

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**TAINARA RIGOTTI DE CASTRO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL  
PARA FABRICAÇÃO DE UM CANUDO PARA BEBIDAS A PARTIR DE RESÍDUOS  
DE MADEIRA**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**TAINARA RIGOTTI DE CASTRO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL  
PARA FABRICAÇÃO DE UM CANUDO PARA BEBIDAS A PARTIR DE RESÍDUOS  
DE MADEIRA**

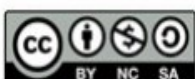
**DEVELOPMENT OF A SUSTAINABLE PRODUCTION PROCESS FOR  
MANUFACTURING A DRINKING STRAW FROM WOOD WASTE**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Sergio Mazurek Tebcherani

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa**



TAINARA RIGOTTI DE CASTRO

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL PARA FABRICAÇÃO  
DE UM  
CANUDO PARA BEBIDAS A PARTIR DE RESÍDUOS DE MADEIRA**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 06 de Julho de 2023

Dr. Sergio Mazurek Tebcherani, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Flavio Trojan, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Regina Negri Pagani, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Robson Couto Da Silva, Doutorado - Universidade Estadual de Ponta

Grossa (Uepg) Dra. Rubya Vieira De Mello Campos, Doutorado -

Universidade Estadual de Maringá (Uem)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 06/07/2023.

Àquele que acompanhou o primeiro passo dessa caminhada e não está presente para ver a realização desse sonho. Por ter sido exemplo de humildade e simplicidade; por ter amado incondicionalmente nosso pequeno (hoje grande) Henri, deixando tantas e boas lembranças para serem compartilhadas. Jamais alguém sentirá tanto orgulho de mim como você sentiu (meu pai, *in memoriam*)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me oportunizado chegar até aqui e colocar tantas pessoas incríveis (as quais agradeço a seguir) no meu caminho, facilitando essa jornada. Principalmente por mais uma vez me mostrar que no final do túnel existe sempre uma luz e que sempre sou guiada por Ele para encontrá-la.

A Sergio Mazurek Tebcherani, meu orientador, pelo profissionalismo, paciência, disposição, companheirismo e confiança.

A Robson Couto da Silva pela disposição e parceria, fundamental no cumprimento dos meus créditos.

A Priscila Pasto Barbosa pela disposição, parceria e dedicação, responsável pela Avaliação do Ciclo de Vida.

Ao meu esposo e filhos pelo apoio e compreensão. Por muitas vezes não pude estar presente e em outras, mesmo presente, me fiz tão distante. Sem vocês, ter chegado até aqui não faria sentido algum.

Deixo registrado também o meu reconhecimento a família Nordeste Transportes pela parceria e benevolência. Sem o seu apoio eu não teria conseguido arcar com os custos das viagens para participar das aulas presenciais em Ponta Grossa.

Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem  
aprender a fazer o caminho caminhando, refazendo e  
retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar.  
Paulo Freire

## RESUMO

Os canudos utilizados para consumir bebidas em geral, normalmente construídos a partir de plásticos, são classificados como materiais de uso único. Em função da grande quantidade de canudos sendo utilizada, e devido a uma série de fatores que envolvem produção, uso e descarte, isto têm representado um problema significativo para o meio ambiente e, conseqüentemente, para a humanidade. Assim, o desenvolvimento de canudos alternativos que não representem tais problemas é necessário e vai ao encontro das premissas do Desenvolvimento Sustentável (DS). O desenvolvimento deste produto, aliado ao emprego de resíduos em sua formulação, tem grande potencial de estudo, onde os resíduos de madeira são uma alternativa viável. Cabe ressaltar que este trabalho é centrado no uso de resíduos de madeira de fontes limpas, livre de contaminantes, como àquelas provenientes de fontes conhecidas, já que o uso é para fins alimentícios. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um canudo sustentável, para bebidas, a partir de resíduos de madeira. Para alcançar este objetivo, foi necessário o desenvolvimento de um novo processo de produção, envolvendo a criação de ferramentas para adaptá-las a um equipamento selecionado. O processo concebido possui poucas etapas, é livre de produtos químicos, não utiliza água e não gera gases poluentes ou efluentes líquidos. Para comprovar a sustentabilidade do canudo fabricado, foi realizada uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) do “berço ao túmulo”, considerando as fases de extração da matéria prima, produção do produto e descarte. Foi utilizado o método Eco-indicator 99 a fim de realizar uma avaliação comparativa do processo de produção do produto fabricado em relação aos processos de produção de outros três tipos de canudos para bebida: i) canudo de plástico; ii) canudo de papel; e, iii) canudo de aço inoxidável. Foi possível identificar que as categorias de impactos relacionadas às alterações climáticas, redução de ozônio e acidificação/ eutrofização foram as mais influentes para as áreas de danos analisadas (Saúde Humana, Ambiente Natural e Recursos Naturais). Foi possível observar que o canudo de plástico tem o potencial de 100% de contribuição relativa em impactos para cada uma dessas categorias. Identificou-se que o canudo de resíduo de madeira é o menos impactante quando comparado aos outros três tipos de canudos para bebida analisados.

**Palavras-chave:** canudos para bebidas; desenvolvimento sustentável; resíduo de madeira; produto sustentável; análise do ciclo de vida; reciclagem.

## ABSTRACT

The drinking straws used to consume beverages in general, usually made from plastics, are classified as single-use materials. Due to the large amount of straws being used, and due to a series of factors involving production, use and disposal, this has represented a significant problem for the environment and consequently for humanity. Thus, the development of alternative straws that do not represent such problems is necessary and meets the premises of Sustainable Development (SD). The development of this product, combined with the use of waste in its formulation, has great potential for study, where wood waste is a viable alternative. It should be noted that this work is centered on the use of wood residues from clean sources, free of contaminants, such as those from known sources, since the use is for food purposes. In this context, the objective of this work was to develop a sustainable drinking straw from wood waste. To achieve this objective, it was necessary to develop a new production process, involving the creation of tools to adapt them to selected equipment. The process designed has few steps, is free of chemicals, does not use water and does not generate polluting gases or liquid effluents. To prove the sustainability of the process created, a Life Cycle Analysis (LCA) "from cradle to grave", considering the phases of raw material extraction, product production and disposal. The Eco-indicator 99 method was used in order to carry out a comparative evaluation of the production process of the manufactured product in relation to the production processes of other three types of drinking straws: i) plastic straw; ii) paper straw; iii) stainless steel straw. It was possible to identify that the categories of impacts related to climate change, ozone depletion and acidification were the most influential for the areas of damage analyzed (Human Health, Natural Environment and Natural Resources). It was possible to observe that the plastic straw has the potential of 100% contribution to impacts in each of these categories. In this way, it was identified that of the straw from wood residue is the least impactful when compared to the other three types of drinking straw analyzed.

**Keywords:** drinking straws; sustainable development; wood waste; sustainable product; life cycle analysis; recycling.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Fluxograma de organização da Tese.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2 - Processo de produção de canudos de Polipropileno (PP) para bebidas.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 3 - Processo de produção de canudos de papel para bebidas.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4 - Processo de produção de canudos para bebidas reutilizáveis do tipo aço inoxidável.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 5 - Exemplos de canudos sustentáveis disponíveis no mercado. Canudos à base de açúcar, gelatina e amido de milho (a); Canudos de talo de trigo (b); Canudos à base de resíduo de maçã (c); Canudos de algas marinhas (d); Canudos de capim (e).....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 6 - Etapas da biodegradação de polímeros.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 7 - Estrutura molecular do polímero de celulose.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 8 - Fluxograma da estratégia proposta.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 9 - Procedimento de tomada de decisão resumido.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 10 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 11 - Classificação da madeira.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 12 - Fases da ACV.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 13 - Limites de um modelo tecnológico de ACV.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 14 - Limites do sistema adotado para o canudo de plástico.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 15 - Limites do sistema adotado para o canudo de papel.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 16 - Limites do sistema adotado para o canudo de aço inoxidável.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 17 - Limites do sistema adotado para o canudo de resíduo de madeira.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 18 - Categorias de impacto <i>Midpoint</i> e <i>Endpoint</i>.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 19 - Processo de produção do canudo sustentável para bebidas.....</b>	<b>75</b>

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografia 1 - Varetas para confecção dos canudos para bebidas.....</b>	<b>72</b>
<b>Fotografia 2 - Conformador.....</b>	<b>73</b>
<b>Fotografia 3 - Mini torno mecânico.....</b>	<b>73</b>
<b>Fotografia 4 - Tubo oco com guia centrada.....</b>	<b>74</b>
<b>Fotografia 5 - Brocas para madeira.....</b>	<b>74</b>
<b>Fotografia 6 - Inicialização da conformação externo do canudo (a); Conformação externa em andamento (b).....</b>	<b>75</b>
<b>Fotografia 7 - Acabamento externo.....</b>	<b>76</b>
<b>Fotografia 8 - Introdução do canudo de madeira no tubo oco.....</b>	<b>76</b>
<b>Fotografia 9 - Furação interna do canudo de madeira.....</b>	<b>76</b>
<b>Fotografia 10 - Aspecto do canudo sustentável de madeira para bebidas.....</b>	<b>77</b>
<b>Fotografia 11 - Canudo sustentável impermeabilizado para bebidas.....</b>	<b>78</b>
<b>Fotografia 12 - Canudo sustentável de madeira para bebidas.....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Principais materiais utilizados em canudos para bebidas e suas características.....</b>	<b>24</b>
<b>Quadro 2 - Principais características dos canudos convencionais para bebidas.....</b>	<b>34</b>
<b>Quadro 3 - Estudos de desenvolvimento de canudos alternativos para bebidas.....</b>	<b>37</b>
<b>Quadro 4 - Processo de produção de canudos alternativos para bebidas.....</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 5 - Classificação e descrição dos resíduos.....</b>	<b>46</b>
<b>Quadro 6 - Limitações identificadas, soluções requeridas e ODS relacionados.....</b>	<b>52</b>
<b>Quadro 7 - Outras limitações identificadas, soluções requeridas e ODS relacionados</b>	<b>55</b>
<b>Quadro 8 - Peso dos canudos inventariados.....</b>	<b>64</b>
<b>Quadro 9 - Inventário do canudo de plástico para bebidas.....</b>	<b>65</b>
<b>Quadro 10 - Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de plástico para bebida.....</b>	<b>65</b>
<b>Quadro 11 - Inventário do canudo de papel para bebidas.....</b>	<b>66</b>
<b>Quadro 12 - Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de papel para bebida.....</b>	<b>66</b>
<b>Quadro 13 - Inventário do canudo de aço inoxidável para bebidas.....</b>	<b>67</b>
<b>Quadro 14 - Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de plástico para bebida.....</b>	<b>68</b>
<b>Quadro 15 - Inventário do canudo de resíduo de madeira para bebidas.....</b>	<b>68</b>
<b>Quadro 16 - Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de plástico para bebida.....</b>	<b>69</b>
<b>Quadro 17 - Pesquisas acerca da ACV de canudos para bebidas.....</b>	<b>90</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 - Publicações de patentes por ano.....</b>	<b>40</b>
<b>Gráfico 2 - Dano ambiental total dos canudos para bebidas na área de dano “Saúde Humana” em uma escala relativa.....</b>	<b>82</b>
<b>Gráfico 3 - Dano ambiental total dos canudos para bebidas na área de dano “Ambiente Natural” em uma escala relativa.....</b>	<b>83</b>
<b>Gráfico 4 - Dano ambiental total dos canudos para bebidas na área de dano “Recursos Naturais” em uma escala relativa.....</b>	<b>84</b>
<b>Gráfico 5 - Dano ambiental total dos canudos para bebidas de acordo com as áreas de danos em uma escala relativa.....</b>	<b>85</b>
<b>Gráfico 6 - Comparação da contribuição relativa dos canudos para bebidas na categoria de impacto “Alterações climáticas”.....</b>	<b>86</b>
<b>Gráfico 7 - Comparação da contribuição relativa dos canudos para bebidas na categoria de impacto “Redução de ozônio”.....</b>	<b>87</b>
<b>Gráfico 8 - Comparação da contribuição relativa dos canudos para bebidas na categoria de impacto “Acidificação/ Eutrofização”.....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
aC	Antes de Cristo
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CFC	Clorofluorocarbonos
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DALY	<i>Disability Adjusted Life Years</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DS	Desenvolvimento Sustentável
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Normas Brasileiras
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAF	<i>Potentially Affected Fraction</i>
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PLA	Ácido Polilático
PP	Polipropileno
UV	Ultravioleta

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
°	Graus, unidade de medida de ângulo
g	Gramas, unidade de medida de massa
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
€	Euro, unidade de valor monetário
R\$	Reais, unidade de valor monetário
3D	Terceira dimensão
H <sub>2</sub> O	Água
°C	Graus Celsius, unidade de medida de temperatura
N	Newton, unidade de medida de força
MPa	Megapascal, unidade de medida de pressão
kg	Quilogramas, unidade de medida de massa
GJ	Gigajoule unidade de medida de energia
CO	Monóxido de carbono
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
CH <sub>4</sub>	Metano
PM-10	Material particulado de diâmetro inferior a 10 micrômetros
NH <sub>3</sub>	Amônia
MJ	Megajoule, unidade de medida de energia
mm	Milímetros, unidade de medida de comprimento
W	Watts
Pt	Pontuação única
S	Enxofre
pH	Potencial hidrogeniônico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	20
1.1.1	Objetivo Geral .....	20
1.1.2	Objetivos Específicos .....	20
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	20
<b>1.3</b>	<b>Organização da Tese</b> .....	21
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	23
<b>2.1</b>	<b>Canudos para bebidas</b> .....	23
2.1.1	Processo de produção de canudos convencionais para bebidas.....	25
2.1.1.1	<i>Canudos de plástico para bebidas</i> .....	25
2.1.1.2	<i>Canudos de papel para bebidas</i> .....	26
2.1.1.3	<i>Canudos de metal para bebidas</i> .....	28
2.1.2	Avanços e iniciativas acerca do uso de canudos para bebidas .....	29
2.1.3	Características dos canudos convencionais para bebidas .....	32
2.1.4	O mercado de canudos alternativos para bebidas .....	34
2.1.5	Pesquisas acerca de canudos alternativos para bebidas .....	36
2.1.5.1	<i>Processo de produção de canudos alternativos para bebidas</i> .....	40
2.1.6	Propriedades de desempenho dos canudos para bebidas .....	42
<b>2.2</b>	<b>Resíduos de madeira</b> .....	44
2.2.1	Características dos resíduos de madeira .....	45
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	48
<b>3.1</b>	<b>Idealização da produção do canudo sustentável para bebidas</b> .....	48
3.1.1	Identificação da demanda .....	49
3.1.2	Identificação das características necessárias do processo e produto .....	50
3.1.3	Detalhamento do processo e produto.....	51
3.1.4	Concepção do processo e fabricação do produto/ necessidade de adaptações .....	51
3.1.5	Validação .....	51
3.1.6	Processo e produto .....	52
<b>3.2</b>	<b>Caracterização do processo e produto</b> .....	52
<b>3.3</b>	<b>Detalhamento das decisões acerca do desenvolvimento do produto e processo</b> ....	56
<b>3.4</b>	<b>Análise do Ciclo de Vida (ACV)</b> .....	57
3.4.1	Aspectos metodológicos .....	57
3.4.2	Definição de objetivo e escopo.....	59
3.4.2.1	<i>Objetivo do estudo</i> .....	59
3.4.2.2	<i>Unidade funcional</i> .....	59

3.4.2.3	<i>Fontes e requisitos de qualidade dos dados</i> .....	59
3.4.2.4	<i>Definição dos limites dos sistemas estudados</i> .....	60
3.4.2.5	<i>Limitações</i> .....	63
3.4.3	Análise do inventário .....	63
3.4.3.1	<i>Análise de inventário para o canudo de plástico para bebidas</i> .....	64
3.4.3.2	<i>Análise de inventário para o canudo de papel para bebidas</i> .....	66
3.4.3.3	<i>Análise de inventário para o canudo de aço inoxidável para bebidas</i> .....	67
3.4.3.4	<i>Análise de inventário para o canudo de resíduo de madeira para bebidas</i> .....	68
3.4.4	Avaliação de impacto .....	69
3.4.5	Interpretação .....	71
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>72</b>
<b>4.1</b>	<b>Fabricação do canudo sustentável para bebidas</b> .....	<b>72</b>
4.1.1	Ferramentas desenvolvidas para a produção de canudos sustentáveis para bebidas ....	72
4.1.2	Processo de produção do canudo sustentável para bebidas .....	74
4.1.3	Discussão .....	79
<b>4.2</b>	<b>ACV dos canudos para bebidas</b> .....	<b>81</b>
4.2.1	Interpretação e análise .....	81
4.2.1.1	<i>Interpretação e análise por área de dano</i> .....	81
4.2.1.2	<i>Interpretação e análise por categorias de impacto</i> .....	86
4.2.2	Comparações com outras pesquisas .....	89
4.2.3	Oportunidades de pesquisas futuras .....	91
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>96</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O processo de evolução da humanidade sempre foi acompanhado de muitas inovações tanto de processos quanto de produtos. Dentre eles, podemos mencionar o desenvolvimento dos polímeros sintéticos (plástico sintético), que revolucionou a aplicabilidade de diversos produtos a serem utilizados para facilitar a vida do ser humano.

De acordo com Albuquerque e Malafaia (2018), tal revolução se deve ao fato do material ser de baixo custo e possuir capacidade para substituir produtos feitos de outros materiais, incluindo papel, vidro e metais. Isso é possível devido às propriedades físicas que os plásticos podem ter, tais como baixa densidade, flexibilidade, transparência, resistência química e estabilidade mecânica (DI *et al.*, 2021). Isto tem feito com que sejam amplamente utilizados em produtos industriais e de consumo, ocupando uma enorme gama de funções, desde materiais de embalagem simples até componentes complexos de engenharia.

Apesar dos inúmeros benefícios oferecidos pelos polímeros, não há como não destacar suas desvantagens para a sociedade e para o meio ambiente. Os aspectos negativos podem ser elencados desde a sua produção até o fim da vida do produto.

Quanto a esses aspectos, para Lim *et al.* (2018), os relacionados a fase de produção envolvem a necessidade de uso de produtos químicos, derivados principalmente de combustíveis fósseis não renováveis, que vem se reduzindo. Os polímeros são feitos pela polimerização de monômeros em cadeias macromoleculares. Lithner *et al.* (2011) ressaltaram que além dos monômeros, muitas vezes são necessárias outras substâncias para que ocorra a polimerização, por exemplo, iniciadores, catalisadores e, dependendo do processo de fabricação, também podem ser usados solventes.

Quanto aos aspectos relacionados ao uso, o plástico é largamente utilizado e descartado. Atualmente, o mundo produz cerca de 400 milhões de toneladas de resíduos plásticos todos os anos, em que, no total, metade de todo o plástico produzido é projetado para uso único (UNEP, 2021). Os plásticos de uso único são frequentemente chamados de plásticos descartáveis e incluem itens destinados a serem usados apenas uma vez antes de serem descartados ou reciclados (NGUYEN *et al.*, 2022), incluindo sacolas, copos, pratos, talheres, garrafas, tampinhas, canudos para bebidas, entre outros.

Além de produzidos e utilizados em larga escala, as opções de descarte são limitadas. Para Krueger *et al.* (2015), depois de ter cumprido o seu propósito, o plástico deveria seguir um dos três destinos pré-determinados. O primeiro é a reciclagem, onde o material é reprocessado para a produção de novos itens de plástico. O segundo destino é a incineração, na qual a queima

propicia a recuperação do conteúdo energético. O terceiro seria o aterramento permanente do material. Para Anjum *et al.* (2016), qualquer destino é desafiador. A reciclagem pode ser feita, mas é um processo muito demorado e provoca mudanças nas propriedades dos materiais plásticos. A incineração gera subprodutos tóxicos e, nos aterros, as taxas de degradação desses polímeros são baixas.

A ineficiência destas deposições finais está relacionada a um importante aspecto de fim de vida do plástico, a biodegradabilidade. Gade *et al.* (2013) afirmam que a degradação completa dos plásticos leva muitos séculos devido a sua durabilidade. Isso porque os microrganismos na natureza não evoluíram para degradar eficientemente os polímeros derivados de petróleo (HARDING *et al.*, 2007).

Neste sentido, os destinos finais ainda não são bem empregados, visto que a fração de plásticos que segue cada caminho varia substancialmente em diferentes países e regiões, originando um desnível entre a produção e os destinos, em que toneladas de plástico se perdem no meio ambiente. Por exemplo, de acordo com Kaza *et al.* (2018), no Brasil, mais de 11,3 milhões de toneladas de lixo plástico foram coletadas, mas apenas 145 mil toneladas (1,28%) foram efetivamente recicladas.

De maneira global, os dados mais recentes apontam que até 2015 apenas 9% de todo o lixo plástico gerado até hoje tenha sido efetivamente reciclado (GEYER *et al.*, 2017). Devido à má gestão dos resíduos, estima-se que um terço de todo o plástico descartado no mundo tenha se inserido na natureza por meio de poluição terrestre, de água doce ou marinha (MACHADO *et al.*, 2018), acarretando uma contaminação ambiental de plásticos em níveis globais.

Assim, o lixo plástico pode ser encontrado em toda parte. Os problemas com resíduos plásticos são generalizados com acúmulo extensivo nos oceanos, aterros sanitários e outros compartimentos terrestres, afetando a vida selvagem e possivelmente também a saúde humana. Problemas relacionados foram comprovados em diversas pesquisas (TANG *et al.*, 2015; WARING *et al.*, 2018; WAN *et al.*, 2019; SHEN *et al.*, 2020).

Visto a problemática envolvendo os plásticos, atenção especial deve ser dada aos produtos confeccionados a partir dele, sobretudo os de uso único, conforme supracitado. Neste contexto, os canudos para bebidas têm representado um problema significativo, visto sua expressiva participação no lixo plástico. Cabe ressaltar que os resíduos plásticos, em geral, são prejudiciais, e o canudo é apenas um deles.

Os problemas de resíduos envolvendo os canudos plásticos foram, principalmente, identificados em zonas costeiras. De acordo com Zanghelini *et al.* (2020), o reconhecimento de que os canudos para bebidas são um problema potencial iniciou a partir de 2015 e foram

impulsionadas por um vídeo divulgado no *YouTube* mostrando um canudo plástico preso no nariz de uma tartaruga marinha que se tornou viral (THE LEATHERBACK TRUST, 2015).

Mailes Neto (2021) afirma que, em 2019, cerca de 32,4 milhões de unidades de canudos para bebidas foram coletados durante as operações de limpeza do ambiente natural, sendo 90% da variedade de plástico de uso único, demonstrando a expressiva representatividade desse material nos resíduos marinhos e costeiros. O *Great British Beach Clean*, evento de limpeza de praias britânicas, em 2017, classificou os canudos para bebidas como o décimo resíduo mais comumente encontrado na praia, com aproximadamente 15 canudos plásticos coletados a cada 100 metros de costa (MARINE CONSERVATION SOCIETY, 2017).

No mesmo ano, a *International Coastal Clean-up* da *Ocean Conservancy*, que em parceria com organizações voluntárias e indivíduos em todo o mundo envolve pessoas para remover o lixo das praias e cursos d'água, reuniu uma quantidade de mais de 400 mil pedaços de canudos, o que equivale a 145 vezes a altura do *One World Trade Center* de Nova York quando empilhados (INTERNATIONAL COASTAL CLEANUP, 2017). Para Dong *et al.* (2023), essa representatividade inclui razões como a dificuldade de reciclagem, pois são leves e pequenos, o ciclo de uso curto e o alto tempo de degradação.

Além desses problemas, a produção dos canudos de plástico para bebidas ainda representa um potencial impacto para o meio ambiente, visto que envolve a extração e processamento de recursos naturais. Além disso, o processo de produção envolve a emissão de gases poluentes, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

Atualmente, há uma preocupação contínua com a preservação do meio ambiente. Essa preocupação associada à evolução tecnológica tem feito com que profissionais busquem alternativas capazes de amenizar os problemas causados pelos plásticos de uso único. Assim, o desenvolvimento de canudos para bebidas com materiais alternativos, construídos com materiais biodegradáveis, ambientalmente corretos e que não representem problemas para o meio ambiente é imprescindível. Contudo, ainda são necessários esforços para o desenvolvimento de processos de produção mais limpos.

Esses esforços são impulsionados pelo conceito do Desenvolvimento Sustentável (DS) que surgiu do questionamento sobre até quando os recursos naturais serão suficientes para sustentar o crescente contingente populacional (RUGGERO *et al.*, 2019) e se tornou uma prioridade nas políticas mundiais de produção de alimentos, materiais e energia (ZECHENDORF, 1999). Práticas implementadas para alcançar a eliminação de resíduos, redução da poluição, redução do consumo de energia e material estão atreladas a esse conceito (YUSUP *et al.*, 2015).

Assim, a inovação de produtos é entendida como uma maneira de contribuir para o DS. A inovação com base no DS leva em consideração um equilíbrio duradouro entre os aspectos econômicos, ambientais e sociais, conhecido como *Triple Bottom Line* (ELKINGTON, 1998), visando a preservação das necessidades das gerações futuras (MORES *et al.*, 2018).

O desenvolvimento de produtos inovadores aliados ao emprego de resíduos em sua formulação vem ao encontro dessas prerrogativas e tem grande potencial de estudo. Assim, os resíduos de madeira são uma alternativa interessante.

Por outro lado, o crescimento significativo das atividades industriais resultou em uma enorme geração de resíduos em todo o mundo, incluindo os resíduos de madeira. Esses resíduos são largamente utilizados para produção de energia (LIMA *et al.*, 2022). No entanto, sua combustão gera quantidades substanciais de cinzas e substâncias residuais que podem causar sérios desafios ecológicos e problemas de saúde, particularmente quando não são suficientemente geridas (INCE *et al.*, 2021). Além disso, a grande quantidade de resíduos de madeira descartados em aterros tem influências prejudiciais sobre a sustentabilidade ambiental, poluição e biodiversidade (SHAHIDUL *et al.*, 2020).

As pesquisas que envolvem o emprego de resíduos de madeira estão aumentando consideravelmente, visto a disponibilidade do material e a necessidade de sua valorização (GIBIER *et al.*, 2022). No entanto, o potencial de reciclagem de resíduos de madeira ainda é baixo, principalmente devido à falta de aplicações sustentáveis relacionadas a reutilização ou reciclagem (BERGER *et al.*, 2020).

Neste contexto, este trabalho é baseado na seguinte questão de pesquisa: Como desenvolver um processo de produção para a confecção de um canudo sustentável para bebidas a partir de resíduos de madeira?

Esse trabalho é baseado na hipótese de que é possível o desenvolvimento de um processo de produção para confecção de um canudo para bebidas, a partir do uso de resíduos de madeira, através da determinação e emprego de estratégias sustentáveis.

Cabe ressaltar que este trabalho é centrado no uso de resíduos de madeira de fontes limpas, livre de contaminantes, como àquelas provenientes de fontes conhecidas, já que o uso envolve fins alimentícios. Para tal, é essencial que o resíduo seja classificado como resíduo inerte Classe II B, como por exemplo sobras de madeira de manejo florestal, assim como as utilizadas nesta pesquisa.

## 1.1 Objetivos

A fim de resolver os desafios encontrados, foram definidos o objetivo geral e os específicos dessa pesquisa.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um processo de produção sustentável para a confecção de um canudo para bebidas a partir do uso de resíduos de madeira.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar estratégias sustentáveis para a idealização da produção do canudo para bebidas.
- Construir ferramentas para a produção de canudos para bebidas a partir do uso do resíduo de madeira.
- Criar um processo de produção para a fabricação dos canudos para bebidas que empregue tais ferramentas.
- Obter canudos sustentáveis para bebidas a partir do resíduo de madeira.
- Determinar a sustentabilidade ambiental do canudo produzido a partir de uma Análise do Ciclo de Vida (ACV).

## 1.2 Justificativa

Esta pesquisa possui duas justificativas principais. A primeira está ligada ao desenvolvimento de um processo de produção para a confecção de um novo produto sustentável. A segunda envolve a utilização de um resíduo.

Quanto ao desenvolvimento do processo de produção, acredita-se que ele tenha caráter de desenvolvimento de um novo produto com potencial de inovação. Em suma, a pesquisa justifica-se pela proposição de evitar os problemas causados pelos canudos plásticos. Para tal, objetiva-se o desenvolvimento de estratégias sustentáveis para a criação de um processo de produção ambientalmente correto, originando um produto sustentável que não acarrete problemas de disposição final (produto biodegradável).

Quanto a segunda justificativa, esta pesquisa se justifica pela utilização do resíduo de madeira, gerado em larga escala em todo o planeta, com grande potencial de uso. Espera-se que, por meio da utilização desse resíduo, se possa contribuir para uma destinação ambientalmente correta, evitando que seu destino final seja a combustão para geração de energia.

Comprovando o caráter de ineditismo desta pesquisa, nenhuma patente contendo as características do produto e processo desenvolvidos foram encontradas nas bases de patentes associada às seguintes palavras-chave: “*drinking straw*” AND “*wood waste*”.

### **1.3 Organização da Tese**

Essa tese está estruturada inicialmente em seis capítulos. Este, o primeiro capítulo, contém a Introdução, tratando da descrição da problemática, objetivos geral e específicos, bem como da justificativa da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico, oriundo dos assuntos relacionados aos temas principais necessários para o desenvolvimento da pesquisa: os canudos para bebidas e os resíduos de madeira.

No terceiro capítulo encontram-se os procedimentos metodológicos utilizados, contendo as particularidades relacionadas a idealização da produção do canudo sustentável, caracterização do processo e do produto, decisões envolvidas no desenvolvimento do produto e processo e estruturação da ACV.

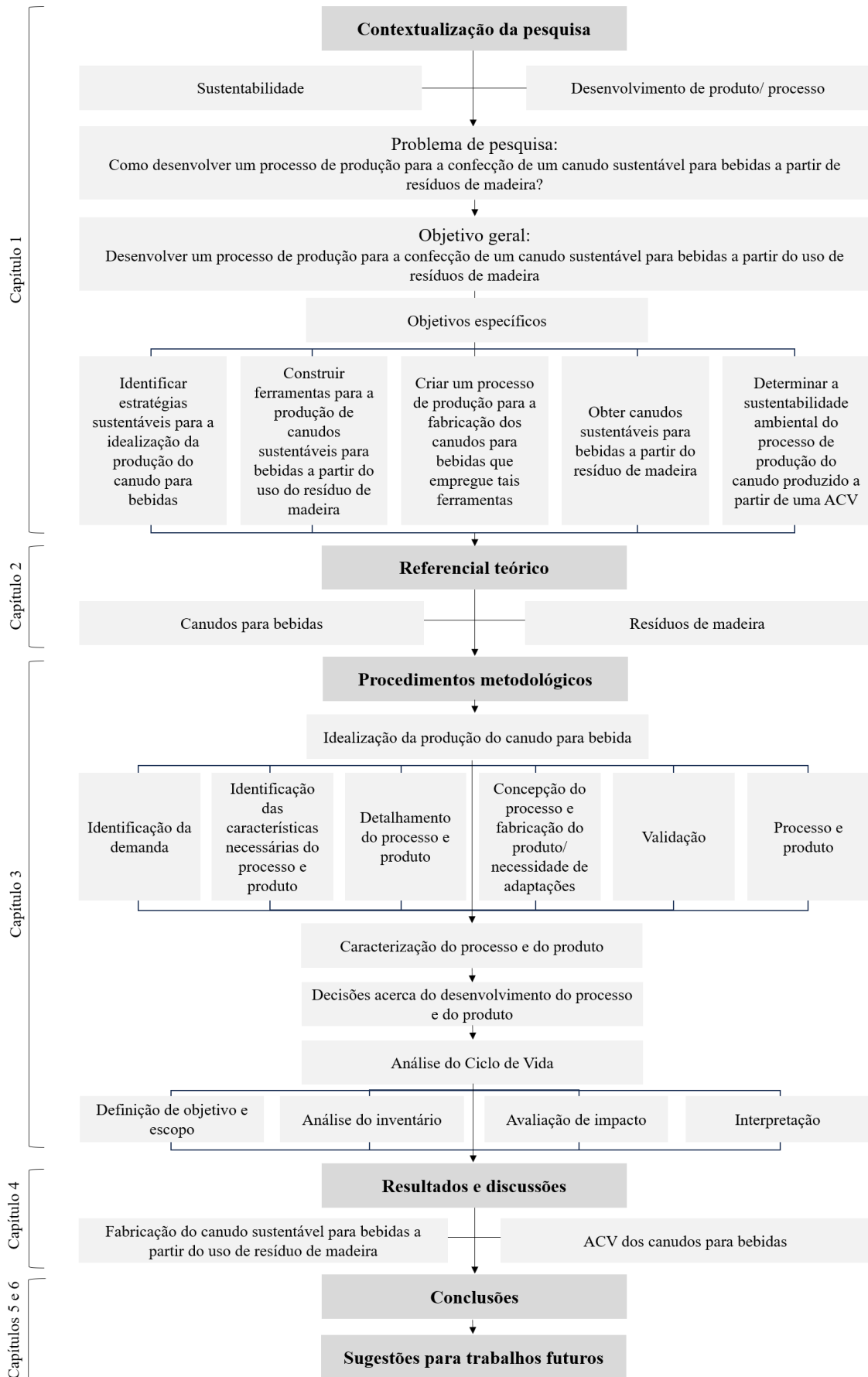
O quarto capítulo é composto dos resultados e discussões acerca da fabricação dos canudos sustentáveis produzidos, bem como da ACV desenvolvida para comparar os impactos ambientais causados pela produção deste canudo em relação a outros três tipos de canudos para bebidas (plástico, papel e aço inoxidável).

