

**UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE – UNIPLAC
UNIVERSIDADE DO CONTESTADO – UNC
UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS PRODUTIVOS - PPGSP**

MATEUS ALEXANDRE FLORIANO

**ALTERNATIVAS PARA VALORIZAÇÃO DAS APARAS DE MADEIRA
PROVENIENTES DA PRODUÇÃO DE PORTAS**

LAGES/SC

2023

MATEUS ALEXANDRE FLORIANO

**ALTERNATIVAS PARA VALORIZAÇÃO DAS APARAS DE MADEIRA
PROVENIENTES DA PRODUÇÃO DE PORTAS**

Dissertação de Mestrado, vinculada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre(a) em Sistemas Produtivos.

Orientador(a): Prof Dr. Vilson Menegon Bristot

Coorientador(a): Profa Dra. Lenita Agostinetto

LAGES/SC

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha Catalográfica

F635a

Floriano, Mateus Alexandre

Alternativas para valorização das aparas de madeira provenientes da produção de portas / Mateus Alexandre Floriano ; orientador Prof. Dr. Vilson Menegon Bristot ; coorientadora Prof. Dra. Lenita Agostinetto. – 2023.
134 f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense ; Universidade do Contestado ; Universidade do Extremo Sul Catarinense ; Universidade da Região de Joinville. Lages, SC, 2023.

1. Resíduos sólidos industriais. 2. Critérios CPQvA. 3. Sistema produtivo. 4. Produção mais limpa. I. Bristot, Vilson Menegon (orientador). II. Agostinetto, Lenita (coorientadora). III. Universidade do Planalto Catarinense. IV. Universidade do Contestado. V. Universidade do Extremo Sul Catarinense VI. Universidade da Região de Joinville. VII. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos. VIII. Título.

CDD 658.5

FOLHA DE APROVAÇÃO
MATEUS ALEXANDRE FLORIANO

ALTERNATIVAS PARA VALORIZAÇÃO DAS APARAS DE MADEIRA
PROVENIENTES DA PRODUÇÃO DE PORTAS

A **Comissão Examinadora** aprova a **Dissertação** apresentada no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP, Linha de Pesquisa 2 – Sistemas Produtivos e Sustentabilidade, em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, a Universidade do Contestado – UNC, a Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e a Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Sistemas Produtivos**.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Vilson Menegon Bristot - UNESC
Presidente da Banca / Orientador

Profa. Dra. Lenita Agostinetta - UNIPLAC
Coorientadora

Prof. Dr. Dimas Ailton Rocha - UNIBAVE
Membro Titular Externo da banca

Profa. Dra. Mari Aurora Favero Reis - UNC
Membro Titular Interno da banca

Lages, SC, 08 de novembro de 2023.



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil

Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)

Certificado de assinatura gerado em 14/12/2023 às 16:09:34 (GMT -3:00)

FOLHA DE APROVAÇÃO Mateus Alexandre Floriano.docx

🔒 ID única do documento: #1f8e7dcf-487f-415e-923f-005c82daa6a1

Hash do documento original (SHA256): 01b8bd27bd22dc7f2ede8081289b26ec51c711a1d56db0fb5e62b60d09e594aa

Este Log é exclusivo ao documento número #1f8e7dcf-487f-415e-923f-005c82daa6a1 e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

Assinaturas (4)

- ✓ **Dimas Ailton Rocha (Participante)**
Assinou em 14/12/2023 às 16:31:43 (GMT -3:00)
- ✓ **Mari Aurora Favero Reis (Participante)**
Assinou em 14/12/2023 às 16:15:41 (GMT -3:00)
- ✓ **LENITA AGOSTINETO (Participante)**
Assinou em 14/12/2023 às 16:28:31 (GMT -3:00)
- ✓ **Vilson Menegon Bristot (Participante)**
Assinou em 14/12/2023 às 16:12:37 (GMT -3:00)

Histórico completo

Data e hora

14/12/2023 às 16:09:34
(GMT -3:00)

14/12/2023 às 16:28:31
(GMT -3:00)

Evento

Mateus Floriano solicitou as assinaturas.

LENITA AGOSTINETO (Autenticação: e-mail prof.leagostineto@uniplaclages.edu.br; IP: 200.135.4.11) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.



Data e hora

Evento

14/12/2023 às 16:15:41
(GMT -3:00)

Mari Aurora Favero Reis (Autenticação: e-mail mari@unc.br; IP: 200.135.40.1) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

14/12/2023 às 16:31:43
(GMT -3:00)

Dimas Ailton Rocha (Autenticação: e-mail dimasroc@gmail.com; IP: 169.150.220.163) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

14/12/2023 às 16:12:37
(GMT -3:00)

Vilson Menegon Bristot (Autenticação: e-mail vilson.bristot@unesc.net; IP: 200.135.35.1) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

AGRADECIMENTOS

Ao escrever estas palavras de gratidão, é impossível não refletir sobre a jornada que me trouxe até aqui. Nesta dissertação, não posso deixar de expressar minha profunda gratidão a todos que tornaram esta conquista possível.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, cuja orientação e bênçãos foram a luz que iluminou meu caminho durante todo este percurso acadêmico. A Sua graça e amor infinitos foram minha força e sustentáculo em momentos de desafio e dúvida.

À minha amada família, principalmente aos meus pais, sogro, sogra e esposa, expresso minha eterna gratidão. Seu apoio incondicional, amor e encorajamento foram a âncora que me manteve firme mesmo nos momentos mais turbulentos. Cada conquista minha é uma vitória de vocês, e por isso compartilho este sucesso com todo o meu coração.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à empresa que realizei meu estudo por sua colaboração e apoio durante a realização da minha dissertação. A disposição em compartilhar conhecimento e recursos foi inestimável para o sucesso deste estudo.

Ao meu orientador, Vilson Bristot Menegon e à minha coorientadora, Lenita Agostinnetto, dedico uma parte especial deste agradecimento. Sua orientação sábia, conselhos perspicazes e dedicação incansável foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação. Suas contribuições não apenas enriqueceram este trabalho, mas moldaram meu pensamento acadêmico de maneiras que não posso mensurar.

Além disso, sou profundamente grato às instituições de ensino que tornaram possível esta jornada acadêmica. À Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC), à Universidade do Contestado (UNC), à Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) e à Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), expresso minha gratidão pelo ambiente de aprendizado excepcional que proporcionaram e pelos recursos que me foram disponibilizados.

À Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, a Universidade do Contestado – UNC, a Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e a Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, que me oportunizaram a participação e aquisição de conhecimento no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Produtivos - PPGSP.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela contribuição e investimentos na formação de recursos de alto nível por meio da pesquisa científica e estímulo na consolidação da pós-graduação no País.

Finalmente, agradeço a todos os amigos, colegas e professores que, de várias formas, influenciaram e enriqueceram minha jornada acadêmica. Suas trocas intelectuais, debates e amizades foram fontes inestimáveis de inspiração.



RESUMO

Floriano, Mateus Alexandre. **Alternativas para valorização das aparas de madeira provenientes da produção de portas.** (2023), 134 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos). Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, da Universidade do Contestado – UNC, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Lages, (2023).

Contextualização: O aproveitamento de resíduos sólidos industriais é vital para mitigar impactos ambientais. Empresas estão adotando práticas inovadoras, transformando subprodutos em recursos valiosos. Essa abordagem sustentável não apenas reduz a poluição, mas promove a economia circular, impulsionando o desenvolvimento econômico e protegendo nosso precioso meio ambiente. **Objetivo** Avaliar as alternativas para valorização das aparas geradas durante os processos de fabricação de portas de madeira em uma indústria instalada na região sul catarinense. **Metodologia:** A pesquisa se concentra na valorização das aparas de madeira, este resíduo surge em uma empresa produtora de portas, no setor de corte de tábuas secas. Para determinar a melhor solução entre as escolhidas foi utilizado a sistemática CPQvA, que analisa o resíduo e as soluções no âmbito legal, produtivo, ambiental e comercial. **Resultados:** As soluções escolhidas para valorizar aparas de madeira são considerados fáceis para implementação. Segundo a análise feita pela sistemática CPQvA, a Porta *Primed* é a mais fácil, seguida por Briquetes, Painel EGP e Energia. **Considerações finais:** O estudo destaca a eficácia da sistemática CPQvA como ferramenta crucial para decisões empresariais sustentáveis, abordando aspectos ambientais, sociais e econômicos. Explora conhecimentos em valorização de resíduos, produção mais limpa e legislação ambiental, integrando técnicas do *lean manufacturing* na produção de portas e traz inovação ao utilizar uma metodologia pouco explorada, além de oferece dados para futuras pesquisas sobre sustentabilidade, valorização de resíduos e sistemas produtivos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos industriais, Critérios CPQvA, Sistema produtivo, Produção mais limpa.

ABSTRACT

Floriano, Mateus Alexandre. **Alternativas para valorização das aparas de madeira provenientes da produção de portas.** (2023), 134 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Produtivos). Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos – PPGSP em forma associativa entre a Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, da Universidade do Contestado – UNC, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Lages, (2023).

Context: The use of industrial solid waste is vital to mitigate environmental impacts. Companies are adopting innovative practices, transforming byproducts into valuable resources. This sustainable approach not only reduces pollution, but also promotes the circular economy, boosting economic development and protecting our precious environment. **Objective:** To evaluate alternatives for valuing the shavings generated during the manufacturing processes of wooden doors in an industry located in the southern region of Santa Catarina. **Methodology:** The research focuses on the valorization of wood chips, this waste appears in a company that produces doors, in the dry board cutting sector. To determine the best solution among those chosen, the CPQvA system was used, which analyzes waste and solutions in the legal, production, environmental and commercial spheres. **Results:** The solutions chosen to value wood chips are considered easy to implement. According to the analysis carried out by the CPQvA system, Porta Primed is the easiest, followed by Briquettes, EGP Panel and Energy. **Final Considerations:** The study highlights the effectiveness of the CPQvA system as a crucial tool for sustainable business decisions, addressing environmental, social and economic aspects. It explores knowledge in waste recovery, cleaner production and environmental legislation, integrating lean manufacturing techniques in the production of doors and brings innovation by using a little explored methodology, in addition to offering data for future research on sustainability, waste recovery and production systems.

