa sobre este tema, e, o Brasil aparece representando a América Latina. Dentro do maior grupo estão países da Europa, E.U.A. e China. Este resultado mostra que o problema é uma questão global e extensivamente investigada em busca de soluções. Mesmo a China, considerado um país leniente com questões de poluição ambiental, tem mostrado preocupação com o reúso e reaproveitamento dos resíduos sólidos (LIU *et al.*, 2022), enquanto a Figura 4 mostra uma pulverização nos autores envolvidos com esta temática. O fato de encontrarmos de 2 a 4 trabalhos por grupo de pesquisa indica que não há um grupo que domine o desenvolvimento neste campo.

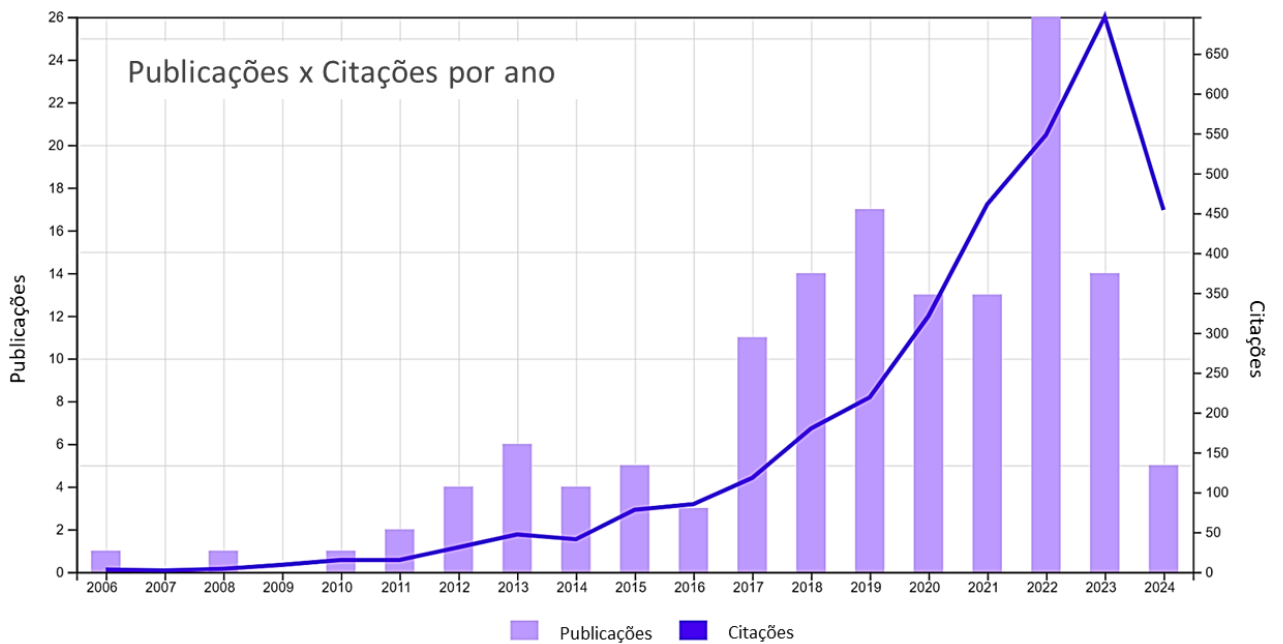
A Figura 6 e a Figura 7 mostram que o interesse nesta temática aumentou a partir de 2017. Este resultado justifica o baixo número de trabalhos por grupo de pesquisa mostrado na Figura 4. Outro indício é o interesse recente em reúso, reaproveitamento e entendimento do impacto durante o ciclo de vida de paletes de madeira. A mudança de viés possivelmente está associada com a preocupação com o desmatamento de florestas nativas, além do aumento no problema crescente do resíduo sólido no planeta.

Figura 6: Representação gráfica da quantidade de publicações por ano dentro do universo dos 140 documentos previamente selecionados. A quantidade está no eixo vertical e os anos no eixo horizontal.



Fonte: o autor.

Figura 7: Representação gráfica da quantidade de citações por ano relacionando também o número de documentos.

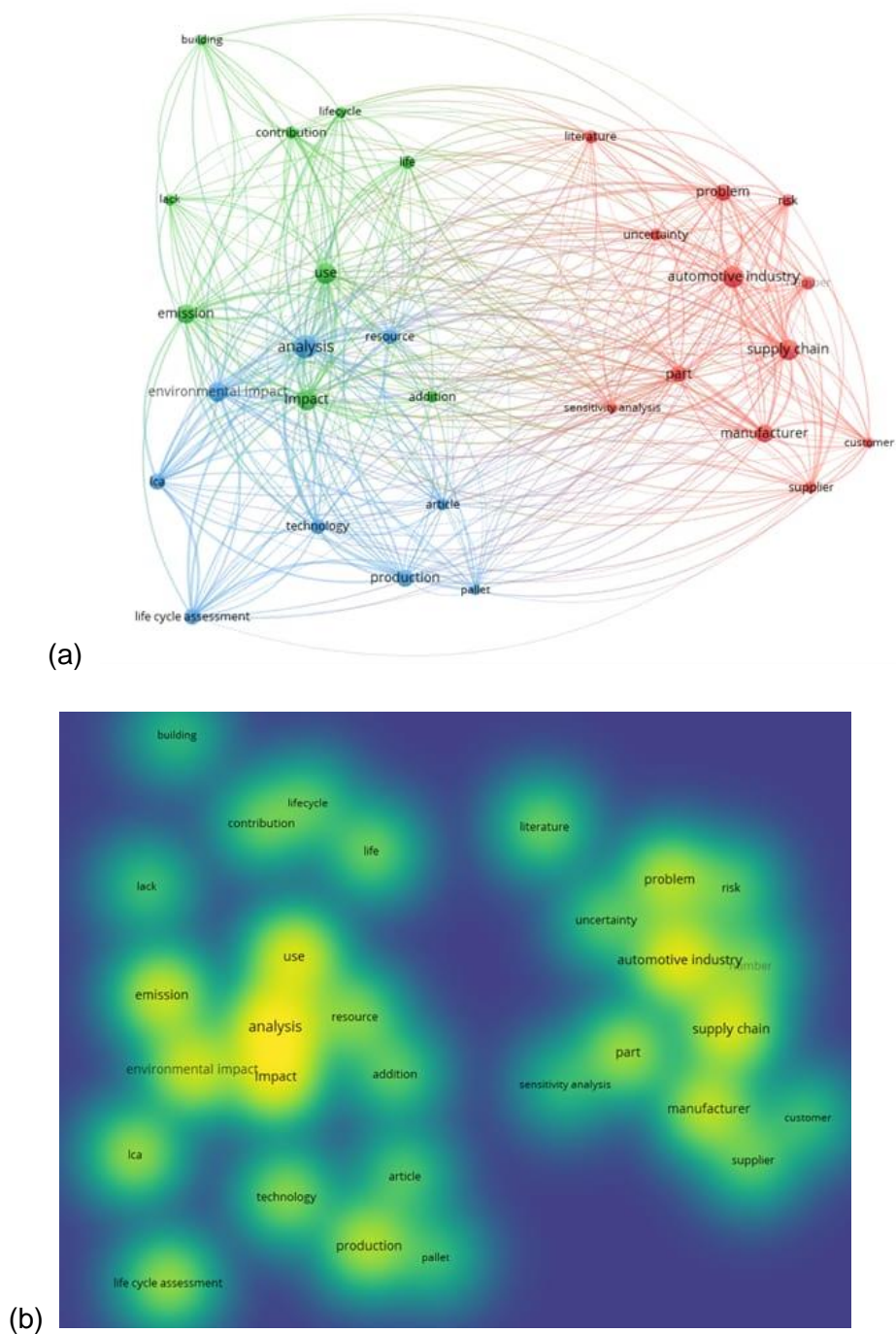


Fonte: o autor.

O número de citações mostra a relevância do tema. Dos 140 documentos selecionados, cada um deles foi citado em média 23,8 vezes. Diferentes grupos de pesquisa ao redor do mundo têm investigado o problema de descarte de paletes de madeira, sua reutilização, reciclagem e ciclo de vida. Este resultado mostra que o problema é de relevância mundial.

Também a partir da base *Web of Science* foi possível exportar uma lista em formato tipo texto (*plain text file*), onde o sistema nos forneceu diversos dados do conteúdo dos documentos, como autor, título, etc. Essas informações foram importadas para dentro do software VOSviewer. Com isso, foi possível a construção da Figura 8 relativa à densidade do uso das palavras-chave e suas inter-relações. No gráfico de densidade, a referência é quanto mais intensa a cor amarela, maior é a densidade e será menos denso quando a palavra estiver mais próxima a cor azul. O caminho percorrido foi o seguinte: Criação de mapa baseado em arquivo de texto; leitura dos arquivos de dados; análise de autoria e coautoria; busca de informações no título e no resumo; uso do método de contagem binário; escolha de 10 ocorrências mínimas da informação pesquisada; 30 palavras selecionadas para restringir os itens mais relevantes (*File – Map – Create – Create a map based on text data – Read data from bibliographic databases files – Title and abstract Fields – Binary counting – Minimum number of occurrences: 10 – Number of terms to be selected: 30*).

Figura 8: Representação gráfica extraída do aplicativo VOSviewer demonstrando inter-relações (a) e, a densidade (b) da ocorrência das palavras-chave.



Legenda: (a) Representação gráfica das palavras-chave e suas inter-relações;

(b) Representação gráfica da densidade com que aparecem as palavras-chave.

Fonte: O autor.

Segundo a Figura 8, as palavras-chave indústria automotiva (*automotive industry*), impacto ambiental (*environmental impact*), emissão (*emission*) e Avaliação de ciclo de vida (*life cycle assessment*) se destacam por terem grande relevância. Essas palavras se relacionam também com os termos recurso (*resource*) e impactos (*impact*). Esse resultado demonstra a preocupação das indústrias em relação às emissões e ciclo de vida de seus produtos. Também é possível notar no gráfico que há dois diferentes termos: *life cycle assessment* e *lca*, porém ambos têm o mesmo significado, pois o segundo é apenas a sigla do primeiro. Ou seja, essas duas palavras-chave representam a mesma coisa (Avaliação de ciclo de vida). Logo, se somarmos temos um total de 46 ocorrências, o que ocupa o 2º lugar das palavras-chave com mais ocorrências, perdendo apenas para o termo análise (*analysis*) que também tem relação direta, tendo 49 ocorrências. Daí conseguimos entender a grande importância desse assunto no mundo todo.

De acordo com a Figura 8 (a), três grandes grupos de estudo podem ser identificados. O primeiro grupo, em cor azul, está associado aos paletes. Este primeiro se entrelaça com o segundo grupo, em cor verde, que tem relação com trabalhos mais voltados para questão ambiental. Como estes dois grupos se entrelaçam, indica uma área multidisciplinar, no qual pesquisadores estão avaliando a produção, reuso e impactos ambientais dos paletes de madeira. O terceiro grupo, em vermelho, apesar de se relacionar com os outros dois grupos, se apresenta mais separado à direita do gráfico. A análise das palavras-chave deste grupo indica trabalhos voltados para indústria e aplicações dos paletes principalmente na indústria automotiva, que faz vasto uso destes paletes no transporte de suas peças e componentes.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Moura e Banzato (2014) vivemos num mundo de produtos embalados, ou seja, praticamente tudo que se vende é empacotado. Para se ter ideia da importância da embalagem na economia do Brasil, ela representa aproximadamente 2% do PNB (Produto Nacional Bruto). A seguir vemos como pode ser sua classificação:

a) Quanto à finalidade

- De consumo (venda, apresentação ou exposição).
- Industriais (de armazenagem e transporte).

b) Quanto à movimentação

- Mecânicas. Exemplo: uma caixa de papelão grande sobre um palete de madeira, sendo necessária uma empilhadeira para fazer a movimentação de unidade.
- Manuais. Exemplo: uma caixa pequena que pode ser pega a mão, não necessitando de equipamentos auxiliares para fazer sua movimentação.

c) Quanto à utilidade:

- Retornáveis, também chamadas de reutilizáveis ou duráveis. Exemplos: caixas e paletes plásticos normalmente são utilizados diversas vezes.
- Não retornáveis, descartáveis ou não duráveis. Exemplo: caixas de papelão normalmente são descartadas após seu uso.

d) Quanto à função:

- Primárias (são as que contém o produto).
- Secundárias (protegem as embalagens primárias).

3.1 As embalagens descartáveis automotivas

De forma geral, para se construir um veículo, a montadora compra dos fabricantes de autopeças inúmeros tipos de componentes, como: bancos, volantes, vidros, chicotes, componentes eletrônicos, pneus, parafusos, etc. Cada produto requer uma especificidade de embalagem que garanta a sua integridade desde o transporte de sua unidade fabril até o seu uso na linha de produção. Para dar suporte a essa necessidade, há diferentes tipos de embalagens e proteções desenvolvidas em conjunto entre as montadoras e as indústrias de autopeças. No âmbito dos descartáveis, as embalagens e acessórios mais comuns são:

a) Palete de madeira

De acordo com Pfohl (2022) a forma mais comum de unificação das embalagens para transporte é a paletização. Existem diversos modelos e diferentes dimensões de paletes, seu tamanho vai depender do material a ser transportado. Um modelo muito utilizado no Brasil é o de dimensão 1200x1000 (comprimento e largura em milímetros). Essas medidas permitem uma boa acomodação e aproveitamento interno do caminhão que é o modal logístico mais utilizado no país. Conforme a Figura 9 abaixo, na indústria automotiva, os paletes tem a função de servir como uma base física para a movimentação de caixas de peças. Também costuma-se fazer o uso de fitas ou filme plástico na unitização do conjunto das caixas, tampas e palete para garantir a segurança no transporte.

Figura 9: Unidade paletizada. Sobre o piso temos o palete de madeira, sobre o palete há caixas de papelão e acima delas há uma tampa de papelão para cobrir todo o conjunto.



Fonte: o autor.

b) Caixa de papelão

Segundo Aduke *et al.* (2024), a maior parte do papel de embalagens é usada na forma de papelão ondulado. Na Figura 10 vemos como pode ser sua estrutura. Por serem mais maleáveis, a estrutura de face simples e parede simples normalmente são usadas na fabricação de folhas separadoras de níveis de peças dentro de uma caixa ou também servem para a produção de separadores com formato semelhante à colméias, o que igualmente tem a função de segregar e proteger as peças durante sua movimentação, evitando batidas entre esses componentes, preservando sua qualidade. A parede dupla, tripla ou maior são usadas estruturalmente na confecção das caixas por serem mais resistentes. Quanto maior o número de paredes da caixa, maior será sua resistência.

Figura 10: Diferentes estruturas de papelão ondulado utilizadas na construção de caixas, separadores e tampas de papelão descartável.

Face Simples

Estrutura formada por um elemento ondulado (miolo) colado a um elemento plano (capa).



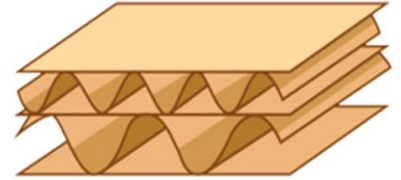
Parede Simples

Estrutura formada por um elemento ondulado (miolo) colado, em ambos os lados, a elementos planos (capas).



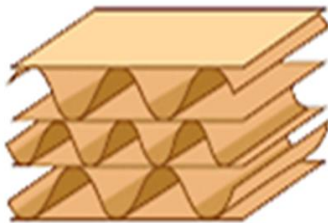
Parede Dupla

Estrutura formada por três elementos planos (capas) coladas a dois elementos ondulados (miolos) e intercalados.



Parede Tripla

Estrutura formada por quatro elementos planos (capas) colados em três elementos ondulados (miolos) e intercalados.



Parede Múltipla

Estrutura formada por cinco ou mais elementos planos (capas) colados a quatro ou mais elementos ondulados (miolos) e intercalados.

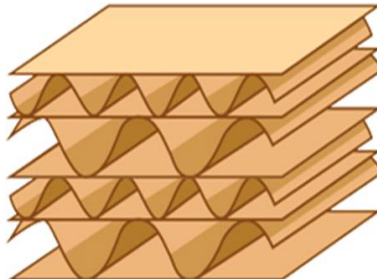


Imagem de placas de papelão ondulado



Fonte: O autor, baseado em EMPAPEL, 2024.

c) Acessórios

São usados para fazer a proteção das peças, normalmente de forma individual, mas dependendo do caso, pode haver uma proteção para um conjunto de peças. Na Tabela 1 destacamos os acessórios mais comuns utilizados como proteção de peças automotivas. Eles podem ter inúmeras formas e fazer uso de diferentes materiais, dependendo das características físicas do componente a ser protegido. Os sacos e folhas plásticas de polietileno são muito utilizados pela sua resistência e baixo custo.

Tabela 1: Acessórios mais usados na proteção de peças automotivas durante o transporte e manuseio.