No quinto capítulo constam as conclusões acerca da pesquisa.

No sexto e último capítulo apresentam-se as sugestões para trabalhos futuros.

A Figura 1 dispõe do fluxograma de organização deste trabalho.

**Figura 1 - Fluxograma de organização da Tese**



Fonte: Autoria própria (2023)

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para embasar esta Tese, este capítulo trata dos principais conceitos que envolvem o presente trabalho, ligados principalmente aos canudos para bebidas e resíduos de madeira.

### 2.1 Canudos para bebidas

A primeira evidência do uso de canudos para bebidas é datada há milhares de anos, por meio de um selo sumério do ano 3.000 aC que ilustra dois homens bebendo cerveja com dispositivos tubulares, provavelmente feitos de metal (THOMPSON, 2011). Até a introdução dos canudos para bebidas atuais, inúmeros materiais foram utilizados na tentativa de se chegar a algo durável e conveniente (papel, farelo, bagaço, junco, bambu, palha) (ROY *et al.*, 2021).

Com o advento da era industrial, foram desenvolvidos métodos para produzir canudos em massa enrolando folhas de papel revestidos de cera em tubos ociosos cilíndricos. Isso foi possível por meio do enrolamento de papel revestido de parafina em torno de uma forma em forma de haste e, em seguida, prendendo o papel com um adesivo. Todo o canudo foi coberto com cera para torná-lo ainda mais impermeável. O revestimento de cera era importante, pois o canudo era de papel e acabaria absorvendo parte do líquido sendo sugado por ele. No entanto, inevitavelmente, esses canudos ficavam encharcados (MADEHOW, s.d.).

A introdução dos canudos para bebidas de plástico de uso único ocorreu na década de 50, em que o papel foi amplamente substituído pelo plástico, que se tornou cada vez mais barato e sofisticado (HOUCK, 2018). Hoje em dia, embora diferentes materiais sejam usados para produzir canudos para bebidas de plástico, os feitos de Polipropileno (PP) são os mais comuns (ZANGHELINI *et al.*, 2020).

Atualmente, o uso dos canudos para bebidas está consolidado no dia a dia do ser humano. As mudanças no estilo de vida, como o aumento do consumo de lanches e *fast food* e a busca por conveniência, popularizaram o uso generalizado de canudos para bebidas para o consumo de líquidos. Ao mesmo tempo, padrões de vida mais altos e a evolução da indústria de bebidas impulsionaram um aumento expressivo na demanda por canudos (ROY *et al.*, 2021).

Além disso, de acordo com University General Dentists (2021) os canudos para bebidas representam vários benefícios para o ser humano, incluindo: redução de manchas nos dentes da frente, proteção contra danos causados por bebidas ácidas e proteção dos dentes contra o açúcar. Isso devido ao beber com um canudo, o líquido é direcionado para o fundo da boca, reduzindo o contato dos dentes com a bebida.



Basicamente, existem três tipos de materiais convencionais para a produção de canudos para bebidas: o plástico, o papel e os metais (aço inoxidável ou alumínio). Cada material apresenta aspectos positivos e negativos, conforme disposto no Quadro 1.

**Quadro 1 - Principais materiais utilizados em canudos para bebidas e suas características**

Material	Tempo de degradação	Vantagens	Desvantagens
<b>Plástico (Polipropileno - PP)</b>	até 450 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leve</li> <li>• Inquebrável</li> <li>• Resistência térmica e mecânica relativas</li> <li>• Impermeabilidade</li> <li>• Reciclável</li> <li>• Baixo custo de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivado do petróleo</li> <li>• Alto tempo de degradação</li> </ul>
<b>Papel</b>	6 meses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leve</li> <li>• Resistência térmica relativa</li> <li>• Reciclável</li> <li>• Baixo custo de produção</li> <li>• Curto tempo de degradação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa resistência mecânica</li> <li>• Baixa barreira de proteção</li> <li>• Permeabilidade</li> </ul>
<b>Metal (aço inoxidável)</b>	Mais de 100 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inquebrável</li> <li>• Resistência térmica e mecânica</li> <li>• Impermeabilidade</li> <li>• Reutilizável</li> <li>• Reciclável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de produção</li> <li>• Peso elevado</li> <li>• Problemas ambientais (extração/ mineração)</li> </ul>
<b>Metal (alumínio)</b>	200 a 500 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inquebrável</li> <li>• Resistência térmica e mecânica</li> <li>• Impermeabilidade</li> <li>• Reutilizável</li> <li>• Reciclável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo de produção</li> <li>• Peso elevado</li> <li>• Problemas ambientais (extração/ mineração)</li> </ul>

Fonte: Elaborado a partir de Zanghelini *et al.* (2020) e Productive PlasticsInc (2017)

Devido às características do material, canudos para bebidas produzidos de PP ou papel são alternativas descartáveis e os produzidos de metais são alternativas reutilizáveis.

Analisando o Quadro 1, é compreensível o fato de o plástico ser o material mais empregado na produção de canudos para bebidas, visto as inúmeras vantagens. Em compensação, esse material traz desvantagens para o meio ambiente, limitando seus benefícios.

As alternativas convencionais disponibilizadas a fim de substituir o plástico (canudos confeccionados a partir de papel ou metais) têm ganhado espaço no mercado (GUTIERREZ *et al.*, 2019). No entanto, conforme pode ser observado no Quadro 1, as desvantagens relacionadas podem limitar seu uso.

As limitações relacionadas aos canudos para bebidas, de modo geral, não devem ser centradas apenas nas características de uso, nas características do material ou no descarte inadequado. É necessário entender também os impactos gerados pelo processo de produção, a

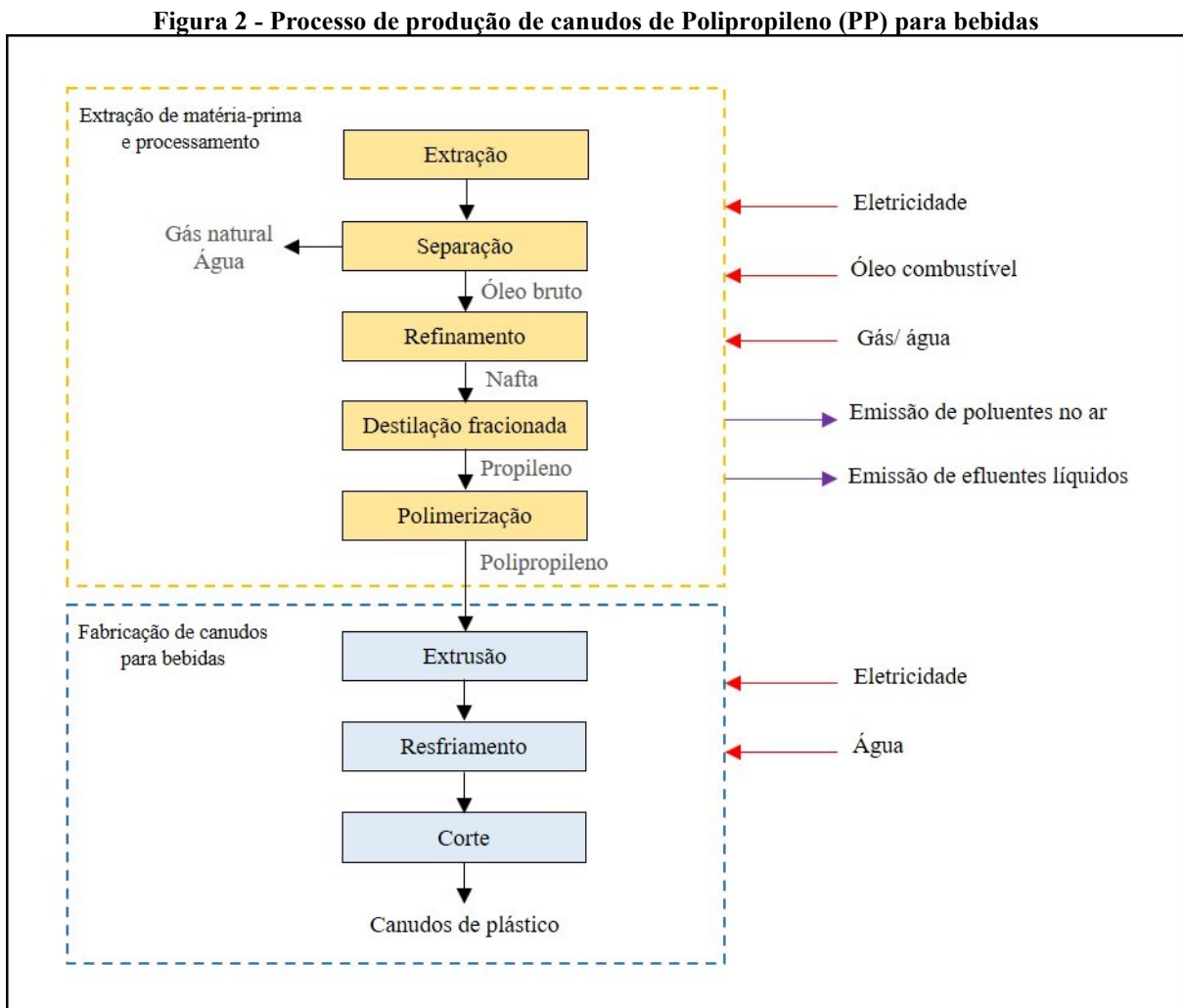
fim de conhecer melhor a influência da cadeia produtiva desses produtos sobre o meio ambiente.

### 2.1.1 Processo de produção de canudos convencionais para bebidas

Esta seção apresenta uma descrição sucinta e genérica dos processos de produção dos canudos para bebidas à base de plástico, papel e metal (aço inoxidável).

#### 2.1.1.1 Canudos de plástico para bebidas

A Figura 2 ilustra o processo de produção de canudos para bebidas confeccionados a partir de PP.



Fonte: Baseado em Chang e Tan (2021)

O PP é obtido a partir da extração do petróleo bruto e subsequentes etapas de refino. A retirada do petróleo do poço acontece basicamente em três fases, sendo elas:

- i) Recuperação primária: o petróleo é impulsionado pela própria pressão do reservatório;
- ii) Recuperação secundária: a energia do reservatório já não é suficiente, e é necessário injetar água ou gás para impulsionar o petróleo; e,
- iii) Recuperação terciária ou avançada: a extração torna-se ainda mais difícil e utilizam-se outras técnicas, como adição de polímeros e surfactantes, ou aquecimento.

Após extraído, o petróleo passa pela etapa de separação; o óleo e o gás são enviados às refinarias e unidades de processamento de gás natural, enquanto a água pode ser descartada ou reinjetada no poço (MEILI; JUNGBLUTH; ANNAHEIM, 2018).

Após, o óleo bruto passa pela etapa de refinamento, na qual ele é preaquecido e retiram-se impurezas. Ele é separado em várias frações com faixas de temperatura de ebulição diferentes, incluindo a nafta. Cada uma dessas frações passa então por outros processos de tratamento, em que, a nafta, por meio da destilação fracionada origina o propeno (GUPTA; NANDAN; MANDAL, 2015).

Através da polimerização do propeno, o PP é originado. Geralmente, o PP produzido recebe aditivos e é extrudado e granulado para posterior uso (COELHO, 2019). Essas etapas envolvem a emissão de gases poluentes e geração de efluentes líquidos.

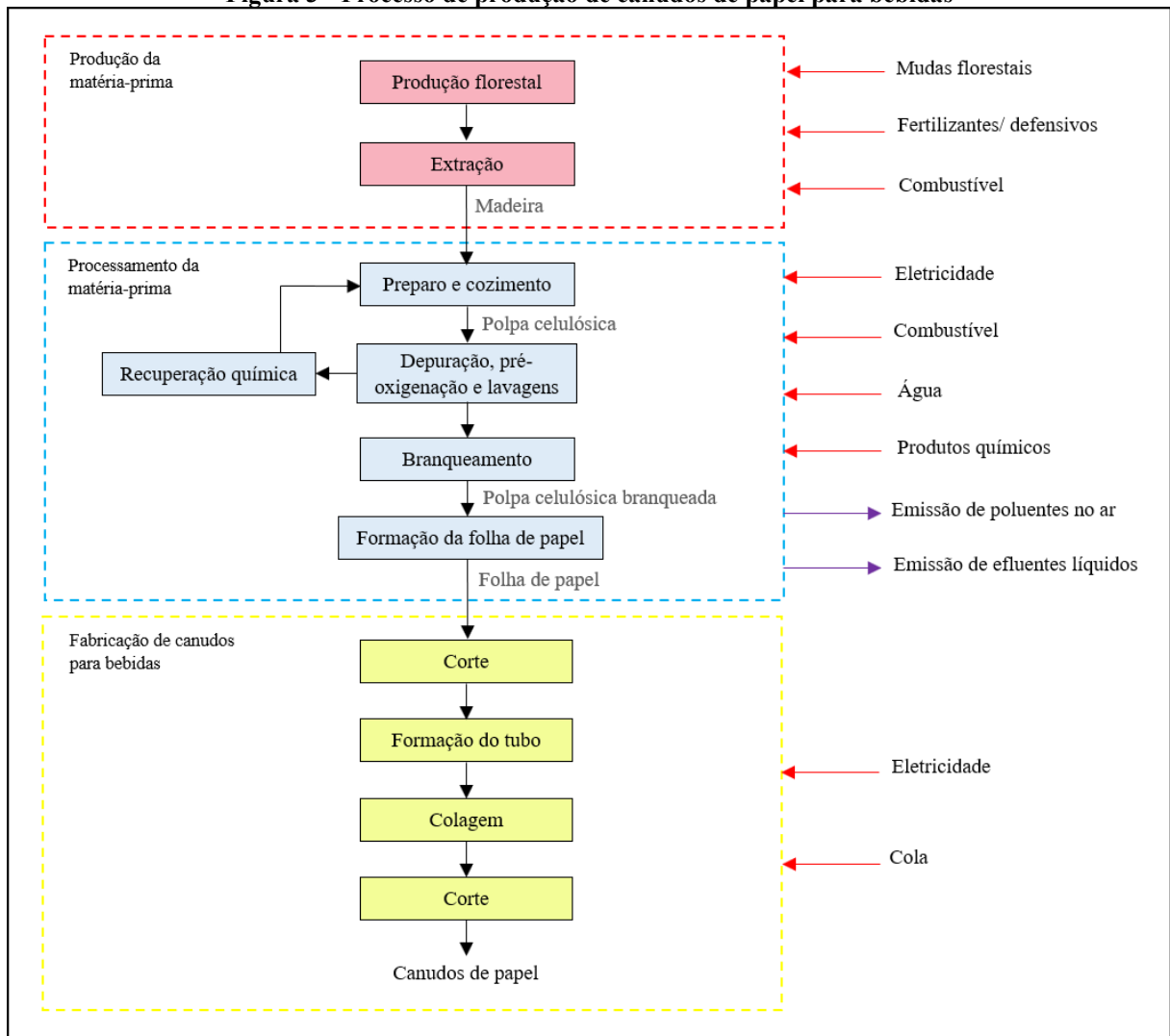
O método de fabricação dos canudos a partir do PP inicia-se com a extrusão do PP granulado, em altas temperaturas, no formato de um longo tubo contínuo. Esse tubo é resfriado em água gelada a uma temperatura abaixo do ponto de amolecimento do polímero, a fim de atingir o endurecimento.

Após, esse tubo é cortado nas dimensões desejadas, originando os canudos de PP para bebidas.

#### *2.1.1.2 Canudos de papel para bebidas*

A Figura 3 ilustra o processo de produção de canudos para bebidas confeccionados a partir de papel.

**Figura 3 - Processo de produção de canudos de papel para bebidas**



Fonte: Baseado em Sakthivelmurugan, Senthilkumar e Karthick (2022) e Coelho (2018)

O processo tem início com a produção da matéria-prima, ou seja, a produção da madeira. Para tal, a primeira etapa deste processo é a produção florestal, que inclui a entrada de mudas de árvores e atividades de plantio e manejo para o desenvolvimento da planta. Quando a mesma alcança o tamanho adequado, ocorre a etapa de extração da madeira que compreende atividades de derrubada, descascamento e corte.

A madeira segue para o processamento que envolve atividades voltadas a produção do papel. O processo inicia com a preparação e cozimento da madeira, também chamado de processo *kraft*, em que a madeira é submetida a um processo de polpação alcalina. Este visa romper as ligações da estrutura lignocelulósica da madeira, isolando as fibras celulósicas. Assim, a madeira é cozida em um digestor junto com químicos, sendo possível remover grande parte da lignina presente na madeira, gerando uma polpa celulósica.

Essa polpa segue para a etapa de depuração, em que há a separação de nós de palitos existentes, para depois proceder à primeira lavagem alcalina.

Em seguida, ocorre a etapa de pré-oxigenação em que a massa é aquecida numa rosca com vapor direto e oxidada com oxigênio. Essa etapa funciona como uma etapa inicial de branqueamento, visto que haverá a degradação e dissolução de fragmentos de lignina ainda presentes na polpa.

Após a pré-oxigenação, é feita uma segunda lavagem, a qual separa a polpa celulósica do licor negro (constituído de remanescentes do cozimento, lignina e outros sólidos extraídos da madeira) que é encaminhado para a recuperação química. A recuperação química envolve atividades que têm como objetivo retornar reagentes à etapa de cozimento, como a recuperação do licor negro, por exemplo, além da produção de vapor e eletricidade pela queima do licor negro, concentrando-o em sólidos.

Após, a polpa celulósica passa por uma etapa de branqueamento realizada por meio da utilização de reagentes químicos.

Por fim, a folha de papel é formada. Para tal, são necessários vários produtos químicos que juntamente com a polpa celulósica branqueada são submetidos ao refino para que a fibra seja aberta, além da adição de aditivos.

O papel é enrolado em bobinas à medida que passa por secadores a vapor (SAKTHIVELMURUGAN; SENTHILKUMAR; KARTHICK, 2022).

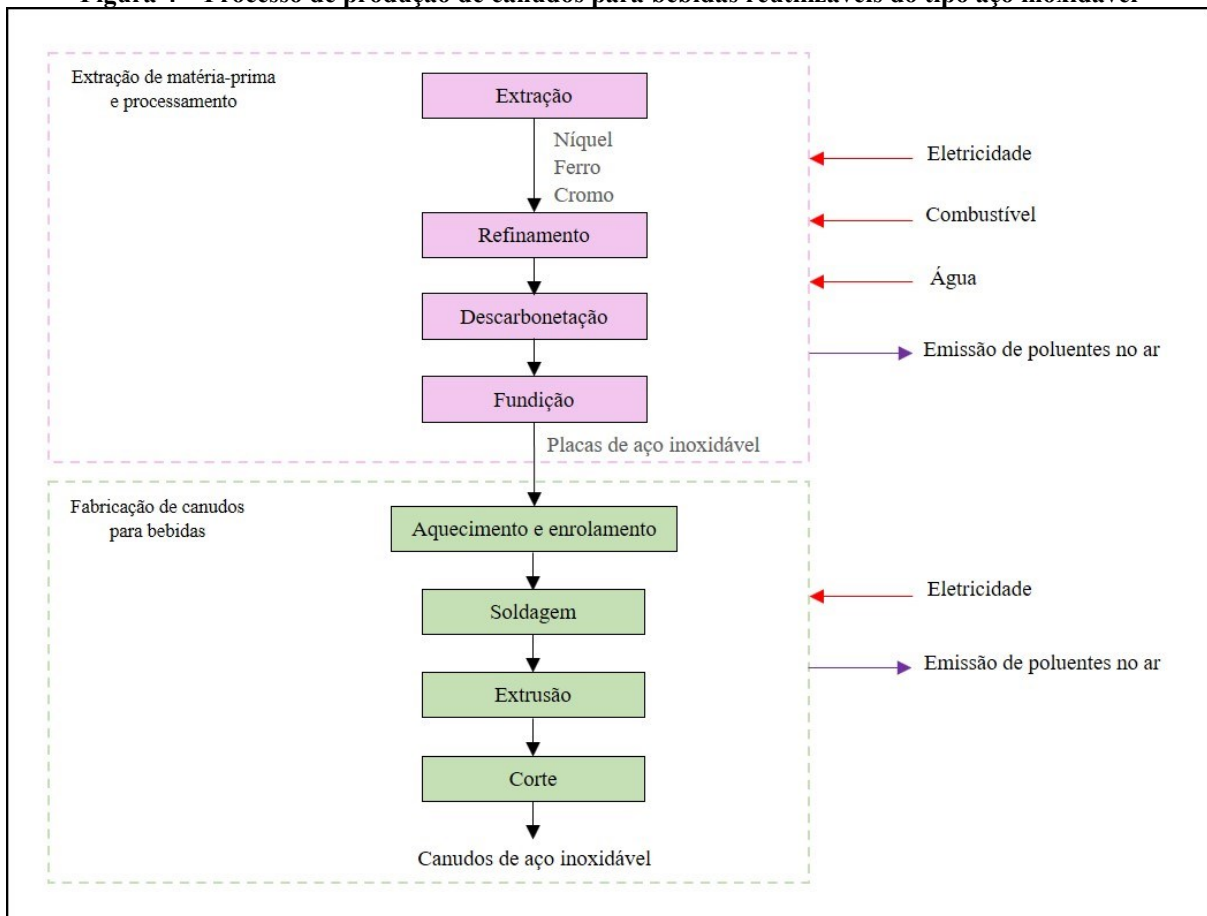
A fabricação dos canudos de papel é realizada por apenas uma máquina, em que a folha de papel é cortada do tamanho adequado para dar entrada na mesma.

O processo é simples e consiste apenas do rebobinamento e colagem do papel, seguida do corte na dimensão estabelecida para o comprimento do canudo (COELHO, 2018).

### *2.1.1.3 Canudos de metal para bebidas*

A Figura 4 ilustra as etapas básicas envolvidas no processo de produção de canudos de aço inoxidável. A fabricação exata da palha de aço inoxidável não está disponível na revisão da literatura. No entanto, de acordo com Chang e Tan (2021), o processo é análogo à produção de tubos de aço devido aos seus interiores ocos e paredes finas.

**Figura 4 – Processo de produção de canudos para bebidas reutilizáveis do tipo aço inoxidável**



Fonte: Baseado em Chang e Tan (2021)

Assim, para obter o aço inoxidável, há a necessidade da extração de metais brutos (incluindo níquel, ferro e cromo) realizada por meio da atividade de mineração.

Após, acontecem as etapas de processamento a jusante e, finalmente, fundição do aço inoxidável em placas. Estas placas são usadas para a fabricação de canudos, primeiro aquecendo-as e depois enrolando-as em formas cilíndricas.

Posteriormente, ocorre a extrusão e a soldagem para obter o formato necessário. Eventualmente, os tubos longos são cortados em tubos menores, originando os canudos para bebidas de aço inoxidável.

### 2.1.2 Avanços e iniciativas acerca do uso de canudos para bebidas

Frente às inúmeras limitações relacionadas aos canudos convencionais para bebidas, o avanço acerca de pesquisas relacionadas abordando temas diversos é evidente. Alguns dos principais estudos são apresentados a seguir.

Gao e Wan (2022) empregaram a abordagem de ACV para avaliar e comparar o impacto ambiental de canudos para bebidas de plástico feitos de PP e suas alternativas biodegradáveis feitas de Ácido Polilático (PLA) ou papel, nos Estados Unidos. Os resultados mostraram que o consumo diário de canudos para bebidas de plástico nos Estados Unidos, chega a uma quantidade de 500 milhões por dia, podendo acarretar cargas ambientais significativas. Independentemente do tipo de canudo (PP, PLA ou papel), os impactos ambientais estão presentes. Os maiores impactos são gerados nos estágios de produção do canudo.

Diante da problemática ambiental envolvendo canudos para bebidas, Mailes Neto *et al.* (2021), por meio de uma pesquisa de revisão, visaram identificar, categorizar e analisar as regulamentações existentes no continente americano (América do Norte, Central e do Sul e Caribe) ligadas aos canudos. Dentre as regulamentações pesquisadas, poucas (19 de 363 regulamentações) contêm normas relativas à fabricação ou certificações em seus textos. Embora a regulamentação apresente diversas opções de materiais utilizados na fabricação de canudos para bebidas, o resultado dos estudos publicados até o momento não permite nenhuma conclusão quanto ao melhor tipo de material.

Viera *et al.* (2020) avaliaram a composição de canudos para bebidas de plástico comercializados no Brasil e nos Estados Unidos a fim de identificar se suas características em relação a sustentabilidade, mais precisamente no quesito biodegradabilidade, eram compatíveis com o declarado pelos fabricantes. Os autores concluíram que diversos produtos aplicam o *greenwashing* (prática de enganar os consumidores sobre as condutas ambientais de uma empresa ou os benefícios ambientais que um produto ou serviço pode oferecer) na tentativa de influenciar a compra. Assim, ações adicionais em escala regional e global devem ser implementadas, especialmente no que diz respeito à rotulagem adequada dos produtos supostamente biodegradáveis.

Mundt *et al.* (2020) realizaram um experimento de campo para testar a eficácia de uma intervenção que visava reduzir o consumo de canudos para bebidas de plástico. Foi assumido que separar canudos para bebidas de copos poderia levar a uma diminuição geral no consumo de canudos. A hipótese de que os indivíduos consumiriam canudos para bebidas com menos frequência quando tivessem que pegá-los ativamente de uma caixa de canudos separada dos copos, em comparação com quando podiam escolher entre copos que já continham canudos foi confirmada.

Além disso, pesquisas ainda atestam que o uso de canudos para bebida, de modo geral, pode trazer desvantagens para a saúde do ser humano, visto que ele pode concentrar o jato de

bebida, podendo causar cáries. Dependendo da maneira como o canudo está posicionado, ele pode fazer com que um jato mais concentrado de líquido atinja um ou alguns dentes repetidamente. Isso pode causar cáries irregulares e formar cavidades na parte de trás da boca e/ou entre os dentes (UNIVERSITY GENERAL DENTISTS, 2021).

Além de pesquisas, iniciativas governamentais e empresariais têm sido desenvolvidas, em que inúmeras estratégias regulatórias e técnicas foram propostas e sancionadas (ROY *et al.*, 2021). Tanto governos como empresas de todo o mundo começaram a banir os plásticos de uso único, sobretudo os canudos (BORG *et al.*, 2022). Viera *et al.* (2020) pesquisaram as 50 maiores economias do mundo, descobrindo que 35 delas tinham alguma forma de regulamentação e 26 haviam banido totalmente os canudos de plástico de seu país.

No Brasil, os canudos para bebidas de plástico estão proibidos no território nacional de forma parcial, ou seja, os regulamentos foram emitidos por parlamentos municipais ou estaduais, que abrangem apenas algumas de suas cidades ou províncias (VIERA *et al.*, 2020). Dos 27 estados brasileiros, 12 proibiram seu fornecimento em estabelecimentos de todo seu território, sendo eles: Acre, Amapá, Amazonas, Distrito Federal, Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Rio Grande do Norte, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe. De acordo com Zaremba (2020), nos demais estados tramitam ao menos um projeto de lei no legislativo estadual para a proibição do artefato. Além disso, há várias iniciativas municipais em vigor, proibindo seu uso.

Quanto às iniciativas de mercado, diversas empresas como a Walt Disney (NBC NEWS, 2018), Starbucks (ROCHMAN, 2018), McDonalds (SCHNURR *et al.*, 2018), Bob's (ABRASEL, 2019), por exemplo, deixaram de fornecer canudos para bebidas de plástico de uso único a fim de cumprir o propósito de bani-los.

No entanto, banir os canudos para bebidas pode não ser uma solução, visto que a ação ignora as necessidades de determinadas classes de pessoas. Apesar desse item ser um artigo de conveniência para alguns, mediante as razões citadas anteriormente, ele pode ser um artigo de necessidade para outros. Isso devido ao fato de que pessoas que possuem determinados tipos de deficiência ou necessidades especiais, como dificuldades de sucção ou de controle mandibular, necessitam de canudos para bebidas para poder viver de forma independente (JENKS; OBRINGER, 2019).

Além disso, de acordo com Mundt *et al.* (2020), as proibições podem ter consequências não intencionais. Por exemplo, os cidadãos podem responder com reatância. Se eles percebem uma ameaça ou mesmo uma eliminação de sua liberdade comportamental, eles tentam restaurar



essa liberdade particular ameaçada. Por exemplo, a alternativa de escolha perdida torna-se mais atrativa, enquanto a escolha forçada torna-se menos atrativa.

Outro fator preocupante relacionado às proibições dos canudos para bebidas de plástico é que elas poderiam encorajar o uso de alternativas e comportamentos que causam um efeito rebote no impacto de maior magnitude em outras partes do ciclo de vida do produto.

Britschgi (2018), por exemplo, cita o fato de que as novas tampas da Starbucks (a alternativa criada pela Empresa ao banir canudos para bebidas de plástico) usam mais plástico do que os próprios canudos.

Tarrant (2018) chama a atenção para outro fator em relação à estratégia da Starbucks em substituir os canudos de plástico: o uso de canudos para bebidas de papel embalados individualmente em plástico. Ambas as estratégias podem representar situações reais de que a proibição poderia levar a produção de mais plástico, com a deposição de mais lixo no meio ambiente, causando ainda mais problemas.

Diante das proibições acerca do material plástico, como opção, os estabelecimentos (restaurantes e bares, por exemplo) podem fornecer outros tipos de canudos para bebidas, como os biodegradáveis (papel, por exemplo) ou reutilizáveis (metais, por exemplo).

### 2.1.3 Características dos canudos convencionais para bebidas

A proibição dos canudos plásticos para bebidas encorajou o desenvolvimento de pesquisas envolvendo as opções supracitadas que podem ser disponibilizadas pelos estabelecimentos. Essas pesquisas objetivaram apresentar as características negativas envolvidas na produção, uso e descarte destas alternativas. As principais são citadas a seguir.

Quanto aos canudos confeccionados a partir de papel, existem preocupações quanto a sua qualidade e estabilidade ao longo do tempo quando em contato com bebidas.

Gutierrez *et al.* (2019) avaliaram o desempenho e as propriedades de canudos de papel disponíveis comercialmente em várias aplicações pretendidas. As características físicas, mecânicas e composicionais, bem como as propriedades de interação líquida dos canudos foram determinadas. Os canudos de papel eram compostos principalmente de fibras de madeira dura que foram coladas com um agente de colagem hidrofóbico para atingir um ângulo de contato de 102° a 125°.

Os resultados indicaram que todos os canudos de papel avaliados perderam de 70% a 90% de sua resistência à compressão após ficarem em contato com o líquido por menos de 30 minutos. Além disso, os canudos de papel absorveram líquido em aproximadamente 30% do

peso do canudo após exposição ao líquido por 30 minutos. O aumento da temperatura do líquido causou menores resistências à compressão e maior absorção de líquido nos canudos de papel.

Rusko *et al.* (2020) avaliaram a segurança de canudos para bebidas de papel quanto à presença de substâncias perigosas. Uma lista provisória de espectros suspeitos foi gerada usando um inventário de substâncias. A presença de contaminantes nos canudinhos foi confirmada por espectrometria de massa Orbitrap de alta resolução. Em conclusão, o estudo forneceu evidências sobre a ocorrência de substâncias preocupantes, algumas das quais foram identificadas pela primeira vez em materiais de papel. A pesquisa permitiu a identificação de 74 compostos suspeitos, dos quais 40 receberam um alto nível de confiança de detecção. Usando modelos quantitativos de relação estrutura-atividade, descobriu-se que dois dos compostos detectados testaram positivo para mutagenicidade e três para carcinogenicidade.

Segundo Chang e Tan (2021), os canudos para bebidas reutilizáveis são portáteis e possuem aparência chamativa, satisfazendo a necessidade da sociedade materialista. Além disso, são classificados no mercado como uma opção sustentável.

No entanto, pesquisas apontam o contrário. Embora essas alternativas tenham o potencial de reduzir os resíduos em fim de vida, elas também trazem seus próprios impactos ambientais (HERBERZ *et al.*, 2020). Isso devido sua produção envolver materiais mais intensivos em recursos, além de envolver impactos na fase de uso, como consumo de água e uso de energia associados à lavagem (BLANCA-ALCUBILLA *et al.*, 2020).

Neste contexto, canudos para bebidas reutilizáveis podem consumir menos matéria-prima e, conseqüentemente, gerar menos resíduos devido à possibilidade de reaproveitamento.

No entanto, para Zanghelini *et al.* (2020), quantitativamente, tais características possivelmente diminuiriam os impactos diretos devido à presença física de plásticos nos oceanos, mas também provocariam outros impactos que podem afetar indiretamente as espécies marinhas, devido os processos de produção envolvidos e impactos de uso. Em última análise, apesar dos impactos do lixo marinho relacionados aos animais, os impactos causados pela fabricação de produtos em outros indicadores também afetam a biodiversidade marinha de forma silenciosa e menos visual do que os detritos plásticos.

Zanghelini *et al.* (2020) avaliaram o ciclo de vida de cinco tipos de canudos para bebidas diferentes e concluíram que os de plástico têm um melhor desempenho ambiental se comparados aos reutilizáveis e têm um desempenho favorável em 10 das 11 categorias se comparados aos de papel. Os consumos de água e detergente durante a fase de utilização e o fabrico de elementos adicionais (saco e escova de limpeza) são os principais impulsionadores deste potencial impacto ambiental mais elevado.