Palavras-chave: Industrial solid waste, CPQvA criteria, Production system, Cleaner production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esferas de conhecimento relacionados à interdisciplinaridade	19
Figura 2 Contribuições do setor florestal	22
Figura 3 Principais exportadores e importadores mundiais de porta de madeira	23
Figura 4 Publicações por ano	27
Figura 5 Quantidades de artigos e documentos de conferência	28
Figura 6 Publicações por base de dados.....	29
Figura 7 Quantidade de autores por publicações.....	30
Figura 8 Quantidade de publicações por periódicos.....	31
Figura 9 Quantidade de publicações por periódicos.....	32
Figura 10 Tipos de resíduos e maneiras de reaproveitar.....	36
Figura 11 Critérios de exclusão adotados para a busca de artigos científicos para compor a revisão integrativa.....	37
Figura 12 Artigos classificados	39
Figura 13 Fluxograma de produção de portas de madeira maciça	55
Figura 14 Tripé da sustentabilidade.....	57
Figura 15 Fluxograma do sistema de Produção mais Limpa	59
Figura 16 Representação esquemática dos critérios sistemáticos para a valorização de resíduos, de forma abreviada – CPQvA.....	60
Figura 17 Representação circular para a sistemática de valorização de Resíduos Sólidos Industriais (RSI), critérios CPQvA.....	61
Figura 18 Modelo da Porta com indicativos das partes que compõe.....	65
Figura 19 <i>Layout</i> da empresa estudada	66
Figura 20 Máquina que serra as toras de madeira	67
Figura 21 Estufas com madeira serrada (A) e caldeira na empresa estudada (B) no processo produtivo da empresa estudada.....	68
Figura 22 Filetagem da madeira (A) colagem dos filetes na prensa (B) e usinagem do painel colado(C) no processo produtivo da empresa estudada.....	69
Figura 23 Furação das travessas (A) e encaixe nas almofadas (B) no processo produtivo da empresa estudada.....	69
Figura 24 Encaixe dos montantes na porta no processo produtivo da empresa estudada.....	70
Figura 25 Máquina de briquetes (A) e produto final em bag no processo produtivo da empresa estudada (B).....	71
Figura 26 Software <i>Opticore</i> utilizado para catalogar os defeitos da madeira e determinar os cortes a serem realizados.....	72
Figura 27 Etapas para elaboração da pesquisa	73

Figura 28 Questionamentos que compõem a sistemática, de acordo com cada critério e seus respectivos pesos (assim fixados de q1 – q12).....	75
Figura 29 Etapas para o processo de coleta de dados para responder aos questionamentos da sistemática CPQvA	76
Figura 30 Soluções selecionadas para os resíduos de aparas na indústria estudada.....	78
Figura 31 Coeficiente de anisotropia x qualidade da madeira	86
Figura 32 Aparas de madeira com Finger joint com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C	89
Figura 33 Máquina coladeira de alta frequência no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina	90
Figura 34 Aparas de madeiras coladas com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C	90
Figura 35 Aparas coladas junto com a madeira inteira com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C.....	91
Figura 36 Travessa ou Montantes prontos feito de aparas de madeira com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C	92
Figura 37 Caldeira recebendo serragem no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina	93
Figura 38 Máquina de fabricação de briquete no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina.....	94
Figura 39 Modelo da solução selecionada para painel EGP	95
Figura 40 Limites máximos de emissões de madeira queimada pela resolução n° 436 de dezembro de 2011 do CONAMA	96
Figura 41 Processo de separação dos tamanhos da madeira no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina.....	98
Figura 42 <i>Layout</i> do processo de fabricação da porta <i>primed</i>	100
Figura 43 <i>Layout</i> do processo de fabricação do Painel EGP	101
Figura 44 <i>Layout</i> do processo de fabricação de energia	102
Figura 45 <i>Layout</i> do processo de fabricação de energia	103
Figura 46 Modelos de porta que representam 80% do faturamento e seu volume de aparas necessário 107	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores atribuídos aos níveis de dificuldade para estabelecer respostas (R) aos questionamentos sistêmicos fixados (q1 – q12).	62
Tabela 2 Faixa de valores e escala qualitativa de cores utilizadas na definição do índice de criticidade (IC) de valorização de RSI.....	76
Tabela 3 Índice de criticidade do critério Classificação (C)	81
Tabela 4 Índice de criticidade do critério Potencialidade (P).....	88
Tabela 5 Índice de criticidade do critério Quantidade/viabilidade (Qv).....	111
Tabela 6 Índice de criticidade do critério Aplicabilidade (A)	114
Tabela 7 Índice de criticidade do critério total da sistemática CPQvA	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPQvA Classificação Potencialidades Quantidade/viabilidade Aplicabilidade

IC Índice de Criticidade

NBR Norma Brasileira

ONU Organização das Nações Unidas

PNRS Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSI Resíduo Sólido Industrial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	16
1.3	JUSTIFICATIVA	16
1.3.1	Inserção social esperada	17
1.4	CARACTERIZAÇÃO INTERDISCIPLINAR E ADERÊNCIA AO PROGRAMA	18
1.5	ESTRUTURA GERAL DO DOCUMENTO	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	ARTIGO 1: ESTUDO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE PRODUÇÃO DE PORTA DE MADEIRA	21
2.1.1	Introdução	21
2.1.2	Procedimentos metodológicos	24
2.1.3	Resultados e discussão	26
2.1.3.1	Quantitativo de publicações por ano	26
2.1.3.2	Tipos de publicações	27
2.1.3.3	Quantidade de publicações por base de dados	28
2.1.3.4	Autores mais produtivos	29
2.1.3.5	Quantidade de autores por artigo.....	30
2.1.3.6	Periódicos com maiores publicações	30
2.1.3.7	Países mais produtivos.....	31
2.1.4	Conclusão	32
2.2	ARTIGO 2: GESTÃO DE RESÍDUOS MADEIREIROS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA.....	33
2.2.1	Introdução	33
2.2.2	Metodologia	36
2.2.3	Resultados	38
2.2.4	Discussão	50
2.2.5	Conclusão	53
2.3	REVISÃO NARRATIVA.....	53

2.3.1	Sistema produtivo da manufatura de portas de madeira.....	54
2.3.2	Sustentabilidade e produção mais limpa	56
2.3.3	Sistemática CPQvA	59
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	64
3.1	ABORDAGEM, OBJETIVOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	64
3.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	64
3.2.1	Descrição do local e população em estudo	65
3.2.2	Etapas da pesquisa	71
3.3	PROCESSO DE COLETA DE DADOS	74
3.4	PROCESSO DE ANÁLISE DE DADOS.....	77
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.1	ACHADOS CIENTÍFICOS	78
4.2	CRITÉRIO C – CLASSIFICAÇÃO.....	78
4.2.1	Questão 1 (q1): Há legislação que restrinja a valorização do RSI? (Peso 10) .	79
4.2.2	Questão 2 (q2): Qual a dificuldade em estabelecer uma amostra representativa do RSI? (Peso 8)	79
4.2.3	Questão 3 (q3): Qual a classe ambiental - legislativa do RSI? (Peso 10)	80
4.2.4	Índice de Criticidade: Critério C – Classificação	80
4.3	CRITÉRIO P – POTENCIALIDADE	81
4.3.1	Questão 4 (q4): A composição do RSI classificado restringe a potencialidade das aplicações? (Peso 10)	81
4.3.1.1	Árvores do gênero <i>Pinus</i>	81
4.3.1.2	<i>Pinus elliottii</i>	83
4.3.1.3	Densidade.....	83
4.3.1.4	Teor umidade	84
4.3.1.5	Alteração dimensional	85
4.3.1.6	Resistência mecânica (elasticidade e ruptura).....	86
4.3.1.7	Características químicas	86
4.3.1.8	Poder calorífico	87
4.3.2	Índice de Criticidade: Critério P – Potencialidade	87
4.4	CRITÉRIO QV – QUANTIDADE/VIABILIDADE	88
4.4.1	Solução para Porta <i>Primed</i>	88

4.4.2	Utilização das aparas para fabricação de energia	92
4.4.3	Utilização de aparas para produção de briquetes	93
4.4.4	Utilização de aparas para fabricação de Painel EGP.....	94
4.4.5	Questão 5 (q5): A variabilidade composicional compromete possíveis produto (s) potencial (is)? (Peso 6)	95
4.4.6	Questão 6 (q6): Há algum elemento que supere o limite de tolerância no (s) produto (s) potencia (is)? (Peso 8).....	96
4.4.7	Questão 7 (q7): Há necessidade de adequação ao gerenciamento para a geradora do RSI? (Peso 6).....	98
4.4.8	Questão 8 (q8): Há necessidade de adequação ao processamento para a receptora do RSI? (Peso 6).....	99
4.4.9	Questão 9 (q9): Há legislação que regulamenta o (s) produto (s) ou restrinja o uso do RSI? (Peso 10)	104
4.4.10	Questão q10 (q10): A quantidade de produção do RSI atende a necessidade do (s) produto (s) candidato (s)? (Peso 6).....	105
4.4.11	Questão 11 (q11): Há mercado consumidor para a valorização do RSI conforme o (s) produto (s) candidato (s)? (Peso 6).....	109
4.4.12	Índice de Criticidade: Critério Qv – Quantidade/viabilidade	111
4.5	CRITÉRIO A – APLICABILIDADE.....	112
4.5.1	Questão q12 (q12): O desempenho do (s) produto (s) atende às exigências de mercado? (Peso 10).....	112
4.5.2	Índice de Criticidade: Critério Qv – Quantidade/viabilidade	114
4.6	ÍNDICE DE CRITICIDADE TOTAL DA SISTEMÁTICA CPQVA.....	114
4.7	APLICABILIDADE DO ESTUDO	115
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
	REFERÊNCIAS.....	121

1 INTRODUÇÃO

A produção e comércio da indústria florestal está em ascensão no Brasil, isso se deve ao aumento da demanda da construção civil, ativos florestais em abundância em seu território e o potencial de empreender. Com isso o Brasil é um dos países que mais investe em tecnologias na área florestal (Francisco et al., 2018; N. D. Souza et al., 2014).