Descrição	Material	Exemplos de aplicação	Protege contra						Observações
			Poeira	Riscos	Impactos	Calor	Corrosão	Energia estática	
Sacos ou folhas plásticas lisas	PEAD (polietileno de alta densidade) ou PEBD (polietileno de baixa densidade)	Peças no campo de visão do cliente final, ex.: o conjunto do cinto de segurança não pode ter riscos.	x	x					Com o aumento da densidade aumenta-se sua resistência (Twede D., e Goddard R., 2010).
Sacos ou folhas de plástico bolha	PEBD (polietileno de baixa densidade)	Peças sensíveis à batidas como lanternas e faróis.	x	x	x				
Sacos ou folhas de isomanta	PEBD (polietileno de baixa densidade) expandido	Peças com acabamentos especiais do painel principal, feitas em inox ou aço escovado.	x	x	x	x			Muito usada devido a sua versatilidade.
Sacos ou folhas plásticas anticorrosivas	PEAD ou PEBD com aditivo VCI (do inglês <i>volatile corrosion inhibitor</i> , que é um inibidor de corrosão volátil)	Componentes sensíveis à corrosão, como disco de freio.	x	x				x	O papel vci é mais poroso e por isso permite que o aditivo anticorrosão seja transferido mais rapidamente para a superfície da peça. Como o plástico é mais lento nessa transferência, é usado em peças não tão sensíveis à corrosão ou ao redor das peças protegendo-a como uma bolsa.
Sacos ou folhas de papel anticorrosivas	Papel com aditivo VCI	Componentes muito sensíveis à corrosão como chapas metálicas.	x	x				x	
Sacos ou folhas plásticas antiestáticas	PEBD (polietileno de baixa densidade) com aditivo antiestático	Peças eletrônicas, como centrais multimídias e sensores.	x	x					x

Fonte: o autor, baseado em (STYROPLAST; TECNOVIC; ESD ANTIESTÁTICOS, 2024).

Na Figura 11 a seguir podemos ver três acessórios, amplamente utilizados na proteção de peças automotivas, que foram mencionados na Tabela 1. A imagem mais à esquerda trata-se de um rolo de saco plástico liso em PEAD. Esse acessório é muito similar ao saco plástico encontrado em mercados para embalar frutas e legumes. Seu uso na indústria automotiva tem a finalidade de preservar a superfície de peças onde é preciso evitar marcas e riscos durante o transporte. No centro há um saco plástico do tipo bolha que faz a mesma função que o plástico liso, porém ele possui a capacidade de absorver choques. E mais à direita, temos a imagem de uma peça protegida por um saco de isomanta, onde em relação ao saco bolha, protege adicionalmente contra alta temperatura. A proteção de isomanta é muito usada em peças com superfícies especiais e/ou pintadas. Nestes casos, é muito usual no Brasil, as peças ficarem expostas às altas temperaturas durante o transporte externo à planta fabril, logo, se utilizados sacos plásticos lisos ou bolha

para proteger as peças, é possível que esses plásticos se prendam à superfície das peças, comprometendo a qualidade do componente.

Figura 11: Acessórios usados na proteção de peças automotivas, da esquerda para a direita temos um rolo de saco plástico liso, um saco plástico bolha e um saco de isomanta.



Fonte: Embalplast (2024).

3.2 Classificação dos resíduos sólidos

De acordo com a Norma Brasileira NBR-10004-2004, os resíduos sólidos ou semi-sólidos classificam-se como:

1) Resíduos Perigosos Classe I. São os considerados perigosos por serem:

- Inflamáveis, exemplos: acetona, acetato de etila, éter etílico, n-butanol, metanol e resíduos de solventes.
- Corrosivos, como borras e resíduos ácidos, acumuladores elétricos à base de chumbo, resíduos de ácidos carboxílicos, ácido sulfúrico, cromo e chumbo.
- Reativos, que podem ser, por exemplo: lodo industrial e soluções exauridas de operações de galvanoplastia e carvão usado em tratamento de efluentes líquidos que contêm explosivos.

- Tóxicos, como solventes halogenados, lodo de tinta; fibras de amianto, lâmpadas com vapor de mercúrio e óleos lubrificantes.
- Patogênicos. Alguns exemplos: resíduos que contêm micro-organismos patogênicos, proteínas virais, organismos geneticamente modificados, cloroplastos, toxinas causadoras de doenças em homens, animais ou vegetais.

2) Resíduos Não Perigosos Classe II.

Apesar de serem aparentemente inofensivos devido ao seu nome “não perigosos”, eles também requerem alguns cuidados para que não causem impactos socioambientais e/ou prejuízos financeiros. Eles se separam em dois diferentes tipos:

2.1) Classe II A: são os não perigosos e não inertes.

Podem apresentar características como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Seguem alguns exemplos: restos de alimentos, materiais têxteis, fibras de vidro, limalha de ferro e lama proveniente de sistemas de tratamento de água.

2.2) Classe II B: são não perigosos e inertes.

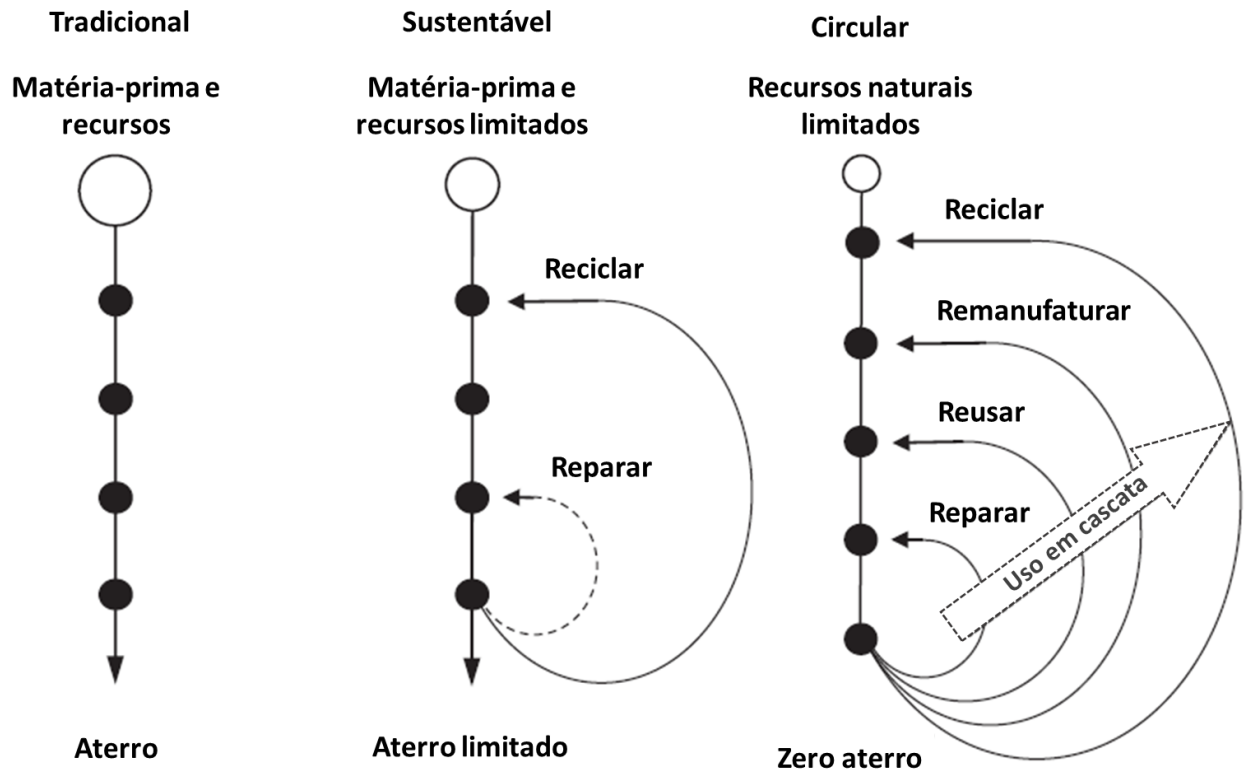
São considerados materiais estáveis, que quando em contato com a água não sofrem transformações (físicas, químicas ou biológicas). Alguns exemplos de materiais classificados nessa categoria: entulhos de demolição, pedras, areia, sucatas de ferro, madeiras, isopor, borrachas, latas de alumínio e vidros. A correta gestão desses resíduos sólidos pelas empresas vai garantir sua adesão à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei de 2010 que regula o transporte, tratamento dos resíduos e as ações de destinação e disposição final. Abaixo temos os resíduos sólidos de embalagens da indústria automotiva mais comuns e suas classificações:

- Palete de Madeira: não perigoso e inerte (classe II B).
- Sacos plásticos: não perigoso e inerte (classe II B).
- Papelão: não perigoso e não inerte (classe II A) por conter biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

3.3 Economia linear e circular

De Angelis *et al.* (2018) explicam que a economia circular, atualmente, sem dúvidas, é muito mais requerida que a tradicional economia linear. Cada vez mais é necessária a busca por modelos de produção que degradem menos o meio ambiente. Toda atividade econômica vai causar algum impacto, no entanto, a ordem é buscar por meios de minimizar e controlar seus efeitos. Na Figura 12, estão destacados três modelos econômicos. Partindo do processo linear/tradicional (mais à esquerda), passando pelo processo sustentável e chegando até o processo circular. É facilmente percebida uma evolução no que tange o uso dos produtos bem como a destinação dos seus resíduos. No modelo linear não há algum tipo de reaproveitamento, seja do produto ou do resíduo gerado pela indústria. Já no modo sustentável, é considerada a reciclagem e também o reparo de produtos que poderão ser reinseridos no processo, gerando menos impacto que o modelo linear. E por fim, podemos afirmar que o modelo circular é melhor que o modelo sustentável, pois maximiza o uso do recursos, não só apenas recicla e repara os materiais, como também considera a remanufatura e o reuso extendendo a vida útil de produtos.

Figura 12: Processos produtivos tradicionais, sustentáveis e circulares, destacando seus recursos e tipo de destinação.



Fonte: De Angelis et al. (2018), traduzido pelo autor.

A economia circular é muito abrangente. Ela trata desde a gestão de resíduos, passando pelos produtos manufaturados, e, vai até à cadeia de abastecimento, onde a embalagem é também grande protagonista (ZHU *et al.*, 2022). No entanto, analisando os materiais utilizados na construção das embalagens e o próprio modo de utilização das mesmas, vemos que, o modelo linear ainda é muito comum nas indústrias, o que contribui para a geração mais resíduos sólidos.

O reúso de embalagens é considerado pela economia circular, no entanto, existem fatores que dificultam sua implementação nas empresas como: distâncias para retorno, custos de investimento, limpeza e manutenção. Por isso, os designers devem trabalhar no sentido de projetar uma embalagem reutilizável tão boa que possa justificar seu emprego superando essas barreiras mencionadas anteriormente.

Um ponto muito importante sobre o retorno das embalagens duráveis, é que ele aumenta as emissões no ar, pois é necessário um maior uso de meios de

transporte, gerando mais impactos. Portanto, esse impacto deve ser considerado. Silva e Pålsson (2022) falam que embalagens industriais bem projetadas podem contribuir com a cadeia logística de uma organização, tornando-a eficiente e, permitindo também uma economia circular. As palavras reciclar e reutilizar por muitas vezes são consideradas sinônimos, mas é importante que se entenda bem essa diferença bem como sua participação na economia circular. Outra questão que vale pontuar é que a reciclagem, seja do processo sustentável ou circular, pode ocorrer em circuito aberto ou fechado.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA

4.1 Visita a campo

Durante o mês de novembro de 2023 foram feitas diversas idas a campo na montadora do estudo de caso localizada no interior do estado do Rio de Janeiro. O local visitado foi a área de recebimento de resíduos sólidos de embalagens descartáveis. Essa área ficava dentro do departamento de Logística da empresa, onde, eram armazenados e separados os resíduos de plástico, madeira, papelão e metal. Periodicamente esses materiais eram coletados e enviados para fora da planta fabril para que fossem reciclados. Essa gestão dos resíduos ficava por conta de uma empresa terceira contratada.

4.2 Análise quantitativa dos resíduos sólidos

Durante uma das visitas, a empresa contratada para fazer a gestão dos resíduos sólidos apresentou uma planilha com dados de resíduos sólidos destinados num horizonte de 15 meses conforme Tabela 2 abaixo. Foram considerados todos os resíduos da planta produtiva, não apenas os resíduos de embalagens.

Tabela 2: Resíduos sólidos coletados entre janeiro de 2022 e março de 2023 na indústria do estudo de caso. Os valores estão expressos em toneladas.

Resíduos sólidos para destinação												
Mês	Madeira	Papelão	Lixo comum	Plásticos	Orgânico	Metálicos	Peças automotivas	Vidro	Gordura vegetal	Óleo usado	Infectante	Total (ton)
Jan/22	59,0	38,0	6,6	2,7	1,3	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	110,1
Fev/22	34,1	32,0	1,6	2,5	1,7	1,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	74,4
Mar/22	43,5	40,6	0,0	1,2	3,6	0,7	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	92,5
Abr/22	33,3	13,0	0,0	2,4	1,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,9
Mai/22	54,9	54,0	9,0	3,6	1,9	1,2	0,0	0,4	0,0	0,6	0,0	125,5
Jun/22	28,9	16,4	0,0	2,0	1,8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,3
Jul/22	43,3	44,4	0,0	2,4	2,1	7,4	2,3	0,0	3,8	0,0	0,0	105,6
Ago/22	47,1	36,2	9,2	2,3	1,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,6
Set/22	17,8	17,5	0,0	3,3	1,6	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	41,2
Out/22	45,0	40,6	7,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	94,7
Nov/22	0,0	0,0	0,0	2,9	0,4	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
Dez/22	5,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6
Jan/23	24,3	35,5	0,0	2,6	1,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	69,1
Fev/23	21,9	33,6	7,2	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,8
Mar/23	39,1	38,7	0,0	3,9	2,0	1,8	6,0	0,6	0,0	0,0	1,3	93,5
Total (ton)	497,3	440,3	40,5	31,7	24,9	18,2	15,5	3,9	3,8	2,2	4,8	1.083,2

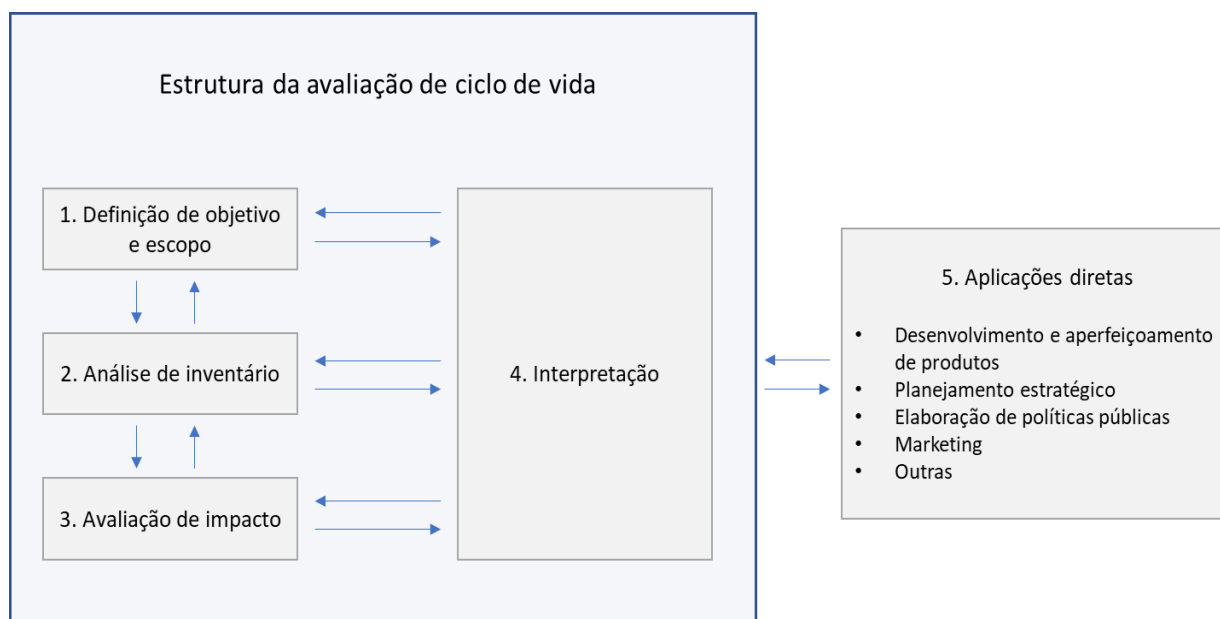
Fonte: o autor.

Segundo a empresa do estudo de caso, foi definido que toda a madeira era oriunda dos paletes descartáveis e todo papelão provinha das caixas descartáveis, pois nesse período, não havia outra atividade que pudesse gerar mais resíduos sólidos de madeira e papelão a não ser a produção de veículos. Atividades como uma obra civil, por exemplo, poderiam aumentar a geração desses resíduos. No entanto, nesse período, não houve nenhuma obra ou algo similar. Nos meses de novembro e dezembro de 2022, nota-se na última coluna à direita que o volume de resíduos foi menor que nos outros meses, pois, a empresa fez uma parada nas suas atividades, ou seja, nesses meses não houve produção, o que reduziu consequentemente o volume dos seus resíduos, e, nos outros meses podemos ver alguns picos nos números. O que explica a variação entre os meses é fato de que a destinação de resíduos não acompanhou exatamente a produção de veículos, ou seja, a produção foi constante, mas a destinação dos resíduos não seguiu o mesmo ritmo.

4.3 ACV (Avaliação do ciclo de vida)

Para a medição dos impactos causados pelos paletes de madeira, foi usada a metodologia ACV (Avaliação de ciclo de vida) descrita nas normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044. A Figura 13 abaixo mostra a estrutura básica da ACV e suas fases.

Figura 13: Estrutura da ACV mostrada em fases.



Fonte: Norma ABNT NBR ISO 14040 de 2009.

Existem dois tipos de abordagem de ACV, a atribucional e a consequential. No caso da ACV atribucional o foco está na descrição quantitativa dos impactos ambientais causados pelos processos de produção de um produto. Já a consequential considera os impactos de um sistema de produto dinâmico que leva em conta variações na demanda do produto avaliado (VASCONCELLOS, 2022). Para esse trabalho foi escolhida a ACV atribucional e o objetivo principal foi calcular o impacto ambiental de uma unidade de palete de madeira (unidade funcional do ACV), desde o plantio da floresta, corte da madeira, fabricação do palete até sua disposição após o uso. Esse tipo de análise é conhecida como “berço ao túmulo”, pois, inicia na extração da matéria-prima que é a madeira (berço) e vai até o seu descarte (túmulo).