Chang e Tan (2021), por meio de um ACV de canudos para bebidas de plástico e de canudos para bebidas de metal (aço inoxidável), concluíram que a primeira opção é mais sustentável do que a segunda, considerando que o canudo de plástico tem um potencial de aquecimento global (139 g CO<sub>2</sub>) menor, comparado ao de aço inoxidável (537 g de CO<sub>2</sub>).

Contudo, alguns tipos de canudos para bebidas (de plástico e de papel) ainda são disponibilizados embalados individualmente em embalagens de papel ou Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) (ZANGHELINI *et al.*, 2020).

Neste contexto, é possível afirmar que as opções convencionais disponíveis no mercado, até mesmo aquelas consideradas sustentáveis, acarretam implicações negativas para o meio ambiente. O Quadro 2 reúne as principais informações relevantes acerca dessas opções.

**Quadro 2 - Principais características dos canudos convencionais para bebidas**

Características	Tipo de canudo			
	Canudo de plástico	Canudo de papel	Canudo de aço inoxidável	Canudo de alumínio
<b>Material predominante</b>	PP	Papel	Aço inoxidável	Alumínio
<b>Elementos adicionais</b>	-	-	Saco e escova de limpeza	Saco e escova de limpeza
<b>Impactos de uso</b>	-	-	Consumo de água, detergente e energia	Consumo de água, detergente e energia
<b>Vida útil</b>	Uso único	Uso único	500 usos	500 usos
<b>Embalagem adicional</b>	PEBD ou papel	PEBD ou papel	-	-

Fonte: Elaborado a partir de Zanghelini *et al.* (2020)

#### 2.1.4 O mercado de canudos alternativos para bebidas

Diante da problemática envolvendo os canudos convencionais para bebidas, canudos alternativos como os de fontes renováveis e biodegradáveis têm sido lançados constantemente no mercado.

A Figura 5 dispõe de opções famosas internacionalmente que compreendem, por exemplo, a empresa espanhola Sorbos, uma das pioneiras, que criou canudinhos comestíveis à base de açúcar, gelatina e amido de milho, 100% biodegradáveis (SORBOS, 2022a). Desde então, surgiram outras inovações, como o canudo de talo de trigo (HAY STRAWS, 2022a), o canudo à base de resíduo de maçã (WISE FOOD, 2022a), o canudo de algas marinhas (LOLIWARE, 2022), o canudo de capim (ÓNG HÚT Cỏ, 2022), entre outros.

**Figura 5 - Exemplos de canudos sustentáveis disponíveis no mercado. Canudos à base de açúcar, gelatina e amido de milho (a); Canudos de talo de trigo (b); Canudos à base de resíduo de maçã (c); Canudos de algas marinhas (d); Canudos de capim (e)**



Fonte: Elaborado a partir de Ethic (2019), Hay Straw (2022c), Wise food (2022b), Havalina (2021) e ÓNG HÚT Cỏ (2022)

O grande entrave para essas opções são a disponibilidade e o preço, o que acaba restringindo o custo-benefício.

Os canudinhos comestíveis à base de açúcar, gelatina e amido de milho, da Empresa Sorbos, por exemplo, até recentemente eram facilmente encontrados em supermercados brasileiros e sites de compra. Os produtos passaram a ser vendidos, a um preço de €9,95 a unidade (equivalente a aproximadamente R\$52,44 - considerando a cotação do euro no dia 19 de junho de 2023) (SORBOS, 2022b), no site da Empresa. No entanto, as opções disponíveis para entrega envolvem apenas localidades espanholas. Além disso, os canudinhos são vendidos em lojas físicas apenas em determinadas regiões da Espanha e fornecidos em estabelecimentos (restaurantes) da mesma localidade e na Grécia (SORBOS, 2022c).

A Empresa Hay Straws vende seus produtos internacionalmente. Através do site da marca é possível comprar canudos para bebidas de talo de trigo a um preço de €3,40 a unidade (equivalente a aproximadamente R\$17,92 - considerando a cotação do euro no dia 19 de junho de 2023) (HAY STRAWS, 2022b), considerando custos com frete.

É possível encontrar opções mais acessíveis em sites de varejo global (amazon.com e ebay.com, por exemplo) que entregam bens de consumo em praticamente todos os países do mundo. A Amazon.com, por exemplo, vende produtos da Empresa Can.U.do. É possível comprar um canudo para bebidas à base de gelatina, açúcar e amido a um preço de R\$0,88, já considerando custos com frete (AMAZON.COM, 2022).

O preço do último produto é bem menor quando comparado aos outros exemplos, no entanto, se torna pouco atraente quando comparado ao canudo para bebidas de plástico descartável, facilmente encontrado em qualquer loja física ou virtual. Uma embalagem com 200 unidades do produto pode custar por volta de R\$5,00 (TOKLIMP, 2022), sendo 35 vezes mais barata quando comparada a opção da Can.U.do.

Neste sentido, o desenvolvimento de canudos para bebidas que considerem elementos como a importância do desenvolvimento sustentável, as necessidades de determinadas classes de pessoas, bem como o custo-benefício envolvido são imprescindíveis.

Para Roy *et al.* (2021), o problema acerca dos canudos para bebidas não será solucionado por meio de ações isoladas, mas sim por meio de três estratégias combinadas que possuem relação com os elementos citados anteriormente: i) coleta e processamento de resíduos; ii) restrição do acesso aos canudos plásticos descartáveis; e, iii) uso de materiais alternativos sustentáveis.

#### 2.1.5 Pesquisas acerca de canudos alternativos para bebidas

É uma tendência inevitável que canudos alternativos para bebidas, com características ambientalmente corretas, substituam os canudos para bebidas confeccionados a partir de plástico a fim de proteger o meio ambiente em todo o mundo (WEI *et al.*, 2022). É vital propor e produzir alternativas adequadas tanto para a proteção do meio ambiente como considerando fatores relacionados a necessidade, sanidade, funcionalidade e conveniência.

Inúmeros esforços de pesquisa estão sendo feitos em escala mundial para desenvolver canudos para bebidas apropriados. O Quadro 3 apresenta estudos que objetivaram produzir canudos para bebidas alternativos, bem como os materiais utilizados e as características do produto desenvolvido.

Quadro 3 - Estudos de desenvolvimento de canudos alternativos para bebidas

<b>Tipo</b>	<b>Materiais</b>	<b>Características do produto</b>	<b>Autor</b>
Canudo de amido de milho	Amido de milho, glicerol, água deionizada	Alta resistência mecânica, hidroestabilidade, cristalinidade, comestível, degradável	Cui <i>et al.</i> (2023)
Canudo de lignocelulose	Lascas de pinho, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, água desionizada, ácido nítrico	Natural, biodegradável, forte e estável à água	Dong <i>et al.</i> (2023)
Canudo de biomassa de manga	Cascas de manga, água destilada, amido, glicerina, vinagre, suco de limão, canela em pó	Biodegradável, plasticidade, firmeza-dureza	Bravo <i>et al.</i> (2022)
Canudo de biomassa de uva	Cascas de uva, água destilada, amido, glicerina, vinagre, suco de limão, canela em pó	Biodegradável, plasticidade, firmeza-dureza	Bravo <i>et al.</i> (2022)
Canudo de nanofibra de quitina	Conchas de caranguejo, ácido clorídrico, água deionizada, hidróxido de sódio, carbonato de cálcio, ácido acético	Desempenho mecânico desejável, hidroestabilidade, termoestabilidade, biodegradabilidade, reciclável	Chen <i>et al.</i> (2022)
Canudo de nanofibrila de lignocelulose	Polpa de eucalipto, celulose de madeira macia, cloreto de colina, etilenoglicol, poliaminoamida-epiclorohidrina sem cloro livre e cola de resina, água destilada	Resistência mecânica, resistência à água, estabilidade térmica	Fu <i>et al.</i> (2022)
Canudo de papel superhidrofóbico	Papel de filtro, etilcelulose, tolueno, nanopartículas de dióxido de silício, etanol, água deionizada	Resistência mecânica; resistência a ácidos, álcalis e abrasão; baixa absorção de água e degradáveis	Liu <i>et al.</i> (2022)
Canudo à base de celulose	Nanofibras de celulose de cana-de-açúcar, ácido esteárico, etanol	Natural, forte, super hidrofóbico e estável	Qin <i>et al.</i> (2022)
Canudo à base de milho	Amido de milho, celulose extraída do talo do milho, água, hidróxido de sódio, ácido acético	Biodegradável, Resistência física, resistência à água	Wei <i>et al.</i> (2022)
Canudo à base de amido e quitosana	Fécula de mandioca, amido de arroz, quitosana, água	Resistência mecânica, resistente a água e biodegradável	Fan <i>et al.</i> (2021)
Canudo à base de celulose-lignina	Lignina, fibras de micro-nanocelulose	Resistência mecânica, alta hidroestabilidade, degradabilidade natural, baixo custo	Wang <i>et al.</i> (2021)
Canudos à base de celulose bacteriana	Celulose bacteriana, alginato de sódio	Comestível, ultraforte, baixo custo, biodegradável	Yang <i>et al.</i> (2021)
Canudos de nano e microfibras de celulose	Bagaço de nanofibras e microfibras de celulose, hidróxido de sódio	Natural, degradável, alta resistência mecânica e deformabilidade, hidroestável, baixo custo	Wang <i>et al.</i> (2020)
Canudo comestível de farinha	Farinha, agente adoçante, fibra, fermento, agente aromatizante, água, clara de ovo	Comestível, aromatizado, saborizado, biodegradável, rígido	Yavagal <i>et al.</i> (2020)
Canudo de folha de coco	Folhas de coco, amido de milho, mistura de gelatina, goma acácia, silicone	Biodegradável, ecologicamente correto	James <i>et al.</i> (2019)
Canudo comestível de abacaxi	Abacaxi, carragenina, sorbitol	Comestível, biodegradável e resistente	Rohmah <i>et al.</i> (2019)

Por meio do Quadro apresentado é possível observar que todas as pesquisas fazem o uso de materiais naturais estratégicos, a fim de fornecer características atraentes aos canudos para bebidas, tais como biodegradabilidade, resistência física, comestibilidade, etc.

A celulose vegetal é um polímero, classificada como polissacarídeo, muito empregado na produção de canudos para bebidas (DONG *et al.*, 2023; FU *et al.*, 2022; LIU *et al.*, 2022; QIN *et al.*, 2022; WEI *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2020), visto suas características. A celulose é um biomaterial de baixa densidade com estrutura forte e rígida, e certamente atende às qualidades desejáveis dos plásticos. Além disso, é abundante e apresenta boa biocompatibilidade, biodegradabilidade e baixa toxicidade (JANASWAWAMY *et al.*, 2022).

Pesquisas envolvendo o uso de celulose a partir de biomassa geralmente utilizam processos de purificação para extração de lignina e outras substâncias a fim de remover a cor amadeirada e promover um efeito clareador (DONG *et al.*, 2023; FU *et al.*, 2022; WEI *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2020). A lignina é responsável por cerca de 80-95% da absorção de luz na madeira. Para que a madeira se torne translúcida é necessário eliminar essa absorção, existente devido a presença de cromóforos (como a lignina, clorofila e taninos) (LI *et al.*, 2018). Também é comum a compra da celulose já purificada (LIU *et al.*, 2022; QIN *et al.*, 2022).

Existem bactérias capazes de produzir celulose. Yang *et al.* (2021) produziram canudos para bebidas à base de celulose bacteriana. Para tal, utilizaram um processo de biossíntese por *Gluconacetobacter xylinus*. Essa celulose apresenta um maior teor de pureza (sem lignina e hemicelulose) e uma rede 3D em nanoescala, possuindo uma combinação de alto desempenho como comestibilidade, alta resistência e alto teor de água. No entanto, devido à sua hidrofiliidade, as moléculas de água diminuem a resistência mecânica do material, o que significa que a resistência à umidade não é adequada, havendo a necessidade de combinar outros materiais.

Polímeros classificados como polissacarídeos de origem animal, como a quitina e a quitosana (CHEN *et al.*, 2022; FAN *et al.*, 2021), também foram empregados na produção de canudos para bebidas. A quitina é abundante no mundo, visto que é obtida a partir de esqueletos de crustáceos (caranguejos, camarões, lagostas, etc.) e outras fontes (SUN *et al.*, 2020). Tratamentos de purificação como desmineralização, desproteíntização, branqueamento e desintegração são necessários (CHEN *et al.*, 2022).

O amido, polissacarídeo vegetal, também foi utilizado na produção de canudos para bebidas (BRAVO *et al.*, 2022; WEI *et al.*, 2022; FAN *et al.*, 2021), por possuir propriedades funcionais como inchamento, colagem, viscosidade, envelhecimento, etc. ele tem recebido

ampla atenção e aplicação devido ao baixo preço, baixa toxicidade, biodegradabilidade, processabilidade termoplástica e disponibilidade (MEITE *et al.*, 2021).

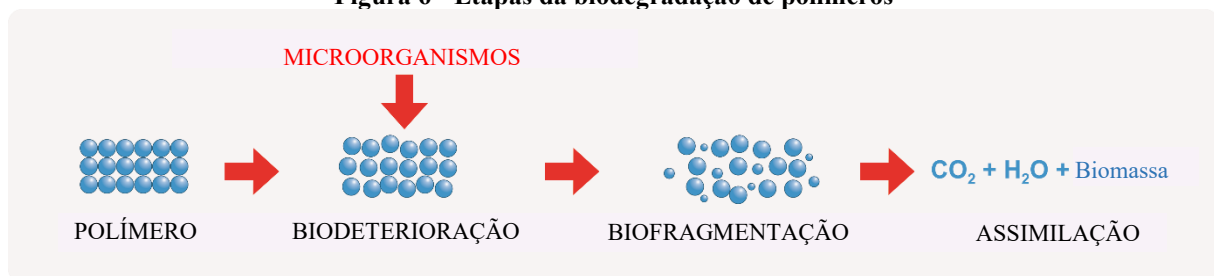
No entanto, o amido possui aplicação limitada por suas fracas propriedades mecânicas e capacidade hidrofílica, havendo a necessidade de combinar outros materiais (FAN *et al.*, 2021). Cascas de manga, cascas de uva (BRAVO *et al.*, 2022), celulose de milho (WEI *et al.*, 2022), fécula de mandioca e quitosana (Fan *et al.*, 2021) foram combinadas com amido na produção de canudos para bebidas.

Esses polímeros possuem a característica de biodegradabilidade, por isso são tão empregados na produção de produtos sustentáveis. O termo biodegradação envolve atividade biológica, consistindo em três etapas básicas de acordo com Lucas *et al.* (2008).

Na primeira etapa, de biodeterioração, ocorre a modificação das propriedades mecânicas, químicas e físicas do polímero devido ao crescimento de microorganismos na superfície ou dentro da superfície dos polímeros. A segunda etapa é a biofragmentação, responsável pela conversão de polímeros para oligômeros e monômeros pela ação de microorganismos. Por fim, ocorre a assimilação, onde os microorganismos são fornecidos pelas fontes necessárias de carbono, energia e nutrientes, convertendo os oligômeros e monômeros em CO<sub>2</sub>, água e biomassa.

A Figura 6 ilustra as etapas envolvidas na biodegradação de polímeros.

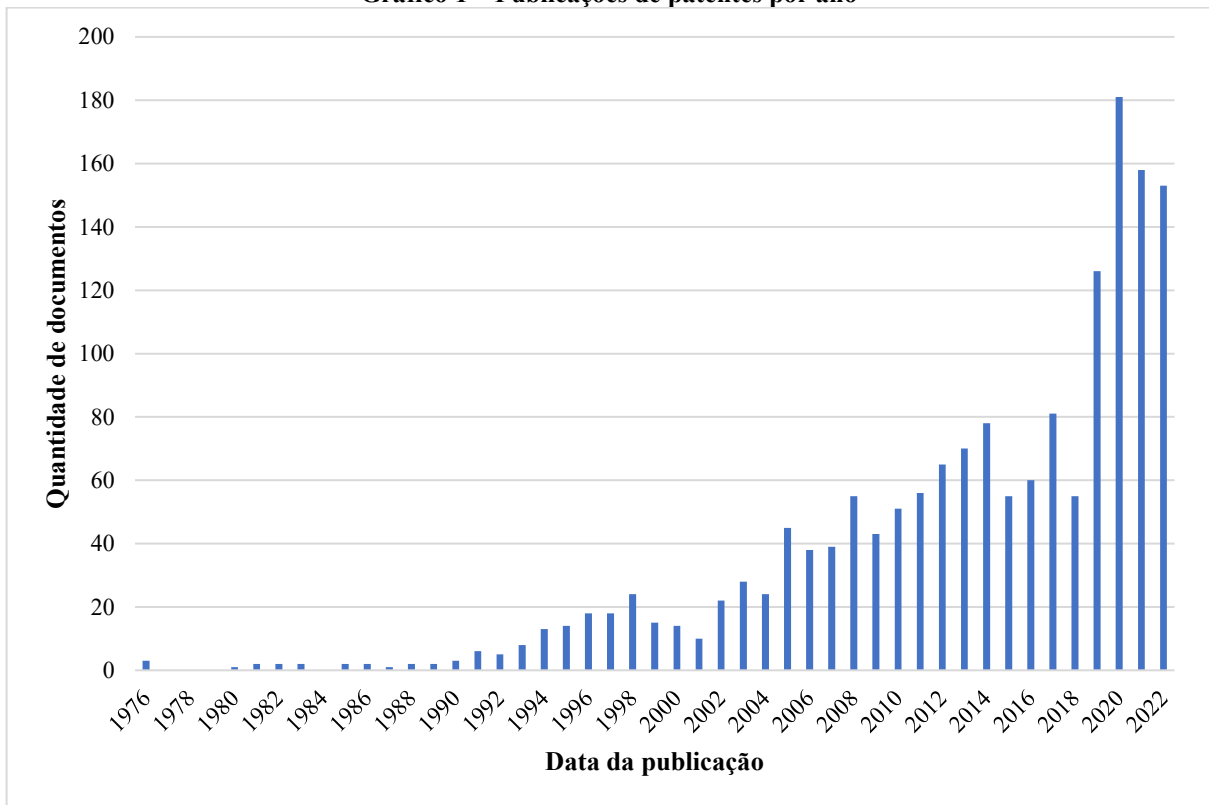
**Figura 6 - Etapas da biodegradação de polímeros**



Fonte: Castro *et al.* (2022)

Os esforços de pesquisas aliados ao aumento das proibições e das iniciativas empresariais resultaram no aumento do desenvolvimento de patentes envolvendo produtos alternativos, sendo este um fator altamente estratégico para muitas organizações. Um exemplo disso é o crescimento do número de documentos relativos a pedidos e concessões de patentes relacionadas a canudos para bebidas que envolvem sustentabilidade ambiental (empregando as palavras-chave “*drinking straw*” AND (*sustainable* OR *sustainability* OR *biodegradable* OR *ecofriendly* OR *ecoinnovation* OR *environmental*), somando 1.651 publicações entre os anos de 1970 e 2022 (Gráfico 1).



**Gráfico 1 – Publicações de patentes por ano**

Fonte: Lens.org (2023)

#### 2.1.5.1 Processo de produção de canudos alternativos para bebidas

O processo de produção dos canudos alternativos para bebidas que possuem características ambientalmente corretas, basicamente, envolve duas fases: i) produção do material que formará o canudo; ii) moldagem do canudo (formação do tubo).

O Quadro 4 apresenta os distintos processos de produção utilizados para concepção desses canudos. É de praxe que, após a confecção do produto, seja realizada uma análise das propriedades de desempenho do canudo desenvolvido.

**Quadro 4 - Processo de produção de canudos alternativos para bebidas**

<b>Tipo</b>	<b>Fases do processo de produção</b>	<b>Autor</b>
Canudo de amido de milho	i) preparação de mistura de amido; ii) extrusão da mistura, retrogradação e secagem.	Cui <i>et al.</i> (2023)
Canudo de lignocelulose	i) produção de papel úmido (feito de fibras de madeira e lignina residual ativada com lignina removida); ii) enrolamento do papel em tubo de cobre e secagem em estufa.	Dong <i>et al.</i> (2023)
Canudo de biomassa de manga	i) produção de filme de bioplástico; ii) enrolamento do filme e aplicação de cola natural à base de amido ao longo da margem de comprimento.	Bravo <i>et al.</i> (2022)
Canudo de biomassa de uva	i) produção de filme de bioplástico; ii) enrolamento do filme e aplicação de cola natural à base de amido ao longo da margem de comprimento.	Bravo <i>et al.</i> (2022)
Canudo de nanofibra de quitina	i) produção de pasta de quitina (por meio de purificação de cascas de caranguejo e desintegração de quitina); ii) enrolamento da pasta de quitina/ membrana úmida em haste cilíndrica.	Chen <i>et al.</i> (2022)
Canudo de nanofibrila de lignocelulose	i) produção de filme de nanofibrila (pré-tratamento hidrotérmico e tratamento de homogeneização de alta pressão); ii) enrolamento do filme.	Fu <i>et al.</i> (2022)
Canudo de papel superhidrofóbico	i) produção de solução de etilcelulose e cobertura de papel de filtro por meio de mergulho na solução; ii) enrolamento do papel coberto e colamento de borda com solução de etilcelulose.	Liu <i>et al.</i> (2022)
Canudo à base de celulose	i) produção de filme de nanofibras de celulose; ii) enrolamento do filme úmido em haste cilíndrica, prensagem de borda, agitação em ácido esteárico e secagem.	Qin <i>et al.</i> (2022)
Canudo à base de milho	i) preparação de mistura à base de amido de milho e celulose de talo de milho; ii) extrusão da mistura para formação do canudo	Wei <i>et al.</i> (2022)
Canudo à base de amido e quitosana	i) preparação de mistura à base de amido e quitosana; ii) extrusão da mistura para formação do canudo	Fan <i>et al.</i> (2021)
Canudo à base de celulose-lignina	i) cozimento a 150 °C de mistura de micro e nanofibras de celulose e lignina, para formação de filme; ii) enrolamento do filme formado.	Wang <i>et al.</i> (2021)
Canudos à base de celulose bacteriana	i) produção de hidrogel de celulose bacteriana e introdução de alginato de cálcio em sua superfície; ii) enrolamento do filme em bastão de politetrafluoretileno. Lavagem e secagem dos canudos.	Yang <i>et al.</i> (2021)
Canudos de nano e microfibras de celulose	i) produção de pasta aquosa composta de fibras micro e nanohíbridas de celulose, formando um filme úmido; ii) enrolamento do filme úmido em um bastão.	Wang <i>et al.</i> (2020)
Canudo comestível de farinha	i) produção de mistura a partir do uso de farinha de trigo, fermento e óleo, formando uma massa lisa; ii) colocação da mistura em moldes para a concepção de canudos e cocção em forno.	Yavagal <i>et al.</i> (2020)
Canudo de folha de coco	i) tratamento das folhas de coco por meio de fervura ou vaporização; ii) enrolamento das folhas tratadas em uma haste cilíndrica e aplicação de cola ao longo da margem do comprimento.	James <i>et al.</i> (2019)
Canudo comestível de abacaxi	i) produção de purê à base de abacaxi; ii) colocação da mistura em moldes e cocção em forno.	Rohmah <i>et al.</i> (2019)

### 2.1.6 Propriedades de desempenho dos canudos para bebidas

Além dos canudos para bebidas alternativos possuírem características ambientalmente corretas, eles também devem possuir importantes propriedades ligadas ao seu desempenho, sendo elas: resistência mecânica, hidroestabilidade e biodegradabilidade.

A resistência mecânica é a garantia de uma boa experiência no uso de canudos (QIN *et al.*, 2022). Essa propriedade está relacionada com a capacidade de um material resistir a um esforço. A resistência mecânica, no campo da mecânica dos sólidos, é a força resultante da aplicação de uma força sobre um material, em que é a deformação do material que gera a força resultante, na medida direta de seu módulo de elasticidade (ZECEVIC *et al.*, 2021). Canudos para bebidas com boas propriedades mecânicas podem atender aos requisitos básicos de uso e segurança no transporte (DONG *et al.*, 2023).

A resistência mecânica geralmente é analisada utilizando testes de flexão e tração.

A rigidez do canudo está intimamente relacionada à sua resistência à flexão. Yavagal *et al.* (2020) avaliaram a resistência mecânica de canudos comestíveis para bebidas, à base de farinha, por meio de um teste de flexão de três pontos. Verificou-se que o canudo produzido apresentou comportamento linear até uma força de 19,6 N. A rigidez do material foi de 38 MPa, comprovando que a estrutura do canudo é muito estável.

A resistência à tração de um material é a quantidade máxima de tensão de tração que ele pode suportar antes da falha, ou seja, quebra. Dong *et al.* (2023) analisaram a resistência mecânica de canudos para bebidas de lignocelulose por meio do teste de flexão e tração. A resistência à flexão foi de 62,22 MPa e a resistência à tração foi de 127,2 MPa. Os autores ainda concluíram que o canudo produzido tem resistência suficiente para perfurar o filme de embalagens, necessário para aplicações comerciais.

Qin *et al.* (2022) utilizaram um teste de resistência à tração no estado seco e no estado úmido, este último aplicado em amostras umedecidas. A finalidade foi analisar a perda de resistência do material durante seu uso. A resistência à tração dos canudos produzidos, à base de celulose modificados com ácido esteárico, atingiu um valor de 67,15 MPa. Em contraste, a resistência à tração úmida dos canudos diminuiu 45% sob a influência da imersão. Após imersão por 60 minutos, a resistência à tração úmida dos canudos permaneceu em 29,89 MPa. Isso demonstrou que os canudos possuem excelente estrutura de resistência à água.

A propriedade de hidroestabilidade está ligada à resistência à água e é um fator crítico para o uso de canudos para bebidas (CHEN *et al.*, 2022; FU *et al.*, 2022). Alguns tipos de canudos, como os de papel, por exemplo, geralmente sofrem com o problema de baixa

resistência à água, visto que absorvem líquidos, quando colocados em contato com os mesmos. Eles ficam encharcados e moles rapidamente, dificultando a sucção do líquido através deles (YANG *et al.*, 2021). Sendo assim, é necessário que a taxa de absorção de água pelo canudo para bebidas não comprometa sua integridade estrutural durante o uso (WANG *et al.*, 2020).

A hidroestabilidade geralmente é analisada por meio da imersão do canudo para bebidas em líquido.

Cui *et al.* (2023) testaram a hidroestabilidade dos canudos para bebidas à base de amido de milho imergindo-os em água à temperatura ambiente por 0-12 horas para observar a curvatura dos canudos ao longo do tempo. Os autores observaram que os canudos permaneceram retos e mostraram uma excelente capacidade de resistir à deformação por expansão até 12 horas. O aumento do tempo de imersão em água provocou uma eventual diminuição da rigidez e da força de ruptura dos canudos, mas não afetou seu uso normal em bebidas.

Wang *et al.* (2020) utilizaram o método de imersão em azul de metileno para clareza visual. Após imersos por 4 horas, o líquido embebido nos canudos de nano e microfibras de celulose mal ultrapassaram o nível do líquido no recipiente ao longo do canudo. Além disso, o canudo manteve sua integridade estrutural sem delaminação apreciável.

De acordo com os autores, a hidroestabilidade observada resultou do empacotamento denso das fibras híbridas de celulose comparável ao das nanofibras. Quanto a integridade estrutural estável, embora a água possa ser absorvida pela palha híbrida de celulose e causar a dissociação de algumas pontes de hidrogênio entre as fibras de celulose, as microfibras de celulose são longas o suficiente para que permaneçam como uma rede de fibras integral através das pontes de hidrogênio remanescentes ao longo das microfibras.

A biodegradabilidade de canudos para bebidas está ligada ao comportamento físico da deterioração do material utilizado para sua concepção (YAVAGAL *et al.*, 2020), de acordo com a Figura 6. Essa é uma propriedade que se relaciona ao fim de vida de canudos para bebidas sustentáveis, sendo essencial que ele tenha a capacidade de se biodegradar após o uso/ descarte.

Testes de biodegradabilidade objetivam simular a degradação dos canudos para bebidas. Geralmente, os canudinhos são enterrados a cerca de 10 a 15 centímetros abaixo do solo. Após tempo pré-fixados, as amostras são desenterradas e analisadas a fim de verificar a degradação.

Liu *et al.* (2022) testaram a biodegradabilidade de canudos de papel superhidrofóbicos enterrando-os no subsolo por 6 a 70 dias. No decorrer do tempo, os canudos foram desenterrados, avaliados e pesados a fim de observar sua taxa de perda de peso. A

biodegradação dos canudos ocorreu gradualmente, causada principalmente por microorganismos no solo. Os autores concluíram que os canudos podem ser completamente degradados em 200 dias com base nas taxas de perda de peso observadas.

Yang *et al.* (2021) observaram a biodegradabilidade de canudos para bebidas, à base de celulose bacteriana, enterrando-os no solo e observando seu estado após 15, 40 e 60 dias. Após 15 dias, os canudos se partiram em grandes fragmentos, que se tornam minúsculos e quase desaparecem após 45 dias. Após cerca de 60 dias, os canudos estavam totalmente integrados ao solo e indistinguíveis, indicando uma degradação quase total.

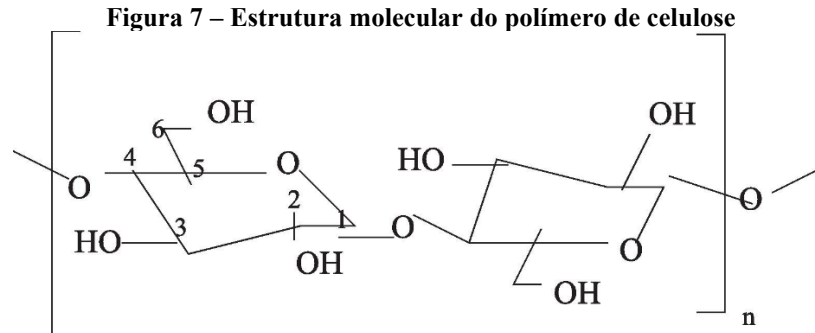
## 2.2 Resíduos de madeira

A madeira é um ponto de partida atraente para o desenvolvimento de novos materiais, sobretudo como alternativa aos que acarretam impactos negativos para o meio ambiente, devido sua origem em recursos renováveis e características decorrentes de sua estrutura celulósica porosa e anisotrópica pois, além de possuir alto desempenho mecânico, é leve (MONTANARI *et al.*, 2021).

A celulose é o principal polímero estrutural nas paredes celulares das plantas e, portanto, a principal fonte da alta resistência e rigidez da madeira e de outros tecidos vegetais (JAKOB *et al.*, 2022).

De acordo com a ordem de formação, composição química e estrutura, a parede celular pode ser dividida em parede celular da camada intercelular, parede primária e parede secundária. Para Han *et al.* (2022), a camada intercelular é composta de células ligadas entre si e serve como um tampão entre as estruturas celulares; não contém celulose, mas é composta principalmente de substâncias de lignina, hemicelulose e pectina. A parede primária é secretada principalmente por protoplastos celulares e é composta por substâncias de celulose, hemicelulose e pectina, que possui boa elasticidade e plasticidade. A parede secundária é secretada pelo crescimento do protoplasto por deposição (YI *et al.*, 2020).

A celulose é composta por unidades  $\beta$ -D-glucopiranosose unidas por ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4, conforme mostradas na Figura 7. A celulose está intimamente associada a múltiplas cadeias lineares de polissacarídeos, ligações intra e intermoleculares reforçadas por ligações de hidrogênio (PACHAPUR *et al.*, 2020). A estrutura molecular o torna um polímero de cadeia altamente funcional. É insolúvel em água e à maioria dos solventes orgânicos, além de biodegradável. Isso também permite que a celulose tenha grande potencial de modificação (HAN *et al.*, 2022).



Fonte: Han *et al.* (2022)

O maior percentual de celulose (base seca) pode ser observado em matérias-primas como algodão (95–97%), papel (85–99%), álamo (44%), abeto (44%), bagaço de cana (43%), *maple* vermelha (41%), pinus (40%) e fibra de milho (14%) (SUN; CHENG, 2002).

A produção de madeira no Brasil tem um impacto relevante na economia nacional, com uma produção de 22.505.000 toneladas no ano de 2021. A área de árvores plantada soma aproximadamente 9 milhões de hectares de eucalipto, pinus e demais espécies (acácia, araucária, paricá e teca), para diversos segmentos (IBÁ, 2022).

A produção de madeira em plantas industriais é ecologicamente correta, ao contrário de alguns outros tipos de indústria. Nenhum produto químico é usado, não há resíduos perigosos e as máquinas usadas para a produção causam apenas um pequeno nível de ruído. Embora as serrarias tenham secadores de madeira para vaporizar a madeira, elas não são poluidoras se cumprirem todas as normas ordenadas pelas autoridades no campo da proteção ambiental (ĐERČAN *et al.*, 2012).

A madeira é utilizada como matéria-prima na indústria, gerando resíduos de diferentes fontes, como empresas de construção (HE *et al.*, 2022), indústria de painéis (MANCINI; RINNAN, 2021), indústria moveleira (GIBIER *et al.*, 2022), entre outros. Atividades como poda (MEIRA *et al.*, 2021) e manejo florestal sustentável (LIMA *et al.*, 2020) também geram resíduos. Esses resíduos estão na forma de toras abandonadas, galhos, tocos, aparas, serragem, cavaco, maravalha, etc. Seu uso pode constituir uma fonte de matéria-prima abundante e barata para a produção de novos materiais (BESSERER *et al.*, 2021).