Segundo ABIMCI (2019), o Brasil é o segundo país com maior área florestal do mundo, sendo que cerca de 98,4% são florestas nativas, o que corresponde a 485,8 milhões de hectares, sendo uma grande parcela focada para a conservação da flora nativa. Já o restante 1,6% representa florestas que foram plantadas. Entre as árvores mais cultivadas estão o Eucalipto, que expressa 73% dos cultivos, em seguida vem o *Pinus*, que equivale a 20% das florestas semeadas e o restante dos 7% estão divididas principalmente entre as espécies de Seringueiras, Paricá e Teca (*Hevea brasiliensis*, *Hevea brasiliensis*, *Tectona grandis*) (ABIMCI, 2019).

Dentre os usos da matéria-prima vinda do setor florestal está a produção de porta de madeira, ela consiste em um objeto que se move com auxílios de dobradiças ou percorre sobre trilhos e tem como maior objetivo fechar e tampar aberturas ou bloquear e impedir a passagem de ambientes (N. D. Souza et al., 2014)

Existem diversas formas de fabricação das portas, as mais comuns são as ocas, que são revestidas por uma lâmina e seu interior é vazio; as sólidas, que diferente das ocas são preenchidas de madeira, e aquelas que utilizam painel de MDF (*Medium Density Fiberboard*) (N. D. Souza et al., 2014).

Segundo Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR) (2016), nos períodos subsequentes a 2012 o percentual de vendas do Brasil para o exterior de portas está em ascendência, sendo o maior consumidor os Estados Unidos da América, sendo que em 2015 70% da importação foi feita do Brasil.

Um dos estados com maior porcentagem na exportação de portas de madeira é Santa Catarina, que no período de 2015 foi responsável por 75% das exportações, demonstrando a importância que o estado tem no comércio de portas de madeira (Camargo et al., 2020)

A cadeia de valor para produção de porta passa por diversas transformações da matéria-prima, o tronco de madeira é retirada da mata, cortada em toras, depois é desdobrada, deixado secar e por fim usinada com o intuito de ser encaixada em outras partes (N. D. Souza et al., 2014). Dentre esses processos é visível a geração de resíduos de madeira, principalmente quando há anomalias mecânicas, físicas e químicas nas madeiras. Esses defeitos são associados

ao mau manejo florestal, má regulagem das máquinas de desdobro e a falta de controle da secagem (REMADE, 2001).

Os defeitos mais comuns podem ser derivados da natureza biológica da madeira, como nós, bolsa de resina, medula, manchas, furos devido a insetos e rachaduras, ou por interferência humana, como o empenamento derivado da secagem (de Cademartori et al., 2012). A resistência mecânica da madeira tem grande influência nos tamanhos e nas quantidades de nós que uma árvore tem, sendo assim a utilização para alguns produtos que exigem uma certa dureza tem a necessidade da retirada dessa anomalia, a fim de transformá-la em resíduo (Ross, 2010).

O aumento da demanda por portas desencadeia a necessidade de prazos para entregas mais rápidas e a manutenção da qualidade. Nessas fases são maiores as evidências de gestão deficitária ou a utilização de modelos de produção ultrapassados (Francisco et al., 2018). Uma das formas de melhorar a produtividade é administrar as quantidades de resíduos sólidos gerados, a fim de potencializar o aproveitamento da matéria-prima, de modo a diminuir a produção de resíduos ou reutilizar para outras finalidades (Schneider et al., 2003).

O estudo sobre o gerenciamento de resíduos sólidos vai ao encontro do que diz a Lei nº 12.305/2010, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos, que por sua vez tem como objetivo determinar as condutas, deveres e princípios que orientam a gestão dos resíduos sólidos. Em consonância com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), estabelece metas para a redução na geração de resíduos e indica a utilização de instrumentos de gestão com ênfase na prevenção e na redução da geração de resíduos e na promoção da sua valorização.

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), a valorização de resíduos sólidos é uma abordagem que busca aproveitar os resíduos como recursos, promovendo a economia circular e reduzindo o impacto ambiental. Portanto, o (Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2022) busca promover a valorização de resíduos sólidos por meio de diversas estratégias, visando à redução do impacto ambiental, a geração de empregos, o fomento à indústria da reciclagem e a promoção da sustentabilidade.

Para Oliveira et al. (2023), a valorização dos resíduos sólidos geralmente se concentra em materiais conhecidos como plásticos, vidros, papel e metal. Embora a reciclagem destes materiais seja comum nas áreas urbanas, é importante destacar que a indústria produz resíduos sólidos comumente chamados de Resíduo Sólido Industrial (RSI).

No entanto, quando se trata de RSI, é frequentemente associado a materiais que possuem características perigosas. Nesse contexto, é crucial que sejam implementadas soluções de engenharia mais robustas para valorizar esses resíduos, isso requer uma mudança cultural, em que a ideia de simplesmente descartar o que não é mais útil seja substituída pela transformação

desses resíduos em recursos lucrativos tanto para a empresa quanto para a sociedade (Oliveira et al., 2023).

Para buscar a valorização de um resíduo existe a sistemática de Classificação, Potencialidade, Quantidade/viabilidade e Aplicabilidade (CPQvA) dos resíduos, que busca avaliar o resíduo e suas possíveis soluções (Oliveira et al., 2023).

A fabricação de portas de madeira é uma atividade que historicamente tem sido uma parte importante da indústria de construção e mobiliário, sendo os últimos anos, no entanto, a produção de portas de madeira experimentou um aumento significativo, impulsionado pelo crescimento da construção residencial e comercial em muitas partes do mundo (ABIMCI, 2022).

O aumento na produção global de portas de madeira, impulsionado pelo crescimento da construção residencial e comercial, resultou em uma considerável geração de resíduos industriais no setor madeireiro, conforme destacado pela ABIMCI (2019) e pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022). Esses desafios ambientais, discutidos por Raupp (2006), exigem a implementação de metodologias de valorização de resíduos para atenuar os impactos ambientais e potencialmente obter benefícios econômicos, como a redução de custos de matéria-prima e energia, tornando-se, assim, essencial para promover a sustentabilidade.

Esta pesquisa está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Notavelmente, ela contribui para o ODS 15 - Vida Terrestre, que busca proteger ecossistemas terrestres, florestas e combater a degradação da terra e a perda de biodiversidade. Além disso, está em consonância com o ODS 12 - Consumo e Produção Responsável, que visa assegurar padrões sustentáveis de produção e consumo, e o ODS 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico, que busca promover um crescimento econômico inclusivo e sustentável, bem como trabalho digno para todos, conforme estabelecido pela (ONU, 2015).

Com a importância da gestão ambiental e com a análise da produtividade, munido das tendências comerciais para a exportação de portas de madeira, constatou-se a importância da aplicação de estudos na área produtiva com enfoque na sustentabilidade de uma empresa fabricante de portas.

Esta pesquisa busca valorizar as aparas de madeira, um material que não pode ser utilizado de forma contínua na fabricação da empresa devido ao seu tamanho insuficiente para produzir portas. Essas aparas são geradas durante o processo de corte da madeira seca, ou seja, as aparas surgem quando não é possível aproveitar a totalidade máxima da tábua devido às suas irregularidades, que precisam ser removidas, resultando em tamanhos menores. Assim, almeja-se valorizar esse recurso e reduzir o desperdício.

1.1 PROBLEMA

O aumento de resíduo gerado é prejudicial em vários aspectos, principalmente se não houver um gerenciamento adequado, pois pode comprometer o meio ambiente, as indústrias podem gastar com mais matéria-prima, com o desperdício do tempo de mão de obra e máquina, desgaste dos equipamentos, o que ocasiona maior custo para a empresa (Schneider et al., 2003). Dessa maneira, a produção mais limpa e o estudo do ciclo de vida do produto são considerados métodos rentáveis para a empresa, pois a diminuição ou reutilização do que é descartado traz benefícios econômicos, sociais e ambientais, atingindo o tripé da sustentabilidade (Hoeckesfeld et al., 2021).

A diminuição dos recursos naturais é notável para alguns especialistas, por esse motivo é necessária a criação de novas tecnologias, diminuição do consumo de recursos naturais, adaptação do modelo atual de negócio e reutilização dos resíduos sólidos industriais, principalmente como matéria-prima, de forma a valorizar seu estado (WWF Internacional, 2010).

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), no ano de 2016 foi produzido aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas de resíduos sólidos, sendo a indústria da madeira responsável por gerar 39.587.257 toneladas de resíduos sólidos, isso representa 3,10% dos resíduos gerados no Brasil. O que demonstra o impacto que a indústria florestal tem na geração de resíduos.

Desse modo, considerando que as imperfeições da madeira podem influenciar no aproveitamento dela, produzindo porções menores que não podem ser reaproveitadas na produção de porta, como as aparas, e considerando a importância da valorização dos resíduos para o desenvolvimento sustentável, questiona-se: Como avaliar as melhores alternativas para valorizar as aparas de madeira de uma empresa produtora de portas?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo geral**

Avaliar as alternativas para valorização das aparas geradas durante os processos de fabricação de portas de madeira em uma indústria instalada na região sul catarinense.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Identificar o enquadramento legal para o resíduo estudado;
- 2) Levantar os aspectos físicos e químicos que as aparas de madeira contêm a partir da literatura;
- 3) Analisar a viabilidade ambiental das soluções propostas;
- 4) Determinar a melhor solução entre as escolhidas por meio da decisão de multicritérios estabelecidos pela sistemática CPQvA.

1.3 JUSTIFICATIVA

Analisando o período de 2009 a 2018, observa-se um aumento na produção de portas de madeira no Brasil, com uma taxa de crescimento anual de 0,4%, resultando em um aumento acumulado de 3,7% ao longo desse período. Apenas em 2018 estima-se que tenham sido fabricados aproximadamente 7 milhões de portas de madeira (ABIMCI, 2019).