O inventário do ciclo de vida (ICV) demonstra os dados de entradas e saídas de uma avaliação de ciclo de vida. Para se obter informações sobre o ICV da produção de um palete de madeira (insumos necessários, eletricidade, consumo de água, transporte, etc.), foram consultadas algumas empresas fabricantes, uma na Europa, uma na China, e quatro no Brasil, (duas no estado de São Paulo e duas no Paraná), sendo que:

- A empresa na Europa respondeu ao contato, mas não possuía as informações solicitadas.
- A empresa na China respondeu ao primeiro contato, mas depois não respondeu aos demais.
- As duas empresas do Paraná não responderam às solicitações.
- Uma empresa de São Paulo retornou o contato, mas também não tinha as informações solicitadas.
- A outra empresa de São Paulo, retornou o contato, explicou sobre as etapas de fabricação do palete e informou quais eram os componentes (*inputs* e *outputs*) do ICV. Porém, quanto às quantidades das variáveis do ICV, disse que não se sentiu confortável em compartilhar. Ou seja, não gostaria de compartilhar a quantidade de água, energia elétrica, etc., utilizadas no seu processo produtivo.

Com isso, conclui-se que, de forma geral, as empresas ou não tem as informações ou tem informações parciais ou mesmo não querem compartilhar, mesmo não sendo informações estratégicas ou comerciais. Logo, para esse trabalho, as etapas, bem como os componentes do ICV foram baseados nas informações fornecidas por uma das empresas consultadas de São Paulo e também foram coletados dados de artigos científicos.

Avaliação dos impactos ambientais:

a) Software:

Para se calcular os impactos ambientais em números, fez-se o uso do software OpenLCA na versão 2.1.0 (GREENDELTA, 2024). O OpenLCA é a única ferramenta profissional e gratuita para fazer Avaliação de ciclo de vida, tem código aberto, e é uma boa alternativa para reduzir custos de investimento, já que é alto o valor de aquisição de programas com esta finalidade. Um outro ponto também importante do OpenLCA é a possibilidade de importar e exportar diferentes formatos de dados, inclusive tem compatibilidade com bancos de dados de outros fabricantes.

b) Base de dados:

É possível criar uma base de dados nova (sem dados) no software OpenLCA, preencher a tela referente as entradas e saídas do ICV e fazer o cálculo dos impactos. No entanto, é um trabalho de pesquisa imenso, necessitaria um time grande trabalhando nisso e levaria muito tempo, difícil até de mensurar o esforço para tal tarefa. Por isso, para esse trabalho, foi utilizada a base de dados “Environmental Footprint secondary data”, versão de fevereiro de 2022, a qual possuía todas as informações dos impactos de produção do palete de madeira. Essa base foi baixada em 06/09/2023 no próprio site da empresa OpenLCA, onde se pode obter outras diversas bases de dados prontas para uso.

Em 07/03/2024 foi feita uma nova pesquisa no site a procura de uma versão mais recente, no entanto a base estava temporariamente indisponível, por isso foi usada a versão mais recente disponível. Observação: essa base de dados se aplica bem ao projeto em questão, pois, o modelo do palete considerado é o padrão Europeu, que é o mesmo padrão de palete utilizado na indústria automotiva do estudo de caso. Em nova pesquisa em novembro de 2024 não havia no site uma versão da base de dados mais atual que a usada para este trabalho.

c) Método de cálculo:

Para se fazer efetivamente um cálculo de impactos dentro do software OpenLCA, além do próprio software, e de uma base dados, também é preciso a escolha de um método de cálculo. Cada um traz diferentes respostas, ou seja,

dependendo do método escolhido, o software OpenLCA vai apresentar diferentes impactos ambientais. Logo, o método é usado para estudo de cenários, melhoria de produtos mas não a quantificação dos impactos de forma absoluta.

O site da OpenLCA, conta com diversas opções de downloads de diferentes métodos, no entanto, para esse trabalho foi escolhido o método PEF (*Product Environmental Footprint*) nomeado “Environmental Footprint midpoint” (GREENDELTA, 2023), o qual já estava embutido na base de dados escolhida, não foi necessário fazer um download adicional. Segundo Wu e Su (2021), o PEF é um método recente, muito completo, aceito internacionalmente e seu uso é recomendado pela Comissão Europeia. É importante aqui destacar ainda temos dois diferentes níveis de avaliação de impactos, podemos trabalhar com *midpoint* ou *endpoint*. O *midpoint* contempla uma grande quantidade de categorias de impactos diferentes e específicos, nele podemos avaliar por exemplo a depleção na camada de ozônio, a eutrofização do solo e a eutrofização de água. Já o *endpoint* está mais relacionado às consequências, é mais abrangente que o *midpoint*, pode combinar diversos impactos pontuando numa única medida como por exemplo o uso de recursos (AKINTAYO; OLANREWAJU, O. A.; OLANREWAJU O. I., 2024). Para o estudo de caso, o método escolhido foi o *midpoint*.

Em suma, para o cálculo de números absolutos dessa avaliação de impactos ambientais, foram utilizadas como ferramentas:

- Software de cálculo: OpenLCA;
- Base de dados: Environmental Footprint secondary data,
- Método de cálculo: Environmental Footprint midpoint.

Todos esses três elementos são produtos da mesma empresa alemã chamada GreenDelta. Apesar do OpenLCA conseguir importar e exportar diferentes bases de dados e métodos de cálculo, de diferentes fabricantes, acreditou-se que trabalhando com os elementos do mesmo fabricante, podemos considerar mais assertivos os resultados, pois espera-se uma total compatibilidade entre os mesmos.

Considerações do cálculo:

O inventário de dados (ou inventário do ciclo de vida, ICV) baseiou-se em informações da indústria e processos de produção adotados internacionalmente. Todas as informações da base de dados estão de acordo com os requisitos da ABNT NBR ISO 14040 e 14044.

Categorias de Impacto:

Usando o método de cálculo Environmental Footprint midpoint, o OpenLCA nos trouxe dezenove diferentes categorias de impacto ambiental, que são:

- Acidificação
- Alterações ou mudanças climáticas
- Mudanças climáticas - Biogênicas
- Mudanças climáticas - Fósseis
- Mudanças climáticas - uso do solo e mudanças no uso do solo
- Ecotoxicidade, água doce
- Eutrofização marinha
- Eutrofização, água doce
- Eutrofização terrestre:
- Toxicidade humana, cancerígena
- Toxicidade humana, não cancerígena
- Radiação ionizante, saúde humana
- Uso do solo
- Destruição da camada de ozônio
- Material particulado
- Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana
- Uso de recursos, fósseis
- Uso de recursos, minerais e metais
- Uso de água

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação dos resíduos sólidos de embalagens

Sobre o estudo de caso, nas visitas ao local onde se armazenavam os resíduos sólidos de embalagens, foi possível identificar os seguintes materiais:

- Paletes de madeira;
- Suportes de madeira usados como estrutura no interior das caixas;
- Caixas de papelão;
- Folhas de papelão com função de proteger peças no interior das caixas;
- Sacos plásticos e de isomanta para proteção individual de peças;
- Sacos com material dessecante usados na contenção de umidade dentro do contêiner utilizado no transporte internacional de peças;
- Cintas de poliéster usadas na fixação de cargas dentro do contêiner;
- Parafusos metálicos cuja função era fixar peças automotivas no interior das embalagens evitando o atrito entre elas durante o transporte.
- Apoios feitos em isopor para proteção de peças sensíveis como airbags.

Na Figura 14 temos alguns desses resíduos de embalagens descartáveis. São materiais que foram utilizados no transporte (paletes de madeira e caixas de papelão), e, na proteção das peças, como as bolsas antiumidade presentes no interior do contêineres.

Figura 14: Na imagem mais acima temos paletes e alguns suportes de madeira dentro de caixas. Abaixo à esquerda temos as bolsas com material dessecante (para remoção de umidade do interior dos contêineres). E mais à direita há placas de papelão provenientes de caixas já desmontadas.



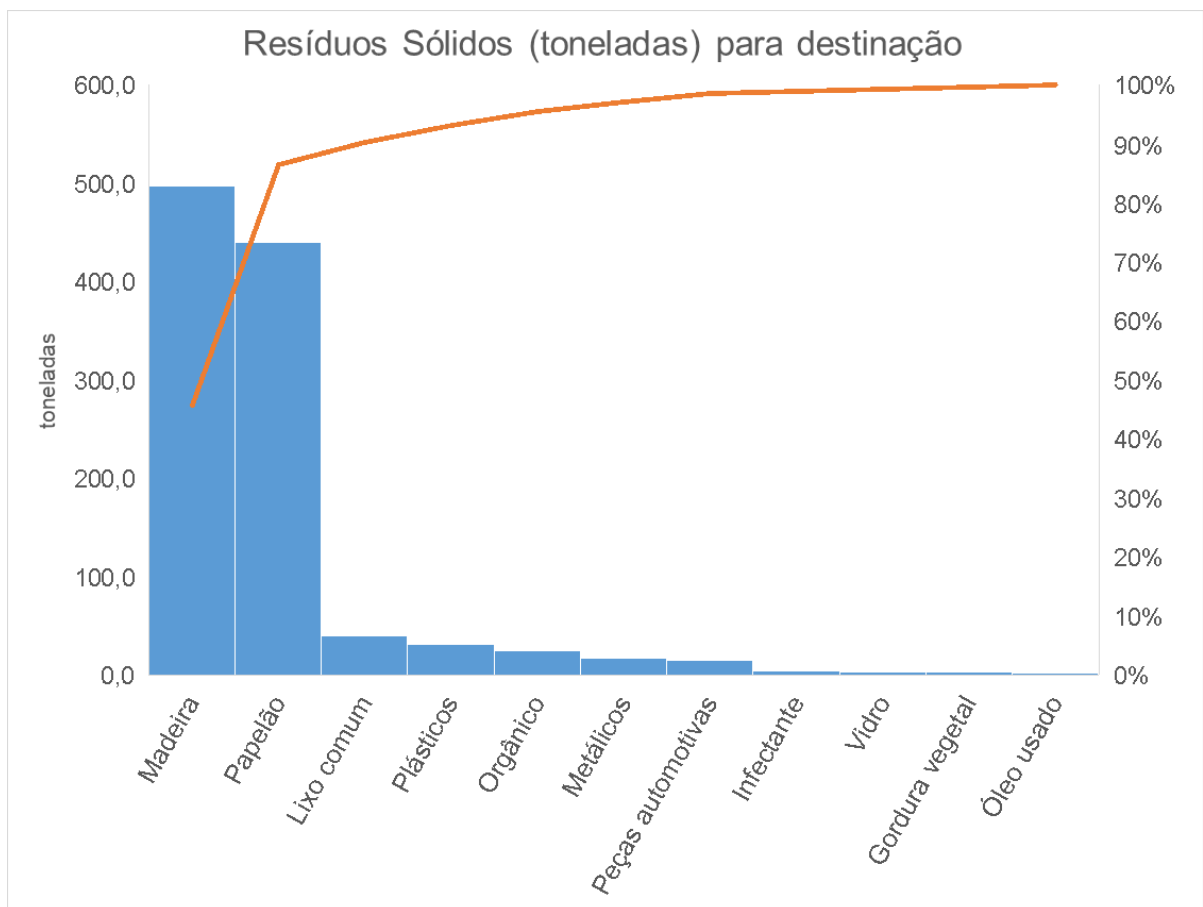
Fonte: o autor.

Por identificação visual no local visitado, ficou claro que o resíduo de embalagem mais significativa era o palete de madeira. Seu volume físico era nitidamente maior que o volume dos outros resíduos de embalagens. Infelizmente não foi possível verificar *in loco* os outros tipos de resíduos sólidos (que não embalagem) da empresa do estudo de caso, pois eram armazenados em uma outra área com acesso restrito.

5.2 Diagrama de Pareto

A tabela de dados fornecida pela empresa do estudo de caso também apontou o palete de madeira como item mais relevante em volume físico. Essa madeira representou 46% de todo o montante de resíduos sólidos da empresa como um todo, não apenas olhando o universo de resíduos de embalagens. À partir dessa tabela foi construído um diagrama de Pareto (Figura 15) onde é possível visualizar do maior para o menor os resíduos mais importantes em ordem de massa expressa em toneladas.

Figura 15: Diagrama de Pareto dos resíduos sólidos da empresa do estudo de caso, classificados por tipo e volume, medidos em toneladas.



Fonte: o autor.

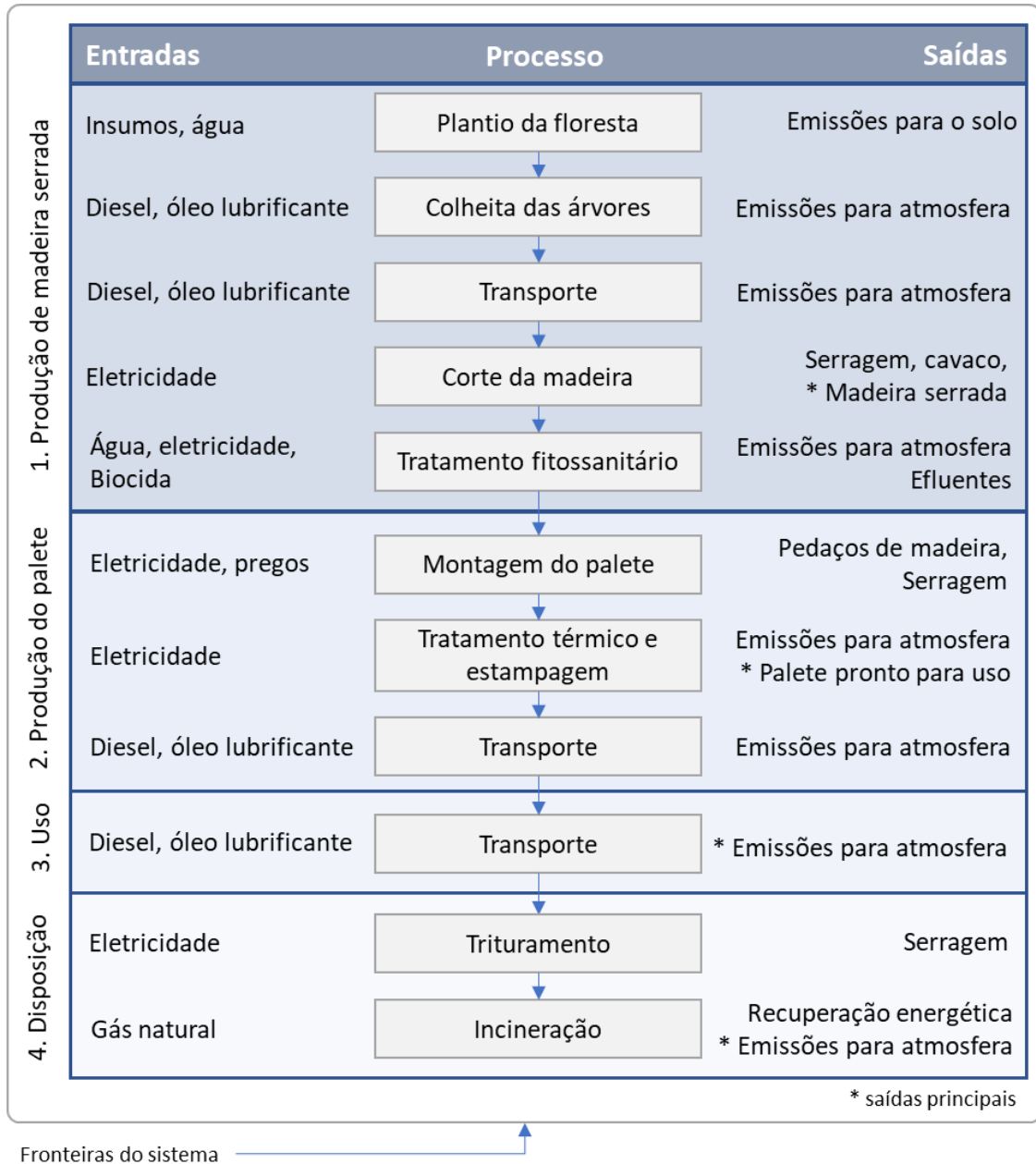
Portanto, como o objetivo traçado no estudo de caso era a redução do volume de resíduos sólidos do material mais representativo, ficou claro que a prioridade foi trabalhar na diminuição da geração de madeira que tinha origem nos paletes descartáveis.

5.3 ACV do palete de madeira

5.3.1 ICV (Inventário do ciclo de vida)

Segundo (GARCÍA *et al.*, 2016) a produção do palete é dividida em duas principais etapas: “Produção de madeira serrada” e “Produção do palete”. Além dessas duas, para que esse trabalho considerasse o processo completo de avaliação de ciclo de vida, foram incluídas as etapas de uso e disposição do palete. Na Figura 16 a seguir temos representadas todas essas etapas, bem como as entradas e saídas de cada processo. As entradas podem ser insumos e/ou recursos necessários, e, as saídas são os resultados de um processamento que contemplam resíduos, produtos (principais e co-produtos), emissões para a atmosfera, água ou solo. As saídas principais estão seguidas de um asterisco. De acordo com a base de dados do OpenLCA, na etapa de disposição, o cenário previsto foi a incineração do palete após o uso. Outros destinos poderiam ser escolhidos, como por exemplo, fabricação de móveis e utilização em obras civis.

Figura 16: ICV (Inventário do ciclo de vida) completo do palete de madeira, partindo do plantio das árvores, passando pela produção de madeira serrada, montagem do palete, uso e incineração na fase de disposição.