### 2.2.1 Características dos resíduos de madeira

Os resíduos sólidos são classificados, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004) que dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública para que possam ser gerenciados adequadamente, como resíduos

nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Logo, resíduos de madeira são classificados como resíduos sólidos.

A heterogeneidade dos resíduos de madeira é um dos principais desafios para otimizar sua valorização, visto que as impurezas e contaminantes variam consideravelmente com sua origem.

De modo geral, os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004). O Quadro 5 dispõe dessa classificação bem como da descrição dos distintos tipos de resíduos.

**Quadro 5 - Classificação e descrição dos resíduos**

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>
<b>Resíduos classe I</b>	São aqueles que têm características que podem colocar em risco as pessoas que manipulam ou que tem algum outro tipo de contato com o material. Para um resíduo ser considerado perigoso, ele deve apresentar pelo menos uma das características seguintes: inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e/ou patogenicidade.
<b>Resíduos não perigosos não inertes (classe II A)</b>	Não se apresentam como inflamáveis, corrosivos, tóxicos, patogênicos e nem possuem tendência a sofrer uma reação química. Contudo, não se pode dizer que esses resíduos não trazem perigos aos seres humanos ou ao meio ambiente. Os materiais desta classe podem oferecer outras propriedades, sendo biodegradáveis, comburentes ou solúveis em água.
<b>Resíduos não perigosos inerte (classe II B)</b>	Não têm nenhuma das características dos resíduos de classe I. Porém, se mostram indiferentes ao contato com a água destilada ou deionizada, quando expostos à temperatura média dos espaços exteriores dos locais onde foram produzidos. Com isso, não apresentam solubilidade ou combustibilidade para tirar a boa potabilidade da água.

**Fonte: Elaborado a partir de ABNT (2004)**

Essa classificação vem ao encontro do que Besserer *et al.* (2021) afirmaram sobre a qualidade dos resíduos de madeira. A classe I categoriza madeiras potencialmente perigosas que contêm substâncias classificadas como perigosas (são madeiras que contêm metais pesados, altamente tóxicos, como por exemplo, tratamentos cobre-cromo-arsênico, creosoto, etc.). A classe II B categoriza a madeira limpa ou pouco tratada, como paletes contendo blocos de aglomerado (estes são materiais utilizados principalmente para embalagem como engradados). A classe II A categoriza as madeiras que contêm todos os resíduos que não são nem classe I ou classe II B. Esta classe é, portanto, muito ampla e designa todas as madeiras que contêm aditivos como colas, tintas, produtos de acabamento, folheados, etc.

Consequentemente, há a necessidade da identificação da classe à qual o resíduo de madeira pertence por meio de sua origem e/ou avaliação de sua composição e características, a fim de selecionar a aplicação mais adequada.

Várias pesquisas avaliaram e investigaram a qualidade dos resíduos de madeira, visto a importância de conhecer as impurezas presentes nestes resíduos para melhorar sua reciclabilidade/ destinação final (LIMA *et al.*, 2022; MANCINI; RINNAN, 2021; FARACA *et al.*, 2019; HURON *et al.*, 2017).

Mancini e Rinnan (2021) e Lima *et al.* (2022) utilizaram o método de espectroscopia de infravermelho próximo para analisar resíduos de madeira de uma fábrica de painéis e resíduos de uma carvoeira, respectivamente. Esse método permite analisar principalmente amostras orgânicas (e algumas inorgânicas) através da emissão de radiação eletromagnética no infravermelho próximo de 780 a 2500 nanômetros. Esse método pode ser usado para determinar rapidamente as propriedades de um material sem alterar a amostra. Huron *et al.* (2017) analisaram resíduos de madeira de um centro de reciclagem. Para tal, foi realizada uma análise composicional química a fim de verificar a existência de uma série de compostos químicos (carbono, mercúrio, azoto, cloro, enxofre, etc.).

Basicamente, os resíduos de madeira da indústria são relativamente bem definidos e, portanto, mais fáceis de reciclar e utilizar. Os resíduos de madeira gerados por famílias e coletados por meio de sistemas de coleta municipais podem ser mais desafiadores, pois não se sabe sua proveniência (FARACA *et al.*, 2019).

De modo geral, independentemente de sua proveniência, os resíduos de madeira devem ser analisados antes do uso ou serem adquiridos de fontes seguras a fim garantir um emprego de qualidade, limpo e seguro.

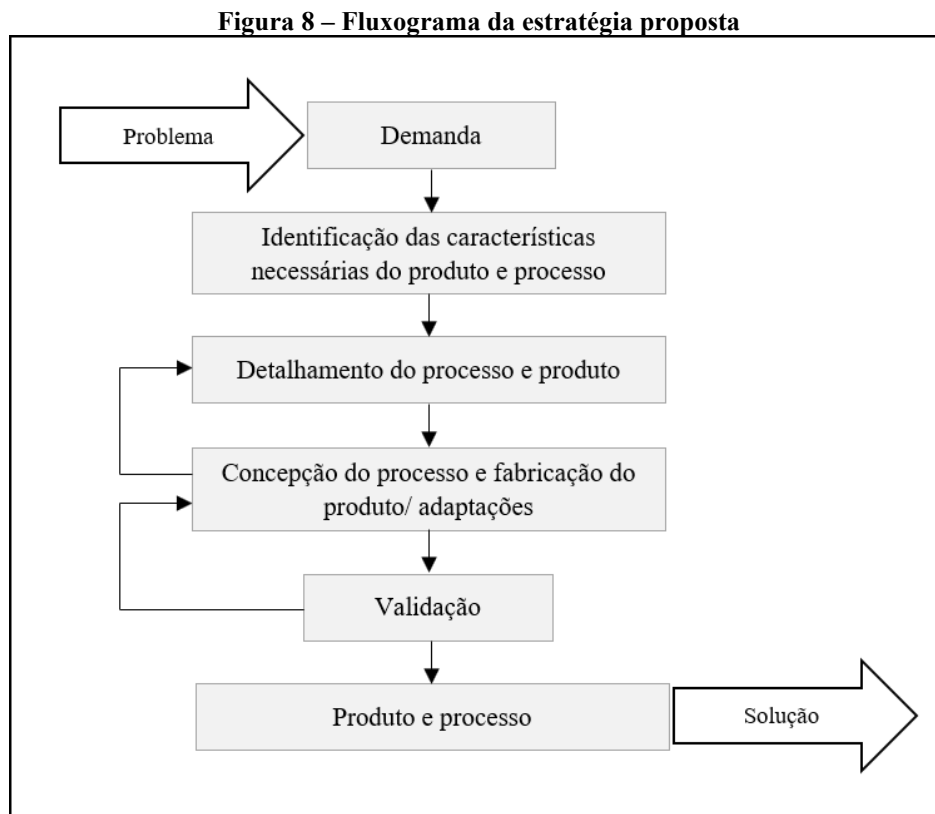


### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo trata dos procedimentos metodológicos necessários para a concepção desta pesquisa, ligados principalmente a idealização da produção do canudo sustentável, caracterização do produto e processo de produção, detalhamento das decisões acerca do desenvolvimento do produto e processo de produção, bem como do desenvolvimento da ACV.

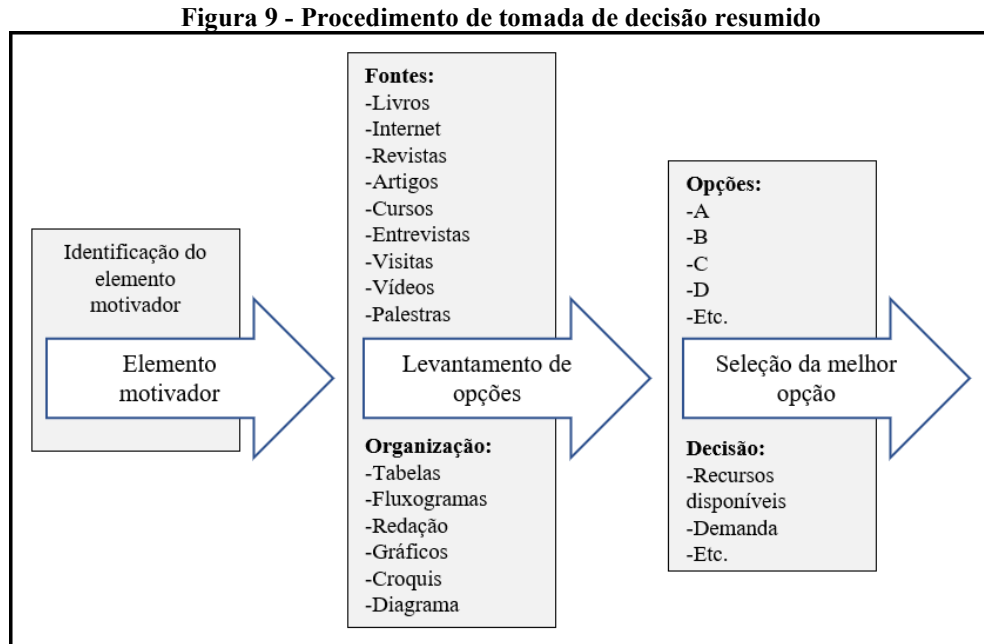
#### 3.1 Idealização da produção do canudo sustentável para bebidas

Para a idealização da produção do canudo sustentável para bebidas, considera-se que o processo de criação, adaptação ou alteração de um produto ou serviço envolve uma necessidade, que é definida como a origem da atividade desempenhada, conforme descrito por Pahl (2005). Assim, foram aplicadas técnicas para a identificação das possíveis configurações que solucionem os problemas identificados (necessidade). Para tal, foi proposto um fluxograma com as etapas das estratégias propostas para a idealização da produção dos canudos para bebidas (Figura 8).



Fonte: Baseado em Pahl (2005)

No decorrer dessas etapas adotaram-se procedimentos de tomada de decisão resumidos (Figura 9), onde, dado o fator motivador, é feito um levantamento das opções e, segundo um critério que envolve os recursos, a demanda ou qualquer fator relevante, faz-se a seleção da melhor opção.



Fonte: Baseado em Pahl (2005)

### 3.1.1 Identificação da demanda

A produção de canudos alternativos para bebidas tem sido amplamente estudada e isto se deve as crescentes preocupações relacionadas ao meio ambiente e em parte ao avanço tecnológico.

Observa-se que o principal paradigma a ser quebrado é a disponibilização e utilização desenfreada de canudos para bebidas de plástico, devido aos problemas já identificados. Eles são produzidos a partir de recursos não renováveis; utilizam produtos químicos para sua concepção; necessitam de altas quantidades de eletricidade, óleo combustível e gás natural no processo; o processo emite poluentes no ar e efluentes na água; não são biodegradáveis; estão dispostos em grandes quantidades no meio ambiente, representando um problema em potencial para a fauna e flora.

Além disso, foi identificado que até mesmo os canudos para bebidas reutilizáveis fornecidos como opções sustentáveis e alternativas aos de plástico também demandam impactos. Esses impactos estão ligados ao processo (necessitam de operações que agredem o

meio ambiente para extração de matéria-prima; necessitam de altas quantidades de eletricidade, combustíveis e água no processo; emitem poluentes no ar e efluentes líquidos), uso (requerem elementos adicionais como saco e escova de limpeza; necessitam de água e detergente para processos de limpeza) e ainda envolvem problemas adicionais relacionados ao fim de vida.

Estes fatores unidos à necessidade de desenvolvimento tecnológico e desenvolvimento de inovações ligadas ao contexto do DS, sinaliza uma lacuna de pesquisa. Assim torna-se relevante desenvolver pesquisas que viabilizem a solução destes problemas.

Com o objetivo de encontrar uma solução viável para o problema em questão, objetivou-se desenvolver um canudo sustentável para bebidas, produzido a partir de resíduo de madeira, que não ocasione problemas para o meio ambiente e que possua viabilidade de uso.

### 3.1.2 Identificação das características necessárias do processo e produto

Para a identificação das características necessárias do processo e produto, tomou-se como ponto de partida a necessidade de considerar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que foram fixados em 2015, pela Organização das Nações Unidas (ONU), como um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Trata-se de uma agenda de ação até 2030, com 17 objetivos e 169 metas construídas sobre o legado dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). A Figura 10 ilustra tais objetivos.

**Figura 10 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**



Fonte: Nações Unidas Brasil (2015)

A identificação das características necessárias do processo e do produto foi realizada tomando como base pesquisas que objetivaram a produção de canudos para bebidas alternativas com características sustentáveis (Quadro 3 e Quadro 4). O foco foi selecionar as limitações envolvidas nestas pesquisas e propor soluções a fim de desenvolver um processo e um produto que trouxesse o menor número de impactos possíveis para o meio ambiente.

Com o objetivo de incluir o maior número possível de ODS no desenvolvimento do processo e do produto desenvolvidos foi necessário:

- Analisar os canudos alternativos para bebidas presentes na literatura;
- Analisar os processos de produção para fabricação desses canudos;
- Identificar as limitações relacionadas aos processos e produtos analisados;
- Identificar a relação da limitação com os ODS.

### 3.1.3 Detalhamento do processo e produto

Inicialmente, com base nas limitações identificadas na etapa anterior, buscou-se traçar soluções para o desenvolvimento do processo e do produto em questão. Para cada limitação identificada, uma solução foi imposta com vistas a atender os requisitos de DS. Ao término, obteve-se o detalhamento das características necessárias do produto e do processo. Com base nessas características formulou-se a ideia geral do processo para a fabricação do produto.

### 3.1.4 Concepção do processo e fabricação do produto/ necessidade de adaptações

Para atender a ideia geral do processo identificada na etapa anterior, foi necessário construir ferramentas para a produção do canudo para bebidas, bem como propor um processo de produção empregando-as. Por meio da construção dessas ferramentas, o processo foi concebido e a produção foi testada inúmeras vezes. Cabe ressaltar que por diversas vezes foi necessário voltar à concepção da etapa anterior com a finalidade de adaptações.

### 3.1.5 Validação

O processo foi validado quando se identificou que seu funcionamento estava dentro de limites estabelecidos, capacitado para produzir o produto e em conformidade com as especificações pré-determinadas.

### 3.1.6 Processo e produto

Por intermédio do processo e do produto concebidos e validados, obteve-se uma solução para o problema descrito na demanda inicial.

### 3.2 Caracterização do processo e produto

O Quadro 6 apresenta as limitações identificadas na literatura relacionadas a fatores prejudiciais ao DS no processo de produção de canudos para bebidas. Cada limitação está ligada a um ODS. Para cada limitação, observa-se uma solução/ característica necessária para a concepção do produto e processo do canudo para bebidas sustentável desenvolvido.

**Quadro 6 - Limitações identificadas, soluções requeridas e ODS relacionados**

nº	Limitação	Solução/ característica requerida para o produto e processo desenvolvido	ODS relacionados
1	Uso de inúmeros materiais na composição do produto	Produto composto por um número mínimo/ limitado de materiais que não compitam com a fome ou uso de terra (uso de resíduo de madeira)	2 – Fome zero e cultura sustentável 6 – Água potável e saneamento 12 – Consumo e produção responsáveis 15 – Vida terrestre
2	Uso de produtos químicos na composição do produto e concepção das etapas do processo	Processo sem o uso de produtos químicos	3 – Saúde e bem-estar 12 – Consumo e produção responsáveis
3	Uso de água no processo	Processo livre do uso de água (seja no processo, composição do produto ou limpeza de equipamentos)	6 – Água potável e saneamento 12 – Consumo e produção responsáveis
4	Uso de inúmeras etapas no processo/ alto tempo de processamento	Processo simples, com poucas etapas de processamento (uso de apenas uma máquina)	9 – Indústria, inovação e infraestrutura 12 – Consumo e produção responsáveis
5	Uso de altas temperaturas no processo	Processo composto por etapas realizadas em temperatura ambiente. Obs.: se houver necessidade de aquecimento ou resfriamento de materiais, este deverá ser realizado por meio do uso de energia elétrica (evitando emissões de gases para o ar)	7 – Energia limpa e acessível 12 – Consumo e produção responsáveis
6	Geração de efluentes líquidos	Processo livre de emissões de efluentes líquidos	3 – Saúde e bem-estar 12 – Consumo e produção responsáveis 14 – Vida na água

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Diversos tipos de canudos para bebidas foram fabricados a partir de produtos alimentícios, tais como: amido (BRAVO *et al.*, 2022; WEI *et al.*, 2022; FAN *et al.*, 2021), uva, manga (BRAVO *et al.*, 2022), abacaxi (ROHMAH *et al.*, 2019), farinha, ovo (YAVAGAL *et al.*, 2020). Neste contexto, tais pesquisas apresentam falta de alinhamento com os ODS, devido à sua competição por terra arável, água potável e produção de alimentos (CASTRO *et al.*, 2022).

Assim, deve-se preferir o uso de matérias-primas alternativas (resíduos agrícolas e industriais, por exemplo) a fim de evitar o uso de terras agrícolas e florestais (ODS n° 15) e/ou uma possível competição com produtos alimentares (ODS n° 2) e/ou uso de água (ODS n° 6), consumindo recursos e produzindo de maneira responsável (ODS n° 12).

A diversidade de produtos químicos empregados nos processos de produção e na composição dos canudos para bebidas alternativos é outro fator que merece atenção. Esses produtos são utilizados com objetivos distintos.

Pesquisas envolvendo o uso de celulose (DONG *et al.*, 2023; WEI *et al.*, 2022) empregam produtos químicos (ácido nítrico, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio) a fim tornar possível a remoção dos cromóforos da lignina, fazendo com que a cor da madeira mude de marrom para branco quando entram em contato com os raios ultravioletas.

Pesquisas também empregam o uso de celulose já branqueada (QIN *et al.*, 2022; FU *et al.*, 2022), no entanto, envolvem os mesmos processos. Chen *et al.* (2022) utilizaram produtos químicos (carbonato de cálcio, ácido clorídrico, hidróxido de sódio, etanol, ácido acético) para possibilitar a purificação de cascas de caranguejo e desintegração de quitina, principal material utilizado para confeccionar a pasta de quitina para a formação dos canudos para bebidas. Liu *et al.* (2022) utilizaram tolueno, etanol e dióxido de silício na composição do produto. O objetivo foi aumentar a hidrofobia do canudo para bebidas fabricado, revestindo-o com tais químicos.

O emprego desses tipos de produtos não condiz com o ODS n° 3 (Saúde e bem-estar), uma vez que seu uso pode prejudicar a saúde e o bem-estar das pessoas. Além disso, de acordo com o ODS n° 12 (Consumo e produção responsáveis) deve-se garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis. A meta é alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, além de reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.

A água talvez seja o mais notável dos recursos naturais, já que seu uso é vital em quase todas as atividades humanas. Apesar de sua grande importância, é comumente utilizada de forma descontrolada, principalmente devido ao fato de que a maioria das pessoas tem o

equivoco de que existe água potável em abundância no planeta (SOUZA; GHISI, 2020). A exploração constante e desenfreada dos recursos hídricos indica que a disponibilidade de água pode se tornar uma ameaça para a segurança alimentar e o bem-estar da humanidade em muitas partes do mundo (KUMMU *et al.*, 2016).

É possível observar que mais da metade das pesquisas (Quadro 3) envolvendo a produção de canudos para bebidas empregam a água em seus processos. Promover processos sustentáveis que evitem o uso da água é fundamental. Isso vem ao encontro do ODS nº 6 (Água potável e saneamento) que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água para todos e ODS nº 12 (Consumo e produção responsáveis) que visa assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

Processos que envolvem o uso de produtos químicos e água, geralmente geram efluentes líquidos. Sabe-se que a disponibilidade da água é uma preocupação atual, em que se faz necessário que as indústrias desenvolvam estratégias para sua gestão em seus processos, a fim de proporcionar sustentabilidade e prosperidade em longo prazo.

Além do uso da água na composição do produto e processo, há a necessidade de água para a limpeza dos equipamentos de produção, fazendo com que haja a geração de efluentes que, inclusive, necessitam de tratamento antes de serem lançados em corpos d'água (WONG *et al.*, 2020). De acordo com o ODS nº 6 (Água potável e saneamento) deve-se aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis produtivos.

Processos para o desenvolvimento de canudos para bebidas sustentáveis podem ser onerosos, envolver várias etapas de processamento e alto tempo de execução. Wei *et al.* (2022) desempenharam inúmeras etapas no processo para a extração de celulose do caule do milho (tratamentos com químicos, trituração, refinamento, aquecimento, fervura, filtragem, secagem, agitação, lavagem, moagem, peneiramento) para posterior preparação dos canudos para bebidas (agitação, descanso da mistura para equilíbrio, extrusão). Algumas dessas etapas podem levar até 24 horas para serem finalizadas (por exemplo, secagem e descanso).

Dong *et al.* (2023) trabalharam com lignocelulose, sendo necessária a realização de processos de pré-tratamento, tratamento mecânico e tratamento térmico, antes da concepção dos canudos para bebidas. Os processos de tratamentos envolveram inúmeras etapas (reações, agitação, filtragem, lavagem, moagem, tratamentos, remoção de residuais, mistura, amassamento, neutralização), bem como na moldagem dos canudos (enrolamento, selamento de borda, secagem, tratamento térmico). Algumas dessas etapas podem levar até 48 horas para finalização (por exemplo, secagem).

Processos que envolvem muitas etapas conseqüentemente envolvem o uso de muitos materiais, energia, equipamentos, tempo, etc. De acordo com o ODS nº 9 (Indústria, inovação e infraestrutura) é importante modernizar a processos para torná-los sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos. Além disso, o consumo de recursos e a produção responsável (ODS nº 12) devem ser considerados.

Altas temperaturas são essenciais em distintas etapas dos processos de produção dos canudos para bebidas alternativos, visto a necessidade do uso de operações de fusão a quente, secagem (QIN *et al.* 2022), cozimento (WANG *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2020; ROHMAH *et al.*, 2019), assadura (YAVAGAL *et al.*, 2020; ROHMAH *et al.*, 2019), agitação em água quente (FU *et al.*, 2022; WEI *et al.*, 2022), fervura (WANG *et al.*, 2020; JAMES *et al.*, 2019), aquecimento (DONG *et al.*, 2023; BRAVO *et al.*, 2022), tratamento (DONG *et al.*, 2023), vaporização (JAMES *et al.*, 2019), extrusão a quente (WEI *et al.*, 2022; FAN *et al.*, 2021).

Para a obtenção de altas temperaturas em processos de produção, é necessário o uso constante de eletricidade. De acordo com os ODS é importante que a utilização de energia se dê por meios limpos e renováveis (ODS nº 7), sendo imprescindível assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis (ODS nº 12).

Além das soluções/ características necessárias apontadas no Quadro 6, ponderando o DS e informações do referencial teórico, considerou-se ainda as soluções/ características apontadas no Quadro 7.

**Quadro 7 - Outras limitações identificadas, soluções requeridas e ODS relacionados**

<b>nº</b>	<b>Limitação</b>	<b>Solução/ característica requerida para o produto e processo desenvolvido</b>	<b>ODS relacionados</b>
7	Emissão de gases poluentes no ar	Processo livre de emissão de gases	3 – Saúde e bem-estar 13 – Ação contra a mudança global do clima
8	Uso de combustíveis fósseis no processo	Processo sem o uso de combustíveis fósseis	7 – Energia limpa e acessível 12 – Consumo e produção sustentáveis
9	Produtos não se degradam no meio ambiente ou demoram muitos anos para se degradar	O produto deve ser biodegradável	14 – Vida na água 15 – Vida terrestre 12 - Consumo e produção sustentáveis

Fonte: Autoria própria (2022)

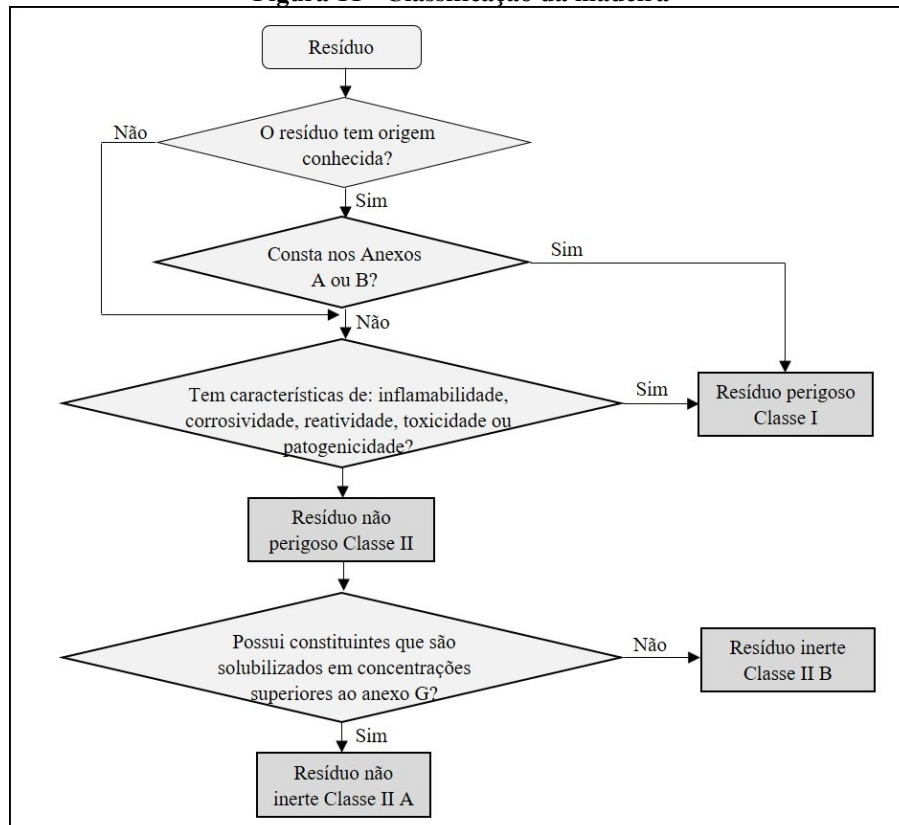


### 3.3 Detalhamento das decisões acerca do desenvolvimento do produto e do processo

As seguintes decisões foram tomadas a fim de formar a ideia geral do produto e do processo, respeitando as limitações/ soluções identificadas na seção anterior:

- i) Selecionar o resíduo de madeira, de fonte limpa e livres de contaminantes, classificado como resíduo inerte Classe II B, a partir do emprego do fluxograma disposto na Figura 11;
- ii) Selecionar o equipamento para produção do canudo para bebidas a partir do resíduo de madeira;
- iii) Criar ferramentas para inserir no equipamento selecionado a fim de moldar o resíduo de madeira;
- iv) Desenvolver um processo de produção para fabricação do canudo para bebidas que não envolva o uso produtos químicos, água ou combustíveis;
- v) Desenvolver um processo de produção para fabricação do canudo para bebidas que não gere poluentes (emissões de gases no ar ou efluentes líquidos);
- vi) Desenvolver um processo de produção para fabricação do canudo para bebidas que não envolva muitas etapas, etapas onerosas e/ou altos tempo de processamento.

**Figura 11 - Classificação da madeira**



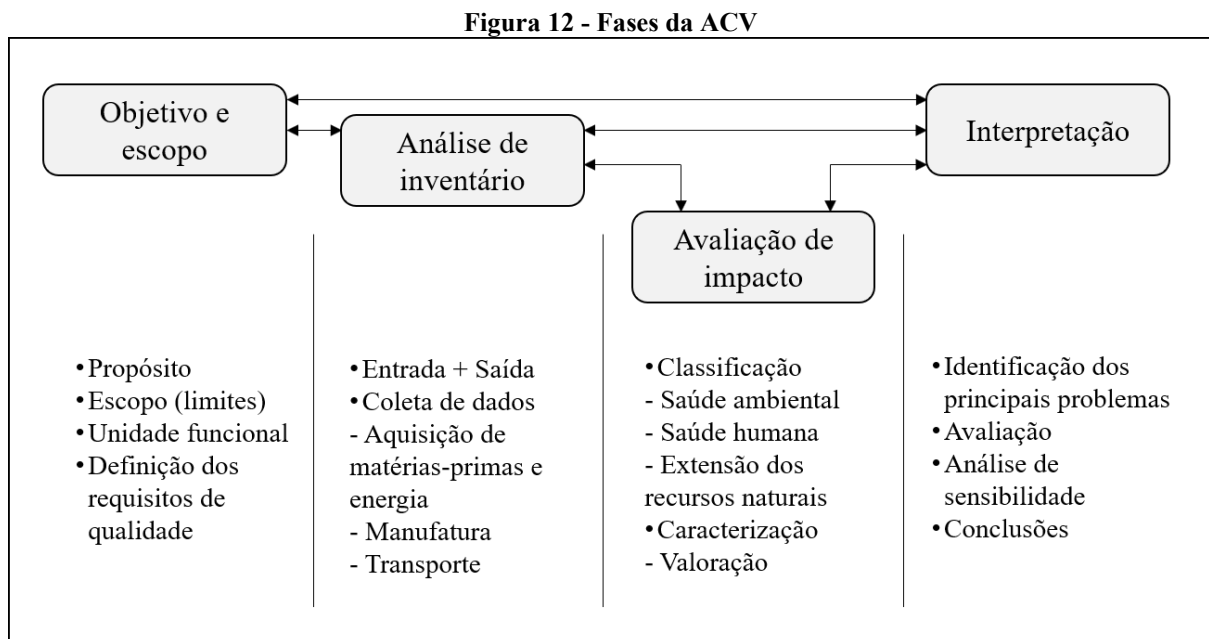
Fonte: ABNT (2004)

### 3.4 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

Com o objetivo de avaliar a real sustentabilidade ambiental do processo produzido, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) foi empregada. A Organização Internacional de Normalização (ISO – *International Organization for Standardization*) formalizou a ACV na sua série 14040 (ISO, 2006a, 2006b).

No Brasil, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR ISO 14040:2009 e NBR ISO 14044:2009, padronizam os cálculos e a metodologia que devem ser empregados em uma ACV. A NBR ISO 14040:2009 apresenta os princípios e estrutura de uma ACV, já a NBR ISO 14044:2009 fornece os requisitos e as orientações para que a ACV seja realizada adequadamente (ABNT, 2009a, 2009b).

A ACV é dividida em quatro fases, conforme ilustrado na Figura 12: i) objetivo e escopo; ii) análise de inventário; iii) avaliação de impacto; e, iv) interpretação. Todas as fases da ACV apresentam inter-relações entre si, o que indica que o processo de condução de uma ACV é dinâmico e iterativo.



Fonte: Adaptado de Chehebe (1998)

#### 3.4.1 Aspectos metodológicos

Para a execução desta ACV foi indispensável o uso de recursos computacionais, devido ao alto número de dados envolvidos e a necessidade de utilização dos bancos de dados.

Além de que a utilização de *softwares* possibilita relacionar os dados a inúmeras categorias de impacto por meio de diferentes metodologias.

Assim, fez-se o uso *software* SimaPro® 9.5.0.0, buscando avaliar e quantificar os impactos ambientais envolvendo a extração da matéria-prima, fabricação do produto acabado e seu descarte, considerando o produto desenvolvido (canudo de resíduo de madeira) em comparação com outras três opções presentes no mercado: i) canudo de plástico para bebidas; ii) canudo de papel para bebidas; iii) canudo de aço inoxidável para bebidas. Ressalta-se que foram selecionadas duas opções descartáveis (canudos de plástico e papel) e uma opção reutilizável (canudo de aço inoxidável). Por fim, foi realizada uma comparação para a definição de qual é o mais sustentável, por meio da análise de qual opção causa menos impactos no meio ambiente.

Na primeira fase, foi determinado o objetivo e escopo do estudo, assim como as limitações da pesquisa e analisadas as necessidades de consultas para adquirir dados. Nesta etapa, foram efetuadas algumas delimitações para conseguir a elaboração de um inventário que atenderia os objetivos dentro das limitações existentes como tempo, disponibilidade, recursos humanos, entre outras.

Com isso, foi delimitado o escopo do estudo, decidindo-se então que o processo analisado seria do “berço ao túmulo”, considerando aspectos relacionados desde a extração e fabricação das matérias-primas utilizadas, além dos impactos causados pela fabricação e descarte dos canudos para bebidas.

Além disso, estabeleceu-se que a unidade funcional seria uma unidade de canudo para bebida.

Em seguida, foram realizadas buscas na literatura a fim de coletar dados inerentes a produção dos canudos para bebidas dos tipos: plástico, papel e aço inoxidável. Dados inerentes ao canudo de resíduo de madeira foram coletados durante o desenvolvimento do processo criado e descrito na seção 4.1.2. É necessário ressaltar que também foi necessário o uso de dados pertinentes do próprio banco de dados do *software* SimaPro®. Assim, foi possível selecionar todos os dados necessários para a realização do estudo, identificando as entradas e saídas necessárias relacionadas aos canudos para bebidas.

Após a obtenção dos dados foram criados quatro inventários, um para cada tipo de canudo para bebida estudado e adicionado os dados recolhidos, os quais foram transformados para a produção de uma unidade de canudo.

Para fazer a análise do inventário foi determinado qual o método de análise de impactos seria utilizado.

Por fim, foi feita a interpretação da análise do método utilizado e uma comparação dos resultados dos diferentes canudos para bebidas.

### 3.4.2 Definição de objetivo e escopo

Segundo a ABNT NBR ISO 14044:2009, na definição do objetivo e escopo são considerados, de forma clara, o sistema do produto a ser estudado, a sua fronteira, os processos elementares (são os menores elementos com dados de entradas e saídas) e são estabelecidos a função, a unidade funcional, os fluxos de referência, os procedimentos de alocação, os requisitos dos dados, os pressupostos, e limitações.

Além disso, nesta etapa deve-se considerar a metodologia de AICV (Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida) e tipos de impactos, a interpretação a ser utilizada e a escolha de valores e elementos opcionais.