A produção de portas de madeira se concentra principalmente na região Sul do Brasil, especialmente nos estados de Santa Catarina e Paraná, enquanto outras regiões do país têm uma produção em menor escala (ABIMCI, 2019). Nos últimos anos houve um aumento de 10% na demanda por madeira como matéria-prima, acompanhado por um crescente compromisso com a sustentabilidade. Isso se reflete em políticas que visam à redução das emissões de carbono, o uso de energias limpas, a diminuição do desmatamento e a participação em acordos ambientais, como o Acordo de Paris 2020-2050 (Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas, 2018).

Conforme o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), a ausência de preocupação adequada na gestão dos resíduos sólidos pode resultar em impactos financeiros negativos para a organização de origem, portanto, a atenção voltada para a valorização de resíduos e a adoção de tecnologias mais limpas têm levado a uma diminuição na geração de rejeitos, tornando essas abordagens cada vez mais integradas às estratégias empresariais.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022) ainda contribui com outras ferramentas que auxiliam nesse processo de não geração ou redução, com a iniciativa de produção mais limpa e manufatura enxuta. Essas técnicas auxiliam principalmente empresas de pequeno porte, além de indústrias se ajudarem com a reciclagem interna ou com o reaproveitamento de resíduos.

Essa ação engloba iniciativas regionais de Bolsas de Resíduos e Simbiose Industrial, ou seja, organizações classificam seus resíduos e vendem para outras empresas que os utilizam como matéria-prima (Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2022).

A associação consonante entre indústria e ecossistema potencializa as matérias-primas utilizadas no processo produtivo, provocando um leque de vantagens para a empresa, como redução dos custos, prestígio entre clientes e diminuição na geração de rejeitos, isso tudo é resultado principalmente de melhorias na produtividade, tornando-a mais eficiente, ou na troca dos insumos ou reciclagem dos resíduos (Coelho et al., 2011).

Um dos objetivos de Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), é a melhoria na administração dos resíduos, por esse motivo foi criada a Diretriz 1B, que diz que as indústrias devem “fomentar a não geração, a redução e a destinação final adequada dos resíduos industriais” e para chegar a esse patamar requisitado pelo plano criaram estratégias, entre elas se destacam a terceira, que diz: “Incentivar estudos técnicos e científicos de mapeamento e identificação de materiais resultantes do processo produtivo que possam ser utilizados como insumos e matérias-primas em outros processos produtivos, substituindo o uso de matérias-primas virgens e estimulando a economia circular”. Por esse motivo, o estudo busca alinhar os anseios nacionais em utilizar o estudo científico a fim de aprofundar-se nos conhecimentos sobre o gerenciamento de resíduos sólidos nas indústrias.

Baseando-se nas informações que a indústria florestal é responsável por boa parte da geração de Resíduos Industriais e que dentro desse ramo estão as produtoras de portas de madeira, verificou-se a necessidade de alinhar estudos no gerenciamento de resíduos sólidos em uma indústria manufatura de portas de madeira localizada em Santa Catarina, que por sua vez tem influência na produção nacional. A cooperação por meio da pesquisa sobre os desperdícios de madeira se justifica por trazer melhor desenvolvimento tecnológico, social, econômico, ambiental e atende as ambições públicas.

1.3.1 **Inserção social**

Este trabalho contribuiu com a inserção social, principalmente advindo dos anseios da Organização das Nações Unidas (ONU), pois conforme diz a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável que tem como objetivo ajudar a desenvolver a sustentabilidade. Para isso ocorrer, criou-se 17 Objetivos e Metas de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que englobam algumas áreas cruciais, entre elas pessoas, Planeta, prosperidade, paz e parcerias.

Destaca-se a determinação da Organização das Nações Unidas para a proteção ambiental, na diminuição da degradação do Planeta e no gerenciamento da utilização dos recursos naturais. Esses temas propostos pela ONU vêm ao encontro da gestão dos resíduos sólidos, assim o alinhamento entre o meio acadêmico, setores privados e cooperação entre nações é uma forma de manter a prosperidade humana (ONU, 2015).

1.4 CARACTERIZAÇÃO INTERDISCIPLINAR E ADERÊNCIA AO PROGRAMA

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) publicou a tabela de áreas do conhecimento, organizada em quatro níveis, sendo: Grande área; Área de avaliação; Subárea; e Especialidade (CAPES, 2020b). O Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos (PPGSP), foi aprovado em 2020 na 198ª reunião do Conselho Técnico-Científico da Educação Superior (CTC-ES) da CAPES (UNIPLAC, 2021). O programa é resultado da associação entre quatro universidades comunitárias sendo elas a UNIPLAC, UNC, UNESC e UNIVILLE e está inserido na área de avaliação interdisciplinar, especialidade Engenharia/Tecnologia/Gestão (CAPES, 2020a).

Segundo Documento de Área 45 : Interdisciplinar (2019), a interdisciplinaridade é responsável pela criação de conhecimento, de uma forma que exija trocas de informações e métodos entre naturezas de pesquisas distintas para então decifrar problemas complexos provenientes do ambiente em que a humanidade está inserida. Portanto, a afilência entre as esferas científicas é fundamental para o crescimento tecnológico e científico, criando novos estudos, conteúdos e especialistas com conhecimentos diferenciados dos atuais e capaz de resolver situações complexas geradas por uma sociedade contemporânea.

Os assuntos sobre interdisciplinaridade vêm sendo discutidos entre as áreas disciplinares para soluções principalmente relacionados à área ambiental, pois para resolver os problemas ecossistêmicos é demandado um conhecimento em áreas naturais e sociais. Assim sendo possível a criação de sabedoria com capacidade de interagir com informações distintas, porém como influências inevitáveis, por consequência esse novo modelo de aprendizagem proporciona um pensamento sustentável, honesto e longo (Carneiro, 1994).

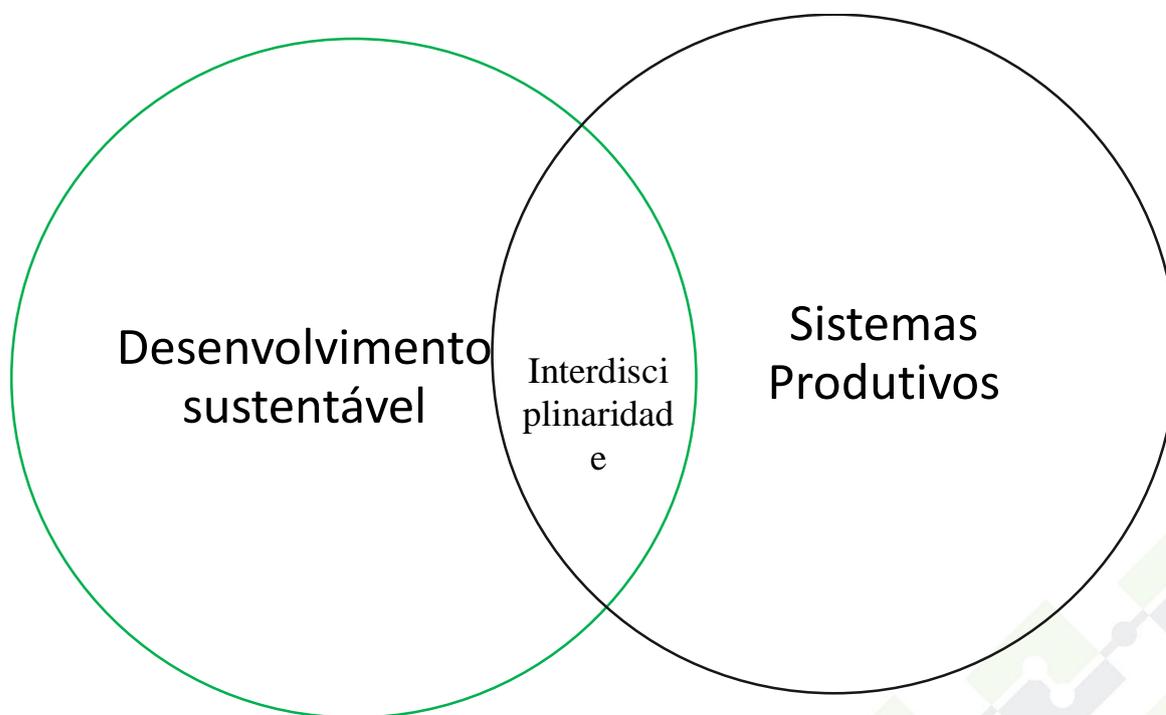
Os problemas da sociedade moderna exigiram a interação não somente de áreas científicas próximas, mas também de distintas, tendo inter-relações entre conhecimentos disciplinares e interdisciplinares, tendo em vista a verificação dos fenômenos que ultrapassam os limites do conhecimento disciplinar, sendo assim estímulos teóricos e metodológicos se manifestam em áreas científicas diferentes (Documento de Área 45 : Interdisciplinar, 2019).

Devido a isso, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) introduziu em 1999 esses conceitos nas pós-graduações brasileiras, a fim de solucionar os anseios da humanidade contemporânea (Documento de Área 45 : Interdisciplinar, 2019).

A estrutura do trabalho consiste na utilização dos conhecimentos ambientais e produtivos, de maneira que as áreas científicas utilizadas são fatores predominantes para a solução do problema de pesquisa. Esse conglomerado de competências se entrelaça e tem impacto entre eles. Essa interação pode ser vista na Figura 1.

Figura 1

Esferas de conhecimento relacionados à interdisciplinaridade



Fonte: Autores (2023).

A esfera ambiental está relacionada a Área de Concentração do Programa em Engenharia e Gestão em Sistemas Produtivos e à linha de pesquisa 2: Sistemas Produtivos e Sustentabilidade pois trata-se do reaproveitamento dos resíduos sólidos, além de maneiras de reutilização para maiores benefícios.