Fonte: o autor

5.3.2 Impactos atuais do palete de madeira

Segue na Tabela 3 abaixo todos os impactos causados por uma unidade de palete de madeira descartável nas dimensões 1200x1000 mm, com massa de 30 kg e capacidade de carga nominal de 1000 kg, calculados no aplicativo OpenLCA. A empresa do estudo de caso possuía alguns outros modelos de paletes com diferentes dimensões, no entanto, esse foi usado como referência por ser o mais utilizado. A distância considerada entre o fabricante do palete e o ponto de uso são 10.750 km, sendo 150 km usando caminhão, 600 km trem e 10.000 km de navio. Esses números foram informados pela empresa do estudo de caso. Nota-se uma longa distância pelo modal aquático pois o fornecedor dos paletes está localizado na europa e a indústria do estudo está no Brasil.

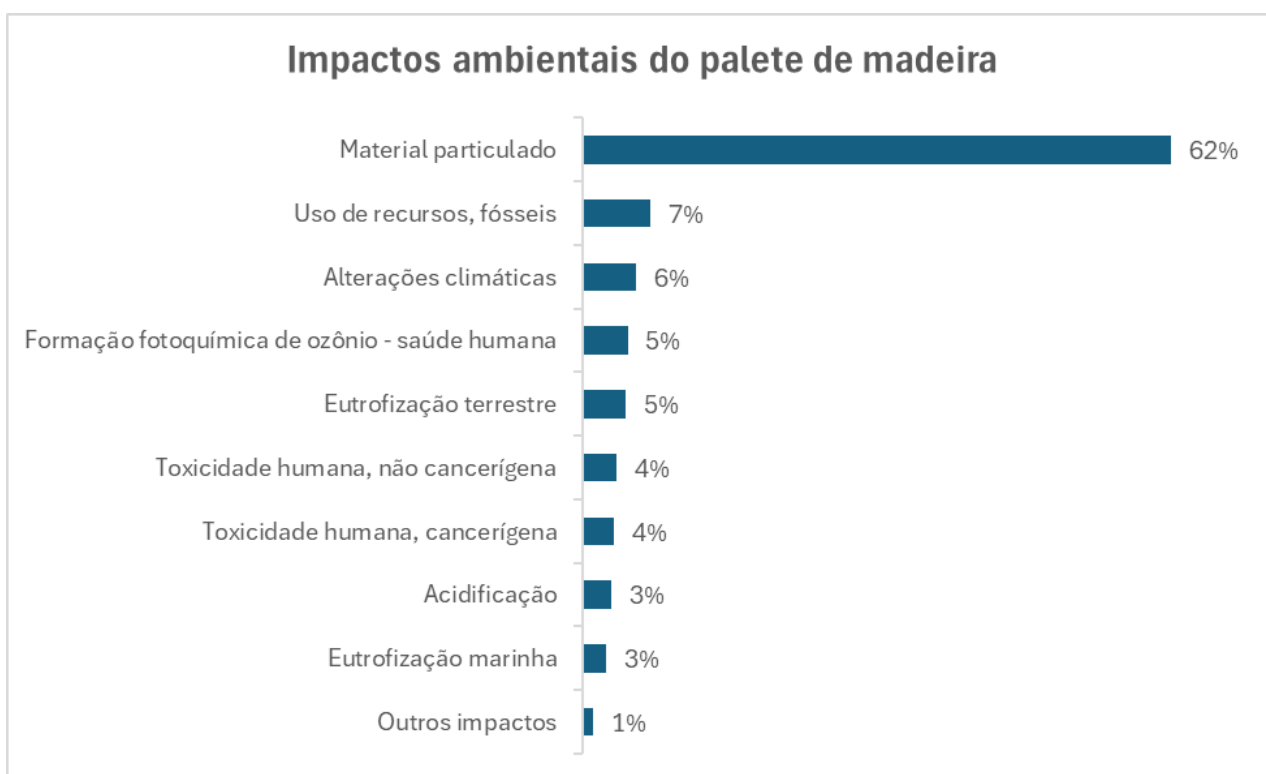
Tabela 3: Impacto ambiental causado por uma unidade de palete de madeira descartável, calculado no software OpenLCA, usando o método de cálculo Environmental Footprint midpoint.

Categoria de impacto	Unidade de referência	Impactos do palete de madeira
Acidificação	mol H+ eq	1,94E-01
Alterações climáticas	kg CO ₂ eq	1,33E+01
Mudanças climáticas - Biogênicas	kg CO ₂ eq	2,51E-02
Mudanças climáticas - Fósseis	kg CO ₂ eq	1,32E+01
Mudanças climáticas - uso do solo e mudanças no uso do solo	kg CO ₂ eq	2,29E-02
Ecotoxicidade, água doce	CTUe	1,46E+00
Eutrofização marinha	kg N eq	5,43E-02
Eutrofização, água doce	kg P eq	3,02E-05
Eutrofização terrestre	mol N eq	5,95E-01
Toxicidade humana, cancerígena	CTUh	7,15E-08
Toxicidade humana, não cancerígena	CTUh	4,99E-07
Radiação ionizante, saúde humana	kBq U-235 eq	3,39E-01
Uso do solo	Pt	7,71E+01
Destruição da camada de ozônio	kg CFC11 eq	5,29E-11
Material particulado	disease inc.	8,72E-06
Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana	kg NMVOC eq	1,50E-01
Uso de recursos, fósseis	MJ	1,48E+02
Uso de recursos, minerais e metais	kg Sb eq	1,84E-06
Uso de água	m ³ depriv.	3,86E-01

Fonte: o autor, calculado no software OpenLCA em 26/03/2024.

Na Figura 17 abaixo temos os impactos de forma normalizada, ou seja, o software OpenLCA fez a equiparação de todos os impactos para que possam ser vistos por ordem de importância.

Figura 17: Representação gráfica dos impactos do palete de madeira visualizados por ordem de importância.



Fonte: o autor.

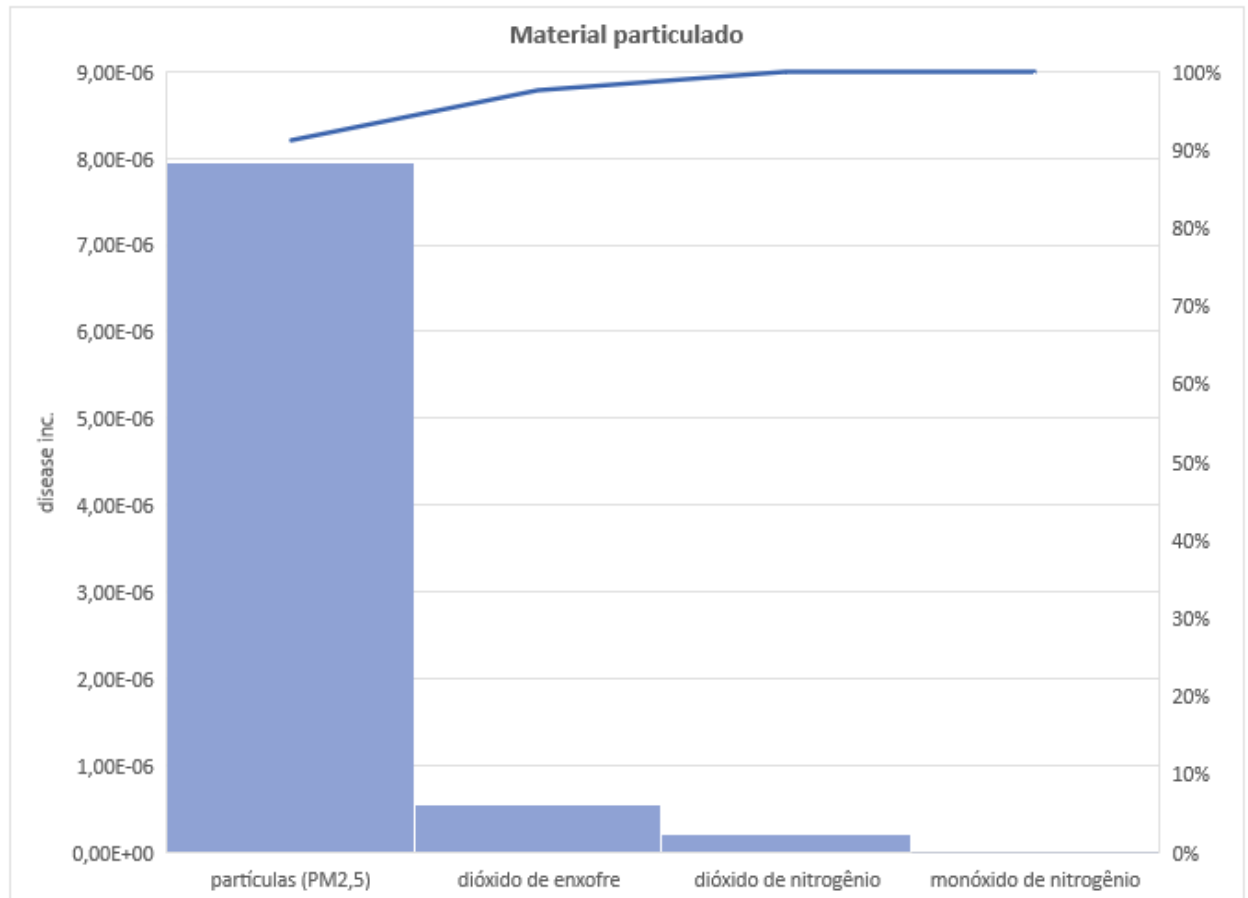
O OpenLCA também nos mostra uma análise mais detalhada por tipo de impacto, podendo ser visualizada a contribuição de cada componente de saída do ICV. O uso do Diagrama de Pareto é recomendado pela ABNT NBR ISO 14044 para identificar os impactos mais significativos. A seguir, da Figura 18 a Figura 26, veremos os detalhes dos impactos mais importantes representados na Figura 17.

- Material particulado:

Roiko *et al.* (2019) falam que atividades industriais, bem como emissões feitas pelos meios de transporte, descartam no ar esses poluentes, os materiais particulados (MP), que podem ser partículas sólidas ou gotas líquidas. Essas partículas são muito

pequenas. As mais prejudiciais à saúde são as que tem diâmetro aerodinâmico menor que 10 micrômetros (MP10) e, mais ainda, as menores que 2,5 micrômetros (MP2,5), que podem ser inaladas muito facilmente. No meio ambiente causam poluição no ar, água e solo. De acordo com os resultados obtidos do estudo de caso, na Figura 18 podemos ver os diferentes tipos de materiais particulados que são provenientes da queima de óleo diesel dos caminhões que fazem o transporte dos paletes e da queima do óleo bunker usado como combustível no transporte marítimo. O corte das árvores e a serragem da madeira também produz material particulado que fica em suspensão na atmosfera podendo adsorver gases, criando um ambiente onde podem ocorrer reações. Posteriormente esse material particulado irá se depositar no solo ou na água causando impactos nesse ambiente. E, se inalado ou em contato com os olhos pode causar impactos na saúde das pessoas. Outros impactos podem ser também observados devido ao material particulado presente no ar, como criação de uma neblina que atrapalha a visualização dos motoristas, podendo causar acidentes de trânsito e também sua interferência na dispersão da luz prejudicando a fotossíntese das plantas.

Figura 18: Pareto das contribuições do impacto de Material particulado.

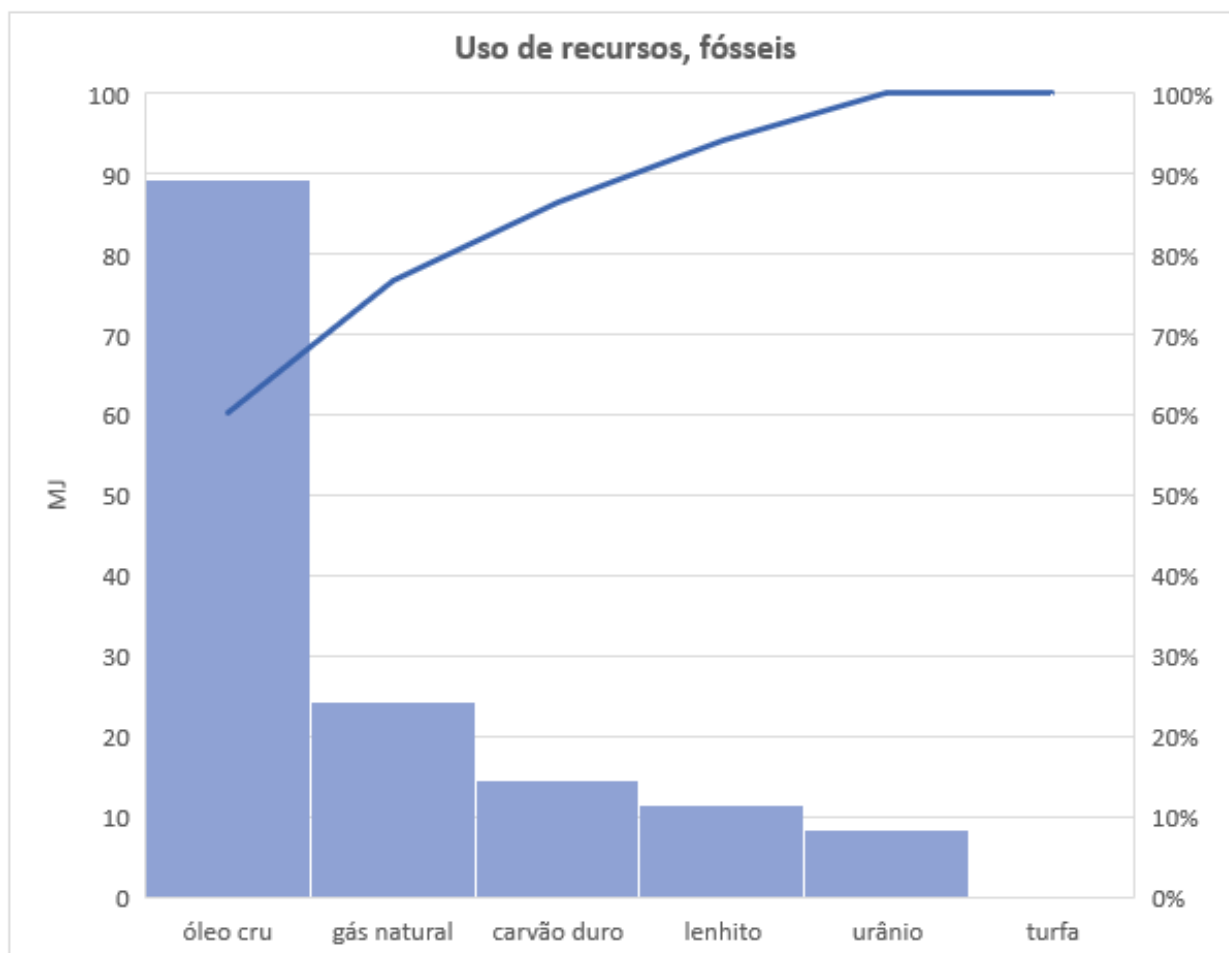


Fonte: o autor.

- Uso de recursos, fósseis:

O impacto de depleção de recursos fósseis (ou recursos não renováveis), trata da redução na quantidade desses recursos naturais, ou seja, o ser humano faz o consumo dos recursos, mas eles são finitos na natureza, conforme citam Silva *et al.* (2015). Esses combustíveis fósseis foram formados por restos de animais e vegetais há milhares de anos, como petróleo, gás natural e carvão mineral. Na Figura 19 estão destacados os recursos fósseis que tem origem nos combustíveis usados em transportes e equipamentos usados na produção dos paletes do estudo de caso.

Figura 19: Pareto das contribuições do impacto de Uso de recursos, fósseis.



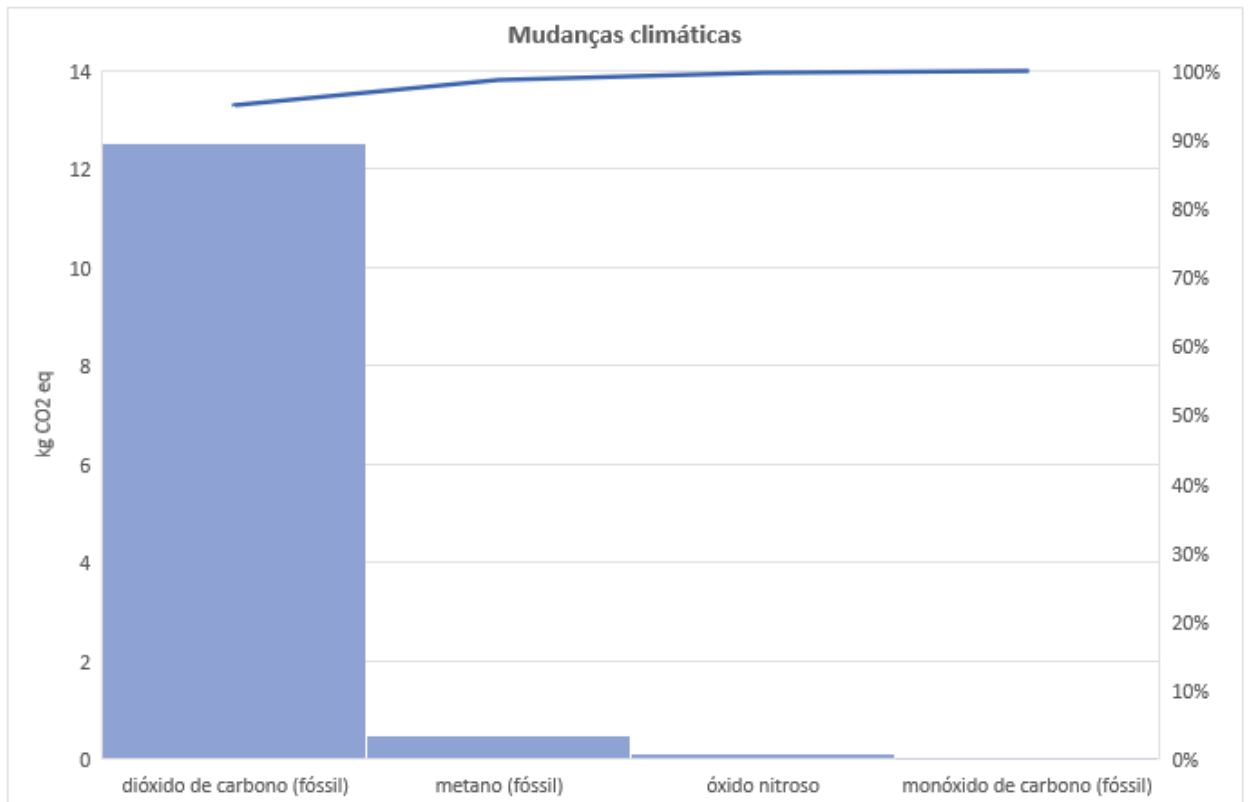
Fonte: o autor.