Os subtópicos a seguir descrevem as particularidades relacionadas.

#### 3.4.2.1 *Objetivo do estudo*

O objetivo do estudo é a avaliação comparativa dos impactos ambientais de quatro tipos de canudos: i) canudo de plástico para bebidas; ii) canudo de papel para bebidas; iii) canudo de aço inoxidável para bebidas; e, iv) canudo de resíduo de madeira para bebida.

#### 3.4.2.2 *Unidade funcional*

A unidade funcional é de 1 (uma) unidade de canudo para bebida.

#### 3.4.2.3 *Fontes e requisitos de qualidade dos dados*

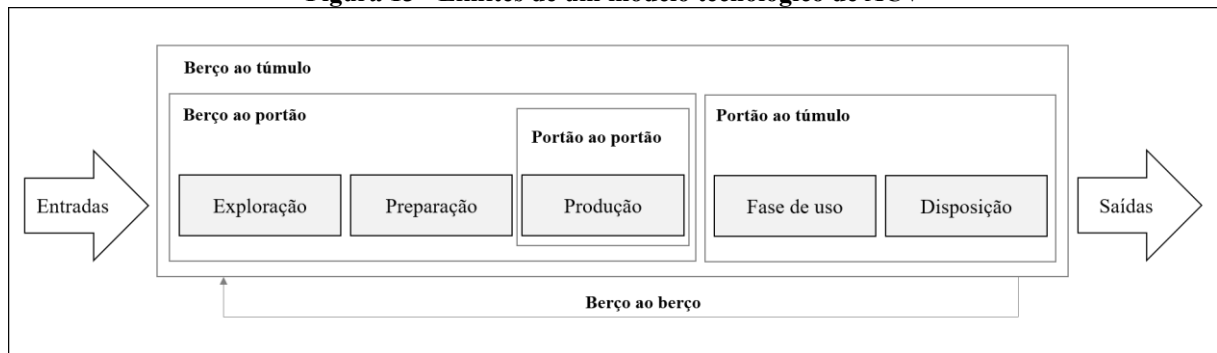
Foram utilizados, para todos os tipos de canudos para bebida analisados, dados primários referentes a trabalhos já publicados na literatura. Para o canudo de resíduo de madeira foi possível utilizar dados primários próprios, coletados *in loco*.

Dados secundários foram extraídos da Biblioteca de ACV US LCI Database Project, banco de dados presente no *software* SimaPro®.

#### 3.4.2.4 Definição dos limites dos sistemas estudados

Em uma ACV podem ser adotadas diferentes fronteiras de limites (do “berço ao túmulo”, do “berço ao portão”, do “portão ao portão”, do “portão ao túmulo” e do “berço ao berço”), como ilustrado na Figura 13. Para todos os tipos de limites há a necessidade de considerar as entradas e saídas envolvidas no sistema selecionado.

**Figura 13 - Limites de um modelo tecnológico de ACV**



**Fonte: Miller (2015)**

Para este estudo, o limite adotado foi do “berço ao túmulo”, envolvendo a extração da matéria-prima, fabricação do produto e posterior descarte.

Ressalta-se que certos elementos dos ciclos de vida foram excluídos para garantir que o escopo do estudo permanece viável e/ou porque não foram considerados críticos para a qualidade dos resultados. Além disso, alguns foram excluídos com base na disponibilidade de dados.

Sendo assim, alguns critérios de corte do limite foram adotados:

- i) O transporte entre as etapas (seja da matéria-prima processada até o local de fabricação do canudo para bebida ou da matéria-prima até o local de seu processamento, por exemplo) não foi considerado. Isso ocorreu, pois, as entradas diferem de acordo com a localização e disponibilidade de material, há variabilidade de distâncias, modos de transporte envolvidos e complexidade associada à modelagem de determinadas estimativas;
- ii) As embalagens primárias e/ou secundárias utilizadas para envolver os canudos para bebidas foram omitidas da ACV, pois não há um tipo de embalagem padrão associado aos canudos. Por exemplo, canudos de plástico podem ser embalados individualmente ou vendidos sem embalagem, depois podem ser embalados em caixas ou sacos plásticos. Canudos reutilizáveis têm a opção de serem vendidos em

caixas ou sacos individuais de algodão ou papel, por exemplo, ou sem qualquer embalagem;

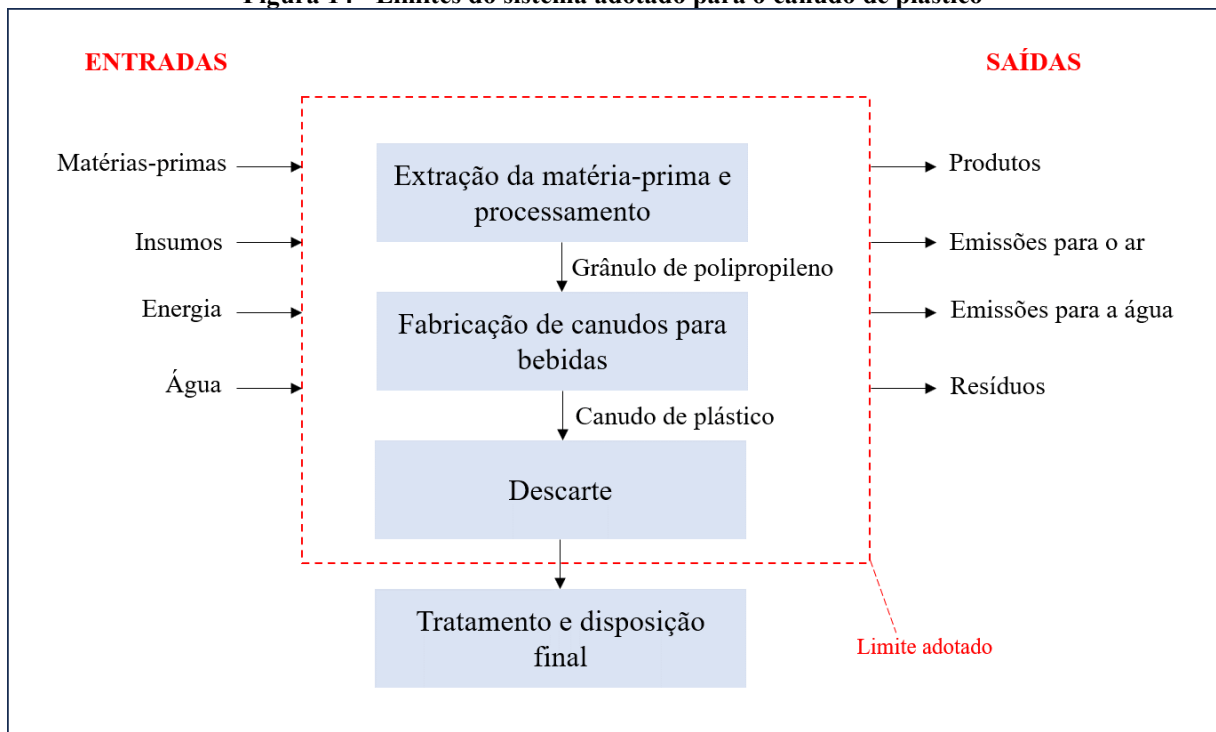
iii) Definiu-se que a fase de uso não seria considerada devido tais informações não serem críticas para o objetivo desta aplicação;

iv) Dados relacionados a fluxos de fim de vida também não foram incluídos devido indisponibilidade de informações.

De modo geral, a fronteira foi definida levando em consideração que o foco da aplicação da ACV é realizar a comparação entre os canudos para bebidas a fim de indicar qual deles é mais sustentável quanto aos aspectos de produção, considerando a possibilidade de reutilizações. Isto devido o objetivo geral da pesquisa envolver o desenvolvimento de um dado produto a partir de um dado material. Sendo assim, o foco é detectar os impactos ambientais causados por estes.

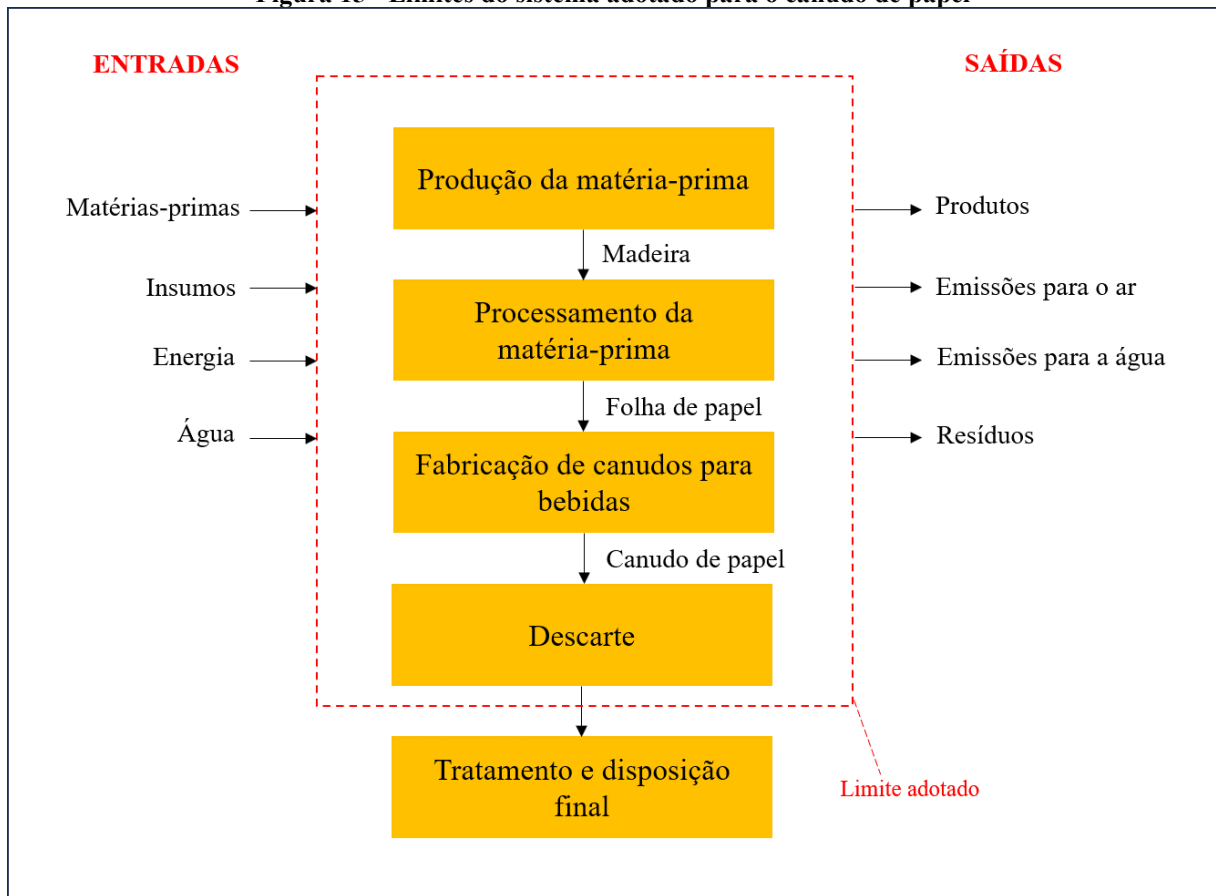
As Figuras 14, 15, 16 e 17 ilustram, respectivamente, as fronteiras dos limites simplificados dos sistemas adotados para os canudos para bebida de plástico, papel, aço inoxidável e resíduo de madeira.

**Figura 14 - Limites do sistema adotado para o canudo de plástico**



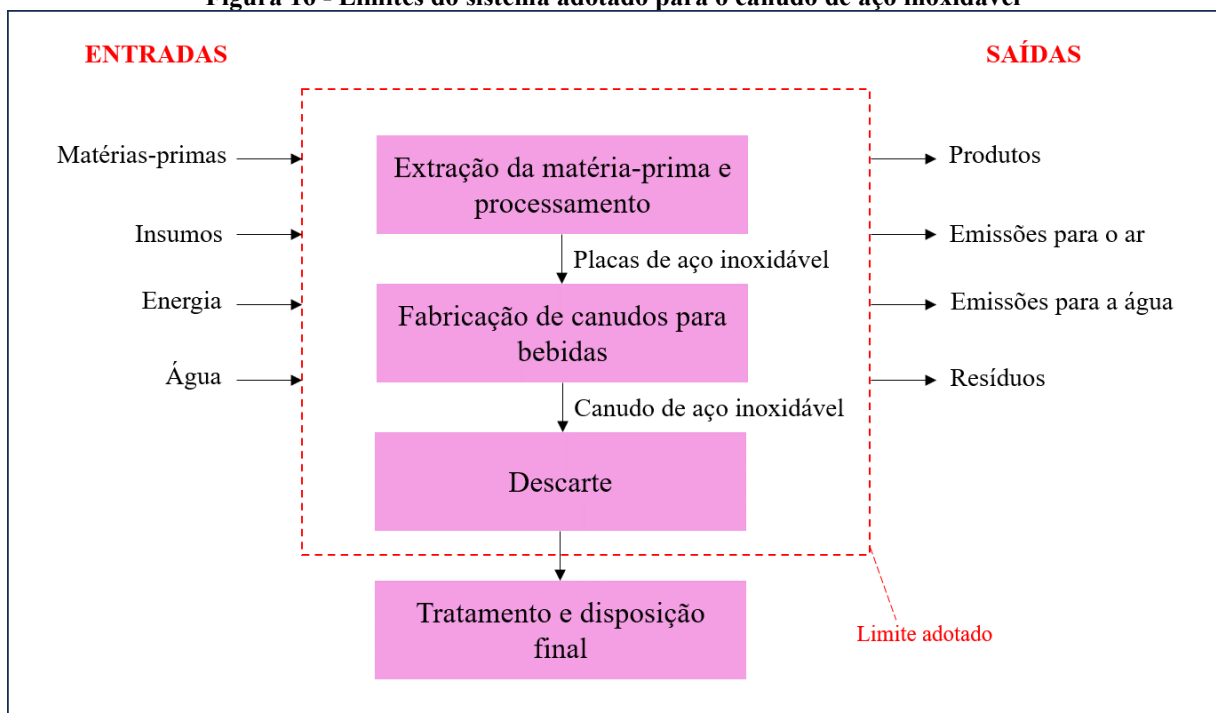
Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 15 - Limites do sistema adotado para o canudo de papel**



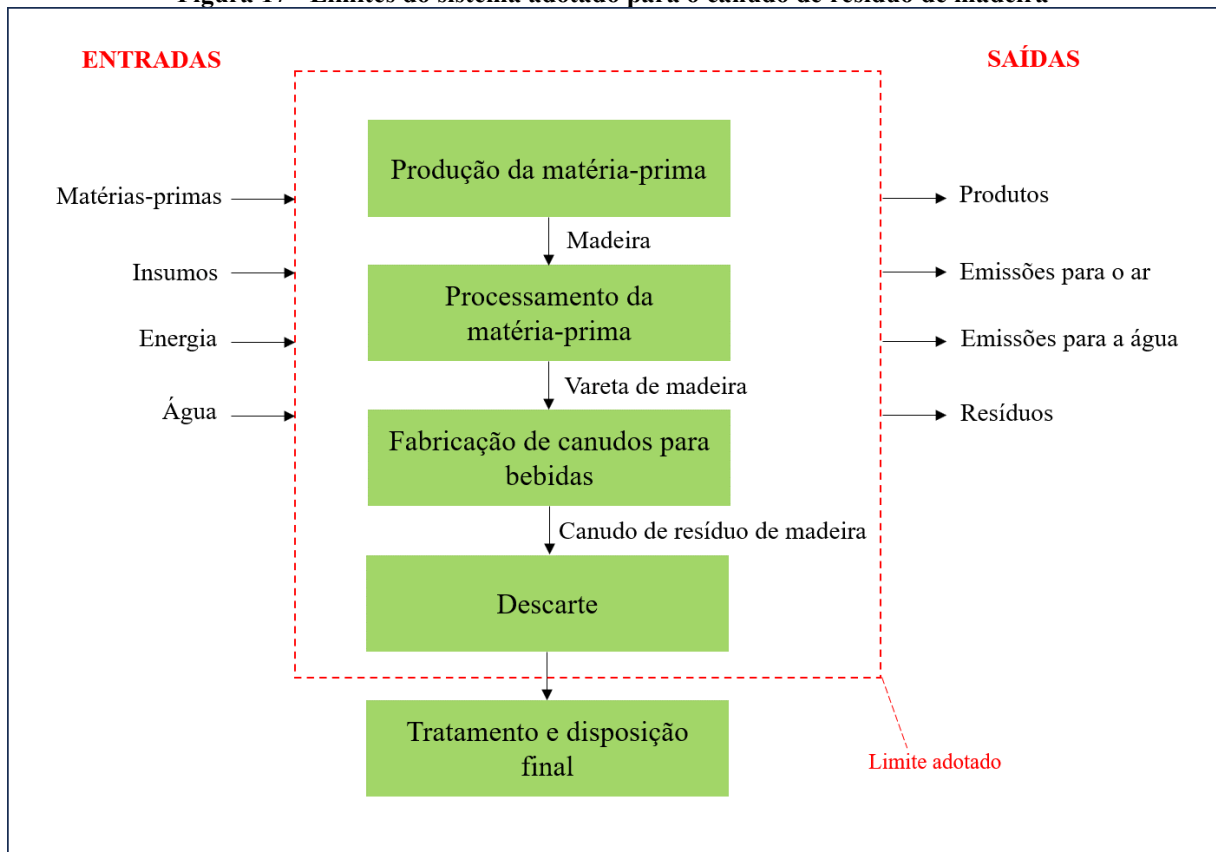
Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 16 - Limites do sistema adotado para o canudo de aço inoxidável**



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 17 - Limites do sistema adotado para o canudo de resíduo de madeira**



Fonte: Autoria própria (2023)

#### 3.4.2.5 Limitações

Este estudo apresentou algumas limitações, que deverão ser consideradas em estudos futuros. De modo geral, as maiores dificuldades enfrentadas foram relacionadas ao processo de coleta de dados referentes à disponibilização das informações.

Por esse motivo, o estudo de ACV envolveu dados obtidos de trabalhos já publicados na literatura, além de dados da biblioteca do *software* utilizado. Além disso, devido à ausência de tempo, algumas entradas mássicas foram consideradas como fluxos elementares (fluxo elementar, ou seja, aquele que não leva em consideração as cargas de aspectos ambientais anteriores, somente a entrada mássica no sistema de produto).

#### 3.4.3 Análise do inventário

A elaboração dos inventários do ciclo de vida foi realizada através da transferência do levantamento de dados obtidos pelo referencial bibliográfico e dados coletados *in loco* para o



*software* SimaPro®, assim como a seleção e adequação das informações obtidas nos bancos de dados do programa, conforme descrito no subtópico 3.4.2.3.

Os inventários elaborados foram separados por tipo de canudo para bebida. O peso de cada canudo inventariado está disponível no Quadro 8.

**Quadro 8 – Peso dos canudos inventariados**

<b>Tipo de canudo para bebida</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Referência</b>
Canudo de plástico	0,00034	Chang e Tan (2021)
Canudo de papel	0,0015	Guo <i>et al.</i> (2023)
Canudo de aço inoxidável	0,02	Chang e Tan (2021)
Canudo de resíduo de madeira	0,0066	Dado próprio (2023)

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O inventário foi alinhado com as fronteiras do limite dos sistemas adotados. É inevitável que, ao longo das etapas de extração de matéria-prima e fabricação dos canudos para bebidas, a eletricidade seja necessária para alimentar as máquinas, bem como o envolvimento de matérias-primas, água e insumos produtivos. Assim, as emissões para a água, para o ar e geração de resíduos são inevitáveis. Estes parâmetros serão contabilizados neste estudo de ACV e os valores de impacto correspondentes serão computados como base para comparação dos impactos ambientais envolvidos.

Além disso, foi considerado para os canudos de plástico e de papel seu descarte imediato após o uso. Para os canudos de aço inoxidável e de resíduo de madeira, ponderando que são reutilizáveis, considerou-se uma vida útil de 500 usos.

#### *3.4.3.1 Análise de inventário para o canudo de plástico para bebidas*

O Quadro 9 dispõe do inventário do canudo de plástico para bebida, contendo as entradas e saídas do processo. Os dados foram obtidos da pesquisa de Chang e Tan (2021). Os processos envolvem as etapas de aquisição de matéria-prima e fabricação dos canudos para bebidas. O principal constituinte dos canudos plásticos é o PP, que é obtido a partir da extração do petróleo bruto e subseqüentes etapas de refino. A fabricação de canudos plásticos consiste basicamente na extrusão do grânulo de polipropileno e, eventualmente, corte para atingir o tamanho e dimensão desejados dos canudos, conforme descrito no subtópico 2.1.1.1.

**Quadro 9 – Inventário do canudo de plástico para bebidas**

Elemento	Quantidade	Unidade	Referência
<b>ENTRADAS</b>			
Eletricidade	GJ	7,20E-04	Chang e Tan (2021)
Propileno	kg	6,40E-04	
Diesel	kg	1,50E-03	
Petróleo bruto e gás natural	kg	5,00E-05	
Grânulo de polipropileno	kg	6,10E-04	
<b>SAÍDAS</b>			
Emissões para o ar			
CO <sub>2</sub>	kg	1,30E-01	Chang e Tan (2021)
CO	kg	2,00E-04	
SO <sub>2</sub>	kg	1,00E-04	
NO <sub>x</sub>	kg	2,00E-04	
COV	kg	5,00E-05	
CH <sub>4</sub>	kg	3,00E-04	
PM-10	kg	5,80E-07	
Emissões para a água			
Etilbenzeno	kg	5,90E-06	Chang e Tan (2021)
1,1,1-tricloroetano	kg	5,90E-06	
Benzeno	kg	1,50E-06	
Tolueno	kg	4,60E-06	
Clorofórmio	kg	1,50E-07	

**Fonte: Autoria própria (2023)**

As seguintes suposições foram feitas ao coletar dados de inventário para canudos de plástico:

- a) Apenas o principal material para o canudo de plástico, PP, está incluído na análise de inventário;
- b) A extração de petróleo bruto e gás natural é movida a diesel;
- c) Os dados de inventário de produção para eletricidade, diesel, petróleo bruto, gás natural, grânulo de polipropileno e propileno são do banco de dados US LCI Database Project, conforme processos indicados no Quadro 10.

**Quadro 10 – Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de plástico para bebidas**

Material	Processo SimaPro®
Eletricidade	Electricity, medium voltage {BR-North-eastern grid}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Cut-off, S
Diesel	Diesel {BR}  diesel, import from RoW   Cut-off, S
Petróleo bruto e gás natural	_11 Crude petroleum and natural gas, EU27
Grânulo de polipropileno	Polypropylene, granulate {RER}  polypropylene production, granulate   Cut-off, S
Propileno	Polypropylene injection moulding E

**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 3.4.3.2 Análise de inventário para o canudo de papel para bebidas

O Quadro 11 dispõe do inventário do canudo de papel para bebida, contendo as entradas e saídas do processo. Os dados foram obtidos da pesquisa de Guo *et al.* (2023). Os processos envolvem as etapas de produção e processamento da matéria-prima, bem como fabricação dos canudos para bebidas. O principal constituinte dos canudos de papel é a folha de papel, que é obtida a partir da madeira. A fabricação de canudos de papel consiste basicamente no enrolamento, colagem dos tubos e corte para atingir o tamanho e dimensão desejados dos canudos, conforme descrito no subtópico 2.1.1.2.

**Quadro 11 – Inventário do canudo de papel para bebidas**

Elemento	Quantidade	Unidade	Referência
<b>ENTRADAS</b>			
Eletricidade	GJ	7,20E-07	Guo <i>et al.</i> (2023)
Papel base	kg	3,45E-03	
Cola	kg	1,57E-04	
<b>SAÍDAS</b>			
Emissões para o ar			
SO <sub>2</sub>	kg	6,00E-06	Guo <i>et al.</i> (2023)
NO <sub>x</sub>	kg	1,40E-05	
Emissões para a água			
DQO	kg	1,90E-03	Guo <i>et al.</i> (2023)

Fonte: Autoria própria (2023)

As seguintes suposições foram feitas para o inventário de canudos de papel:

- d) Materiais raros ou de alta pureza não estão envolvidos na fabricação do papel devido à natureza confidencial das informações relacionadas ao ingrediente;
- e) O processamento do papel e a fabricação dos canudos de papel é toda movida a energia;
- f) Os dados de inventário de produção para eletricidade, papel base e cola são do banco de dados US LCI Database Project, conforme indicado no Quadro 12.

**Quadro 12 – Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de papel para bebidas**

Material	Processo SimaPro®
Eletricidade	Electricity, medium voltage {BR-North-eastern grid}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Cut-off, S
Papel base	Containerboard, fluting medium {RER}  containerboard production, fluting medium, recycled   Cut-off, S
Cola	Dummy_Glue, at plant/US

Fonte: Autoria própria (2023)

### 3.4.3.3 Análise de inventário para o canudo de aço inoxidável para bebidas

O Quadro 13 dispõe do inventário do canudo de aço inoxidável para bebida. Os dados foram obtidos da pesquisa de Chang e Tan (2021). Os processos envolvem a extração de metais brutos e é seguida por etapas de processamento a jusante a fim da formação das placas de aço. Estas placas podem ser usadas para a fabricação de canudos para bebidas por meio de aquecimento e enrolamento. Etapas de soldagem para a obtenção de tubos longos e corte para a formação de tubos menores são necessárias, conforme descrito no subtópico 2.1.1.3.

**Quadro 13 – Inventário do canudo de aço inoxidável para bebidas**

Elemento	Quantidade	Unidade	Referência
<b>ENTRADAS</b>			
Diesel	kg	2,00E-04	Chang e Tan (2021)
Água	kg	4,70E-02	
Gás Natural	kg	7,00E-03	
Eletricidade	GJ	1,00E-04	
Oxigênio	kg	6,00E-04	
Sucata de aço carbono	kg	4,00E-04	
Placas de aço inoxidável	kg	1,30E-02	
<b>SAÍDAS</b>			
Emissões para o ar			
CO <sub>2</sub>	kg	5,10E-01	Chang e Tan (2021)
CO	kg	1,00E-04	
SO <sub>2</sub>	kg	6,00E-04	
NO <sub>x</sub>	kg	6,00E-04	
N <sub>2</sub> O	kg	1,00E-06	
CH <sub>4</sub>	kg	2,00E-04	
PM-10	kg	6,50E-07	

**Fonte: Autoria própria (2023)**

As seguintes suposições são feitas para a coleta de dados de inventário do canudo de aço inoxidável:

- a) A etapa de fabricação do canudo é assumida como análoga à fabricação de tubos de aço, pois não há informações disponíveis na revisão da literatura;
- b) A extração e processamento do aço são movidos a eletricidade, gás natural, diesel e utilizam água;
- c) Os dados de inventário de produção para eletricidade, diesel, sucata de aço carbono e placas de aço inoxidável são do banco de dados US LCI Database Project, conforme processos indicados no Quadro 14.

**Quadro 14 – Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de plástico para bebidas**

Material	Processo SimaPro®
Eletricidade	Electricity, medium voltage {BR-North-eastern grid}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Cut-off, S
Diesel	Diesel {BR}  diesel, import from RoW   Cut-off, S
Sucata de aço carbono	Steel, stainless, scap\GLO
Placas de aço inoxidável	Steel, stainless, flat rolled coil \ RNA

Fonte: Autoria própria (2023)

#### 3.4.3.4 Análise de inventário para o canudo de resíduo de madeira para bebidas

O Quadro 15 dispõe do inventário do canudo de resíduo de madeira para bebida. Os processos envolvem as etapas de produção e processamento da matéria-prima, bem como fabricação dos canudos para bebidas. Os dados referentes a produção e extração da matéria-prima (madeira) são da pesquisa de Dias e Arroja (2012). Os dados referentes ao processo de produção do canudo para bebida foram obtidos *in loco*, durante o desenvolvimento do produto. O principal constituinte dos canudos de resíduo de madeira é a vareta de madeira. A fabricação dos canudos consiste basicamente na conformação dessa vareta, conforme descrito detalhadamente no subtópico 4.1.2.

**Quadro 15 – Inventário do canudo de resíduo de madeira para bebidas**

Elemento	Quantidade	Unidade	Referência
<b>ENTRADAS</b>			
Diesel	kg	2,83E-05	Dias e Arroja (2012)
Gasolina	kg	4,40E-06	
Lubrificante	kg	1,59E-06	
Vareta de madeira	m <sup>3</sup>	4,54E-6	Dados próprios (2023)
Eletricidade	GJ	3,93E-04	
Cera de abelha	kg	1,95E-04	
<b>SAÍDAS</b>			
Emissões para o ar			
CO <sub>2</sub>	kg	1,04E-04	Dias e Arroja (2012)
CH <sub>4</sub>	kg	1,06E-08	
N <sub>2</sub> O	kg	3,98E-09	
SO <sub>2</sub>	kg	5,68E-08	
CO <sub>2</sub>	kg	2,95E-06	
NH <sub>3</sub>	kg	2,40E-10	
NO <sub>x</sub>	kg	8,38E-07	
Fluxos finais de resíduo			
Resíduo de madeira	kg	7,40E-03	Dado próprio (2023)

Fonte: Autoria própria (2023)

As seguintes suposições são feitas para a coleta de dados de inventário do canudo de aço inoxidável:

- d) A extração da madeira envolve o uso de diesel, lubrificante e gasolina;
- e) A produção dos canudos de resíduo de madeira é movida a eletricidade;
- f) Os dados de inventário de produção para eletricidade, diesel, lubrificante, gasolina e vareta de resíduo de madeira são do banco de dados US LCI Database Project, conforme processos indicados no Quadro 16.

**Quadro 16 – Materiais e processos SimaPro® referentes ao inventário do canudo de plástico para bebidas**

Material	Processo SimaPro®
Eletricidade	Electricity, medium voltage {BR-North-eastern grid}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Cut-off, S
Diesel	Diesel {BR}  diesel, import from RoW   Cut-off, S
Lubrificante	Dummy_Lubricants, unspecified, at plant/US
Gasolina	Gasoline, at refinery/I/US
Vareta de resíduo de madeira	Residual wood, dry {BR}  sawing and planing, parana pine, kiln dried   Cut-off, S

Fonte: Autoria própria (2023)

#### 3.4.4 Avaliação de impacto

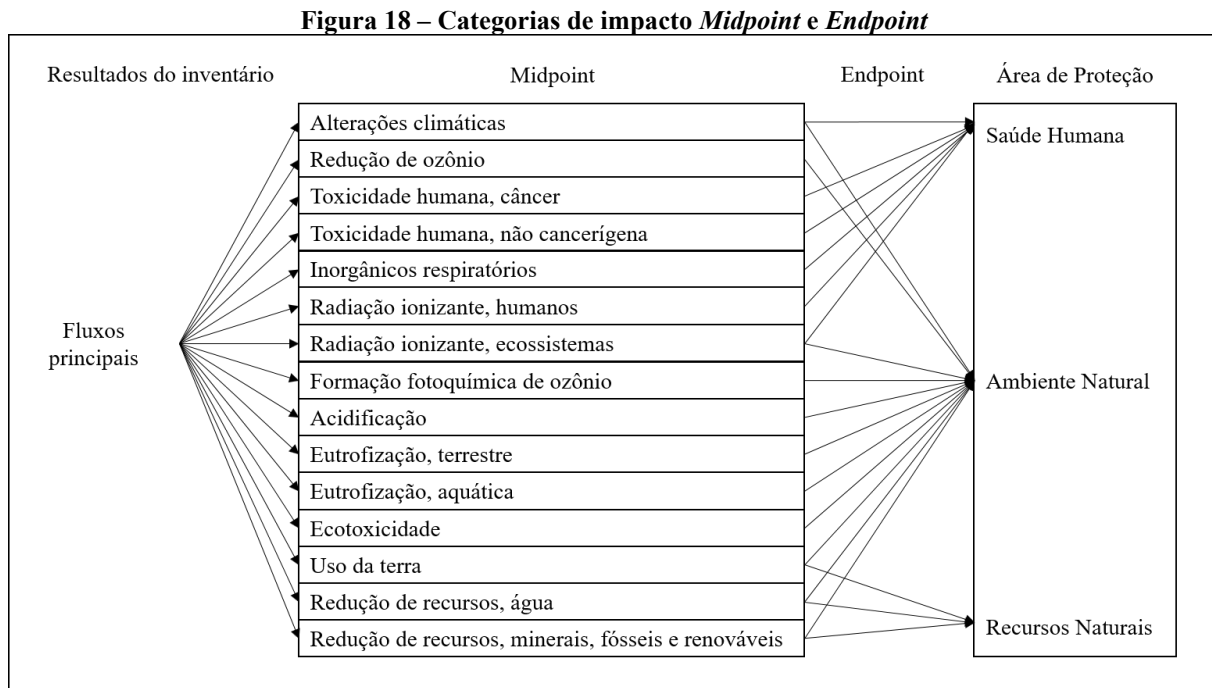
A AICV avalia a significância dos impactos ambientais potenciais relacionados ao ciclo de vida do produto. Esta avaliação ocorre, por meio da correlação dos resultados da análise do inventário com categorias de impacto específicas e indicadores de categoria (ABNT, 2009a).

O modelo de análise adotado nesta ACV foi o Método Eco-indicator 99 (H) V2.10/ Europe EI 99 H/A/Normalização. Este método é globalmente utilizado e aceito pela comunidade científica e indústria, o que comprova que a utilização das perspectivas culturais é vantajosa (VITORIO JUNIOR, 2020).