Dentro desta pesquisa é necessário coletar informações e utilizar ferramentas que podem ser encontradas nas áreas do sistema produtivo, torando-se assim um trabalho interdisciplinar com esses campos científicos. A interação entre os campos de conhecimento enriquece as

possibilidades na resolução do problema, contribuindo para possíveis caminhos sustentáveis a serem seguidos na sociedade.

1.5 ESTRUTURA GERAL DO DOCUMENTO

O presente estudo segue uma estrutura metodológica que compreende diversas etapas. Inicialmente é apresentada a introdução, cujo propósito é estabelecer uma contextualização do projeto, abordando o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa e a caracterização interdisciplinar. Em seguida, a revisão de literatura é conduzida, a qual se divide em revisão bibliométrica, revisão integrativa e revisão narrativa sobre temas relacionados, como a produção de portas, resíduos madeireiros, práticas de produção mais limpa, considerações sobre sustentabilidade e a abordagem sistemática CPQvA.

A etapa subsequente é dedicada à metodologia, que se desdobra em abordagem da pesquisa, delimitação do estudo, processo de coleta de dados e procedimentos de análise de dados. Essa seção delinea as diretrizes, regras e métodos pelos quais a pesquisa foi conduzida, oferecendo clareza sobre os passos seguidos.

Os resultados da pesquisa são apresentados em seguida, juntamente com uma seção de discussão. Nesse contexto, é analisado o desenvolvimento da abordagem sistemática CPQvA e os índices gerados a partir dela. Além disso, são discutidos os resultados obtidos em relação aos objetivos e à literatura relevante.

Por fim, as conclusões são expostas, consolidando as descobertas da pesquisa, seguidas pelas referências bibliográficas que serviram como base para o estudo. Essa estrutura metodológica proporciona uma abordagem rigorosa e organizada para a investigação proposta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão de literatura está estruturada com dois artigos científicos, sendo uma revisão bibliométrica sobre produção de portas de madeira e uma revisão integrativa sobre gestão de resíduos madeireiros, além de ter uma revisão narrativa sobre sistema produtivo de manufatura de porta de madeira, sustentabilidade, produção mais limpa e sistematização do CPQvA.

2.1 ESTUDO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE PRODUÇÃO DE PORTA DE MADEIRA

2.1.1 Introdução

A zona florestal é dividida em nativas e plantadas, contendo 3,75 bilhões de hectares e 290 milhões de hectares, respectivamente, isso representa um total de aproximadamente 4 bilhões de hectares de florestas no mundo. Os países com maiores áreas florestais são a Rússia, com cerca de 20% da área florestal mundial, seguido pelo Brasil com 12% e o Canadá com 9% (FAO, 2020).

O Brasil tem um papel fundamental na indústria florestal global, a composição das florestas é de 98,4% nativa e 1,62% derivada de plantio. Em grande parte das florestas nativas brasileiras é visada a proteção e conservação da flora, vide a floresta amazônica, que contém uma grande biodiversidade, importante para a manutenção de um planeta sustentável. Os plantios de árvores no Brasil são compostos por grande parte de *pínus* com 20% das árvores plantadas e eucalipto com 73%, os outros 7% são divididos em diversas espécies (ABIMCI, 2019).

Os produtos de reflorestamento são abrangentes, dentre eles as mais importantes são: madeiras brutas ou toras, madeira serrada, celulose, painéis de madeira, biomassa no formato de carvão, cavacos derivados da usinagem de madeira, briquetes e pellets proveniente do pó de serra compactado e madeira tratada. Os subprodutos são relevantes para a indústria como a produção de óleos essenciais, resinas e látex, onde não são madeiras em si, mas utilizam de substâncias extraídas dela (Minini et al., 2021).

A indústria florestal contribui de forma significativa para a sociedade e atinge setores econômicos, sociais e ambientais. Esses impactos podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2

Contribuições do setor florestal

Econômico	Desenvolvimento local, regional e nacional; Geração de receitas e divisas; Contribuição no Produto Interno Bruto (PIB); Arrecadação de tributos; Movimentação da economia; Atração e captação de investimento
Social	Geração de empregos; Geração de renda; Educação Ambiental; Incentivos ao desenvolvimento de pesquisas científicas, treinamentos de colaboradores e sociedade local; Aumento no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da região e do estado.
Ambiental	Manutenção da Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL) e Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN); Proteção do solo, nascente e mananciais; Conservação e proteção da biodiversidade; Regulação do clima e de gases de efeito estufa pela fixação do carbono atmosférico; Redução do desmatamento de habitats naturais; Redução das emissões de Gases causadores do Efeito Estufa (GEE)

Fonte: Adaptado ABIMCI (2019).

Os pontos discutidos na figura acima vêm atrelados aos pilares da sustentabilidade que a atividade se compromete a realizar. A utilização de madeira é difundida há muito tempo, acredita-se que a utilização de madeiras serradas é feita desde 6 mil anos antes de Cristo, pela civilização egípcia, que usava para a fabricação de sarcófagos (Williston, 1976). Essa ampla manipulação de madeira feita antigamente deve-se a ela ser um material versátil, considerado como um objeto nobre, grande abundância na natureza, acessível para o manuseio e um material resistente (Gonzaga, 2006; Laguarda Mallo & Espinoza, 2015).

Apesar de apresentar ótimos benefícios para a utilização da madeira como matéria-prima, consideramos a madeira como um material biológico, e por essa característica a madeira não é um elemento padronizado, podendo conter anomalias anatômicas, químicas e mecânicas. Todas essas falhas podem ocorrer em árvores de diferentes espécies ou até mesmo dentro do mesmo tronco (Panshin & Zeeuw, 1980).

No âmbito ambiental, a indústria madeireira sofre com um juízo popular associado ao desmatamento para a obtenção de matéria-prima. Isso se deve ao histórico de algumas empresas do ramo madeireiro na superexploração de florestas tropicais, prejudicando o meio ambiente,

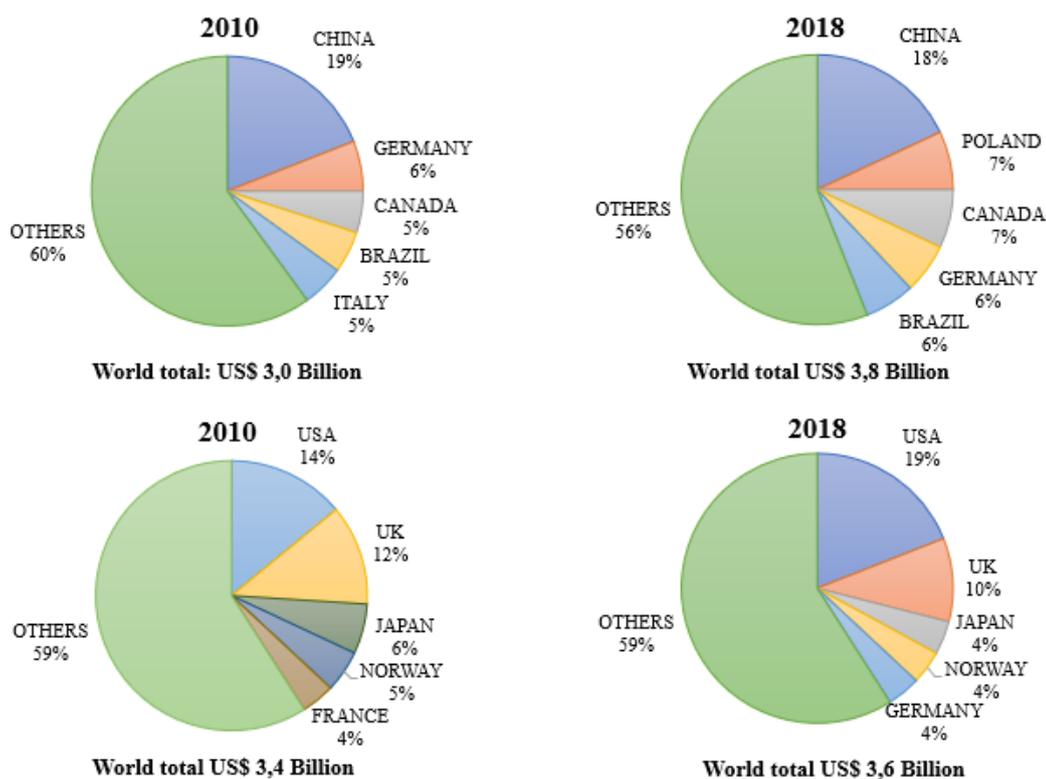
porém a madeira fabricada por empresas responsáveis ganha vantagens em relação a outros produtos que podem ser substituídos, como o concreto, o plástico e o ferro, pois a fabricação desses materiais é mais nociva ao ecossistema do que a produção de madeira serrada (Gonzaga, 2005).

A indústria madeireira vem se modernizando nos últimos anos e junto dela surgem melhorias na gestão interna da empresa, isso ocorre devido aos aumentos de custos de matérias-primas, valor da mão de obra e cobranças sobre melhor aproveitamento dos recursos naturais. Iniciativas para redução de desperdícios e erros fazem com que o comércio fique mais competitivo. Uma das formas de melhoria é atingir o setor produtivo para auxiliar a demanda do mercado (Fariza & Surjandari, 2018).

O mercado mundial de exportação de portas apresentou em 2018 o maior índice no intervalo de 10 anos, atingindo cerca de 3,84 bilhões de dólares, esse crescimento equivale a +3,3% a.a, ou seja, a diferença do ano de 2009 para 2018 é de +33,5% (ABIMCI, 2019). A Figura 3 demonstra os principais países como exportadores e importadores relativo aos anos de 2010 e 2018.

Figura 3

Principais exportadores e importadores mundiais de porta de madeira



Fonte: Adaptado ABIMCI (2019).

Referente à imagem acima, percebe-se o aumento de 800 milhões de dólares na exportação e uma ascensão de 200 milhões de dólares na importação, essa variação é relativa aos anos de 2010 a 2018. Entre os países destaque na exportação está a China, que apesar de perder um percentual entre o intervalo de ano continua sendo o maior responsável nas exportações de porta.