- Alterações ou mudanças climáticas:

Trata-se do aumento na retenção de calor na atmosfera, gerada pela concentração de certos gases provenientes de emissões atmosféricas, provocando aumento na temperatura do planeta conforme citam Silva *et al.* (2015) e Silva e Kulay (2023). As consequências são várias, como aumento do nível do mar causado pelo derretimento de geleiras, e outros eventos como tempestades, inundações, ondas de calor, furacões, tsunamis, etc. O dióxido de carbono é um dos principais gases do efeito estufa. Na Figura 20, onde são mostrados os impactos do estudo de caso, é o item mais representativo e tem sua origem na queima dos combustíveis fósseis usados pelos meios de transporte. O metano aparece em segundo lugar, porém, esse gás é 28 vezes mais potente que o dióxido de carbono numa escala de tempo de 100 anos, e, se considerarmos um período de 20 anos ele é 84 vezes pior (EUROPEAN COMMISSION, 2024). Essa diferença na escala ocorre, pois, sua vida

útil na atmosfera é menor (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2024). No caso dos impactos da fabricação dos paletes de madeira representados na Figura 20, se multiplicarmos por 28 a quantidade do metano, podemos dizer que nesse caso ele é mais prejudicial ao meio ambiente em relação ao dióxido de carbono.

Figura 20: Pareto das contribuições do impacto de Alterações climáticas.



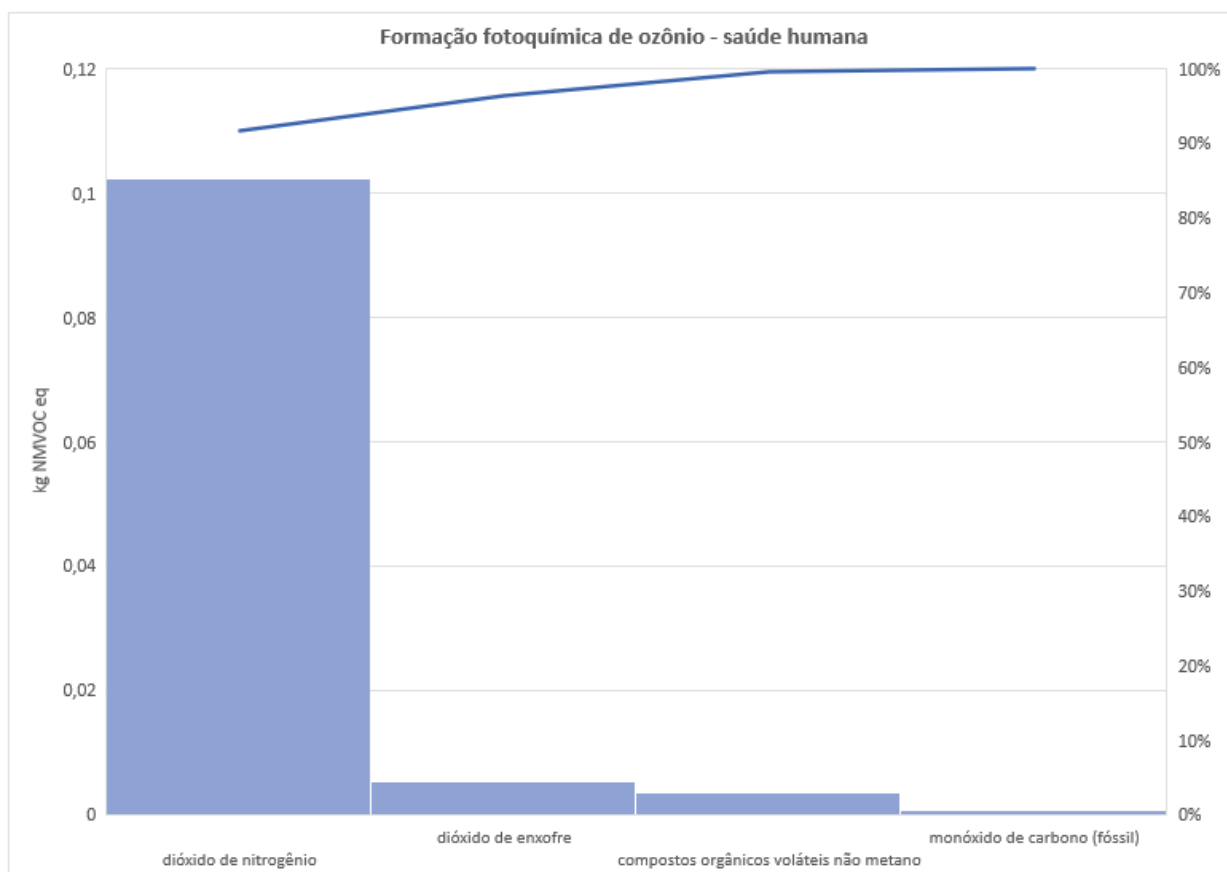
Fonte: o autor.

- Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana:

Conforme explicam Silva e Kulay (2023), a formação fotoquímica de ozônio é uma categoria de impacto resultante do aumento da concentração de ozônio na troposfera (que é a camada mais baixa da atmosfera), causada por reações entre oxigênio e poluentes primários (hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e radicais livres). Diferente do ozônio da estratosfera, que é um ozônio “bom”, pois absorve parte da radiação ultravioleta que é nociva à vida, o ozônio na troposfera, formado por poluentes, é conhecido como ozônio “mau”, pois ocasiona danos às plantas e

animais e doenças respiratórias nos seres humanos. A origem desse ozônio (Figura 21) provêm da queima de combustíveis de todo o processo de fabricação até o descarte do palete do estudo de caso.

Figura 21: Pareto das contribuições do impacto de Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana.



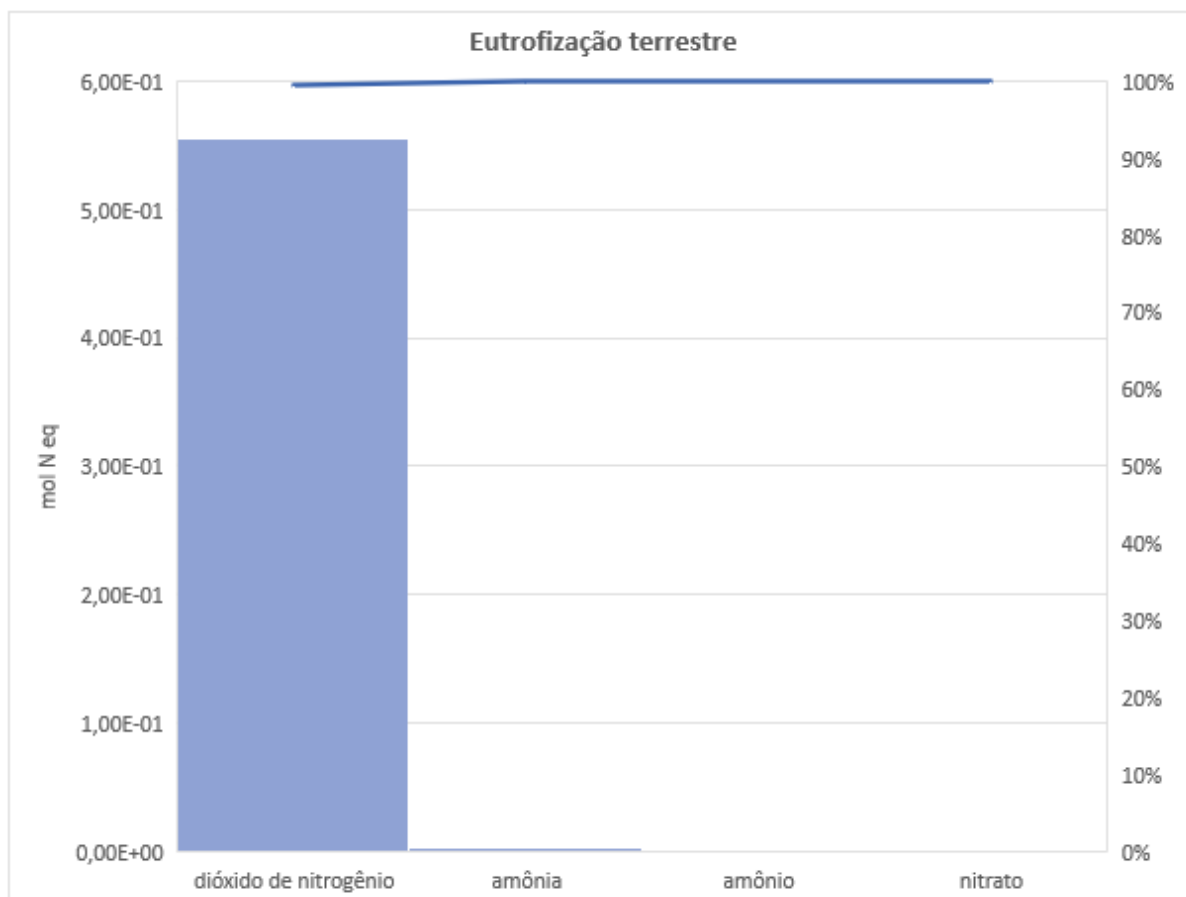
Fonte: o autor.

- Eutrofização terrestre:

Conforme explicam Silva e Kulay (2023), a eutrofização terrestre é causada pelo aumento de nutrientes limítrofes, o que pode provocar incremento na quantidade de espécies indesejadas no solo, gerando problemas de biodiversidade no local afetado. Um exemplo é a amônia usada na produção de fertilizantes. Esse composto químico uma vez presente no solo, dependendo de sua concentração, se acima do normal, pode causar eutrofização. O dióxido de nitrogênio, que tem origem na queima de combustíveis fósseis, é o item mais representativo da Figura 22

(resultado do estudo de caso). Ele causa danos nas plantas prejuízos ao seu crescimento e desenvolvimento das flores e frutos (CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2024).

Figura 22: Pareto das contribuições do impacto de Eutrofização terrestre.



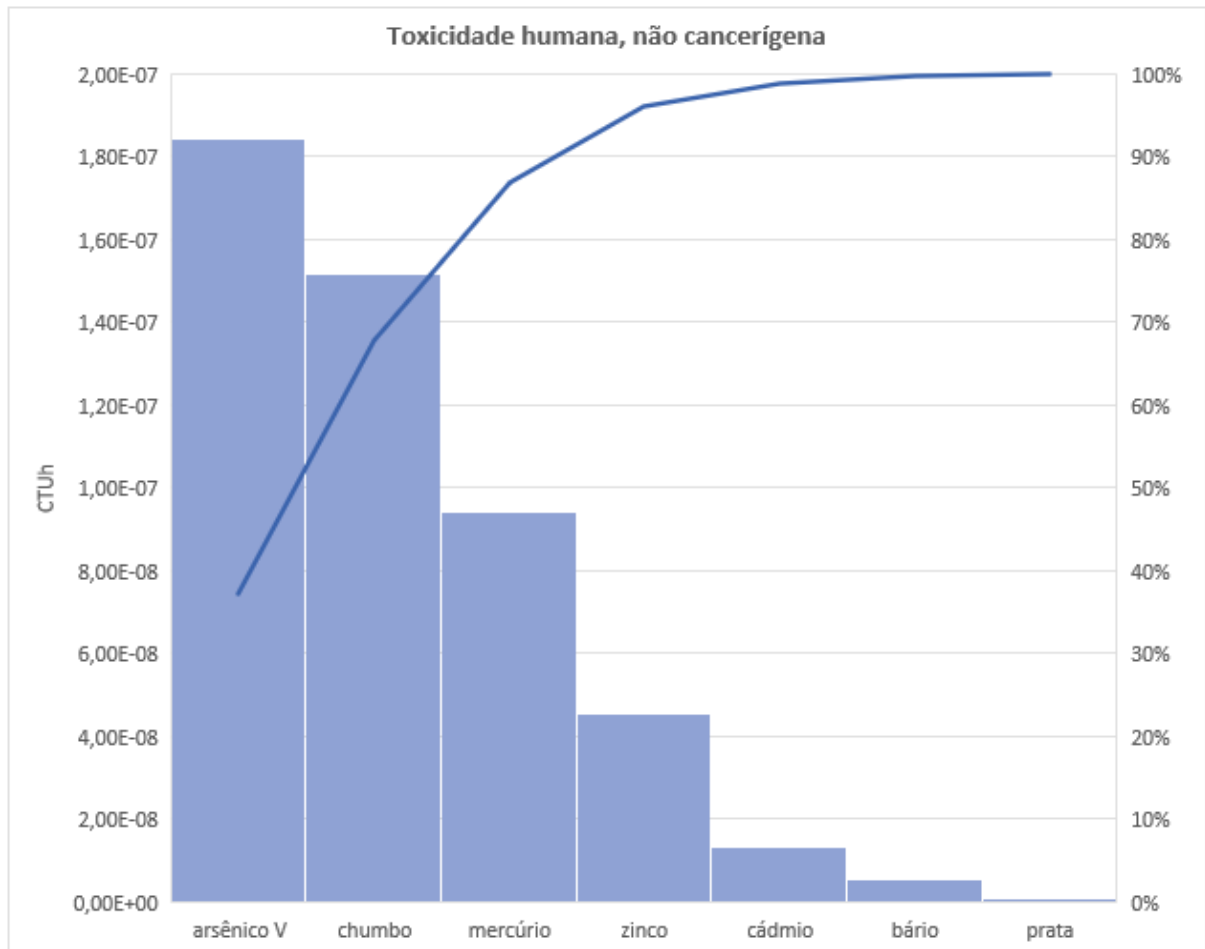
Fonte: o autor.

- Toxicidade humana, não cancerígena:

A Toxicidade humana trata dos impactos na saúde das pessoas provenientes de substâncias tóxicas presentes no ambiente. Essa categoria de impacto tem relação com os agentes que não são cancerígenos. O mercúrio é um elemento classificado como altamente tóxico, afetando a saúde das pessoas bem como o equilíbrio do meio ambiente (BRITO, 2021). Assim como o mercúrio, o chumbo também é considerado muito tóxico, podendo causar graves danos à saúde das pessoas, como problemas gastrointestinais, neuromusculares, alterações na pressão arterial,

dentre outros problemas e podendo levar a morte. Na Figura 23 temos os resultados do estudo de caso para essa categoria de impacto. A origem dessas substâncias tóxicas está nos materiais de rejeito industrial.

Figura 23: Pareto das contribuições do impacto de Toxicidade humana, não cancerígena.

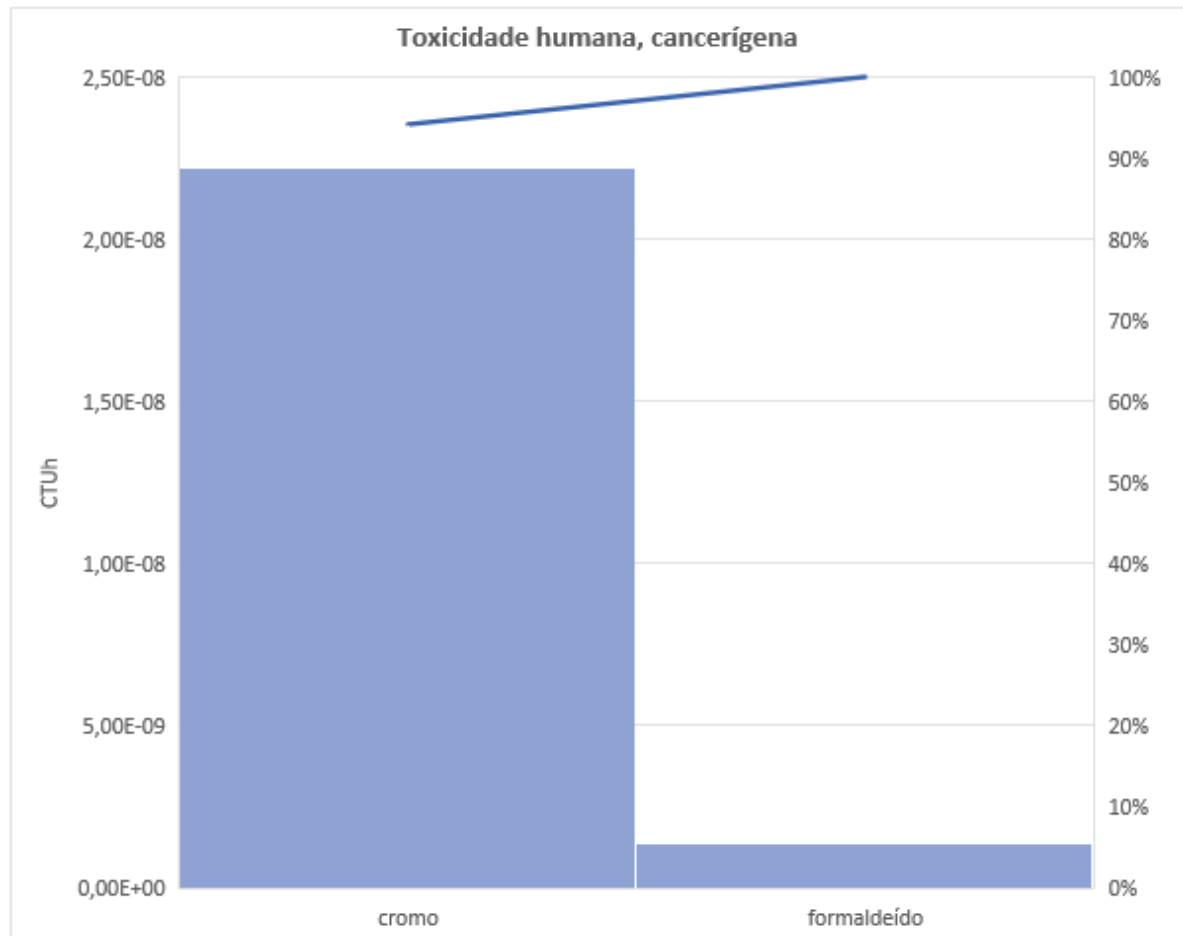


Fonte: o autor.