Este Método é uma versão atualizada do Eco-indicator 95 e foi desenvolvido como parte da Política Integrada de Produto do Ministério Holandês de Moradia, Planejamento Espacial e Ambiental.

O Eco-indicator 99 foi selecionado como método de análise neste estudo, visto um de seus objetivos básicos de aplicação que, de acordo com a Joint Research Centre of the European Commission (EC-JRC, 2010), é o cálculo de uma única pontuação (eco indicadores) que possa ser usada por designers ou desenvolvedores de produto para a tomada de decisão.

De modo geral, os métodos de avaliação para ACV são baseados em categorias de impacto que podem ser caracterizadas como *Midpoint* e *Endpoint* (Figura 18), dependendo da abordagem do modelo de avaliação escolhido.



Fonte: Adaptado de Stradioto Neto *et al.* (2020)

O *Midpoint* usa indicadores localizados ao longo do mecanismo ambiental, antes de chegar ao ponto final da categoria. O *Endpoint* considera todo o mecanismo ambiental até o seu ponto final, ou seja, se refere a um dano específico relacionado com a área mais ampla de proteção (Saúde Humana, Ambiente Natural ou Recursos Naturais) (VITORIO JUNIOR, 2020).

De acordo com o Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (2000), a partir desses requisitos o Eco-indicator 99 faz o agrupamento das categorias de impacto em três áreas de danos:

- Saúde Humana (DALY – *Disability Adjusted Life Years* (anos de vida perdidos ajustados por incapacidade)): quantidade e duração das doenças e a perda de anos de vida pela morte prematura devido aos impactos ambientais. Inclui mudanças climáticas, depleção de ozônio, radiação ionizante, efeitos respiratórios e efeitos carcinogênicos;
- Ambiente Natural (PAF – *Potentially Affected Fraction* (fração de espécies potencialmente afetadas)): efeito na diversidade de espécies, especialmente para

plantas e organismos menores. Inclui ecotoxicidade, acidificação, eutrofização e uso da terra;

- Recursos Naturais (MJ de energia requerida): necessidade de geração de energia no futuro para extrair recursos minerais e fósseis de menor qualidade. As perdas na agricultura e de recursos como areia e cascalho são relacionadas aos impactos do uso da terra.

Para Goedkoop e Spriensma (2001), os três termos não são suficientemente autoexplicativos, sendo necessário uma descrição do que está incluído em cada um dos três termos. A Saúde Humana contém a ideia de que todos os seres humanos, no presente e no futuro, devem estar livres de doenças transmitidas pelo meio ambiente, deficiências ou mortes prematuras. O Ambiente Natural, também chamado de Qualidade dos Ecossistemas, contém a ideia de que espécies não humanas não devem sofrer com mudanças de suas populações e distribuição geográfica. Os Recursos naturais contém a ideia de que os suprimentos da natureza, que são essenciais para a sociedade humana, devem estar disponíveis também para as gerações futuras.

Quanto à AICV, a caracterização foi considerada a fim de identificar os tipos de canudos para bebidas de maior impacto para cada área de dano (Saúde Humana, Ambiente Natural e Recursos Naturais).

#### 3.4.5 Interpretação

A interpretação da ACV é a fase final na qual os resultados da AICV são discutidos e resumidos como uma base para conclusões, recomendações e tomada de decisão (ISO 14040:2006). Esta etapa consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e/ou avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos pelo estudo, o que possibilita alcançar conclusões e recomendações, e por fim, direcioná-las às partes interessadas (ZHOU; CHANG; FANE, 2011).

Nesta etapa foi realizada uma interpretação para a compreensão dos resultados obtidos dos impactos referentes aos quatro tipos de canudos para bebidas analisados. Nesta perspectiva, o objetivo foi obter uma avaliação comparativa do desempenho ambiental dos canudos para bebidas, de modo abrangente, em relação as categorias de danos supracitadas. As categorias de impacto mais influentes envolvidas nas áreas de danos também foram analisadas.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões acerca da fabricação dos canudos sustentáveis à base de resíduo de madeira e da ACV aplicada.

### 4.1 Fabricação do canudo sustentável para bebidas

Para a confecção do canudo sustentável, a madeira selecionada foi a de reflorestamento do tipo Pinus, de fontes limpas e livre de contaminantes, adquirida em uma madeireira local. A madeira foi cortada em peças do tipo vareta no tamanho 250 x 10 x 10 mm (comprimento x largura x altura), conforme ilustra a Fotografia 1.

**Fotografia 1 - Varetas para confecção dos canudos para bebidas**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

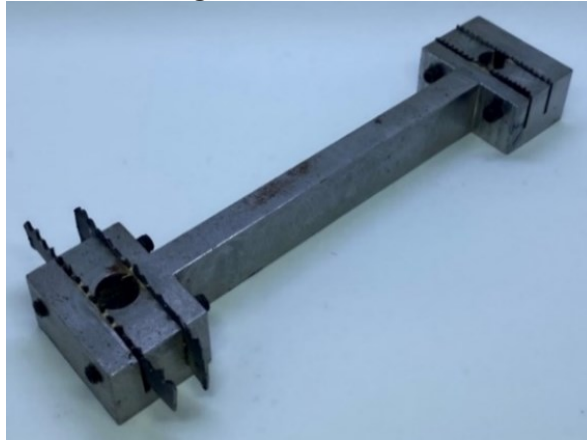
Cabe ressaltar que peças com as mesmas características podem ser cortadas a partir de diferentes tipos de resíduos de madeira. No entanto, este resíduo deve ser proveniente de fonte conhecida a fim de que seja livre de contaminantes, já que o uso é para fins alimentícios. Para tal, é essencial que o resíduo seja classificado como resíduo inerte Classe II B, como por exemplo sobras de madeira de manejo florestal, assim como as utilizados nesta pesquisa.

#### 4.1.1 Ferramentas desenvolvidas para a produção de canudos sustentáveis para bebidas

Com base nas soluções identificadas (Quadros 6 e 7), houve a necessidade da criação de ferramentas para moldar a vareta de madeira, para a fabricação do canudo para bebidas. Para conformação externa dos canudos foi criada uma ferramenta batizada de “conformador”,

disposta na Fotografia 2, para ser utilizada em um mini torno mecânico (equipamento selecionado).

**Fotografia 2 - Conformador**



Fonte: Autoria própria (2022)

O conformador consiste em duas extremidades, sendo uma com orifício de 8 mm de diâmetro e a outra com orifício de 6 mm de diâmetro. Tangenciando as superfícies dos orifícios foram inseridas serras de corte e que foram fixadas através de parafusos do tipo *allen*.

Na ferramenta é possível perceber que os dentes de corte da serra ficam expostos na superfície da peça possuindo a capacidade de desbastar as varetas de madeira no formato cilíndrico.

O conformador foi utilizado em um mini torno mecânico Nagano NTM350R (Fotografia 3). Para a montagem do equipamento, a ferramenta para conformação cilíndrica dos canudos foi fixada na torre porta ferramentas do mini torno mecânico.

**Fotografia 3 - Mini torno mecânico**



Fonte: Autoria própria (2022)

Também foi confeccionado um tubo oco com uma guia centrada em uma extremidade (Fotografia 4). A finalidade deste material é para introduzir o canudo de madeira garantindo a integridade da sua superfície, aonde, a guia centrada na extremidade teve como propósito inserir brocas para madeira, para realização do orifício central no canudo.

**Fotografia 4 - Tubo oco com guia centrada**



Fonte: Autoria própria (2022)

Foram utilizadas duas brocas, do tipo para madeira, com 4 mm de diâmetro cada uma e com comprimentos de 80 mm e 220 mm, respectivamente (Fotografia 5).

**Fotografia 5 - Brocas para madeira**



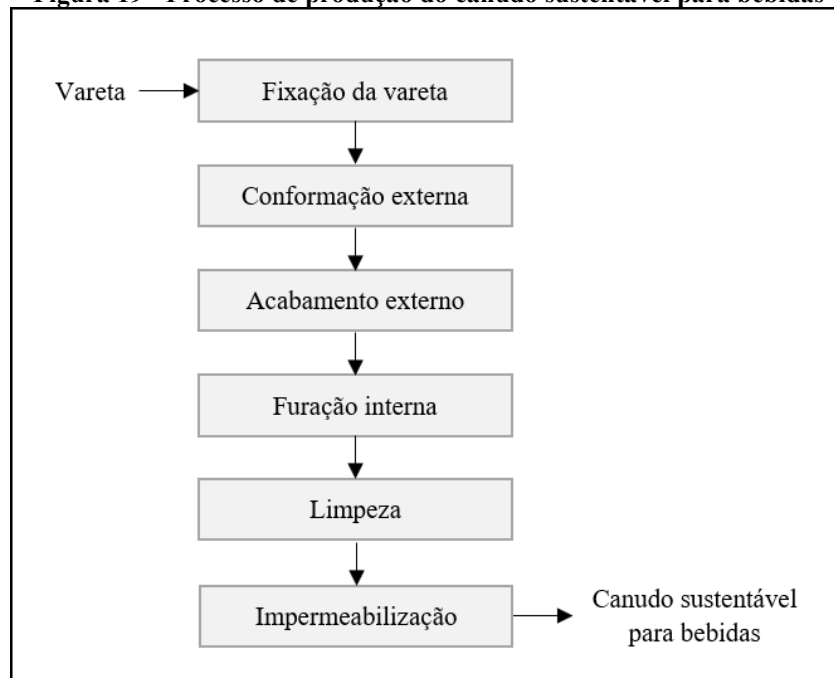
Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.1.2 Processo de produção do canudo sustentável para bebidas

O processo de produção do canudo sustentável para bebidas possui quatro etapas, ilustradas por meio da Figura 19.

O processo de produção é iniciado por meio da fixação da vareta de madeira no mini torno mecânico. Inicialmente, o conformador foi fixado na torre porta ferramentas do mini torno com orifício cilíndrico de 8 mm posicionado perpendicularmente a vareta de madeira. A vareta foi fixada na outra extremidade do torno através da placa de fixação de peça.

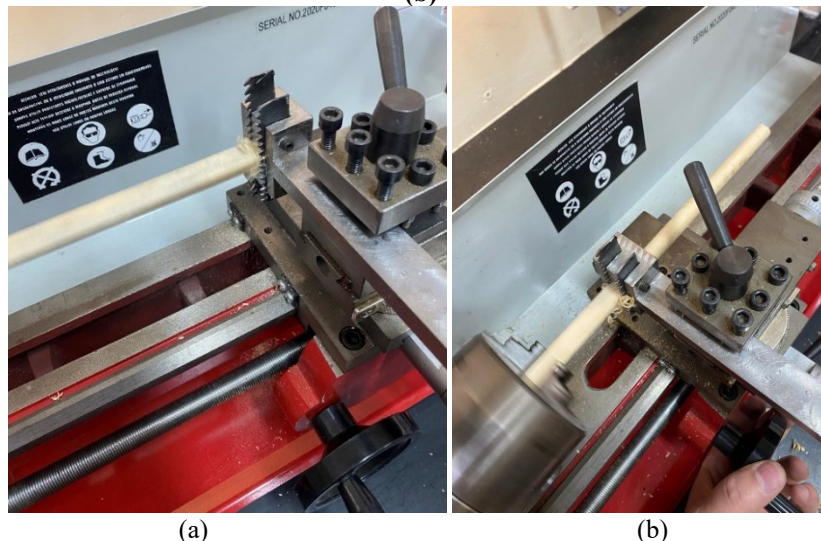
**Figura 19 - Processo de produção do canudo sustentável para bebidas**



Fonte: Autoria própria (2022)

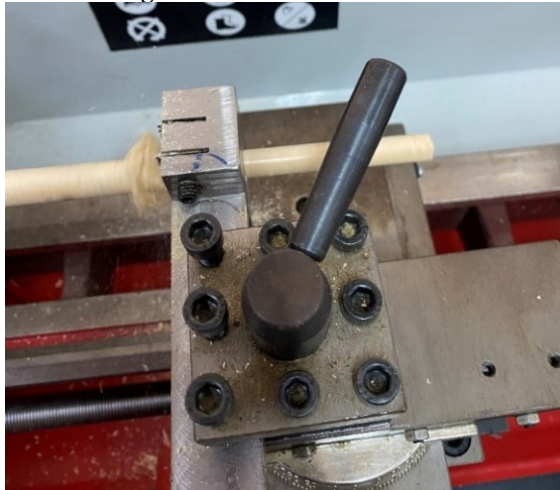
Na segunda etapa (conformação externa), com o controle de fuso do mini torno ativado, a vareta foi desgastada na forma cilíndrica em 8 mm de diâmetro em todo o comprimento, conforme ilustrado na Fotografia 6.

**Fotografia 6 - Inicialização da conformação externo do canudo (a); Conformação externa em andamento (b)**



Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida, na etapa de acabamento externo, o conformador foi trocado de lado a fim de dar acabamento externo ao canudo de madeira. Assim, o desbaste cilíndrico, ilustrado na Fotografia 7, foi repetido através do orifício de 6 mm.

**Fotografia 7 - Acabamento externo**

Fonte: A autoria própria (2022)

Após, o canudo de madeira produzido foi introduzido no tubo oco confeccionado (Fotografia 8).

**Fotografia 8 - Introdução do canudo de madeira no tubo oco**

Fonte: A autoria própria (2022)

Para a furação interna do canudo, o tubo oco contendo o canudo de madeira foi fixado no torno através da placa de fixação de peça (do lado esquerdo). A broca foi fixada no torno no sentido contrário (lado direito). Para essa furação, foi necessário utilizar uma baixa rotação no torno para evitar o aquecimento das fibras da madeira e, conseqüentemente, o deslocamento do eixo de furação. A Fotografia 9 ilustra a furação interna do canudo de madeira.

**Fotografia 9 - Furação interna do canudo de madeira**

Fonte: A autoria própria (2022)

A Fotografia 10 ilustra o aspecto do canudo sustentável para bebidas após a furação interna.

**Fotografia 10 - Aspecto do canudo sustentável de madeira para bebidas**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Após, é realizada a limpeza por ar comprimido. Para tal foi utilizado um compressor de ar 15.000 W. Nessa etapa, o ar comprimido é direcionado através do canudo (durante 5 segundos) para a remoção de detritos, poeira ou outras impurezas que podem estar obstruindo a passagem. A pressão do ar comprimido ajuda a desalojar e expulsar as partículas indesejadas, deixando o canudo limpo.

Para a etapa de impermeabilização, utilizou-se cera de abelha, adquirida em uma loja de produtos alimentícios natural local. A cera ajuda a tornar os canudos mais resistentes à umidade, criando uma barreira protetora contra a absorção de líquidos.

A cera foi aquecida em forno micro-ondas (com 1.200 W de potência) até ficar em estado líquido. Para tal, a cera de abelha foi colocada em um recipiente de vidro e aquecida em intervalos de tempo de 30 segundos. Durante cada intervalo, o recipiente foi retirado do micro-ondas e a cera foi misturada para ajudar a distribuir o calor de maneira uniforme. A cera de abelha derreteu completamente quando atingiu uma temperatura aproximada de 65 °C.

Os canudos foram mergulhados na cera líquida até ficarem completamente submersos. Em seguida, foram retirados, ficando completamente revestidos com uma espessura considerável de cera.

Posteriormente, eles foram colocados em pé, suspensos na vertical e levados a uma estufa de 8.000 W de potência, a uma temperatura de 180 °C, por cerca de 5 minutos. Isso ajudou a garantir que a camada de cera fosse uniforme e sem excessos, originando canudos impermeáveis (Fotografia 11). O calor fez com que o excesso de cera derretesse e caísse em

uma travessa posicionada estrategicamente abaixo dos canudos. Desta forma, o excesso de cera pode ser recuperado para ser reutilizado posteriormente. A quantidade média de cera de abelha utilizada para impermeabilizar cada canudo foi de 0,000195 kg.

**Fotografia 11 - Canudo sustentável impermeabilizado para bebidas**



**Fonte: A autoria própria (2023)**

Após impermeabilizados, os canudos para bebidas estão prontos. A Figura 12 ilustra o canudo produzido em fase de uso.

**Fotografia 12 - Canudo sustentável de madeira para bebidas**



**Fonte: A autoria própria (2023)**

Em geral, bebidas quentes devem ser evitadas, pois a cera pode começar a amolecer ou derreter em temperaturas elevadas, o que pode comprometer a integridade do canudo e afetar a segurança do uso. Além disso, não é recomendado que este canudo entre em contato direto

com bebidas à base de álcool. Isso devido este tipo de cera não ser resistente o suficiente para suportar o álcool, o que pode resultar em danos ao canudo e, potencialmente, na liberação de substâncias indesejáveis na bebida.

Ressalta-se que as características dos canudos confeccionados permitem sua reutilização desde que mantidos higienizados e secos após o uso.

#### 4.1.3 Discussão

Por meio da descrição anterior observou-se que o processo de produção do canudo sustentável para bebidas fez uso de apenas dois materiais para concepção do produto: a vareta de resíduo de madeira e a cera de abelha para impermeabilização, possuindo assim a primeira característica identificada (produto composto por um número limitado de matérias-primas). Resíduos de madeira e cera de abelha não são comestíveis, portanto não competem com a fome. A madeira utiliza o solo para crescimento, no entanto, não compete com o uso do solo ou água, visto que o foco aqui é o uso do resíduo.

A partir da seleção do resíduo da madeira como matéria-prima única para a produção dos canudos para bebidas sustentáveis, esforços foram movidos para encontrar meios de moldar o material de acordo com as propriedades de um canudo para bebidas (tubo cilíndrico com furo no centro passando de uma extremidade à outra) respeitando todas as características descritas nos Quadros 6 e 7. Considerando as características do material e a segunda necessidade (processo sem uso de produtos químicos), o objetivo foi realizar essa moldagem de forma mecânica sem o uso de qualquer químico.

Cabe ressaltar que para que seja possível utilizar a madeira neste processo, é necessário que ela esteja cortada em um formato pré-definido (vareta). A discussão deste tópico se limita a uma análise ao processo de desenvolvimento do canudo. A análise envolvendo os recursos necessários para a concepção da vareta se encontram na seção 4.2 que se ocupa da análise do ciclo de vida, considerando um limite de sistema do “berço ao túmulo”. Isso envolve a análise das matérias-primas utilizadas na fabricação do produto, a energia consumida durante a extração dessas matérias-primas, os processos de produção envolvidos e os impactos ambientais associados a essas etapas iniciais.

Por meio de uma análise cuidadosa selecionou-se o equipamento mini torno mecânico devido ser um dispositivo simples, projetado para segurar uma seção de material a ser esculpida, cortada ou modelada. O fator chave para a escolha desse equipamento foi o fato de que um torno não apenas segura a peça, mas também a gira. Isso permite que a outra parte da máquina,



o cabeçote, se mova ao longo da peça de trabalho, usando diferentes brocas ou instrumentos de corte para remover o material conforme necessário e dar forma à peça de trabalho. A partir daí, foi necessário a criação de ferramentas que pudessem ser encaixados no equipamento a fim de moldar o canudo de madeira (conformação e acabamento externos e furação interna).

Considerando o uso da madeira e do mini torno, foi possível atender a terceira característica (processo livre do uso de água). Devido as características da madeira é possível moldá-la sem haver a necessidade de água envolvida no processo e/ou composição do produto. Para a limpeza do canudo pronto, foi necessário apenas a utilização de ar comprimido. Sendo assim, conseqüentemente o processo atendeu a característica de número seis (processo livre de emissão de efluentes líquidos).

Por meio do uso do mini torno e ferramental desenvolvido (conformador e tubo oco) foi possível moldar o canudo utilizando quatro etapas (fixação da vareta, conformação externa, acabamento externo e furação interna). Após, foi necessária a realização de limpeza e impermeabilização, atendendo a característica de número quatro (processo simples, com poucas etapas de processamento). Conseqüentemente é um processo rápido e não oneroso.

Para a realização do processo não foi necessário o uso de altas temperaturas, salvo para a realização da última etapa (impermeabilização). Devido as características da madeira, sua moldagem ocorre apenas pelo uso de força mecânica, sem a necessidade de aquecimento ou resfriamento (cumprindo a quinta característica - processo composto por etapas realizadas em temperatura ambiente).

Na etapa de impermeabilização foi necessário derreter a cera e retirar o excesso da mesma do canudo. Porém, isso foi realizado por meio do uso de energia elétrica, utilizando equipamentos que não emitem gases poluentes no ar (atendendo a característica de número sete).

Pela simplicidade do processo e características do material utilizado não foi necessário o emprego de combustíveis fósseis (característica número oito).

Por fim, cumprindo a nona e última característica, o produto produzido, devido as características da matéria-prima utilizada, pode ser facilmente biodegradado no meio ambiente.

Ressalta-se que este trabalho focou na fabricação do canudo para bebida, ou seja, a fase de uso não fez parte do escopo pretendido. Assim, para garantir sua usabilidade é necessário a realização de testes a fim de identificar particularidades relacionadas a esta fase. Isto pode envolver ensaios de envelhecimento, de absorção de água, de ataque a fungos, de tempo de permanência da cera sem deterioração, de biodegradabilidade, de resistência física, para o dimensionamento do número ideal de reutilizações, entre outros.

## 4.2 ACV dos canudos para bebidas

De alguma forma, todos os produtos causam impactos sobre o meio ambiente. Estes impactos podem ocorrer durante todos os estágios do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas, produção, uso, descarte até a disposição final. Deste modo, é importante ter uma visão do ciclo de vida do produto como um todo, sobretudo tratando-se de canudos para bebida.

### 4.2.1 Interpretação e análise

Para proceder com a ACV, a AICV foi desenvolvida por área de dano e por categorias de impacto mais influentes nestas áreas de dano.

#### 4.2.1.1 Interpretação e análise por área de dano

O ACV foi empregado para quatro tipos de canudos para bebidas (i) canudo de plástico; ii) canudo de papel; iii) canudo de aço inoxidável; e. iv) canudo de resíduo de madeira). Inicialmente, os resultados foram comparados em relação aos três tipos de áreas de danos que compõem o Método de análise Eco-indicator 99: i) Saúde Humana; ii) Ambiente Natural; e, iii) Recursos Naturais.

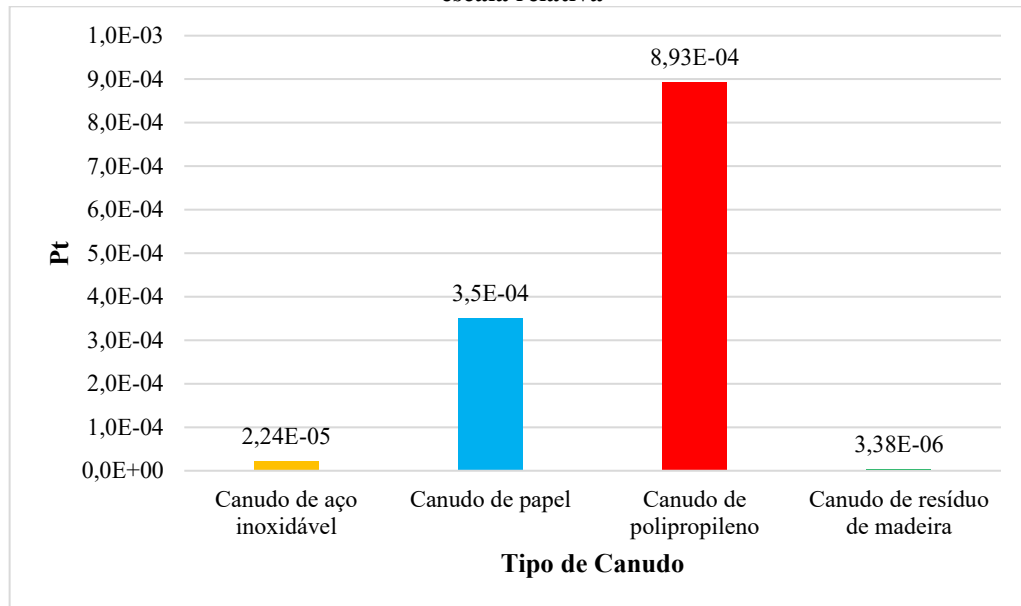
No que se refere à Saúde Humana, é crucial considerar que a ideia é que todos os seres humanos, no presente e no futuro, estejam livres de doenças transmitidas pelo meio ambiente, deficiências ou mortes prematuras. Por exemplo, carcinógenos, efeitos respiratórios e mudanças climáticas criam impactos na saúde humana.

Assim, as cargas de emissões de poluentes para o ar é uma das principais responsáveis pelos danos à saúde humana. Durante o ciclo de vida dos canudos para bebidas, podem ocorrer emissões de poluentes atmosféricos durante a extração de matérias-primas, bem como durante o processo de fabricação. Esses poluentes podem ser gases de efeito estufa e poluentes resultantes da queima de combustíveis fósseis, colaborando para mudanças climáticas. Essas emissões podem contribuir para problemas respiratórios, agravamento de doenças pulmonares e impactar na qualidade do ar, afetando a saúde humana.

O Gráfico 2 apresenta os resultados, agrupados para as categorias de impacto, comparativos dos quatro tipos de canudos para bebida em relação a área de dano “Saúde Humana”. A pontuação única do dano total à saúde humana causado pelos canudos para bebidas

à base de plástico, papel, aço inoxidável e resíduo de madeira é de  $8,93E-04$ ,  $3,5E-04$ ,  $2,24E-05$  e  $3,38E-06$ , respectivamente. Esses resultados indicam que o canudo plástico é o que reflete em maiores danos para a saúde humana, seguido do canudo de papel, seguidos do canudo de aço inoxidável.

**Gráfico 2 – Dano ambiental total dos canudos para bebidas na área de dano “Saúde Humana” em uma escala relativa**



**Fonte: Elaborado a partir de SimaPro® (2023)**

É possível afirmar que todos os sistemas de canudos para bebidas avaliados envolvem a emissão de poluentes no ar. No entanto, os mais impactantes para esta área são os advindos do canudo de plástico.

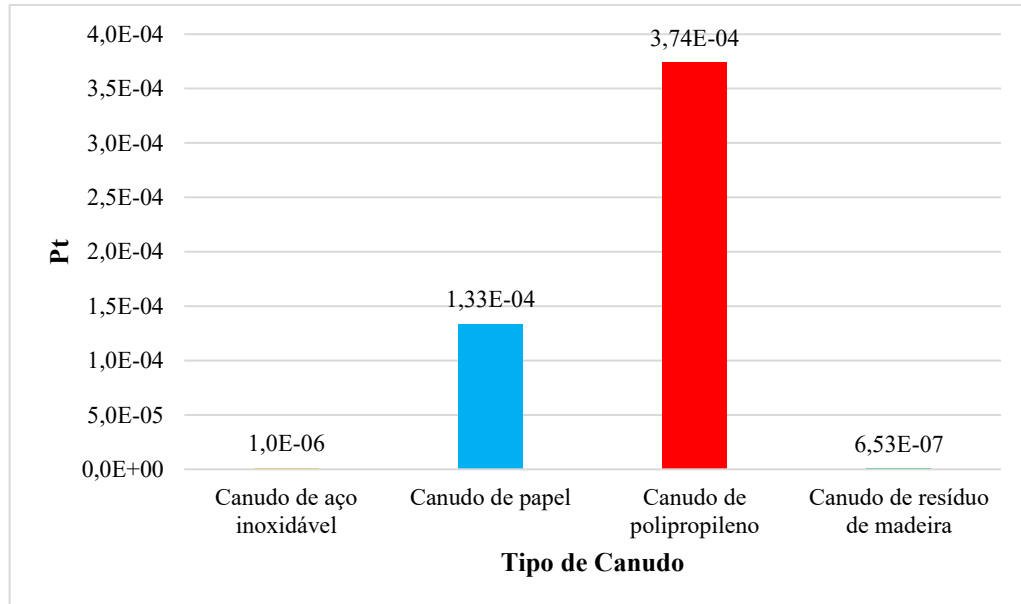
Além disso, emissões para a água, como hidrocarbonetos poliaromáticos e metais pesados, por exemplo, causam efeitos cancerígenos, podendo este efeito causar efeitos nocivos à saúde humana. A produção de canudos para bebida de plástico, papel e aço envolvem tais emissões, impactando essa área de dano.

Contudo, visto que o canudo de resíduo de madeira apresentou os menores impactos na área de dano “Saúde Humana”, é possível inferir que sua produção tem menor potencial de impactar negativamente a saúde humana em comparação com os outros tipos de canudos avaliados.

O Gráfico 3 apresenta os resultados, agrupados para as categorias de impacto, comparativos dos quatro tipos de canudos para bebida em relação a área de dano “Ambiente Natural”. Nesta área de dano, a ideia é que espécies não humanas não sofram mudanças em suas populações e distribuição geográfica. Por exemplo, impactos de ecotoxicidade,

acidificação e eutrofização e efeitos do uso da terra causam mudanças na qualidade do ecossistema e conseqüentemente nesta área de dano.

**Gráfico 3 - Dano ambiental total dos canudos para bebidas na área de dano “Ambiente Natural” em uma escala relativa**



Fonte: Elaborado a partir de SimaPro® (2023)

O dano total ao ambiente natural causado pelos canudos para bebidas à base de plástico, papel, aço inoxidável e resíduo de madeira é de 3,74E-04, 1,33E-04, 1,0E-06 e 6,53E-07, respectivamente. Observa-se que os resultados indicam que o canudo plástico é o que reflete em maiores impactos nesta área de dano, seguido do canudo de papel, seguidos do canudo de aço inoxidável.

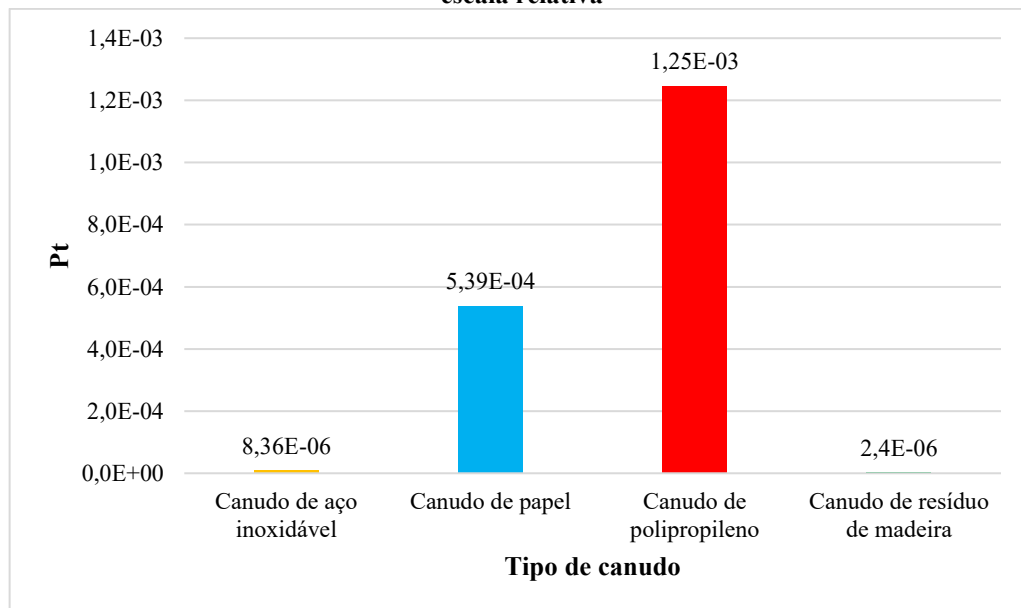
A alta pontuação do canudo de plástico quando comparado aos outros tipos de canudos para bebida está diretamente relacionada a alta pontuação na área de dano abordada anteriormente. Se a produção do canudo emite uma alta concentração de poluentes na atmosfera, esses gases reagem com o ar e formam ácidos que contribuem para a acidificação do ar. A chuva ácida resultante pode ter impactos negativos nas plantas, nos solos, nos corpos d'água e na vida aquática, prejudicando a biodiversidade e a qualidade dos ecossistemas.

Ainda, se a produção do canudo envolve emissões para a água, seja diretamente ou por meio de efluentes industriais, pode haver um aumento excessivo de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, nos corpos d'água. O excesso de nutrientes pode estimular o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, levando à diminuição do oxigênio dissolvido na água e ao declínio da biodiversidade aquática, afetando negativamente a qualidade dos ecossistemas aquáticos.

Contudo, observa-se que o canudo de resíduo de madeira apresentou os menores impactos na área de dano “Ambiente Natural”, sendo possível inferir que sua produção, uso e descarte têm menor potencial de impactar negativamente a qualidade dos ecossistemas em comparação com os outros tipos de canudos avaliados. Isto ocorre devido o canudo de resíduo de madeira não envolver o lançamento de emissões para água e menores emissões de poluentes no ar quando comparado aos demais canudos para bebidas analisados.

O Gráfico 4 apresenta os resultados, agrupados para as categorias de impacto, comparativos dos quatro tipos de canudos para bebida em relação a área de dano “Recursos Naturais”. Esta área de dano parte do princípio de que os recursos naturais devem estar disponíveis também para as gerações futuras. Por exemplo, o esgotamento de combustíveis fósseis e minerais resulta no consumo de recursos.

**Gráfico 4 - Dano ambiental total dos canudos para bebidas na área de dano “Recursos Naturais” em uma escala relativa**



**Fonte: Elaborado a partir de SimaPro® (2023)**

O dano total aos recursos naturais causado pelos canudos para bebidas à base de plástico, papel, aço inoxidável e resíduo de madeira é de 1,25E-03, 5,39E-04, 8,36E-06 e 2,4E-06, respectivamente. Os resultados de pontuação única (valores absolutos) mostram que o canudo plástico, novamente, tem resultados mais expressivos quando comparado aos outros tipos de canudos para bebida.