A Alemanha manteve a sua porcentagem de 6% no intervalo de ano, porém perdeu a posição, de segundo em 2010 passou para quarto lugar em 2018. Quem tomou seu lugar foi a Polônia, que em 2010 não aparecia nos cinco países com maior número de exportação e em 2018 representa o segundo lugar, com 7%, seguido por Canadá, que em ambos os anos ficou em terceiro lugar, mas aumentou para 7% em 2018. O Brasil aumentou sua porcentagem na exportação de porta, porém perdeu uma posição, ficando em quinto, e a Itália, que estava entre os cinco maiores exportadores em 2010, perdeu esse posto no ano de 2018 (ABIMCI, 2019).

No quesito exportação não houve muitas mudanças entre os anos. O EUA continua como o país mais importador, seguido por Reino Unido, Japão e Noruega. A diferença foi a entrada da Alemanha nos maiores importadores, tomando a quinta posição, que antes era da França (ABIMCI, 2019).

A alta na demanda de porta devido ao crescimento da construção civil e a exigência do ambiente externo em relação à qualidade e personalização das portas exigidas pelo consumidor faz com que os fabricantes de portas tenham que investir em inovação, tecnologias e estudos na área. Conseqüentemente o aumento da eficiência e eficácia é o resultado da busca dessa melhoria, assim gerando ganhos no âmbito ambiental, social e econômico (Francisco et al., 2018; Pedzik et al., 2020).

Este artigo tem como objetivo demonstrar um estudo bibliométrico sobre a produção de portas de madeira até o ano de 1996, utilizando buscas em bases de dados (*Scopus, Science Direct, Mendeley e Scielo*). Com este estudo é possível entender o que tema pesquisado está sendo fomentado no meio acadêmico, entender quais países que mais aborda esse assunto, os autores mais relevantes e em quais anos que obtiveram mais publicações.

2.1.2 Procedimentos metodológicos

Para a realização do estudo utilizaram-se procedimentos bibliográficos e documentais para a coleta dos artigos. O estudo bibliométrico é a base para a produção de projetos e ajuda a sustentar o referencial, além de ser essencial para a divulgação científica, utiliza ferramentas e

técnicas que capacitam o pesquisador a distinguir o nível de influência que o estudo exerce no meio acadêmico, possibilitando caracterizar as áreas das pesquisas e as necessidades e tendências para estudos futuros (Moraes et al., 2013; Oliveira et al., 2012)

A bibliometria evidencia vantagens na organização e na padronização da pesquisa, possibilitando a mensuração das informações apuradas. A utilização de ferramentas de estatística facilita esses benefícios, dessa maneira o estudo bibliométrico, por essência, é um estudo quantitativo (Araújo, 2006). Esta pesquisa é quantitativa por utilizar procedimentos estáticos para a demonstração e análise dos resultados. Também se considera a utilização do método descritivo, pois descreve as particularidades e os fatos que ocorreram nas buscas desta pesquisa.

A primeira etapa a ser definido foi o tema que seria pesquisado, então apurou-se a necessidade de um estudo bibliométrico na área de fabricação de portas de madeira. Com a demarcação do tema, o próximo passo foi o estabelecimento da palavra “*door production*” como palavra-chave nas buscas pelas bases de dados. Com a orientação de um especialista definiu-se quatro bases de dados para as buscas dos artigos: *Scopus*, *ScienceDirect*, *Scielo* e *Mendeley*.

A partir dessas definições iniciaram-se as pesquisas nas quatro bases de dados utilizando aspas entre as duas palavras para que o sistema de busca entenda que “*door production*” precisavam estar juntas no contexto da publicação. Para refinar melhor a pesquisa foi aplicado um filtro com a delimitação de tempo utilizando um intervalo de publicações de 1996 até março de 2022. Para a pesquisa considerou-se apenas artigos e publicações em anais conferências.

Como próxima filtragem foram lidos os títulos e resumos, assim descartados aqueles que não eram condizentes com o assunto buscado. Todos os dados obtidos após a leitura dos resumos foram dispostos no *software Excel* para organizar e analisar a quantidade de publicações por ano dentre os intervalos pré-estabelecidos, qual tipo de documento mais predominante na pesquisa, qual base de dados com maior quantidade de resultados sobre o tema, os autores com mais publicações e as quantidades de autores por documentos, periódicos que contêm maior número de publicações na área estudada e por fim os países com mais divulgações na temática estudada. Dessa maneira, foram criados os gráficos para a realização da análise dos dados.

2.1.3 Resultados e discussão

Na base *Scopus*, *ScinceDirect* e *Mendeley* apareceram 26, 36 e 23 apuramentos, respectivamente, a base *Scielo* não demonstrou nenhum resultado, porém após a retirada das aspas entre as palavras apareceram 24 publicações, sendo assim, totalizando 109 resultados encontrados. Após a leitura descartou-se 91 documentos, cerca de 83,49%.

Além de deparar com resultados repetidos em algumas bases de dados obteve-se temas que não abrangiam o conteúdo estudado, entre eles estão assuntos como portas feitas de outros materiais, como alumínio, fabricação de portas automotivas e aeronáuticas, construção civil e cultivo de plantas. Por fim, separaram-se 18 documentos no total.

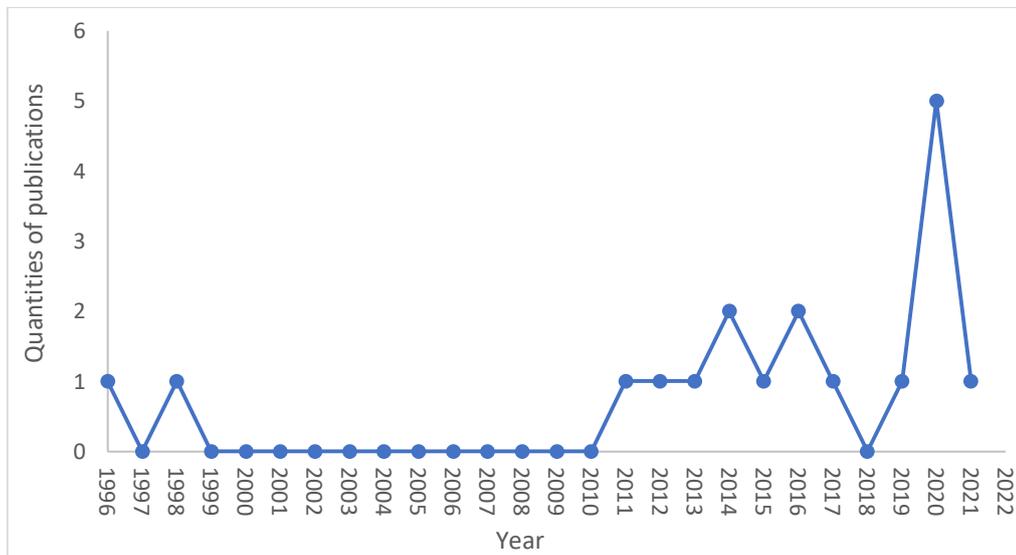
2.1.3.1 Quantitativo de publicações por ano

Na pesquisa apresentada notou-se que o primeiro documento publicado com o tema de produção de porta de madeira foi no ano de 1969. O artigo foi publicado pela revista “*Assembly & Fastener Methods*”, cujo autor é Burton A.J., e contém o título de “*Assembly of timber door*”.

O ano que obteve maior número de artigos publicados foi 2020, com um total de cinco publicações, logo após vem 2016 e 2014, com duas publicações, e o restante dos anos de 2021, 2019, 2017, 2015, 2013, 2012, 2011, 1998 e 1996, com apenas uma publicação em cada ano. Notou-se pela Figura 4 um hiato de publicações no intervalo entre 1999 e 2010.

Figura 4

Publicações por ano



Fonte: Autores (2023).

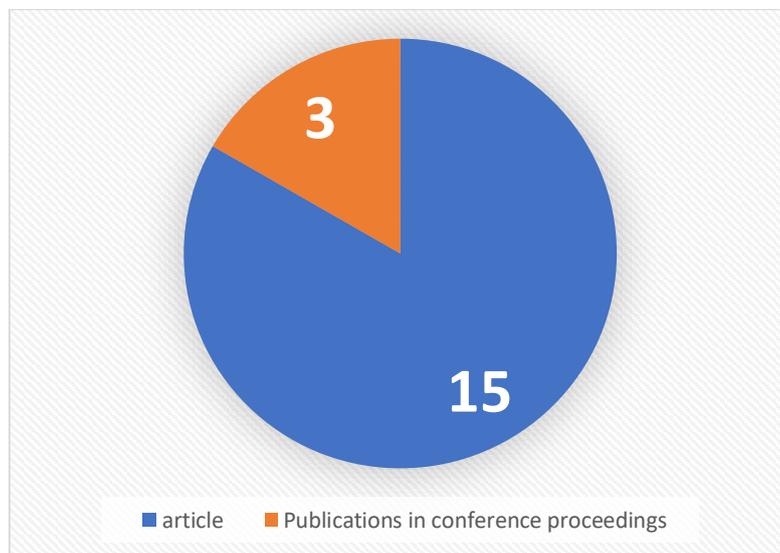
Percebe-se na Figura 4 a volta das publicações em 2011, essa retomada pode ser um retrato do crescimento econômico nas exportações pelo mundo. Podemos ver que houve uma maior constância de publicações nesse intervalo de 2011 a 2019, porém em 2020 ocorreu um aumento desproporcional nas publicações, supõe-se que decorrente da série histórica ocorrida em 2018 os investimentos na área de pesquisa aumentaram conseqüentemente, gerando mais publicações (ABIMCI, 2019).

2.1.3.2 Tipos de publicações

As buscas centraram em dois tipos de publicações, pois acredita-se que esses manuscritos demonstram o que o estudo científico está pesquisando nessa área. Nota-se um número maior de artigos publicados comparados às publicações em anais de conferências. Este fato pode ser evidenciado na Figura 5.

Figura 5

Quantidades de artigos e documentos de conferência



Fonte: Autores (2023).