- Toxicidade humana, cancerígena:

Similar à categoria de impacto anterior, no entanto relaciona os agentes cancerígenos (Figura 24, referente à produção de paletes do estudo de caso), como cromo, que é um metal pesado e quando em contato com o corpo humano, pode causar efeitos graves como dermatite e possibilidade de câncer. Esses materiais provêm dos rejeitos industriais de galvanoplastia por exemplo, que é o tipo de indústria produtora dos pregos usados na construção dos paletes de madeira.

Figura 24: Pareto das contribuições do impacto de Toxicidade humana, cancerígena.

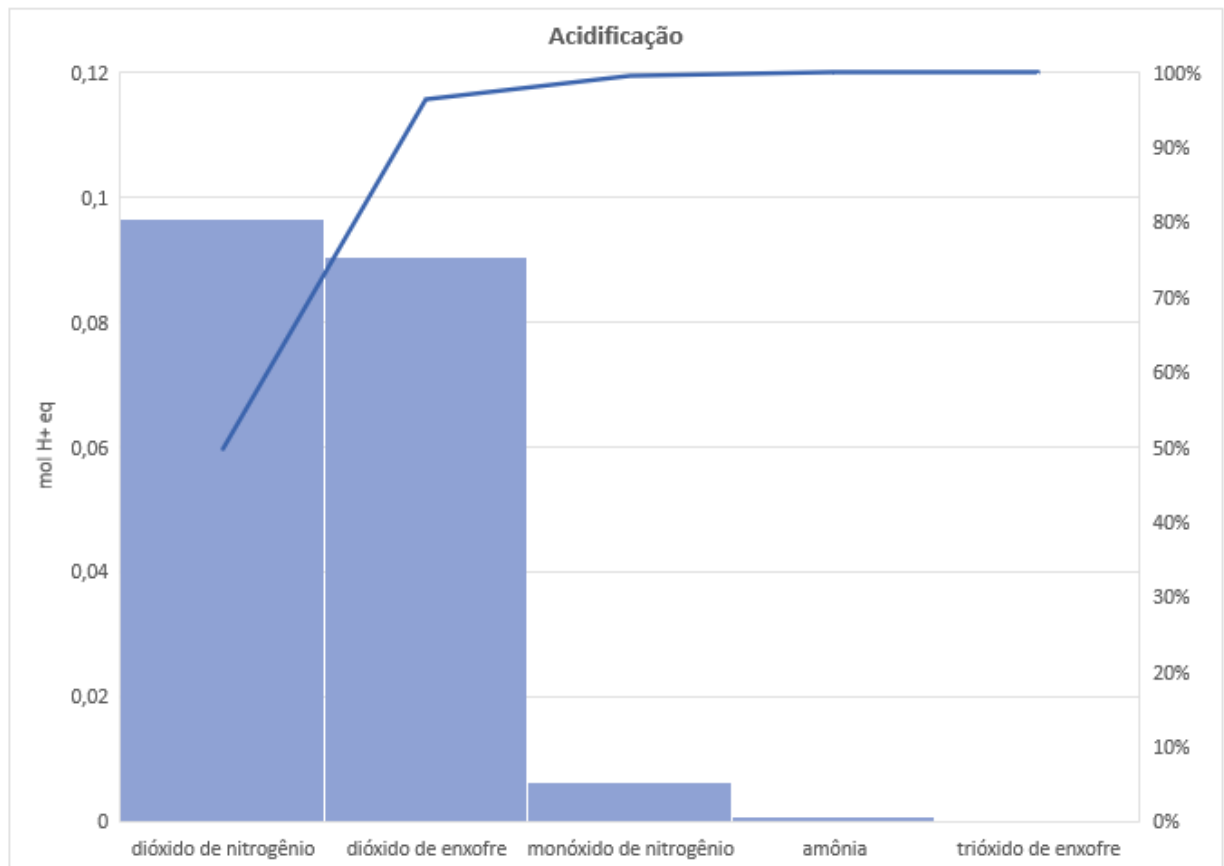


Fonte: o autor.

- Acidificação:

Segundo Silva *et al.* (2015) e Silva e Kulay (2023) a acidificação, ou chuva ácida, é um fenômeno que causa aumento no grau de acidez em diferentes meios naturais (ar, água e solo). Gases procedentes da queima de combustíveis reagem com o oxigênio do ar e o vapor de água, transformando-se em ácidos. A deposição ácida causa efeitos nocivos à fauna, flora e monumentos, moradias e edifícios. A Figura 25 mostra a acidificação que provém principalmente da queima dos combustíveis fósseis usados nos meios de transporte de acordo com o estudo de caso.

Figura 25: Pareto das contribuições do impacto de Acidificação.

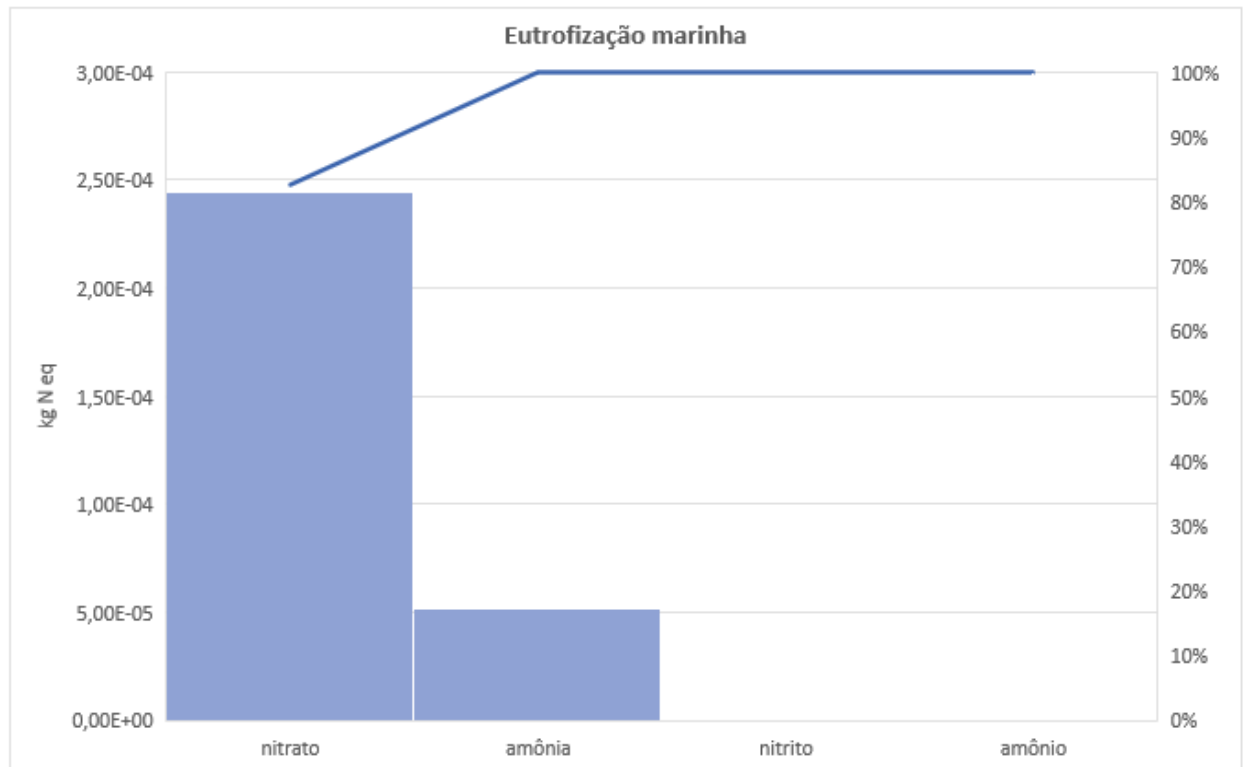


Fonte: o autor.

- Eutrofização marinha:

A eutrofização é o resultado no aumento da concentração de nutrientes limítrofes na água ou no solo provocado pela disposição de rejeitos, provocando um crescimento na quantidade de espécies indesejadas no local. Na água, podemos notar sua cor mais turva e o crescimento desordenado de algas que criam uma camada na superfície, impedindo a passagem da luz. Dessa forma, as plantas que ficam no fundo não conseguem fazer a fotossíntese reduzindo os níveis de oxigênio, causando a morte de seres aquáticos (SILVA *et al.*, 2015). A Figura 26 destaca o dióxido de nitrogênio como item principal dessa eutrofização causada pelo esgoto industrial do estudo de caso.

Figura 26: Pareto das contribuições do impacto de Eutrofização marinha.



Fonte: o autor.

5.4 Plano de melhoria

Olhando para o estudo de caso da empresa automotiva, cujo objetivo foi reduzir a geração de resíduos sólidos, apresentam-se a seguir cinco opções de melhoria. Lembrando, o que chamamos de “paleta atual” da empresa do estudo de caso, trata-se de um paleta de madeira descartável.

5.4.1 Troca do paleta atual por paleta plástico retornável

A empresa do estudo de caso tem a opção de fazer a substituição dos paletes de madeira descartáveis por paletes plásticos retornáveis. A Figura 27 abaixo traz um modelo de paleta plástico reutilizável nas medidas 1200x1000x165 mm

(comprimento x largura x altura). Essas dimensões de comprimento e largura são muito comuns de se encontrar, porém, a altura pode ter pequenas variações de acordo com cada fabricante.

Figura 27: Palete plástico injetado modelo 8279130 nas dimensões 1200x1000x165 mm do fabricante Schoeller Allibert.



Fonte: Schoeller Allibert (2024).

É muito comum nas indústrias o uso de paletes plásticos retornáveis ou mesmo, é normal que as mesmas executem o processo de substituição de paletes descartáveis por reutilizáveis, principalmente por dois motivos:

- a) Redução de custos: o uso do palete plástico retornável pode trazer altas economias, o que justifica sua aquisição. Seu custo pode ser de cinco a dez vezes maior que o descartável e se pagará ao longo do tempo de uso (MOURA e BANZATO, 2014).
- b) Redução nos impactos ambientais: muitas empresas acreditam que o palete plástico retornável pode reduzir os impactos no meio ambiente em comparação ao palete de madeira descartável que gera resíduos sólidos a cada uso. Ainda, Silva e Martins (2019) afirmam que o uso dos paletes retornáveis vem crescendo. Mas afinal, em relação aos impactos, que tipo de palete é menos nocivo ao meio ambiente? Essa questão é complexa de se responder pois, esses dois tipos paletes utilizam diferentes materiais e diferentes processos produtivos, logo, vão ter diferentes resultados nas categorias de impacto ambiental.

- Comparativo de impactos ambientais entre paletes de madeira e plástico:

Na mesma base de dados (Environmental Footprint secondary data) usada no OpenLCA, onde conseguimos extrair informações e calcular os impactos do palete de madeira, também havia informações de impactos de produção e descarte do palete reutilizável plástico. Inclusive, nessa base de dados, esses paletes tem a mesma funcionalidade, ou seja, ambos têm a mesma dimensão (1200x1000 mm), a mesma massa de 30 kg e a mesma capacidade nominal de carga que é de 1000 kg. Com isso, devido a essa equivalência foi possível fazer o cálculo dos impactos para o plástico também e comparar seus impactos com o palete de madeira conforme Tabela 4. Na coluna mais à direita há a indicação de qual modelo de palete causa maior impacto por categoria de impacto ambiental.

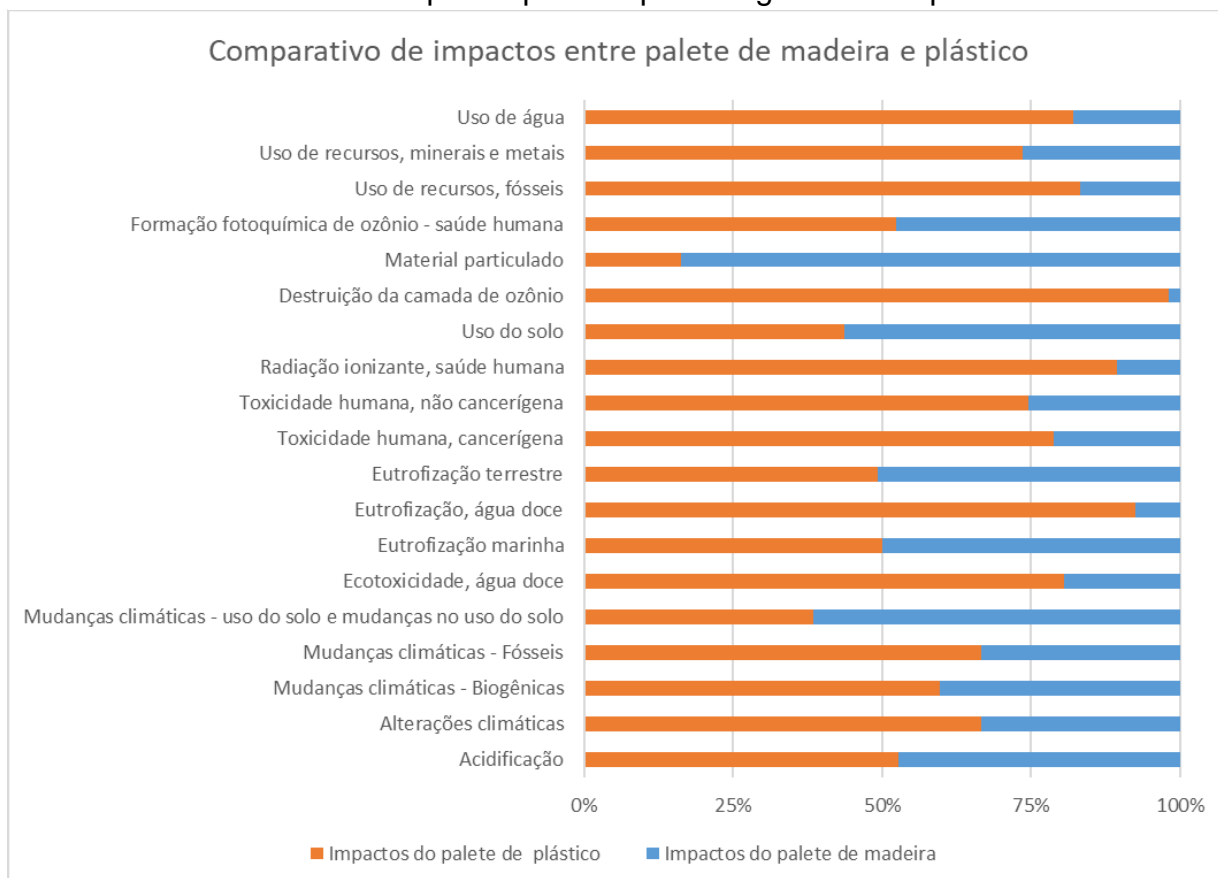
Tabela 4: Tabela comparativa direta de impactos ambientais entre um palete de madeira e um palete plástico por categorias de impacto.

Categoria de impacto	Unidade de referência	Impactos do palete de madeira	Impactos do palete de plástico	Palete que causa maior impacto
Acidificação	mol H+ eq	1,94E-01	2,16E-01	Plástico
Alterações climáticas	kg CO ₂ eq	1,33E+01	2,64E+01	Plástico
Mudanças climáticas - Biogênicas	kg CO ₂ eq	2,51E-02	3,72E-02	Plástico
Mudanças climáticas - Fósseis	kg CO ₂ eq	1,32E+01	2,63E+01	Plástico
Mudanças climáticas - uso do solo e mudanças no uso do solo	kg CO ₂ eq	2,29E-02	1,43E-02	Madeira
Ecotoxicidade, água doce	CTUe	1,46E+00	6,04E+00	Plástico
Eutrofização marinha	kg N eq	5,43E-02	5,42E-02	Madeira
Eutrofização, água doce	kg P eq	3,02E-05	3,74E-04	Plástico
Eutrofização terrestre	mol N eq	5,95E-01	5,79E-01	Madeira
Toxicidade humana, cancerígena	CTUh	7,15E-08	2,64E-07	Plástico
Toxicidade humana, não cancerígena	CTUh	4,99E-07	1,46E-06	Plástico
Radiação ionizante, saúde humana	kBq U-235 eq	3,39E-01	2,84E+00	Plástico
Uso do solo	Pt	7,71E+01	5,97E+01	Madeira
Destruição da camada de ozônio	kg CFC11 eq	5,29E-11	2,65E-09	Plástico
Material particulado	disease inc.	8,72E-06	1,69E-06	Madeira
Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana	kg NMVOC eq	1,50E-01	1,65E-01	Plástico
Uso de recursos, fósseis	MJ	1,48E+02	7,30E+02	Plástico
Uso de recursos, minerais e metais	kg Sb eq	1,84E-06	5,13E-06	Plástico
Uso de água	m ³ depriv.	3,86E-01	1,77E+00	Plástico

Fonte: o autor.