Esses resultados foram alcançados devido o petróleo bruto ser a matéria-prima principal para a produção do canudo para bebida de plástico. Os canudos de papel e de resíduo de madeira utilizam um recurso natural como principal matéria-prima, a madeira. Mesmo

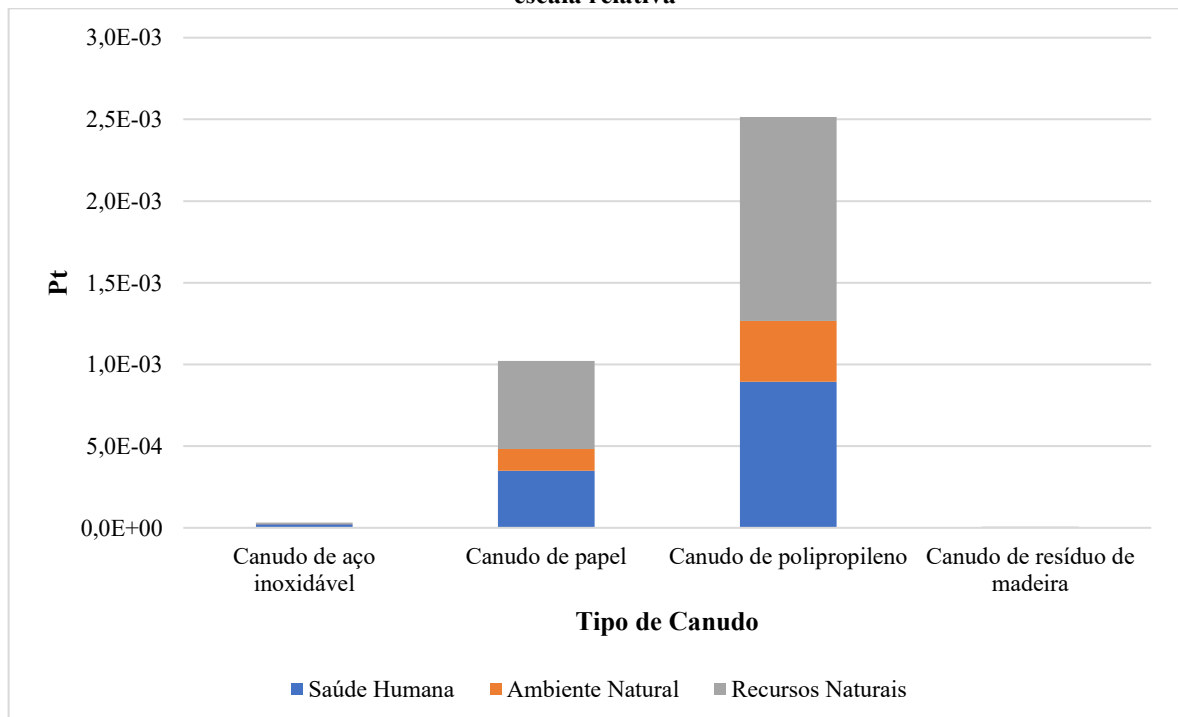
assim, observa-se a expressividade da pontuação única do canudo de papel. Isto devido aos altos índices de recursos utilizados para a produção do papel *kraft*. O canudo de aço inoxidável, por sua vez, usa recursos naturais em seu processamento, no entanto, sua baixa pontuação única pode ser explicada pela utilização de sucata no processo produtivo e o fato do produto (canudo para bebida) ser reutilizável.

Embora os combustíveis fósseis ainda tenham um lugar importante nas tecnologias energéticas, eles não podem ser considerados recursos energéticos totalmente sustentáveis devido à sua vida útil limitada e impactos adversos no meio ambiente, na qualidade do ecossistema e na saúde humana (ISLER-KAYA; KARAOSMANOGLU, 2022).

Contudo, observa-se que o canudo de resíduo de madeira apresentou os menores impactos na área de dano “Recursos Naturais”. Isso pode indicar que esse tipo de canudo possui uma pegada de recursos mais baixa em comparação com os outros materiais avaliados.

O Gráfico 5 apresenta os impactos ambientais globais, agrupados de acordo com as áreas de danos. O principal impacto ambiental causado pelos canudos de plástico e papel advém dos recursos naturais, que indicam principalmente o uso de combustíveis fósseis. Pelo contrário, os canudos de aço inoxidável e resíduo de madeira tem o principal impacto originado à saúde humana, pelo fato de as emissões de gases poluentes serem mais representativas do que o consumo de recursos.

**Gráfico 5 – Dano ambiental total dos canudos para bebidas de acordo com as áreas de danos em uma escala relativa**



Fonte: Elaborado a partir de SimaPro® (2023)

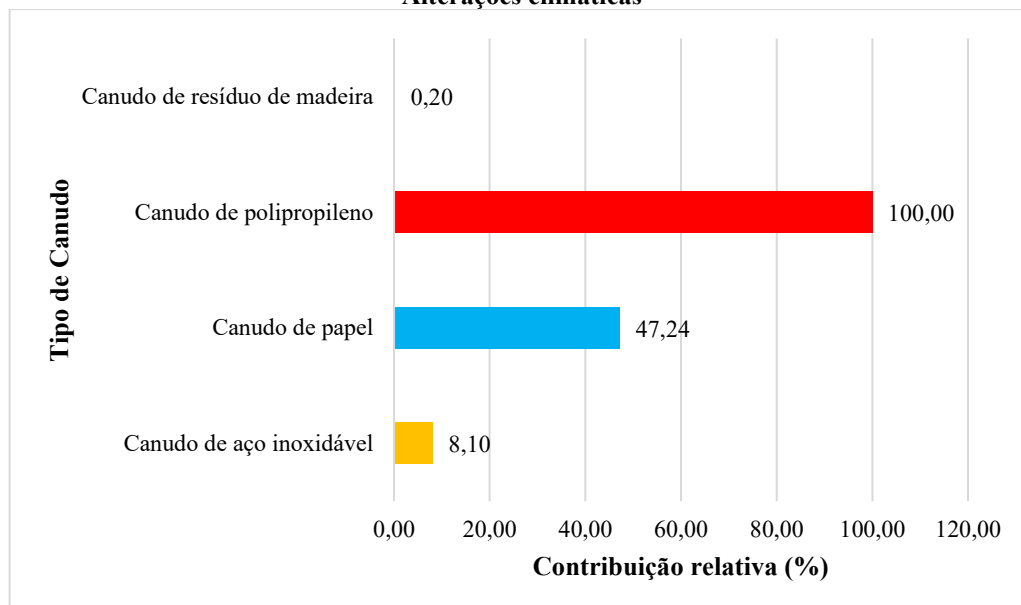
Por meio dos gráficos analisados, foi possível identificar que o canudo de plástico para bebida é o que causa mais impacto em todas as áreas de danos analisadas. É possível observar que o canudo de resíduo de madeira é o menos impactante, seguido do canudo de aço inoxidável, quando comparado aos outros canudos para bebida. A expressividade desse resultado possivelmente pode ter se intensificado devido a fase de descarte, visto que os canudos de aço inoxidável e de madeira foram considerados reutilizáveis.

#### 4.2.1.2 Interpretação e análise por categorias de impacto

Os impactos observados nas áreas de danos sofreram uma maior influência das seguintes categorias de impactos: i) Alterações climáticas (pertencente as áreas de dano Saúde Humana e Ambiente Natural); ii) Redução de ozônio (pertencente a área de dano Ambiente Natural); e, iii) Acidificação (pertencente a área de dano Ambiente Natural). Para todas as categorias de impacto, o canudo de plástico para bebida é mais impactante, conforme observa-se nos Gráficos 6, 7 e 8.

O Gráfico 6 apresenta a comparação da proporção da contribuição relativa dos quatro tipos de canudos para bebida na categoria de impacto “Alterações climáticas”.

**Gráfico 6 – Comparação da contribuição relativa dos canudos para bebidas na categoria de impacto “Alterações climáticas”**



Fonte: Elaborado a partir de SimaPro® (2023)

Essa categoria de impacto está ligada ao progressivo número de gases que acarretam o efeito estufa. Essas alterações são induzidas pela emissão de gases como CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para a

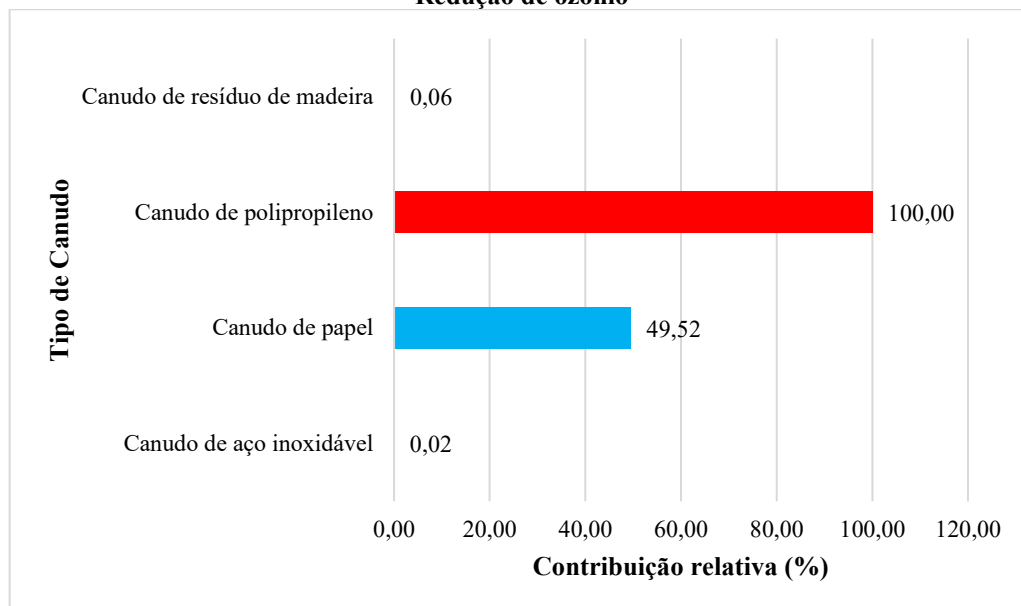
atmosfera. As consequências dessas mudanças são as alterações na intensidade das chuvas e frequência de inundações, por exemplo (JRC, 2011).

É possível observar que o canudo plástico tem o potencial de 100% de contribuição para alterações climáticas, seguido dos canudos de papel (47,24%), aço inoxidável (8,10%) e resíduo de madeira (0,20%) Esses dados vem ao encontro do que foi discutido no subtópico anterior, onde essa mesma sequência de contribuições foi observada na área de danos “Saúde Humana” e “Ambiente Natural”. Neste tocante, as alterações climáticas apresentaram significância dentre as categorias de impacto consideradas para estas áreas de danos.

Contudo, o canudo de resíduo de madeira reduz em 99,80%, 47,04% e 7,9% respectivamente, os impactos relacionados às alterações climáticas, em comparação ao canudo de plástico, canudo de papel e canudo de aço inoxidável.

O Gráfico 7 apresenta a comparação da proporção da contribuição relativa dos quatro tipos de canudos para bebida na categoria de impacto “Redução de ozônio”.

**Gráfico 7 – Comparação da contribuição relativa dos canudos para bebidas na categoria de impacto “Redução de ozônio”**



**Fonte: Elaborado a partir de SimaPro® (2023)**

Esta categoria está relacionada com a categoria discutida anteriormente (Alterações climáticas). Isto devido a geração de emissões de poluentes para o ar causarem a redução do ozônio, levando o canudo de plástico a ser o maior contribuinte em termos de impacto nesta categoria (100%), seguido dos canudos de papel (49,52%), resíduo de madeira (0,06%) e aço inoxidável (0,02).

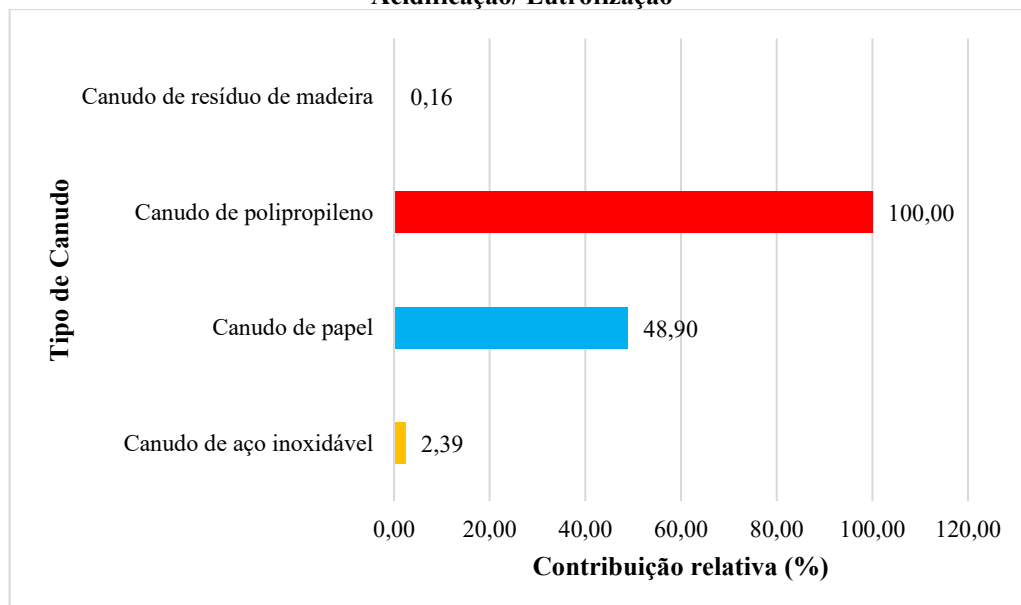


A camada de ozônio é responsável por absorver a maior parte da radiação ultravioleta (UV) prejudicial do sol, protegendo os seres vivos e o meio ambiente. A redução de ozônio é avaliada como um impacto potencial causado pelas emissões de substâncias deplecionadoras de ozônio, como os clorofluorocarbonos (CFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC) e halons. Quando essas substâncias são liberadas para a atmosfera, elas podem migrar para a camada de ozônio e reagir com as moléculas de ozônio, causando sua destruição. Como resultado, ocorre a redução da quantidade de ozônio presente na atmosfera, o que permite que uma maior quantidade de radiação UV prejudicial atinja a superfície da Terra.

O canudo de resíduo de madeira reduz em 99,94% e 49,46%, respectivamente, os impactos relacionados a redução de ozônio, quando comparado ao canudo de plástico e canudo de papel. No entanto, é possível observar que o canudo de resíduo de madeira aumenta em 0,04% os impactos relacionados quando comparado ao canudo de aço inoxidável. Isso ocorre devido ao uso de diesel, gasolina e lubrificante para o corte da madeira bruta, na produção florestal, principal matéria prima utilizada na produção do canudo de resíduo de madeira para bebida.

O Gráfico 8 apresenta a comparação da contribuição relativa dos quatro tipos de canudos para bebida na categoria de impacto “Acidificação/ Eutrofização”.

**Gráfico 8 – Comparação da contribuição relativa dos canudos para bebidas na categoria de impacto “Acidificação/ Eutrofização”**



**Fonte: Elaborado a partir de SimaPro® (2023)**

Há uma enorme variedade de impactos no solo ocasionados pelos poluentes acidificantes, como por exemplo, diminuição do pH, teor de nutriente e crescimento do teor de

elementos potencialmente tóxicos, conforme já mencionado na discussão do subtópico anterior. A principal causa de acidificação da precipitação é a presença na atmosfera de óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), com destaque para o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), um gás proveniente da oxidação de compostos de enxofre (S) contidos nos combustíveis fósseis e na matéria orgânica que é queimada. Sendo assim, devido a geração de emissões para a água, o canudo de plástico é o maior contribuinte em termos de impacto nesta categoria (100%), seguido dos canudos de papel (48,90%), aço inoxidável (2,39) e resíduo de madeira (0,16%).

É possível observar que o canudo de resíduo de madeira reduz em 99,84%, 48,74% e 2,23% os impactos relacionados a acidificação, em comparação ao canudo de plástico, canudo de papel e canudo de aço inoxidável, respectivamente.

#### 4.2.2 Comparações com outras pesquisas

Inúmeras pesquisas empregaram a ACV objetivando comparar diferentes tipos de canudos para bebidas a fim de identificar os mais impactantes para o meio ambiente. Alguns dos principais estudos são apresentados no Quadro 17.

Comparando os resultados obtidos com essas pesquisas, é possível inferir que os resultados alcançados diferem dos resultados de outros trabalhos e isto está de acordo com o que era esperado. Isto, devido ao ineditismo desta pesquisa, fazendo com que ela possua um objetivo ainda não pretendido antes, por conta de suas particularidades, envolvendo inúmeras razões:

- a) Diferenças nos bancos de dados: os *softwares* de ACV dependem de bancos de dados que contêm informações sobre os processos de produção, emissões de gases de efeito estufa, uso de recursos naturais, entre outros dados relevantes. Esses bancos de dados podem variar entre os *softwares*, pois podem utilizar diferentes fontes e métodos de coleta de dados. Portanto, diferentes *softwares* podem fornecer informações diferentes sobre os impactos dos produtos;
- b) Metodologias de avaliação: os *softwares* de ACV podem adotar diferentes metodologias de avaliação de impacto ambiental. Como visto, existem várias abordagens e métodos disponíveis para avaliar os impactos ambientais. Cada método tem suas próprias características e premissas, o que pode levar a resultados diferentes. Além disso, diferentes *softwares* podem implementar as metodologias de maneira ligeiramente diferente, levando a discrepâncias nos resultados;

Quadro 17 – Pesquisas acerca da ACV de canudos para bebidas

Referência	Software/ Método	Tipos de canudos para bebida analisados	Limites do sistema	Principais resultados
Guo <i>et al.</i> (2023)	Software eFootprint/ Análise comparativa das implicações ambientais e análise de cenários	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canudo de plástico</li> <li>• Canudo de papel</li> <li>• Canudo de PLA</li> </ul>	Do “berço ao túmulo”: abrangendo o processo de produção da matéria-prima, fabricação do canudo, processo de uso, de resíduos, transporte e processo de recuperação em todas as fases do ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os canudos de papel contribuem principalmente nos indicadores de demanda de energia primária, uso da água e potencial de aquecimento global;</li> <li>- Os canudos de PLA contribuem com o meio ambiente na maioria dos indicadores de impacto ambiental, exceto no indicador DQO;</li> <li>- O consumo de matéria-prima foi o que mais contribuiu para todos os indicadores.</li> </ul>
Gao e Wan (2022)	Software GaBi (Versão Educacional)/ Impacto Ambiental Relativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canudo de plástico</li> <li>• Canudo de papel</li> <li>• Canudo de PLA</li> </ul>	Do “berço ao túmulo”: abrangendo a produção de matéria-prima, transporte, fabricação do canudo, distribuição, uso e descarte nos EUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A produção de matéria-prima é a que mais contribui para o impacto ambiental;</li> <li>- Os canudos de PLA e papel exibem maior carga ambiental do que o plástico, exceto pela poluição plástica marinha;</li> <li>- O canudo de papel é uma opção mais ambientalmente correta do que canudo de PLA ou plástico;</li> <li>- A reciclagem pode reduzir muito o impacto ambiental dos canudos de plástico.</li> </ul>
Chang e Tan (2021)	Software Excel/ Método matricial incorporado a Estrutura de Avaliação de Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canudo de plástico</li> <li>• Canudo de aço inoxidável</li> </ul>	Do “berço ao portão”: abrangendo a extração e processamento de matérias-primas, bem como a fabricação dos canudos para bebidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os canudos de plástico são mais sustentáveis do que os canudos de aço inoxidável;</li> <li>- Entre as cinco categorias de impacto estudadas, o potencial de aquecimento global tem o impacto mais significativo e o menor valor para o canudo de plástico.</li> </ul>
Chitaka <i>et al.</i> (2020)	SimaPro/ ReCiPe Midpoint	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canudo de plástico</li> <li>• Canudo de papel</li> <li>• Canudo de PLA</li> <li>• Canudo de vidro</li> <li>• Canudo de aço inoxidável</li> </ul>	Do “berço ao túmulo”: abrangendo desde a extração da matéria-prima até o descarte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O canudo de papel causa menores impactos quanto às mudanças climáticas do que o canudo de plástico;</li> <li>- O papel foi associado com os menores impactos potenciais das opções de descarte, devido à sua degradabilidade;</li> <li>- Do ponto de vista da poluição marinha, os canudos reutilizáveis foram considerados como os de menor risco devido à sua improbabilidade de serem jogados fora.</li> </ul>
Zanghelini <i>et al.</i> (2020)	Não consta/ ReCiPe Midpoint, CML-IA, IPCC e demanda cumulativa de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canudo de plástico</li> <li>• Canudo de papel</li> <li>• Canudo de vidro</li> <li>• Canudo de aço inoxidável</li> <li>• Canudo de bambu</li> <li>• Canudo de trigo</li> </ul>	Do “berço ao túmulo”: abrangendo o processo de produção da matéria-prima, fabricação do canudo, processo de uso e descarte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os canudos de plástico são a alternativa menos favorável, considerando seu impacto no lixo marinho;</li> <li>- O processo de lavagem na fase de uso é um dos principais impulsionadores dos impactos causados pelos canudos reutilizáveis.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2023)

- c) Definição do escopo do estudo: a definição do escopo do estudo de ACV pode variar entre os *softwares* e entre os usuários. O escopo inclui decisões sobre quais etapas do ciclo de vida do produto serão consideradas, quais impactos serão avaliados, quais categorias de impacto serão priorizadas, entre outros aspectos. Essas diferenças na definição do escopo podem levar a resultados discrepantes entre diferentes *softwares*;
- d) Incertezas e limitações: a ACV é uma ferramenta complexa que envolve diversas etapas e suposições. Existem incertezas associadas a dados, modelos, suposições e limitações técnicas em todas as fases do processo de ACV. Diferentes *softwares* podem lidar de maneira diferente com essas incertezas e limitações, o que pode influenciar os resultados obtidos.

Considerando as pesquisas citadas no Quadro 17, 80% delas consideraram as fronteiras de limite do sistema de ACV do “berço ao túmulo”. Cabe ressaltar que isso não significa que elas analisaram as mesmas etapas, pois critérios de corte também podem representar divergências entre as pesquisas. Chitaka *et al.* (2020), por exemplo, ao considerarem um limite do “berço ao túmulo” não analisaram impactos inerentes a fase de uso, nem ao uso de embalagens primárias e/ou secundárias, assim como o presente estudo. Em contrapartida, Zanghelini *et al.* (2020), ao considerarem um limite do “berço ao túmulo”, analisaram impactos inerentes a fase de uso e incluíram dados associados ao uso de embalagens primárias e/ou secundárias.

Cada uma das pesquisas do Quadro 17 utilizou um tipo de *software* distinto para tratar os dados. Métodos distintos de análises também são observados, no entanto, 40% das pesquisas utilizaram o ReCiPe *Midpoint*.

É obvia a preocupação ambiental acerca da produção, uso e descarte dos canudos para bebidas à base de plástico, em que 100% das pesquisas analisaram os impactos causados por este canudo em comparação com outros tipos de canudos. 80% das pesquisas envolveram canudos de papel, 60% envolveram canudos de aço inoxidável, 60% envolveram canudo de PLA, 40% envolveram canudos de vidro, 20% envolveram canudos de bambu e 20% envolveram canudos de trigo.

Apesar desta preocupação, é trivial entre as pesquisas (GUO *et al.*, 2023; GAO; WAN, 2022; CHANG; TAN, 2021; ZANGHELINI *et al.*, 2020) que o canudo de plástico nem sempre é o mais impactante para o meio ambiente, vindo de encontro com os resultados da presente pesquisa.

No entanto, esse resultado está principalmente relacionado a fatores não analisados aqui, como por exemplo, o fato de os canudos para bebida reutilizáveis necessitarem de itens adicionais como escova para limpeza e embalagem de algodão e/ou processos adicionais na fase de uso, necessitando de água e detergente líquido para a higienização (CHITAKA *et al.*, 2020; ZANGHELI *et al.*, 2020), causando impactos adicionais ao meio ambiente. Algumas pesquisas ainda consideram um fluxo correto de descarte para o canudo plástico, reduzindo significativamente os impactos relacionados (GAO; WAN, 2022; ZANGHELI *et al.*, 2020).

Contudo, algumas pesquisas possuem similaridade com os resultados alcançados neste estudo, como por exemplo, a significativa relevância dos potenciais impactos causados pelos canudos para bebidas relacionados ao aquecimento global (GUO *et al.*, 2023; CHANG; TAN, 2022).

#### 4.2.3 Oportunidades de pesquisas futuras

O ACV apresentado neste tópico é apenas um primeiro passo na avaliação do canudo para bebida desenvolvido em comparação com outros tipos de canudo. Devido à ausência de tempo, pela simplicidade dos dados envolvidos, os resultados representam uma estimativa inicial de impactos ambientais envolvidos.

Assim sendo, os resultados explicitados irão servir como resultado preliminar, sendo necessária futura revisão prévia e adição das cargas ambientais para comparação mais justa entre os diferentes tipos de canudos para bebida.

Pesquisas futuras podem ser realizadas para aprofundar a compreensão de como o canudo de resíduo de madeira pode impactar o meio ambiente, considerando:

- a) Dados envolvendo outros critérios de corte a fim de considerar dados inerentes ao uso, transporte, fluxos de fim de vida, etc.;
- b) As cargas de aspectos ambientais anteriores para todas as entradas do sistema, preferencialmente por meio do emprego de dados primários;
- c) Outros tipos de canudos para bebida para comparações (canudo de vidro, canudo de trigo, canudo de bambu, etc.).

## 5 CONCLUSÕES

O processo de produção desenvolvido neste trabalho permite a confecção de um canudo sustentável para bebidas a partir do uso de resíduos de madeira.

Inicialmente, identificou-se estratégias sustentáveis para a idealização da produção do canudo para bebidas, em que uma ideia geral do processo e do produto foi concebida. Para tal foi necessário identificar algumas limitações na literatura, relacioná-las aos ODS e empregar soluções a fim de conceber um processo que originasse um canudo para bebidas que envolvesse o menor número de impactos possível para o meio ambiente.

A principal limitação identificada nesta etapa está relacionada a existência de pesquisas que tratem a respeito de canudos para bebidas, de modo geral. Observou-se que o tema ainda é relativamente novo, visto o baixo número de pesquisas encontradas. Além disso, todas essas pesquisas possuem a mesma sistemática que é a fabricação dos canudos para posterior testes de suas propriedades de desempenho. Não foi encontrada nenhuma pesquisa que aplicasse, por exemplo, a ACV após a fabricação do canudo a fim de identificar a real sustentabilidade do processo e/ ou produto.

A partir da necessidade de moldar a vareta de madeira, construiu-se ferramentas para a produção de canudos sustentáveis para bebidas. Criou-se um processo de produção para a fabricação dos canudos, empregando tais ferramentas. Assim, foi possível obter canudos para bebidas a partir do resíduo de madeira.

O simples fato de estar aproveitando um resíduo para produzir um novo produto já minimiza os possíveis impactos ambientais que este provocaria ao meio ambiente. Cabe ressaltar que esses resíduos podem ser aparas, tocos, pontas, entre outros. No entanto, serão utilizados para produzir produtos que entrarão em contato com alimentos, em que é essencial garantir que a madeira seja proveniente de uma fonte limpa e segura. Isso significa que a madeira deve ser livre de contaminantes, como produtos químicos tóxicos, pesticidas ou tratamentos que afetem a saúde humana.

O canudo produzido foi concebido por meio de um processo simples, envolvendo a necessidade de energia para a transformação de uma vareta de madeira em um canudo para bebida. Esse processo não envolveu o uso de químicos, é livre de água, não gera emissões para o ar ou para a água. O canudo produzido é leve, biodegradável e reutilizável.

A sustentabilidade ambiental do canudo produzido foi avaliada por meio de uma ACV. Tal análise foi importante, pois envolveu aspectos mais abrangentes que não haviam sido considerados na etapa anterior, ou seja, o sistema envolveu o berço dos recursos utilizados.

Ressalta-se que o uso do *software* SimaPro®, bem como o uso do Método Eco-indicator 99, como auxílio na fase de AICV foi fundamental para o atingimento do último objetivo específico deste trabalho.

A ACV envolveu o canudo para bebidas confeccionado em comparação com outros três tipos de canudos: i) plástico; ii) papel; e, iii) aço inoxidável. A análise abrangeu diferentes aspectos ambientais, buscando compreender os potenciais efeitos associados a cada tipo de material. Por meio dos resultados, observou-se que o canudo para bebida de resíduo de madeira é o que mais contribui para as áreas de danos analisadas (Saúde Humana, Ambiente Natural; Recursos Naturais), ou seja, é o que apresenta os menores impactos ambientais, seguido do canudo de aço inoxidável, canudo de papel e, por fim, do canudo de plástico.

Comparativamente, os canudos de plástico representam uma ameaça significativa ao meio ambiente devido à sua persistência e dificuldade de reciclagem. A produção de canudos de plástico também requer grandes quantidades de energia e recursos não renováveis, o que resulta em uma pegada de carbono considerável. Os canudos de papel, embora sejam uma alternativa descartável mais sustentável do que o plástico, ainda apresentam limitações. A produção de papel requer uma quantidade considerável de água e energia, além de envolver processos químicos que podem impactar o meio ambiente. Os canudos de aço inoxidável, por sua vez, são reutilizáveis e duráveis, mas a sua produção pode exigir recursos consideráveis.

Por fim, compreende-se que os canudos produzidos a partir de resíduos de madeira surgem como uma alternativa promissora em comparação aos canudos de plástico, papel e aço inoxidável. Isto devido seus benefícios em termos utilização de recursos naturais, emissões para o ar e para a água, originação de resíduos, entre outros.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados alcançados serviram como norteamento para a problemática proposta e podem servir de base para a elaboração de novas pesquisas.

Após a formação do conhecimento dessa tese, sugerem-se alguns trabalhos futuros a fim de validar e estimular o DS:

- a) Testar o canudo produzido a fim de identificar particularidades relacionadas ao uso (ensaios de envelhecimento, absorção de água, ataque a fungos, tempo de permanência da cera sem deteriorar, biodegradabilidade, resistência física, dimensionamento do número ideal de reutilizações, etc.);
- b) Realizar um estudo de viabilidade econômica do canudo produzido para verificar os investimentos necessários para a criação de uma planta de fabricação, custos de produção e comparativo com os valores dos canudos para bebidas comerciais presentes no mercado;
- c) Reaplicar o ACV considerando as oportunidades de pesquisas apontadas no subtópico 4.2.3;
- d) Realizar uma análise de sensibilidade a fim de analisar as incertezas envolvidas na ACV aplicada.



## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. B. S.; MALAFAIA, C. B. Perspectives on the production, structural characteristics and potential applications of bioplastics derived from polyhydroxyalkanoates. **Int. J. Biol. Macromol.**, v. 107, p. 615-625, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.026>
- AMAZON.COM. **Canudo comestível sabor espinafre**. Disponível em: <[https://www.amazon.com.br/CAN-U-DO-Canudo-Comest%C3%ADvel-Sabor-Espinafre/dp/B08JQQBVV1/ref=sr\\_1\\_1?keywords=canudo+comestivel&qid=1667312062&qu=eyJxc2MiOiIyLjQ5IiwicXNhIjoiMi4zMjIzMiIsInFzcCI6IjAuOTIifQ%3D%3D&srefix=canudo+come%2Caps%2C201&sr=8-1](https://www.amazon.com.br/CAN-U-DO-Canudo-Comest%C3%ADvel-Sabor-Espinafre/dp/B08JQQBVV1/ref=sr_1_1?keywords=canudo+comestivel&qid=1667312062&qu=eyJxc2MiOiIyLjQ5IiwicXNhIjoiMi4zMjIzMiIsInFzcCI6IjAuOTIifQ%3D%3D&srefix=canudo+come%2Caps%2C201&sr=8-1)>. Acesso em 01 de novembro de 2022.
- ANJUM, A.; ZUBER, M.; ZIA, K. M.; NOREEN, A.; ANJUM, M. N.; TABASUM, S. Microbial production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) and its copolymers: a review of recent advancements. **Int J Biol Macromol**, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BARES E RESTAURANTES – ABRASEL. **Proibição dos canudos de plástico**: veja quais as opções o mercado oferece atualmente. 2019. Disponível em: <<https://sp.abrasel.com.br/noticias/proibicao-dos-canudos-de-plastico-veja-quais-as-opcoes-o-mercado-oferece-atualmente/>>. Acesso em 30 de outubro de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14040: 2009**. Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, Rio de Janeiro, 2009a.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14044: 2009**. Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e Orientações, Rio de Janeiro, 2009b.
- BERGER, F.; GAUVIN, F.; BROUWERS, H. J. H. The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite. **Construction and Building Materials**, v. 260, nov. 2020, 119786. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119786>
- BESSERER, A.; TROILO, S.; GIRODS, P.; ROGAUME, Y.; BROSSE, N. Cascading Recycling of Wood Waste: A Review. **Polymers**, v. 13, n. 11, 1752, 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13111752>
- BLANCA-ALCUBILLA, G.; BALA, A.; CASTRO, N.; COLOMÉ, R.; FULLANA-I-PALMER, P. Is the reusable tableware the best option? Analysis of the aviation catering sector with a life cycle approach. **Science of The Total Environment**, v. 708, 135121, mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135121>
- BORG, K.; LENNOX, A.; KAUFMAN, S.; TULL, F.; PRIME, R.; ROGERS, L.; DUNSTAN, E. Curbing plastic consumption: A review of single-use plastic behaviour change interventions. **Journal of Cleaner Production**, v. 344, 131077, abr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131077>

BRASIL. Ministério da Saúde e Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Critérios gerais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos**. Resolução De Diretoria Colegiada - RDC Nº 91, de 11 de maio de 2001.