Os artigos representam 83,33% dos documentos coletados e o restante retrata 16,67% de documentos de conferência. O aparecimento de mais artigos fomenta o crescimento de pesquisas sobre o assunto e a diminuição de conferências que abordam esse tema.

2.1.3.3 Quantidade de publicações por base de dados

As bases de dados apresentam um conglomerado de documentos de determinados periódicos, por esse motivo algumas publicações apareceram em duas ou mais bases de dados. Para a melhor compreensão da Figura 6, foram separados em documentos em categorias.

“Mendeley”: Documentos encontrados apenas na base de dados da *Mendely*

“*SciElo*”: Publicações descobertos apenas na base de dados *SciElo*

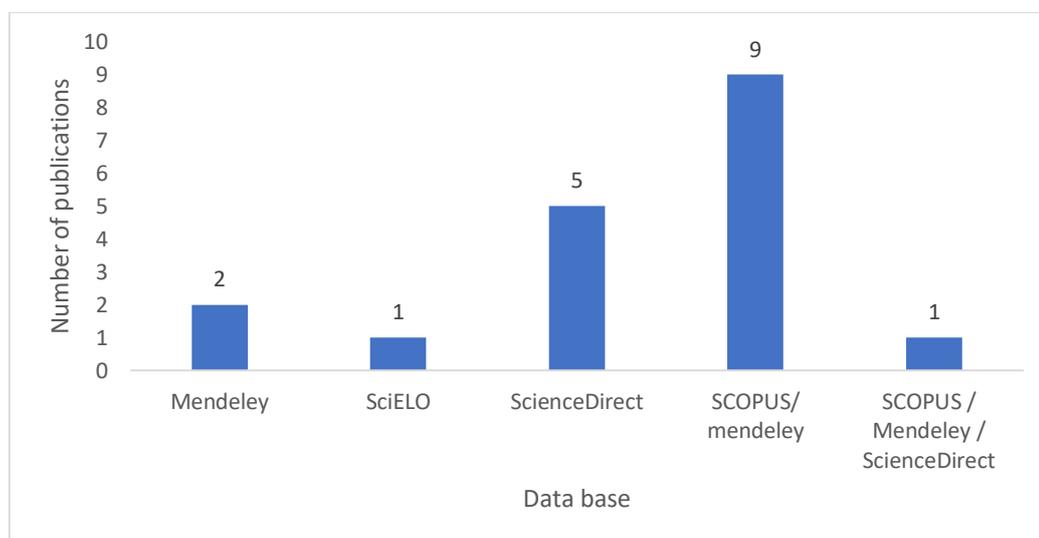
“*ScienceDirect*”: Documentos identificados apenas na base de dados da *ScienceDirect*

“*SCOPUS/Mendeley*”: Publicações encontradas em duas bases de dados, a *SCOPUS* e a *Mendely*

“*SCOPUS/Mendeley/ScienceDirect*”: Documentos descobertos em três bases de dados, *SCOPUS*, *Mendeley* e *ScienceDirect*.

Figura 6

Publicações por base de dados



Fonte: Autores (2023).

Com a Figura 6 podemos notar que todas as publicações que se destacaram sobre o tema na base de dados da *SCOPUS* estavam publicadas em outros bancos bibliográficos. A base de dados da *SciELO* apresentou apenas um documento relacionado ao tema. O *Mendeley* demonstrou o maior número de publicações, em seguida veio a base *SCOPUS*. A base de dados *Mendeley*, *Scopus* e *ScienceDirect* são do grupo *ELSEVIER*, que abrangem um conglomerado de periódicos, publicações e livros, fazendo deles um buscador de pesquisas robusto e como consequência foram o que mais apareceram resultados e muitos deles repetidos em ambas as bases de dados.

2.1.3.4 Autores mais produtivos

Na análise dos autores, buscou-se verificar quem contém maior número de publicações sobre o tema estudado. Para isso considerou-se apenas os autores principais de cada estudo, assim foi constatado que nem um pesquisador publicou mais de um documento, sendo eles: Bell S., Buyung N., Buyung N., Cobut A., Dallasega P., Diener B. J., Dukic I., Fariza V., Haag V., Karlsson K. F., Kwidzunski Z., Lejavs J., Owusu F. W., Pedzik M., Ribeiro Massote C. H., Rihards Rozins J. L, Sahin Y., Weizhuo L. E Wenker J L.

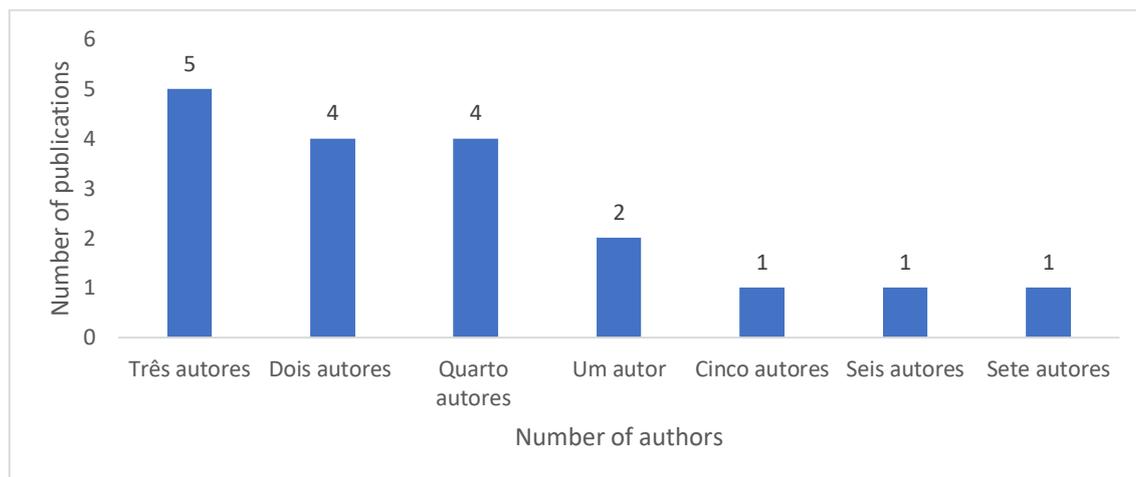
Por outro lado, verificamos que apesar de não aparecerem como principal autor no tema, alguns reaparecem como coautor, como exemplo Pedzik M., que surge como coautor no artigo do autor Kwidzunski Z., e o inverso se repete.

2.1.3.5 Quantidade de autores por artigo

Refletindo sobre coautores e a importância deles no desenvolvimento de projetos científicos, a Figura 7 é um relato sobre as quantidades de autores que cada documento apresentou.

Figura 7

Quantidade de autores por publicações



Fonte: Autores (2023).

O diagnóstico do gráfico acima é que as publicações tendem a ter de dois a quatro autores, pois a somatória dos documentos com esses intervalos representa 72,22%, sendo que três autores obtiveram 27,78%, dois e quatro tiveram 22,22%.

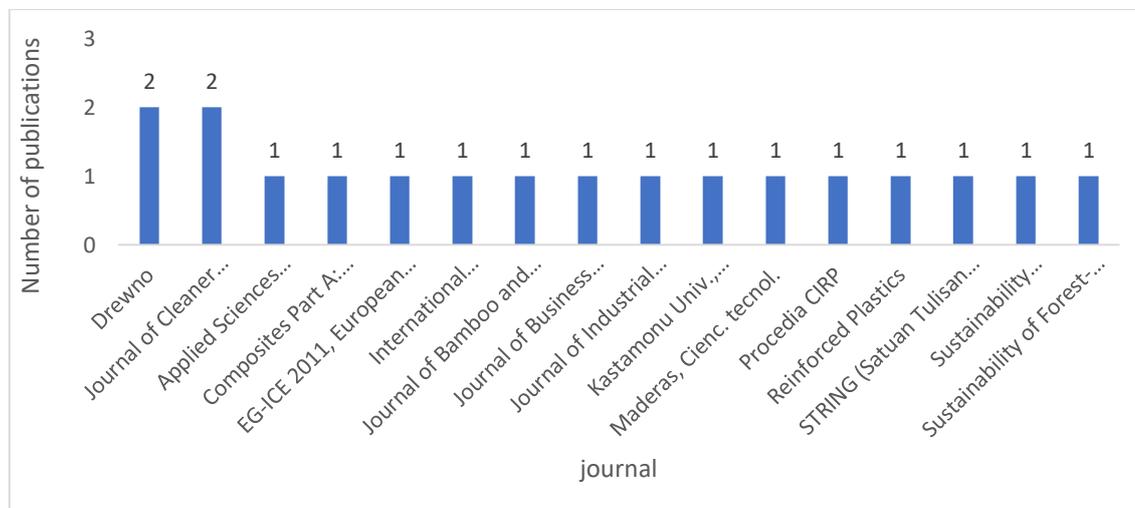
Apesar da maior quantidade de publicações estar concentrada em um intervalo de dois a quatro números de autores, podemos verificar que houve artigos com um autor (11,11%) e seis e sete autores (5,56% ambos).

2.1.3.6 Periódicos com maiores publicações

Observando os dados recolhidos foram apurados os periódicos com maior quantidade de publicações. Dentre os periódicos destacam-se duas, a “*Drewno*” e a “*Journal of Cleaner Production*”, ambas obtiveram duas publicações com o assunto estudado. Os demais periódicos tiveram apenas uma publicação.

Figura 8

Quantidade de publicações por periódicos



Fonte: Autores (2023).

Analisando os aspectos que esses dados nos trouxeram, verifica-se que o tema pesquisado é difundido em várias áreas do conhecimento, dentre elas as que se destacam são as relacionadas com sustentabilidade, obtendo 33% dos periódicos encontrados, seguido por temas da engenharia, com 22%; sistemas de informação e computacional, com 17%, e tecnologia da madeira, com 11%. Isso demonstra que os pesquisadores na área estão buscando soluções para produzir portas de madeira de forma efetiva, eficaz e sustentável.