Nessa Tabela 4 acima podemos notar que dentre os dezenove impactos diferentes, em quatorze o palete plástico impacta mais que o palete de madeira. Na Figura 28 a seguir temos de forma gráfica esse mesmo comparativo, porém com a visualização de forma percentual, também olhando impacto a impacto.

Figura 28: Gráfico comparativo de impactos ambientais entre um palete de madeira e um palete plástico por categorias de impacto.



Fonte: o autor.

Esse comparativo ainda não é conclusivo para saber qual é o pior ou melhor palete em termos ambientais, pois um impacto poderia ter mais peso (relevância) que outro dependendo do tipo de análise que se quer fazer. Um exemplo, no Japão, o impacto “Uso do solo” teria um maior peso (importância) que no Brasil, pois sabemos que no Brasil há um território não ocupado muito maior que no Japão, onde o metro quadrado é mais valioso.

Ao acessar os fabricantes de paletes de madeira, os mesmos afirmam que a madeira é menos impactante ao meio ambiente, pois, antes de se tornar palete, a madeira enquanto árvore, faz a fotossíntese purificando o ar. E se olharmos o ponto

de vista dos fabricantes de paletes plásticos, o discurso é que o palete deles é melhor para o meio ambiente por ser possível a reutilização inúmeras vezes, não gerando resíduos a cada uso como ocorre com o palete de madeira.

O que se entende com isso é que cada empresa defende o seu próprio produto, mas não possuem ou não apresentam algum cálculo ou estudo científico. Até aqui, foi feita uma comparação direta entre um palete de madeira e um palete plástico, mas sabemos que o palete plástico é retornável, portanto, para que a comparação seja correta, devemos incluir essa condição de reutilização nos cálculos.

Estimativa de ciclos de reuso do palete plástico:

Foi proposto um modelo matemático com a função de calcular em que momento (após quantos reusos) o impacto do palete plástico se iguala ao impactos do palete de madeira, considerando todas as categorias de impacto que formam o método “Environmental Footprint midpoint”, onde:

R: quantidade de reusos ou ciclos, é o que se deseja calcular

M: impactos de 1 unidade de palete de madeira

P: impactos de 1 unidade de palete plástico

T: impactos do transporte de retorno do palete plástico

$$M \times R = P + (T \times R)$$

Fatorando a equação temos:

$$MR = P + TR$$

$$MR - TR = P$$

$$R(M - T) = P$$

Isolando o R temos: **$R = P / (M - T)$**

Vale lembrar que o palete descartável tem apenas o transporte de ida e o retornável precisa de um transporte de ida e volta. Aplicando o modelo matemático ao estudo de caso é possível verificar que após cinquenta e um reúsos do palete plástico, o mesmo é menos impactante ao meio ambiente que o uso do palete de madeira descartável, considerando todas as linhas de impacto. É preciso selecionar a linha que possui o maior número de reúsos necessários e tomar como referência, nesse caso, foi a linha do impacto “Destruição da camada de ozônio”, visto na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Quantidade mínima de reúsos (ciclos) do palete plástico retornável para que cause menos impactos em relação ao uso de palete de madeira descartável.

Categoria de impacto	Unidade de referência	Impactos 1 palete de madeira	Impactos 1 palete de plástico	Impactos do transporte do retorno de 1 palete plástico	Quantidade mínima de reúsos (ciclos) onde o impacto do palete plástico se iguala ao da madeira
Acidificação	mol H+ eq	1,94E-01	2,16E-01	3,61E-05	2
Alterações climáticas	kg CO ₂ eq	1,33E+01	2,64E+01	4,46E-03	2
Mudanças climáticas - Biogênicas	kg CO ₂ eq	2,51E-02	3,72E-02	6,95E-06	2
Mudanças climáticas - Fósseis	kg CO ₂ eq	1,32E+01	2,63E+01	4,43E-03	2
Mudanças climáticas - uso do solo e mudanças no uso do solo	kg CO ₂ eq	2,29E-02	1,43E-02	2,82E-05	1
Ecotoxicidade, água doce	CTUe	1,46E+00	6,04E+00	7,78E-04	5
Eutrofização marinha	kg N eq	5,43E-02	5,42E-02	1,32E-05	1
Eutrofização, água doce	kg P eq	3,02E-05	3,74E-04	2,48E-08	13
Eutrofização terrestre	mol N eq	5,95E-01	5,79E-01	1,44E-04	1
Toxicidade humana, cancerígena	CTUh	7,15E-08	2,64E-07	3,14E-11	4
Toxicidade humana, não cancerígena	CTUh	4,99E-07	1,46E-06	3,79E-10	3
Radiação ionizante, saúde humana	kBq U-235 eq	3,39E-01	2,84E+00	1,63E-05	9
Uso do solo	Pt	7,71E+01	5,97E+01	3,68E-02	1
Destruição da camada de ozônio	kg CFC11 eq	5,29E-11	2,65E-09	1,46E-14	51
Material particulado	disease inc.	8,72E-06	1,69E-06	2,71E-10	1
Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana	kg NMVOC eq	1,50E-01	1,65E-01	3,27E-05	2
Uso de recursos, fósseis	MJ	1,48E+02	7,30E+02	5,90E-02	5
Uso de recursos, minerais e metais	kg Sb eq	1,84E-06	5,13E-06	2,79E-10	3
Uso de água	m ³ depriv.	3,86E-01	1,77E+00	1,53E-04	5

Fonte: o autor.

Essa ação da empresa em investir em paletes plásticos, e deixar de usar os descartáveis, reduziria expressivamente os resíduos sólidos de madeira. Por outro lado, aumentaria o volume de resíduos plásticos no momento em que houver um descarte por quebra de algum palete retornável. No entanto, devemos levar em

conta que o volume de palete quebrado, nesse caso, é um valor muito pequeno em relação ao volume de madeira que se gera com paletes descartáveis.

O fabricantes de paletes plásticos normalmente oferecem garantia de dez anos em seus produtos e, na prática, realmente é muito difícil de ser ver um palete plástico quebrado em empresas automotivas. O fato é que as empresas nem consideram que palete plástico gera algum volume considerável de resíduo devido a quebra pois, realmente isso é raro de acontecer nesse segmento, mas quando ocorre, o resíduo é destinado à reciclagem.

É possível encontrar nos fluxos logísticos entre a montadora e os fornecedores de autopeças, paletes plásticos com 20 anos ou mais ainda em uso. Normalmente há o indicativo da data de fabricação em relevo no próprio palete plástico, onde pode se comprovar sua idade.

5.4.2 Reúso do palete atual

O reúso palete de madeira é uma outra opção interessante. Algumas empresas usam o palete uma vez só e depois o enviam para a área de descarte, pois justamente, o mesmo é classificado como descartável. Mas realmente todos esses paletes devem ser descartados? Em muitos casos vemos que é possível o seu reúso.

Na indústria automotiva do estudo de caso, conforme mencionado anteriormente, são transportados inúmeros tipos de peças, que utilizam o palete de madeira como um meio para unificar as caixas na movimentação. Esse palete, durante seu uso, pode sofrer quedas, batidas e ser usado para movimentar materiais pesados, o que normalmente vai desgastá-lo, o que já é esperado, pois ele foi projetado para tal. E por conseguinte, após seu uso será encaminhado ao descarte. No entanto, pode também, ocorrer o contrário. Ele pode não sofrer quedas nem batidas de lanças de empilhadeira e, fazer transporte de materiais leves. Há muitos casos onde um palete carrega uma carga total menor que 100 kg mas foi projetado para suportar 1000 kg. Ou seja, dependendo de como esse palete é utilizado, o mesmo não sofrerá danos estruturais, sendo viável seu reúso.

Foi possível, na empresa do estudo de caso, ver isso na prática, ou seja, na área de descarte havia pouquíssimos paletes com algum dano, e, quando

evidenciados, os danos eram bem pequenos. Agora, a questão que fica é, seria viável pela ótica de impactos ambientais, ter um prejuízo ambiental, que é fazer um transporte de retorno para usar o palete mais uma vez, ou, seria melhor após o primeiro uso fazer seu descarte? A resposta para essa pergunta é sim, é melhor reusar o palete mesmo sendo necessário ter o impacto ambiental do seu transporte de volta, já que, em todas as categorias, o impacto do retorno tem valores menores que os impactos de produção de um novo palete de madeira descartável. De acordo com a Tabela 6 a seguir, na coluna mais à direita temos os ganhos por categoria para cada vez que se reutiliza um mesmo palete descartável.

Observação: o ganho foi calculado de acordo com o estudo de caso que considera a distância uma distância de retorno de 10.750 km, porém, se essa distância de retorno aumentar o ganho diminui e se a distância de retorno for menor, daí o ganho é maior.

Tabela 6: Ganhos nos impactos ambientais referentes ao reúso de um palete de madeira descartável (estudo de caso da montadora localizada no interior do estado do Rio de Janeiro).

Categoria de impacto	Unidade de referência	Impactos 1 palete de madeira	Impactos do transporte de retorno de 1 palete de madeira	Ganho a cada reúso do mesmo palete de madeira
Acidificação	mol H+ eq	1,94E-01	3,61E-05	1,94E-01
Alterações climáticas	kg CO ₂ eq	1,33E+01	4,46E-03	1,33E+01
Mudanças climáticas - Biogênicas	kg CO ₂ eq	2,51E-02	6,95E-06	2,51E-02
Mudanças climáticas - Fósseis	kg CO ₂ eq	1,32E+01	4,43E-03	1,32E+01
Mudanças climáticas - uso do solo e mudanças no uso do solo	kg CO ₂ eq	2,29E-02	2,82E-05	2,29E-02
Ecotoxicidade, água doce	CTUe	1,46E+00	7,78E-04	1,46E+00
Eutrofização marinha	kg N eq	5,43E-02	1,32E-05	5,43E-02
Eutrofização, água doce	kg P eq	3,02E-05	2,48E-08	3,02E-05
Eutrofização terrestre	mol N eq	5,95E-01	1,44E-04	5,95E-01
Toxicidade humana, cancerígena	CTUh	7,15E-08	3,14E-11	7,15E-08
Toxicidade humana, não cancerígena	CTUh	4,99E-07	3,79E-10	4,99E-07
Radiação ionizante, saúde humana	kBq U-235 eq	3,39E-01	1,63E-05	3,39E-01
Uso do solo	Pt	7,71E+01	3,68E-02	7,70E+01
Destruição da camada de ozônio	kg CFC11 eq	5,29E-11	1,46E-14	5,29E-11
Material particulado	disease inc.	8,72E-06	2,71E-10	8,72E-06
Formação fotoquímica de ozônio - saúde humana	kg NMVOC eq	1,50E-01	3,27E-05	1,50E-01
Uso de recursos, fósseis	MJ	1,48E+02	5,90E-02	1,48E+02
Uso de recursos, minerais e metais	kg Sb eq	1,84E-06	2,79E-10	1,84E-06
Uso de água	m ³ depriv.	3,86E-01	1,53E-04	3,86E-01

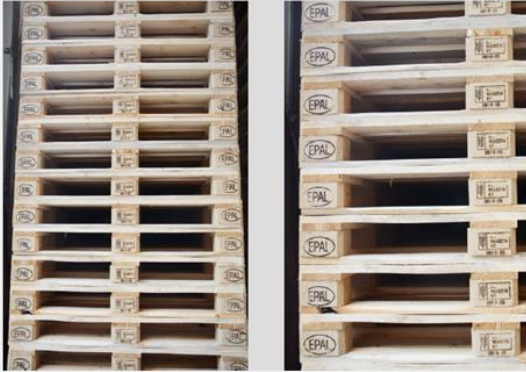
Fonte: o autor.

Sobre o reúso de paletes de madeira, até o momento, falou-se sobre a viabilidade ambiental, que é o foco do estudo. Sobre viabilidade econômica, está fora aqui de escopo. Mas, sobre a viabilidade técnica, pode surgir a questão de que maneira seria feito esse reúso. Pois, como dito, alguns paletes podem ser danificados e por conseguinte descartados, sem a possibilidade de serem reusados. Ainda, dependendo do dano e de quem irá avaliar se o palete pode ser reusado ou não, pode haver dúvida sobre o que realmente é um dano, impossibilitando sua reutilização. Para orientar sobre esse ponto, na Europa há a EPAL, *European Pallet Association* (Associação Europeia de Paletes) que nos traz regulamentos técnicos de como avaliar e reparar os paletes de madeira para reúso (Figura 29 e Figura 30). Temos basicamente quatro classes de paletes onde o uso ou reúso é permitido segundo essas normas europeias (Figura 29). E também é possível identificar os casos onde não é permitido o uso ou reúso (Figura 30). Todavia, após os devidos reparos, deve-se reavaliar os paletes e caso se enquadrem numa das quatro classes da Figura 30, seu reúso é permitido.

Figura 29: Classificação da qualidade dos paletes segundo a EPAL (2024).
Fora dessas classes não é permitido o uso/reúso dos paletes de madeira.

Classificação:

Palete novo: sem sinais de uso, madeira bem clara



Classe A: sinais de uso e algumas lascas na madeira são permitidas



Classe B: cor um pouco mais escura que o classe A



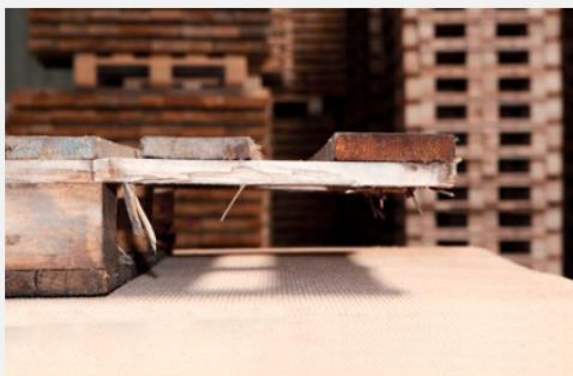
Classe C: sinais de uso intenso, lascas permitidas na madeira



Fonte: o autor, baseado em (EPAL, 2024).

Figura 30: Diferentes defeitos encontrados nos paletes de madeira (EPAL, 2024).
Antes do uso ou reuso dos mesmos, é mandatório repará-los.

Não apto para uso, necessita reparo:



Paletes com ausência de componentes



Pontas de prego visíveis



Tábua partida total ou parcialmente



Bloco torcido, com mais de 1 cm de saliência

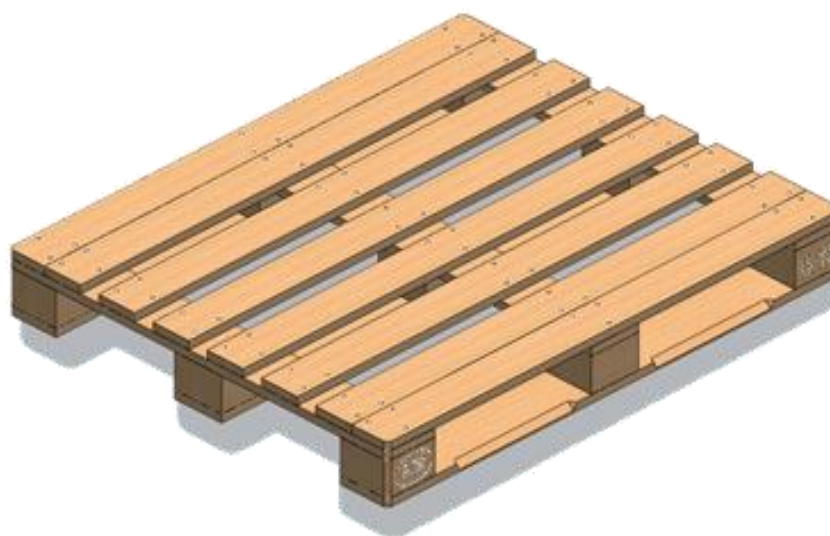
Fonte: o autor, baseado em EPAL (2024).

5.4.3 Troca do palete atual por palete de madeira retornável

Nas operações logísticas também se utiliza o palete de madeira retornável. Normalmente trata-se de um palete mais robusto, com maior resistência comparado ao palete de madeira descartável, conhecido como *one-way* (apenas um uso). No Brasil, a ABRAS (Associação Brasileira de Supermercados) foi o órgão que criou normas para os paletes de madeira retornáveis. Chamado de PBR (palete brasileiro

retornável), ele possui dois modelos, o PBR1 e o PBR2. A diferença entre eles são as dimensões, onde, o PBR1 (Figura 31) tem as medidas 1200x1000x135 mm e o PBR2 usa as medidas 1250x1050x135 mm (comprimento x largura x altura).

Figura 31: Palete de madeira PBR1 (palete brasileiro retornável) nas dimensões 1200x1000x135 mm (comprimento x largura x altura).



Fonte: ABRAS (2019).

Sobre o palete de madeira descartável *one-way*, demonstrado na Figura 32 (imagem mais à esquerda), uma das características bem visíveis é que ele é menos resistente, pois a largura das ripas e a distância entre elas é menor comparando-se aos paletes retornáveis dos tipos EPAL (palete europeu retornável) e PBR (palete brasileiro retornável).

Figura 32: Comparativo de três diferentes padrões de paletes de madeira: *One-way* (descartável), EPAL (palete europeu retornável) e PBR (palete brasileiro retornável).



Fonte: MTP PALLETS, 2024.

De forma geral, sem considerar o estudo de caso, para saber qual opção é mais viável (do ponto de vista ambiental), dentre o uso de palete de madeira descartável e palete de madeira retornável, também é preciso fazer o cálculo dos impactos, da mesma forma como foi feito anteriormente o comparativo entre o palete de madeira descartável e o palete plástico retornável. Ou seja, é necessário quantificar os impactos de ambos os paletes sem esquecer de incluir os impactos do transporte de volta para o palete que se pretende reusar.