BRAVO, C. V. G.; RUIZ, X. A. V.; NAKAYO, J. J.; MENDÍVIL, V. T.; OLIVERA C. C.; BENITES-ALFARO, E. Biomes of *Mangifera indica* and *Vitis vinifera* for the Production of Biodegradable Sorbets. **Chemical Engineering Transactions**, v. 92, p. 523-528, 2022. <https://doi.org/10.3303/CET2292088>

BRITSCHGI, C. **Starbucks Bans Plastic Straws, Winds Up Using More Plastic**. 2018. In: Reason: free minds and free markets. Disponível em: <<https://reason.com/2018/07/12/starbucks-straw-ban-will-see-the-company/>>. Acesso em 27 de novembro de 2022.

CASTRO, T. R.; MACEDO, D. C.; CHIROLI, D. M. G.; SILVA, R. C.; TEBCHERANI, S. M. The Potential of Cleaner Fermentation Processes for Bioplastic Production: A Narrative Review of Polyhydroxyalkanoates (PHA) and Polylactic Acid (PLA). **Journal of Polymers and the Environment**, v.30, p. 810–832, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02241-z>

CHANG, L.; TAN, J. An integrated sustainability assessment of drinking straws. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, 105527, ago. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105527>

CHEHEBE, José Ribamar. **Análise do Ciclo de Vida dos Produtos**: Ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CHEN, C.; WU, Q.; WAN, Z.; YANG, Q.; XU, Z.; LI, D.; JIN, Y.; ROJAS, O. J. Mildly processed chitin used in one-component drinking straws and single use materials: Strength, biodegradability and recyclability. **Chemical Engineering Journal**, v. 442, 136173, ago. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136173>

COELHO, F. C. **Avaliação do Ciclo de Vida comparativa entre canudos de papel e de polipropileno utilizando a abordagem do berço ao portão da fábrica**. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11422/12338>>. Acesso em 26 de dezembro de 2022.

DI, J.; RECK, B. K.; MIATTO, A.; GRAEDEL, T. E. United States plastics: Large flows, short lifetimes, and negligible recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, 105440, abr. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105440>

DONG, T.; CHEN, W.; CAI, C.; BAI, F.; ZHOU, Z.; WANG, J.; LI, X. Water-stable, strong, biodegradable lignocellulose straws replacement for plastic straws. **Chemical Engineering Journal**, v. 451, 138970, jan. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138970>

ĐERČAN, B.; LUKIĆ, T.; MILKABUBALO-ŽIVKOVIĆ, M. B.; ĐURĐEV, B.; STOJSAVLJEVIĆ, R.; PANTELIĆ, M. Possibility of efficient utilization of wood waste as a renewable energy resource in Serbia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1516-1527, abr. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.10.017>

ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: the triple bottom line of 21st-century business. **Environ. Qual. Manag.**, 2007. <https://doi.org/10.1002/tqem.3310080106>

ETHIC. **Sorbos a favor del mar**. 2022. Disponível em: < <https://ethic.es/2019/03/un-sorbo-mar/> >. Acesso em 26 de novembro de 2022.

FAN, W.; ZHAO, J.; ZONG, H.; LI, Q. No AccessEffect of chitosan concentration on physicochemical properties of starch-based straws. **Green Materials**, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.1680/jgrma.22.00021>

FARACA, G.; BOLDRIN, A.; ASTRUP, T. Resource Quality of wood Waste: The Importance of Physical and Chemical Impurities in wood Waste for Recycling. **Waste Management**, v. 87, p. 135–147, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.005>

FU, L.; FANG, Z.; CHEN, H.; DENG, W.; SUN, C.; ZHAI, Y.; XU, G.; ZHANG, X.; WEN, Y. Production of lignocellulose nanofibril (LCNF) from high yield pulps by hydrated deep eutectic solvents (DES) pretreatment for fabricating biobased straw. **Industrial Crops and Products**, v. 188, Part B, 115738, nov. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115738>

GADE, R.; TULASI, M. S.; BHAI, V. A.; 2013. Seaweeds: A Novel Biomaterial. nt. **J. Pharm. Pharm. Sci.**, v. 5, n. 2, p. 40-44, 2013. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

GAO, A. L.; WAN, Y. Life cycle assessment of environmental impact of disposable drinking straws: A trade-off analysis with marine litter in the United States. **Science of The Total Environment**, v. 817, 153016,2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153016>

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, 2017. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

GIBIER, M.; SADEGHISADEGHABAD, M.; GIRODS, P.; ZOULALIAN, A.; ROGAUME, Y. Furniture wood waste depollution through hydrolysis under pressurized water steam: Experimental work and kinetic modelization. **Journal of Hazardous Materials**, v. 436, 129126, ago. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129126>

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. **The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment**: Methodology Report. 3. ed. PRé Consultants, 2001.

GUPTA, V. K.; NANDAN, A.; MANDAL, P. Life cycle assessment of the naphtha production from crude oil. **Research J. Engineering and Tech.**, v. 6, n. 4, p. 450-456, 2015. <https://doi.org/10.5958/2321-581X.2015.00070.7>

GUTIERREZ, J. N.; ROYALS, A. W.; JAMEEL, H.; VENDITTI, R. A.; PAL, L. Evaluation of paper straws versus plastic straws: development of a methodology for testing and understanding challenges for paper straws. **BioResources**, v. 14, p. 8345-8363, 2019 <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.8345-8363>

HAN, Z.; ZHU, H.; CHENG, J. Structure modification and property improvement of plant cellulose: Based on emerging and sustainable nonthermal processing Technologies. **Food Research International**, v. 156, 111300, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111300>

HARDING, K. G.; DENNIS, J. S.; VON BLOTTNITZ, H.; HARRISON, S. T. L. Environmental analysis of plastic production processes: comparing petroleum-based polypropylene and polyethylene with biologically-based poly- $\beta$ -hydroxybutyric acid using life cycle analysis. **J Biotechnol.**, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2007>.

HAVALINA. **Pengertian dan Apa Saja Kekurangan Serta Kelebihan Loliware Straw (Sedotan dari Rumput Laut)**. 2021. Disponível em: <[https://havalina.co.id/artikel/post/pengertian-dan-apa-saja-kekurangan-serta-kelebihan-loliware-straw-sedotan-dari-rumput-laut\\_24.html?page\\_type=post](https://havalina.co.id/artikel/post/pengertian-dan-apa-saja-kekurangan-serta-kelebihan-loliware-straw-sedotan-dari-rumput-laut_24.html?page_type=post)>. Acesso em 26 de novembro de 2022.

HAY STRAWS. 2022a. Disponível em: <<https://www.haystraws.com/>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

\_\_\_\_\_. 2022b. Disponível em: <<https://www.haystraws.com/collections/original-hay-straws-compostable-drinking-straws/products/50-pack-natural-drinking-straws>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

\_\_\_\_\_. **Straw Ingredients + Certifications**. 2022c. Disponível em: <<https://www.haystraws.com/pages/straw-ingredients-certifications>>. Acesso em 26 de novembro de 2022.

HE, Z.; HAN, X.; ZHANG, Y.; SHI, J.; GENCEL, O. Development of a new magnesium oxychloride cement board by recycling of waste wood, rice husk ash and flue gas desulfurization gypsum. **Journal of Building Engineering**, v. 61, 105206, dez. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105206>

HERBERZ, T.; BARLOW, C.; FINKBEINER, M. Sustainability assessment of a single-use plastics ban. **Sustainability**, v. 12, n. 9, 3746, 2020 <https://doi.org/10.3390/su12093746>

HOUCK, B. **Why the World Is Hating on Plastic Straws Right Now**. 2018. In: Eater. Disponível em: <<https://www.eater.com/2018/7/12/17555880/plastic-straws-environment-pollution-banned-alternatives-ocean-sea-turtle-viral-video>>. Acesso em 31 de outubro de 2022.

HURON, M.; OUKALA, S.; LARDIÈRE, J.; GIRAUD, N.; AND DUPONT, C. An Extensive Characterization of Various Treated Waste wood for Assessment of Suitability with Combustion Process. **Fuel**, v. 202, p. 118–128, 2017. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.04.025>

INCE, C.; TAYANÇLI, S.; DEROGAR, S. Recycling waste wood in cement mortars towards the regeneration of sustainable environment. **Construction and Building Materials**, v. 299, 123891, set. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123891>

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Cenários Ibá**. 2022. Disponível em: <[https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/cenarios/70cenarios\\_2.pdf](https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/cenarios/70cenarios_2.pdf)>. Acesso em 02 de novembro de 2022.

INTERNATIONAL COASTAL CLEANUP. **International Coastal Cleanup 2017 Report**. Ocean Conservancy, 2017. Disponível em: <<https://oceanconservancy.org/wp->

content/uploads/2017/06/International-Coastal-Cleanup\_2017-Report.pdf>. Acesso em 27 de novembro de 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISSO - **ISO 14040**: Environmental management - life cycle assessment - principles and framework, Geneva, 2006a.

\_\_\_\_\_. **ISO 14044**: Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines, Geneva, 2006b.

INTERNATIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM - ILCDC.

**Handbook**: Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment. 2010. Disponível em: <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysisonline-12March2010.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ISLER-KAYA, A.; KARAOSMANOGLU, F. Life cycle assessment of safflower and sugar beet molasses-based biofuels. **Renewable Energy**, v. 201, p. 1127-1138, December 2022.

JAKOB, M.; MAHENDRAN, A. R.; GINDL-ALTMUTHER, W.; BLIEM, P.; KONNERTH, J.; MÜLLER, U.; VEIGEL, S. The strength and stiffness of oriented wood and cellulose-fibre materials: A review. **Progress in Materials Science**, v. 125, 100916, abr. 2022.

JANASWAMY, S.; YADAV, M. P.; HOQUE, M.; BHATTARAI, S.; AHMED, S. Cellulosic fraction from agricultural biomass as a viable alternative for plastics and plastic products.

**Industrial Crops and Products**, v. 179, 114692, mai 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114692>

JENKS, A. B.; OBRINGER, K. M. The poverty of plastics bans: Environmentalism's win is a loss for disabled people. **Critical Social Policy**, v. 40, n. 1, p. 151–161, 2019.

<https://doi.org/10.1177/0261018319868362>

JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION – EC-JRC. **Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment – background document**. ILCDC Handbook – International Reference Life Cycle Data System, European Union, 2010.

JRC. **Institute for Environmental and Sustainability (ILCD)**. Handbook. Publications Office of the European Union: Luxemburgo, 2010.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN F. **What a waste 2.0**: a global snapshot of solid waste management to 2050. Urban development. World Bank, Washington, DC, 2018.

KRUEGER, M. C.; HARMS, H.; SCHLOSSER, D. Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics. **Appl Microbiol Biotechnol.**, 2015.

<https://doi.org/10.1007/s00253-015-6879-4>

KÜHN, S.; FRANEKER, J. A.; O'DONOGHUE, A. M.; SWIERS, A.; STARKENBURG, M.; WERVEN, B.; FOEKEMA, E.; HERMSEN, E.; EGELKRAUT-HOLTUS, M.; LINDEBOOM, H. Details of plastic ingestion and fibre contamination in North Sea fishes. *Environ Pollut.*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113569>

LUCAS, N.; BIENAIME, C.; BELLOY, C.; QUENEUDEC, M.; SILVESTRE, F.; NAVA; SAUCEDO, J-E. Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques—a review. *Chemosphere*, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.064>

KUMMU, M.; GUILLAUME, J. H. A.; MOEL, H.; EISNER, S.; FLORKE, M.; PORKKA, M.; SIEBERT, S.; VELDKAMP, T. I. E.; WARD, P. J. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Scientific Reports*, v. 6, 38495, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep38495>

LENS.ORG. **Patent Analysis.** 2023. Disponível em: <[https://www.lens.org/lens/search/patent/list?q=%E2%80%9Cdrinking%20straw%E2%80%9D%20AND%20\(sustainable%20OR%20sustainability%20OR%20biodegradable%20OR%20ecofriendly%20OR%20ecoinnovation%20OR%20environmental\)&n=10&preview=true](https://www.lens.org/lens/search/patent/list?q=%E2%80%9Cdrinking%20straw%E2%80%9D%20AND%20(sustainable%20OR%20sustainability%20OR%20biodegradable%20OR%20ecofriendly%20OR%20ecoinnovation%20OR%20environmental)&n=10&preview=true)>. Acesso em 19 de junho de 2023.

LI, Y.; VASILEVA, E.; SYCHUGOV, I.; POPOV, S.; BERGLUND, L. Optically Transparent Wood: Recent Progress, Opportunities, and Challenges. *Advanced Optical Materials*, v. 6, n. 14, 1800059, 2018. <https://doi.org/10.1002/adom.201800059>

LIMA, M. D. R.; PATRÍCIO, E. P. S.; BARROS JÚNIOR, U. O.; ASSIS, M. R.; XAVIER, C. N.; BUFALINO, L.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G.; PROTÁSIO, T. P. Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. *Biomass and Bioenergy*, v. 140, 105660, set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105660>

LIMA, M. D. R.; RAMALHO, F. M. G.; TRUGILHO, P. F.; BUFALINO, L.; DIAS JÚNIOR, A. F.; PROTÁSIO, T. P.; HEIN, P. R. G. Classifying waste wood from Amazonian species by near-infrared spectroscopy (NIRS) to improve charcoal production. *Renewable Energy*, v. 193, p. 584-594, jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.048>

LITHNER, D.; LARSSON, Å.; DAVE, G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Sci Total Environ.*, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.038>

LIU, J.; WANG, C.; EWULONU, C. M.; CHEN, X.; WU, M.; HUANG, Y. Fabrication of superhydrophobic and degradable cellulose paper materials for straw application. *Cellulose*, v. 29, p. 527–540, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04279-7>

LOLIWARE. **Straw.** 2022. Disponível em: <<https://www.loliware.com/straw>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

MACHADO, A. B. S.; KLOAS, W.; ZARF, C.; HEMPEL, S.; RILLIG, M. C. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Glob Change Biol.*, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>

MADEHOW. **Straw**. s. d. Disponível em: <<http://www.madehow.com/Volume-4/Drinking-Straw.html>>. Acesso em 03 de janeiro de 2023.

MAILES NETO, A.; GOMES, T. S.; PERTEL, M.; VIEIRA, L. A. V. P.; PACHECO, E. B. A. V. An overview of plastic straw policies in the Americas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 172, 112813, nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112813>

MANCINI, M.; RINNAN, A. Study of Variability of Waste Wood Samples Collected in a Panel Board Industry. **Front. Chem.**, jul. 2021. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.722090>

MARINE CONSERVATION SOCIETY. **Great British Beach Clean**. 2017. Disponível em: <<https://www.mcsuk.org/what-you-can-do/join-a-beach-clean/great-british-beach-clean/>>. Acesso em 27 de novembro de 2022.

MEILI, C.; JUNGBLUTH, N.; ANNAHEIM, J. **Life cycle inventories of crude oil extraction**. ESU-services Ltd., 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Niels-Jungbluth/publication/328901252\\_Life\\_cycle\\_inventories\\_of\\_crude\\_oil\\_extraction/links/5bea79454585150b2bb25227/Life-cycle-inventories-of-crude-oil-extraction.pdf?origin=publicationDetail&\\_sg%5B0%5D=49IstBm405qXmap0H0YQGhKOQyIsONEgyFVcfTHVjoA5JH-k89ckBMRXY3x\\_1YOpXTOFf9rJFPN-P1-PIN04SQ.7NQpgnjiDomMiDenUwDDJnmTuh-piuXUjghlLmtikYMYDNLPHQEXKIZZ19hQ6Gat5lfBOw-fUkbeAqVmvV7kRg&\\_sg%5B1%5D=Ohk3bPifip-T9aTFTrxfJ1BKcOkLZ\\_eYqu0WxRN3qIQhidCjcJlo\\_ZjA4YSyzdoWRvfuvo\\_kn0l5FLq4BOi iTVi2FsKkHZbaGs6MtQsDy4MZ.7NQpgnjiDomMiDenUwDDJnmTuh-piuXUjghlLmtikYMYDNLPHQEXKIZZ19hQ6Gat5lfBOw-fUkbeAqVmvV7kRg&\\_iepl=&\\_rtd=eyJjb250ZW50SW50ZW50IjoibWFpbkl0ZW0ifQ%3D%3D](https://www.researchgate.net/profile/Niels-Jungbluth/publication/328901252_Life_cycle_inventories_of_crude_oil_extraction/links/5bea79454585150b2bb25227/Life-cycle-inventories-of-crude-oil-extraction.pdf?origin=publicationDetail&_sg%5B0%5D=49IstBm405qXmap0H0YQGhKOQyIsONEgyFVcfTHVjoA5JH-k89ckBMRXY3x_1YOpXTOFf9rJFPN-P1-PIN04SQ.7NQpgnjiDomMiDenUwDDJnmTuh-piuXUjghlLmtikYMYDNLPHQEXKIZZ19hQ6Gat5lfBOw-fUkbeAqVmvV7kRg&_sg%5B1%5D=Ohk3bPifip-T9aTFTrxfJ1BKcOkLZ_eYqu0WxRN3qIQhidCjcJlo_ZjA4YSyzdoWRvfuvo_kn0l5FLq4BOi iTVi2FsKkHZbaGs6MtQsDy4MZ.7NQpgnjiDomMiDenUwDDJnmTuh-piuXUjghlLmtikYMYDNLPHQEXKIZZ19hQ6Gat5lfBOw-fUkbeAqVmvV7kRg&_iepl=&_rtd=eyJjb250ZW50SW50ZW50IjoibWFpbkl0ZW0ifQ%3D%3D)>. Acesso em 26 de dezembro de 2022.

MEIRA, A. M.; NOLASCO, A. M.; KLINGERBERG, D.; SOUZA, E. C.; DIAS JÚNIOR, A. F. Insights into the reuse of urban forestry wood waste for charcoal production. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, p. 2777–2787, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02181-1>

MEITE, N.; KONAN, L. K.; TOGNONVI, M. T.; DOUBI, B.; GOMINA, M.; OYETOLA, S. Properties of hydric and biodegradability of cassava starch-based bioplastics reinforced with thermally modified kaolin. **Carbohydr. Polym.**, v. 254, 117322, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117322>

MILLER, K. B. **Modelo Parametrizado de ACV: Aplicação em Sistemas construtivos com Estudo de caso em Vedações Verticais**. 2015. 273f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT. **Eco-indicator 99: Manual for designers**, 2000. Disponível em: <[https://pre-sustainability.com/legacy/download/EI99\\_Manual.pdf](https://pre-sustainability.com/legacy/download/EI99_Manual.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2023.

MONTANARI, C.; OGAWA, Y.; OLSEN, P.; BERGLUND, L. A. High Performance, Fully Bio-Based, and Optically Transparent Wood Biocomposites. *Adv Sci (Weinh)*, v. 8, n. 12, 2100559, 2021. <https://doi.org/10.1002/advs.202100559>

MORES, G. V.; FINOCCHIO, C. P. S.; BARICHELLO, R.; PEDROZO, E. A. Sustainability and innovation in the Brazilian supply chain of green plastic. *J Clean Prod.*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.138>

MUNDT, D.; CARLE, S.; HARHOFF, N. A Field Experiment on Reducing Drinking Straw Consumption by Default. *Front. Psychol.*, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.56553>

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em 25 de novembro de 2022.

NBC NEWS. **Disney becomes latest major company to ban plastic straws**. 2018. Disponível em: <<https://www.nbcnews.com/science/environment/disney-becomes-latest-major-company-ban-plastic%20-straws-n895041>>. Acesso em 30 de outubro de 2022.

NGUYEN, X. C.; DAO, D. C.; NGUYEN, T. T.; TRAN, Q. B.; NGUYEN, T. T. H.; TUAN, T. A.; NGUYEN, K. L. P.; NGUYEN, V. T.; NADDA, A. K.; THANH-NHO, N.; CHUNGI, W. J.; CHANG, S. W.; NGUYEN, D. D. Generation patterns and consumer behavior of single-use plastic towards plastic-free university campuses. *Chemosphere*, v. 291, 133059, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133059>

ÔNG HÚT CỎ. **Grass straws**. 2022. Disponível em: <<https://www.onghutco.com/>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

ORTENBLAD, A. **A FLONA de Carajás**. 2020. In: Alta Montanha. Disponível em: <<https://altamontanha.com/a-flona-de-carajas/>>. Acesso em 27 de novembro de 2022.

PACHAPUR, V. L.; BRAR, S. K.; BIHAN, Y. L. Integrated wood biorefinery: Improvements and tailor-made two-step strategies on hydrolysis techniques. *Bioresource Technology*, v. 299, 122632, mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122632>

PAHL, Gerhard. **Projeto na Engenharia**. Editora Blucher: São Paulo, 2005. E-book. ISBN 9788521215516. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215516/>>. Acesso em 25 de novembro de 2022.

PHILP, J. C.; BARTSEV, A.; RITCHIE, R. J.; BAUCHER, M.-A.; GUY, K. Bioplastics science from a policy vantage point. *New Biotechnol.* v. 30, n. 6, 635-646, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2012.11.021>

PRODUCTIVE PLASTICSINC. **Metal vs. Plástico: 5 principais comparações**. 2017. Disponível em: <<https://www.productiveplastics.com/2017/04/13/metal-vs-plastic-5-key-comparisons/>>. Acesso em 30 de outubro de 2022.

QIN, L.; LIU, Z.; LIU, T.; LIU, S.; ZHANG, J.; WU, J.; LIANG, X. A bioinspired, strong, all-natural, superhydrophobic cellulose-based straw. *International Journal of Biological*



**Macromolecules**, v. 220, p. 910-919, nov. 2022.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.118>

ROCHMAN, B. **Straws are out, lids are in**: Starbucks announces environmental milestone. 2018. In: Starbucks Stories & News. Disponível em: <<https://stories.starbucks.com/stories/2018/starbucks-announces-environmental-milestone/>>. Acesso em 30 de outubro de 2022.

ROHMAH, D. U. M.; WINDARWATI, S.; LUKETSI, W. P. Pengaruh Penambahan Karagenan Dan Sorbitol Pada Kuat Tarik Edible Straw Dari Nanas Subgrade. **Agroindustrial Technology Journal**, v. 3, n. 2, p. 70 – 77, 2019. <http://dx.doi.org/10.21111/atj.v3i2.3807>

ROY, P.; ASHTON, L.; WANG, T.; CORRADINI, M. G.; FRASER, E. D. G.; THIMMANAGARI, M.; TIESSAN, M.; BALI, A.; SAHARAN, K. M.; MOHANTY, A. K.; MISRA, M. Evolution of drinking straws and their environmental, economic and societal implications. **Journal of Cleaner Production**, v. 316, 128234, set. 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128234>

RUGGERO, F.; GORI, R.; LUBELLO, C. Methodologies to assess biodegradation of bioplastics during aerobic composting and anaerobic digestion: a review. **Waste Manag Res.**, 2019. <https://doi.org/10.1177/0734242X19854127>

RUSKO, J.; PERKONS, I.; RASINGER, J. D.; BARTKEVICS, V. Non-target and suspected-target screening for potentially hazardous chemicals in food contact materials: investigation of paper straws. **Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment**, v. 37, n. 4, 2, abr. 2020.  
<https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1711969>

SAKTHIVELMURUGAN, E.; SENTHILKUMAR G.; KARTHICK, K. N. Analysis of the impact of circular economy over linear economy in the paper processing industry. **Materials Today: Proceedings**, v. 66, p. 1446–1452, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.449>

SHAHIDUL, M. I.; MALCOLM M. L.; HASHMI, M. S. J.; ALHAJI, M. H. Waste Resources Recycling in Achieving Economic and Environmental Sustainability: Review on Wood Waste Industry. **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials**, v. 1, p. 965-974, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11275-5>

SCHNURR, R. E. J.; ALBOIU, V.; CHAUDHARY, M.; CORBETT, R. A.; QUANZ, M. E.; SANKAR, K.; SRIN, H. S.; THAVARAJAH, V.; XANTHOS, D.; WALKER, E. R. Reducing marine pollution from single-use plastics (SUPs): A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 137, p. 157-171, dez. 2018 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.001>

SHEN, M.; HUANG, W.; CHEN, M.; SING, B.; ZENG, G.; ZHANG, Y. (Micro)plastic crisis: un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. **J Clean Prod.**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120138>

SORBOS. **The original Sorbos**. 2022a. Disponível em: <<https://wearesorbos.com/>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

\_\_\_\_\_. **Tienda**. 2022b. Disponível em: <<https://wearesorbos.com/>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

\_\_\_\_\_. **Encuétranos**. 2022c. Disponível em: <<https://wearesorbos.com/>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

SOUZA, T. D.; GHISI, E. Harvesting rainwater from scaffolding platforms and walls to reduce potable water consumption at buildings construction sites. **J. Clean. Prod.**, v. 258, 120909, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120909>

STRADIOTO NETO, L. A. S.; SOUZA, N. L. S.; ROSSATO, I. F.; HENKES, J. A.; KEINE, S. Avaliação dos Métodos para Aplicação da Análise do Inventário do Ciclo de Vida na Indústria Moveleira. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 126-152, out/dez. 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e42020126-152>

SUN, C. Z.; WANG, Z. G.; CHEN, L. Y.; LI, F. G. Fabrication of robust and compressive chitin and graphene oxide sponges for removal of microplastics with different functional groups. **Chem. Eng. J.**, v. 393, 124796, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124796>

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 1-11, mai. 2022. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)

TANG, Z.; ZHANG, L.; HUANG, Q.; YANG, Y.; NIE, Z.; CHENG, J.; YANG, J.; WANG, Y.; CHAI, M. Contamination and risk of heavy metals in soils and sediments from a typical plastic waste recycling area in North China. **Ecotoxicol Environ Saf.**, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.08.006>

TARRANT, H. **The Plastic Straw Dilemma is not what it seems**. 2018. In: Medium. Disponível em: <<https://medium.com/@creativeharm/the-plastic-straw-dilemma-4338c76269c0>>. Acesso em 27 de novembro de 2022.

THE LEATHERBACK TRUST. **Removing a plastic straw from a sea turtle's nostril - Short Version**. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=d2J2qdOrW44>>. Acesso em 30 de outubro de 2022.

TOKLIMP. **Canudo água**. Disponível em: <[https://www.toklimp.com/produtos/canudo-agua-5x250mm-s-sache-branco-c-listra-c-200-unid/?pf=gs&gclid=CjwKCAjwh4ObBhAzEiwAHzZYU8GM5OvWSaGh\\_GSKA\\_jKc9bIaR6Es7pVTAIEhc294H2-3vTzHz4n3xoCfngQAvD\\_BwE](https://www.toklimp.com/produtos/canudo-agua-5x250mm-s-sache-branco-c-listra-c-200-unid/?pf=gs&gclid=CjwKCAjwh4ObBhAzEiwAHzZYU8GM5OvWSaGh_GSKA_jKc9bIaR6Es7pVTAIEhc294H2-3vTzHz4n3xoCfngQAvD_BwE)>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

THOMPSON, D. **The Amazing History and the Strange Invention of the Bendy Straw**. In: The Atlantic. 2011. Disponível em: <<https://www.theatlantic.com/business/archive/2011/11/the-amazing-history-and-the-strange-invention-of-the-bendy-straw/248923>>. Acesso em 31 de outubro de 2022.

UNEP. **Annual Report 2021**. 2021. Disponível em: <[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37946/UNEP\\_AR2021.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37946/UNEP_AR2021.pdf)>. Acesso em 26 de outubro de 2022.

UNIVERSITY GENERAL DENTISTS. **The Truth About Drinking Straws: Are They Really Better for Your Teeth?** Jun 16, 2021. Cosmetic Dentistry, Oral Health, Patient Safety and Wellness. Disponível em: <<https://utknoxvilledentists.com/are-drinking-straws-better-for-your-teeth/>>. Acesso em 16 de julho de 2023.

VIERA, J. S.; MARQUES, M. R.; NAZARETH, M. C.; JIMENEZ, P. C.; CASTRO, Í. B. On replacing single-use plastic with so-called biodegradable ones: The case with straws. **Environmental Science & Policy**, v. 106, p. 177–181, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.007>

VITORIO NETO, P. C. **Avaliação de Projetos para Habitação de Interesse Social com Foco na Sustentabilidade**. 2020. 88f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2020.

WAN, Y.; WU C.; XUE Q.; HUI, X. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. **Sci. Total Environ.**, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.123>

WANG, X.; PANG, Z.; CHEN, C.; XIA, Q.; ZHOU, Y.; JING, S.; WANG, R.; RAY, U.; GAN, W.; LI, C.; CHEN, G.; FOSTER, B.; LI, T.; HU, L. All-Natural, Degradable, Rolled-Up Straws Based on Cellulose Micro- and Nano-Hybrid Fibers. **Advanced Functional Materials**, v. 30, n. 22, 2020. <https://doi.org/10.1002/adfm.201910417>

WANG, X.; XIA, Q.; JING, S.; LI, C.; CHEN, Q.; CHEN, B.; PANG, Z.; JIANG, B.; GAN, W.; CHEN, G.; CUI, M.; HU, L.; LI, T. Strong, Hydrostable, and Degradable Straws Based on Cellulose-Lignin Reinforced Composites. **Nano micro small**, v. 17, 2021. <https://doi.org/10.1002/sml.202008011>

WARING, R. H.; HARRIS, R. M.; MITCHELL, S. C. Plastic contamination of the food chain: a threat to human health? **Maturitas.**, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.06.010>

WEI, X.; TANG, J.; TAO, H.; GAO, W.; GUO, L.; CUI, B.; LIU, P.; LU, L.; WU, Z.; FANG, Y.; ZHAO, M.; YANG, N.; HUANG, Q. Correlation between interfacial adhesion and functional properties of corn stalk cellulose-reinforced corn starch-based biodegradable straws. **Industrial Crops and Products**, v. 189, 115881, dez. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115881>

WISE FOOD. **Trinkhalme**. 2022a. Disponível em: <<https://www.wisefood.eu/collections/trinkhalme>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

\_\_\_\_\_. **Reistrinkhalme**. 2022b. Disponível em: <[https://www.wisefood.eu/products/reistrinkhalme-bunt?\\_pos=6&\\_sid=767c5bf8a&\\_ss=r](https://www.wisefood.eu/products/reistrinkhalme-bunt?_pos=6&_sid=767c5bf8a&_ss=r)>. Acesso em 26 de novembro de 2022.

WONG, T. H. F.; ROGERS, B. C.; BROWN, R. R. Transforming Cities through Water-Sensitive Principles and Practices. **One Earth**, v. 3, n. 4, 436-447, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.012>

YANG, H. B.; LIU, Z.; YIN, C.; HAN, Z.; GUAN, Q.; ZHAO, Y. X.; LING, Z.; LIU, H. C.; YANG, K.; SUN, W. B.; YU, S. Edible, Ultrastrong, and Microplastic-Free Bacterial Cellulose-Based Straws by Biosynthesis. **Adv. Funct. Mater.**, v. 32, n. 15, 2111713, 2021. <https://doi.org/10.1002/adfm.202111713>

YAVAGAL, P. S.; KULKARNIA, P. A.; PATIL, N. M.; SALIMATH, N. S.; PATIL, A. Y.; SAVADI, R. S.; KOTTURSHETTAR, B. B. Cleaner production of edible straw as replacement for thermoset plastic. **Materials Today**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.667>

YI, T.; ZHAO, Q.; MO, D. L.; PAN, Y.; LIU, L. J. HUANG, XU, H.; HU, B.; SONG, H. From cellulose to cellulose nanofibrils-a comprehensive review of the preparation and modification of cellulose nanofibrils. **Materials**, v. 13, n. 22, p. 5062, 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13225062>

YUSUP, M. Z.; MAHMOOD, W. H. W.; SALLEH, M. R.; RAHMAN, M. N. The implementation of cleaner production practices from Malaysian manufacturers' perspectives. **J Clean Prod.**, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.102>

ZECHENDORF, B. Sustainable development: how can biotechnology contribute? **Trends Biotechnol.**, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(98\)01297-9](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(98)01297-9)

ZANGHELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; DIAS, R.; KABE, Y. H. O.; DELGADO, J. J. S. Comparative life cycle assessment of drinking straws in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, 123070, dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123070>

ZAREMBA, J. **Em um ano, canudos de plástico são proibidos em 8 estados e no DF**. In: Folha de São Paulo. 2020. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/01/em-um-ano-canudos-de-plastico-sao-proibidos-em-8-estados-e-no-df.shtml>>. Acesso em 30 de outubro de 2020.

ZECEVIC, M.; LEBENSOHNA, R. A.; ROGERS, M.; MOORE, J.; CHIRAVALLE, V.; LIEBERMANA, E.; DUNNINGA, D.; SHIPMANA, G.; KNEZEVIC, M.; MORGAN, N. Viscoplastic self-consistent formulation as generalized material model for solid mechanics applications. **Applications in Engineering Science**, v. 6, 100040, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2021.100040>

ZHOU, J; CHANG, V. W.-C.; FANE, A. G. Environmental life cycle assessment of reverse osmosis desalination: The influence of different life cycle impact assessment methods on the characterization results. **Desalination**, v. 283, n.1, P. 227-236, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.066>