Na empresa do estudo de caso, era notável que os paletes descartados poderiam ser reusados, já que quase 100% deles não apresentava algum dano. Era muito visível que foram construídos para suportar reúsos, mas a empresa os tratava como descartáveis. Pois, segundo a empresa, havia questões administrativas que impediam os paletes de retornar à sua origem para serem reusados.

No entanto, essa opção de substituição de tipo palete (de madeira descartável por madeira retornável) pode sim servir à outras empresas que utilizam paletes *one-way* e querem trocar para um modelo como os PBR1, PBR2 ou EPAL. Mas, antes de qualquer mudança, é preciso fazer a avaliação do ciclo de vida dos cenários levantados para se ter a melhor tomada de decisão.

5.4.4 Troca do palete atual por outro mais leve

Como já falado, o objetivo principal do estudo de caso foi reduzir a quantidade dos resíduos dos paletes de madeira descartáveis. Uma outra solução que ajudaria diretamente nesse atingimento é a troca do modelo padrão de palete por um outro mais leve, também sem considerar retorno/reúso. A empresa pode incluir no seu catálogo de embalagens, outros modelos de paletes mais leves, onde, dependendo da massa da carga a ser transportada, será usado um modelo ou outro. Isso significa usar paletes leves para cargas leves e usar paletes mais resistentes, onde normalmente tem uma massa maior, para o transporte das peças mais pesadas. Com esse melhor dimensionamento dos paletes, além de se ter menos toneladas de resíduos de madeira para se destinar após seu uso, haverá sim queda nos impactos ambientais.

Nas dimensões 1200x1000 mm (comprimento e largura) podem haver diversas opções de paletes, com diferentes massas, por exemplo, paletes com 42 kg, 23 kg ou outras diversas massas já que podem ser fabricados de forma personalizada de acordo com a necessidade. De agosto de 2023 a março de 2024, a empresa do estudo de caso fez a substituição do seu palete descartável de madeira mais utilizado, cuja massa era de 30 kg, por um outro modelo similar 7,5 kg mais leve. Isso significou 104,4 toneladas a menos de resíduos sólidos de madeira gerados por ano, o que fez com que atingissem seus objetivos de redução.

5.4.5 Melhoria na taxa de ocupação das embalagens

Uma outra ação de redução de impactos ambientais é a melhoria na taxa de ocupação das embalagens. Além de se reduzir a necessidade de paletes, reduz também a necessidade de caixas e tampas de papelão. Para se fazer há dois caminhos:

- a) Aumentar o número de peças dentro da mesma embalagem.
- b) Reduzir o tamanho da embalagem sem mudar a quantidade de peças dentro dela.

É muito recomendado que qualquer indústria mantenha ativo um programa interno de verificação sistemática para aumento na taxa de ocupação das

embalagens. O que ocorre é que as peças automotivas sofrem periódicas evoluções por diversos motivos, exemplo, mudanças de legislação para melhoria da segurança, ou mesmo atualização no seu design, o que pode afetar suas dimensões e outras propriedades. Com isso, muitas vezes se reaproveita a mesma caixa da peça na versão anterior sem fazer uma reavaliação da embalagem como um todo.

Sem investimentos ou com muito pouco investimento é possível reduzir muitos custos logísticos além dos impactos ambientais com esse programa de reavaliação sistemático das embalagens. Na Figura 33 é evidenciado um grande espaço sem ocupação dentro da caixa. Focando na redução da quantidade de paletes usados, se caso for possível colocar o dobro de peças na caixa, será necessário metade da quantidade de paletes, isso seria já uma grande melhoria para esse caso.

Figura 33: Exemplo de uma caixa aberta com peças onde se pode ver o espaço vazio na sua parte superior (desperdício).



Fonte: o autor.

Mas se não for possível aumentar o número de peças, o que pode ser feito é a redução do tamanho da caixa. Isso não reduz a necessidade de paletes, mas há outros ganhos que são a redução de resíduos de papelão das caixas e tampas e, uma necessidade menor de transporte. Conseqüentemente, com uma embalagem menor, ou com mais peças dentro, os custos logísticos também se reduzem (custo

de transporte, mão de obra e equipamentos e custos de armazenamento, por exemplo), além dos impactos no meio ambiente causados pelos seus resíduos.

5.5 Dificuldades

Durante a jornada do trabalho houveram diversas dificuldades, uma delas refere-se a obtenção de informações técnicas e os números sobre os recursos necessários para se produzir um palete de madeira, os fabricantes não possuíam a informação ou pode ser que não queriam divulgar esses dados por motivos internos. Logo, as etapas do ICV do trabalho foram elaboradas utilizando informação de uma empresa fabricante de paletes de madeira e conhecimento de artigos. Já os dados de *inputs* (recursos) e *outputs* (resultados dos impactos) do ICV tem origem no arquivo de dados “Environmental Footprint secondary data” acessados via software OpenLCA.

Sobre as bases de dados utilizadas no software OpenLCA, em setembro de 2023 foi feito o download da base chamada Environmental Footprint secondary data, onde se obteve as informações dos impactos ambientais de paletes de madeira, paletes de plástico e impactos de transportes. Porém, de março a novembro de 2024, buscando por bases mais atualizadas, verificou-se o essa base estava indisponível para se baixar. Portanto, foi feito o uso da base já baixada anteriormente, que era a mais atual que se podia usar. Além disso, essa base tinha uma restrição de exibição de dados, onde, não se conseguia ver os impactos por processos, ou seja, dentro da fabricação do palete, havia o processo de corte da madeira, processo de montagem do palete, etc. E não se podia ver os impactos separados por esses processos, apenas os impactos totais de todos os processos juntos, o que dificultou o entendimento de qual processo tinha maior ou menor relevância em todo o impacto calculado.

Outro ponto de restrição na base de dados é sobre o transporte. No caso dos paletes, a mesma trazia consigo os impactos de transporte considerando uma distância total de entrega de 640 km (130 km usando caminhão, 240 km de trem e 270 km por via aquática). E, não havia opção de edição dessas distâncias. Para simular um cenário com uma distância diferente, a alternativa foi fazer um cálculo de transporte a parte e depois somar seus impactos com os impactos do transporte do

palete que estava pré-definido na base de dados. Uma última restrição identificada na base de dados refere-se à matriz energética. Os paletes do estudo de caso foram fabricados na Europa e, sabemos que a matriz energética do Brasil é mais limpa que a matriz europeia, logo, devido as restrições de edição na base de dados, não foi possível simular no OpenLCA o uso de diferentes matrizes energéticas. Um outro detalhe sobre a base de dados é que ela não informava o tipo de madeira usada na produção dos paletes, se era do tipo pinus ou eucalipto, por exemplo.

CONCLUSÃO

Para a empresa do estudo de caso, a opção de melhoria escolhida foi a troca do modelo de palete corrente (que era madeira descartável) por um outro modelo, também de madeira descartável, porém mais leve. Isso fez com que atingissem rapidamente seus objetivos de redução no volume dos resíduos sólidos. Caso fosse escolhida a opção de uso de palete plástico retornável, seria necessário um investimento financeiro que a empresa naquele momento não dispunha, pois a aquisição dos paletes plásticos é bem maior que a compra de paletes de madeira.

Sobre as outras opções de melhoria, que são o reúso dos paletes atuais ou a troca do atual que é de madeira descartável por um outro modelo de madeira retornável, a empresa do estudo de caso estabeleceu que não iria as considerar, já que precisaria implementar um novo processo de devolução na fábrica brasileira e de recepção nos fornecedores europeus. Tecnicamente é algo possível, mas a empresa decidiu por não seguir com essas opções por questões internas. Resumindo, a empresa julgou que o retorno de qualquer tipo de palete, para ela, naquele momento, não seria viável, pois haveriam barreiras administrativas, onde, seriam necessárias atualizações de sistemas e processos.

Como já falado, a empresa traçou como objetivo de melhoria a redução do volume físico dos resíduos sólidos advindos do palete de madeira descartável, que era seu resíduo mais volumoso. Uma sugestão é que além desse objetivo, a empresa poderia ter outros objetivos, como por exemplo a redução de resíduos de embalagens que usam materiais de difícil reciclagem, como poliestireno expandido (isopor).

Após executadas as possíveis reduções de madeira dos paletes, a empresa poderia continuar o trabalho de melhoria considerando outros materiais, focando no segundo item mais relevante do diagrama de Pareto, que é o papelão das caixas e tampas descartáveis e, depois disso, tratar o terceiro resíduo mais representativo e assim por diante.

Esse trabalho pode ser aproveitado por qualquer montadora e/ou empresas fabricantes de auto peças, ou mesmo, ser aproveitado por outros segmentos, cuja logística de materiais seja similar à de uma empresa automotiva. O trabalho foca na redução dos paletes de madeira, no entanto, é replicável para outros tipos de embalagens e/ou outros tipos de acessórios de embalagens. Por exemplo, no estudo de caso, foram feitos cálculos e comparativos entre o palete de madeira descartável e o palete plástico retornável. É possível usar o modelo desse trabalho, comparando também da mesma forma, caixas de papelão descartáveis e caixas plásticas retornáveis.

Como estudo futuro, pode ser desenvolvido um palete feito de material compósito (madeira plástica) no intuito de buscar uma redução nos níveis dos diferentes impactos ambientais, usando matéria-prima reaproveitada, por exemplo. O conhecimento poderá ser aprimorado no curso de Doutorado em Engenharia Ambiental onde o objetivo será criar outros materiais compósitos a partir de matéria-prima secundária de indústrias da região Sul-Fluminense.

Devido ao fato desse trabalho tratar de redução de resíduos sólidos, outras empresas, caso não possuam, podem implementar internamente um indicador do tipo: “kg de resíduos por carro fabricado”, caso a indústria seja uma montadora automotiva ou similar. E, ir acompanhando as evoluções e estabelecer objetivos para o futuro, por exemplo, após implementar um projeto de melhoria, espera-se reduzir 10% dos resíduos sólidos para cada veículo produzido pela empresa.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Dados Estatísticos para Download em Excel. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel>>. Acesso em: 18 mar. 2024.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Mundo joga um caminhão de lixo, por minuto, nos oceanos. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2023/03/1812152>>. Acesso em: 13 ago. 2024.

ROGER AUGUSTO LUNA; FERNANDO LUIZ EMERENCIANO VIANA. The role of the national solid waste policy in reverse logistics in pharmaceutical companies. *Revista de Gestao Social e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 40–56, 2019.

RAÍSSA LOISE MONTEIRO; RHAIANE SAMPAIO DE ALMEIDA. O impacto da informação na gestão de estoque de embalagens descartáveis. 2020.

EVERTON CARLOS DA SILVA; GILSON TADEU FERNANDES MARTINS. A Logística reversa de embalagens na indústria automobilística. 2019.

MD. MUSHAROF HUSSAIN KHAN et al. Environmental impacts of wooden, plastic, and wood-polymer composite pallet: a life cycle assessment approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 26, n. 8, p. 1607–1622, 1 ago. 2021.

BYUNGSOO NA; MIN KYU SIM; WON JU LEE. An optimal purchase decision of reusable packaging in the automotive industry. *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 23, 1 dez. 2019.

TALLENTIRE, C. W.; STEUBING, B. The environmental benefits of improving packaging waste collection in Europe. *Waste Management*, v. 103, p. 426–436, 15 fev. 2020.

LYNE SUSSUARANA PEREIRA; THIAGO SANTIAGO GOMES; ELEN BEATRIZ ACORDI VASQUES PACHECO. Métodos de alocação de impactos ambientais para avaliação do ciclo de vida na reciclagem de resíduos plásticos. *Peer Review*, v. 5, n. 19, p. 303–324, 23 ago. 2023.

LUCAS ROSSE CALDAS. Bioeconomia circular e mudanças climáticas: Avaliação da pegada de carbono de paletes de madeira reutilizados. *MIX Sustentável*, v. 7, n. 2, p. 27–40, 19 abr. 2021.

VISUALIZING SCIENTIFIC LANDSCAPES. VOSviewer. Disponível em: <<https://www.vosviewer.com/download>>. Acesso em: 7 mar. 2024.

ANDREW KIRBY. Exploratory Bibliometrics: Using VOSviewer as a Preliminary Research Tool. *Publications*, v. 11, n. 1, 1 mar. 2023.

YAN LIU et al. Spatial and temporal distribution characteristics of haze and pollution particles in China based on spatial statistics. *Urban Climate*, v. 41, 1 jan. 2022.

Hans-Christian Pfohl. Packaging. In: *Logistics Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64349-5_7. 2022.

REINALDO A. MOURA; JOSÉ MAURÍCIO BANZATO. Embalagem, Unitização & Containerização. 2. ed. São Paulo: IMAM, 2014. v. 3. 2014.

EMPAPEL. Associação Brasileira de Embalagens de Papel. Disponível em: <<https://empapel.org.br/papel/papelao-ondulado/>>. Acesso em: 21 mar. 2024.

RHODA NGIRA ADUKE; MARTIN P. VENTER; CORNÉ J. COETZEE. Numerical Modelling of Corrugated Paperboard Boxes. *Mathematical and Computational Applications*, v. 29, n. 4, 1 ago. 2024.

STYROPLAST. Proteções plásticas. Disponível em: <<https://styroplast.com.br/pcategoria/produtos-automotivos/>>. Acesso em: 22 mar. 2024.

TECNOVIC BRASIL. Embalagens Protetivas Anticorrosivas. Disponível em: <<https://tecnovic.net.br/>>. Acesso em: 22 mar. 2024.

ESD ANTIESTÁTICOS. Linha de Produtos ESD. Disponível em: <<https://antiestaticos.com.br/produtos-esd-antiestaticos>>. Acesso em: 22 mar. 2024.

EMBALAPLAST. Embalagens Plásticas. Disponível em: <<https://www.embalaplast.com.br/produtos>>. Acesso em: 22 mar. 2024.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos - Classificação. Ed. 2. 2024.

DE ANGELIS, R.; HOWARD, M.; MIEMCZYK, J. Supply chain management and the circular economy: towards the circular supply chain. *Production Planning and Control*, v. 29, n. 6, p. 425–437, 26 abr. 2018.

ZICHENGE ZHU et al. Packaging design for the circular economy: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption Elsevier B.V.*, 1 jul. 2022.

NATHALIE SILVA; HENRIK PÅLSSON. Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 333, 20 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípio e estrutura. Ed. 2. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Ed. 1. 2009.

NÖELLA MELO DE VASCONCELLOS. O impacto dos indicadores de desenvolvimento social do banco social mundial nos aspectos do ciclo de vida social (S-LCA) em sistemas de produção: uma abordagem por meio do método de análise multicriterial (AHP). São Paulo. 2022.

LUCÍA GARCÍA-DURAÑONA et al. Life Cycle Assessment of a coniferous wood supply chain for pallet production in Catalonia, Spain. *Journal of Cleaner Production*, v. 137, p. 178–188, 20 nov. 2016.

WU, Y.; SU, D. LCA of an industrial luminaire using product environmental footprint method. *Journal of Cleaner Production*, v. 305, 10 jul. 2021.

AKINTAYO, B. D.; OLANREWAJU, O. A.; OLANREWAJU, O. I. Life Cycle Assessment of Ordinary Portland Cement Production in South Africa: Mid-Point and End-Point Approaches. *Sustainability (Switzerland)*, v. 16, n. 7, 1 abr. 2024.

GIL ANDERI DA SILVA; LUIZ KULAY. PQI3535 - Curso de Avaliação de Ciclo de Vida - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2023. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=112416>>. Acesso em: 9 jun. 2024.

GIL ANDERI DA SILVA et al. Avaliação do Ciclo de Vida - Ontologia Terminológica. Brasília. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. Methane emissions. Disponível em: <https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/methane-emissions_en>. Acesso em: 11 nov. 2024.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Overview of Greenhouse Gases. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Efeitos da Poluição. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/solo/efeitos-da-poluicao/>>. Acesso em: 15 out. 2024.

CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE (FGVCES). Nota Técnica - Definição das categorias emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Escopo 1 – versão 4.0. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/items/bd1beaa0-f55d-43fa-9064-a46de22684e7>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

RAMOS, M. L. DE O. S. R. *et al.* Radônio-222 indoor e associação com risco de câncer de pulmão na Região Metropolitana de Recife, Brasil. Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 26, n. 3, p. 70–81, 16 set. 2023.

JÚNIOR PEREIRA BRITO, W. *et al.* Mercúrio no meio ambiente: uma revisão sobre seus efeitos toxicológicos e as principais fontes de emissão. Revista DAE, v. 69, n. 230, p. 127–139, 25 mar. 2021.

ACV BRASIL SUSTENTABILIDADE PREST. SERV., CONSULT. E ASSES. L. Desmistificando as Categorias de Impacto: Radiação Ionizante. 2020. Disponível em: <<https://acvbrasil.com.br/artigo/radiacao-ionizante>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

ROIKO CHELI, G. *et al.* Avaliação de impacto do ciclo de vida: fatores de efeito para material particulado RESUMO. Disponível em: <<http://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi>>. 2019. Acesso em: 05 out 2024.

SCHOELLER ALLIBERT. Schoeller Allibert plastics equipments. Disponível em: <<https://www.schoellerallibert.com/products/>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EPAL. European Pallet Association. Disponível em: <<https://www.epal-pallets.org>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

ABRAS. Associação Brasileira de Supermercados. Disponível em: <<https://www.abras.com.br/palete-pbr/palete-pbr-1-versao-2019>>. Acesso em: 21 mar. 2024.

MTPPALLETS. Produtos de madeira. Disponível em: <<https://www.mtppallets.com.br/produtos>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

GREENDELTA. OpenLCA - Open source Life Cycle Assessment software. Disponível em: <<https://www.openlca.org/>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

GREENDELTA. OpenLCA Downloads. Disponível em: <<https://www.openlca.org/download/>>. Acesso em: 1 set. 2023.