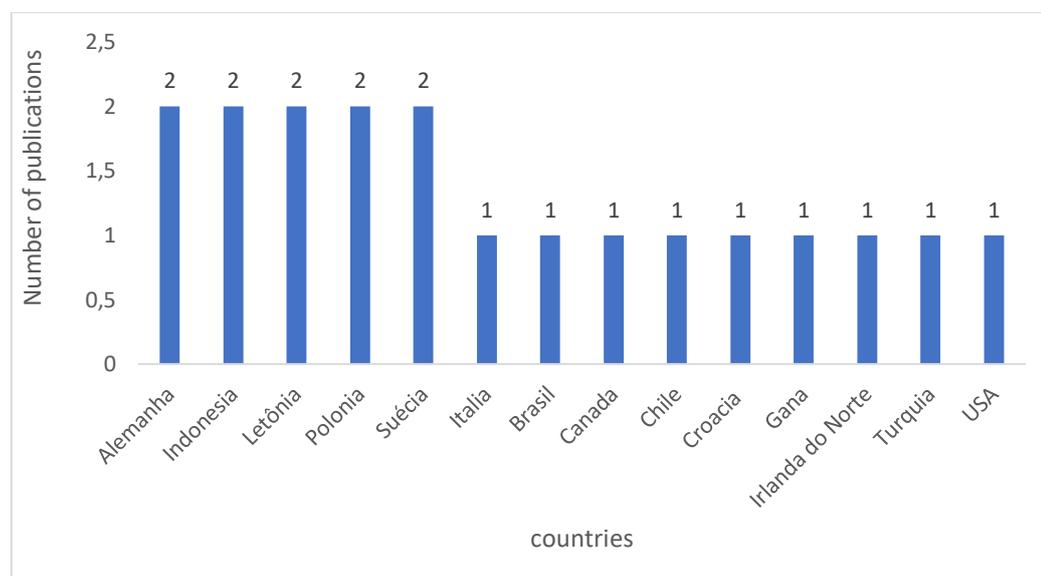
2.1.3.7 Países mais produtivos

Os países onde houve maior número de publicações estão representados na Figura 9. Neles é possível ver que Alemanha, Indonésia, Letônia, Polônia e Suécia aferiram duas publicações, já os países como Brasil, Canadá, Chile, Croácia, Gana, Itália, Irlanda do Norte, Turquia e EUA tiveram um documento publicado.

A parceria entre universidades de países diferentes para a elaboração de projetos é comum no meio acadêmico, por esse motivo o projeto com o título “*Customer-oriented Production system for Supplier Companies in CTO*” foi realizado em conjunto por universidades da Alemanha e da Itália.

Figura 9

Quantidade de publicações por periódicos



Fonte: Autores (2023).

Algumas conclusões podem ser feitas a partir desse gráfico, uma delas é a relação entre países que têm grande participação nas exportações de portas de madeira com o número de publicações feitas. Como visto na fundamentação, Alemanha, Brasil, Canadá, China, Itália e Polônia nos últimos oito anos tiveram mais participação na exportação de portas e conseqüentemente todas, menos a China, obtiveram publicações sobre o tema. A China, apesar de ser o maior responsável pela exportação de portas no mundo, não apresentou nenhuma publicação.

Países com participações nas importações como EUA e Reino Unido têm publicações na área de fabricação de portas de madeira. Outros países, como Indonésia, Letônia e Suécia, aparecem como protagonistas no assunto da pesquisa. O Brasil e o Chile são os únicos países da América Latina que tiveram documentos encontrados nas bases bibliográficas. E a única publicação do continente africano veio de Gana.

2.1.4 Conclusão

Neste estudo é capaz de explorar os resultados da produção científica sobre o tema de produção de portas de madeira nas bases de dados selecionados para esse trabalho, assim podemos encontrar algumas ilações, como a pouca exploração dessa temática, considerando-se a baixa quantidade de publicações acerca do assunto pesquisado.

Arelado a poucos resultados encontrados, vimos como umas das consequências a ausência de autores que se destaque sobre o tema e uma flutuação de publicações em determinados anos, não tendo uma constância e havendo longos períodos sem publicações e períodos com concentração de pesquisas. Os países que obtiveram periódicos são condizentes com a influência comercial que eles exercem, porém destaca-se a China, que é o maior exportador e não obteve nenhuma publicação.

Para futuros estudos é aconselhado entender o motivo de ocorrer um hiato nas publicações nos anos de 1999 até 2010, além disso compreender o porquê da inexistência de publicações da China relacionadas ao conteúdo e por último a atualização desta pesquisa para os próximos anos a fim de verificar o desenvolvimento do tema estudado.

GESTÃO DE RESÍDUOS MADEIREIROS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

2.1.5 Introdução

Segundo o relatório *What a Waste 2.0* (2018), no ano de 2016 estima-se a produção de 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos em âmbito mundial, um aumento significativo comparando com o estimado em 2012, que contabilizava a geração de 1,3 bilhão de toneladas. A relação encontrada a esse crescimento está na expansão populacional, ou seja, quanto mais os países prosperam e aumenta a densidade de indivíduos, o consumo de produtos intensifica relativamente, como consequência mais resíduos são produzidos.

Dentre as regiões do planeta, 43% dos resíduos sólidos mundiais são produzidos no Leste Asiático, Pacífico, Europa e Ásia Central, em contrapartida os que menos produzem são o Oriente Médio, Norte da África e África Subsaariana, com 15% de toda a geração (*What a Waste 2.0*, 2018).

Observando a elevação da quantidade de subprodutos gerados, a gestão de resíduos está em ascensão. Esse dado pode ser notado na região da Europa, pois ela apresenta um faturamento de 147 milhões de euros em negócios relacionados à administração de desperdícios, indicando a importância dos estudos relacionados nesta área de pesquisa (Gaudillat et al., 2018).

Destaca-se os tipos de materiais gerados, a grande maioria são materiais orgânicos, incluindo-se principalmente comida, que representam 44% de todo volume gerado. Em seguida os materiais que mais são gerados são papel, plástico, vidro, metal, couro e madeira, obtendo 17%, 12%, 5%, 4%, 2% e 2%, respectivamente (*What a Waste 2.0*, 2018). Entre os resíduos citados, a madeira é um produto orgânico que pode ser renovável e por esse motivo torna-se abundante em todo o mundo (Fan et al., 2016)

Apenas a União Europeia no ano de 2014 gerou aproximadamente 60 milhões de toneladas de resíduos derivados da madeira (Scarlat Nicolae et al., 2019). Já no Brasil, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), em 2016 as indústrias madeireiras foram responsáveis por cerca de 39 milhões de toneladas de resíduos sólidos, ao todo representa 3,10% de todo resíduo gerado pelas indústrias brasileiras.

O resíduo madeireiro é farto em todo o planeta e tem características que facilitam sua reutilização, porém boa parte é descartado em lixões, aterros e queimados sem aproveitamento energético, contribuindo assim para o consumo excessivo do espaço terrestre, e aumentam as emissões de gases do efeito estufa (USEPA, 2018).

Os resíduos provenientes da madeira acarretam outros impactos significativos. Além de resultar em desperdício de matéria-prima e insumos, eles causam desgaste desnecessário em máquinas e equipamentos, consomem tempo da mão de obra e, conseqüentemente, aumentam os custos da empresa, sendo que quando esses resíduos não são aproveitados os retornos e os lucros diminuem, levando a prejuízos adicionais devido a gastos com transporte, armazenamento e destinação final. Além disso, o não aproveitamento dos resíduos pode resultar em sanções para o gerador, como multas e restrições impostas pelo mercado (Nolasco & Uliana, 2014).

A multifuncionalidade da madeira como matéria-prima a torna um elemento essencial para o desenvolvimento humano, isso se deve à fartura desse material no meio ambiente, sua dureza e fácil disponibilidade (Laguarda Mallo & Espinoza, 2015).

Por ser um material orgânico, sofre influências química, física e mecânica, essa variação pode ter influência das espécies cultivadas, umidade do ambiente, radiação solar, estado da terra, altitude, clima e o manejo dos cultivos florestais (Chave et al., 2006). Todas essas características influenciam na qualidade da madeira, ou seja, impacta diretamente nas irregularidades e como consequência na quantidade de resíduo que é gerado (Minini et al., 2021)

A indústria madeireira em média tem 60% de rendimento, porém esses números podem mudar conforme algumas características imprescindíveis, como a qualidade da madeira comprada, a aptidão dos funcionários para o manuseio dos equipamentos, automação, grau de tecnologia das máquinas e a precisão para controle de medidas (Nolasco & Uliana, 2014).

O refugo proveniente da madeira é considerado um bem relevante para a manufatura de outros produtos (Lykidis & Grigoriou, 2008). O que é gerado e a quantidade de subprodutos após a manufatura da madeira sofreram mudanças ao longo dos anos, soluções encontradas para resíduos que se tornavam subvalorizados, como o caso da casca da árvore, que antes era apenas

descartada, atualmente é comercializada, porém por vezes ainda é vendido com preços baixos ou até mesmo doados (Lu et al., 2006).

Não apenas resíduos provenientes da manufatura podem gerar refugos de madeira, a construção civil também utiliza a matéria-prima em ampla escala e que da mesma forma gera sobras de madeira (Rodrigues et al., 2013). A geração de energia está sendo uma via muito utilizada para a gestão de resíduos de madeira, principalmente para aquecimento (Sarsaiya et al., 2019). A geração de energia utilizando biomassa é representada por 60% com madeira ou resíduos lenhosos (Saratale et al., 2019).

Contudo, existem malefícios ao utilizar desse meio para a destinação dos resíduos, como a liberação de componentes tóxicos como SO₂, CO e NO, além de partículas finas, o que pode prejudicar o meio ambiente e a saúde da população (Permchart & Koupryanov, 2004). Há estratégias distintas para reutilizar a madeira, segundo Nolasco & Uliana (2014), os resíduos madeireiros provenientes da indústria podem ser classificados de maneiras diferentes e conseqüentemente soluções diferentes podem ser adotadas. As principais podem ser vistas na Figura 10

Figura 10

Tipos de resíduos e maneiras de reaproveitar

Tipos de resíduo	Maneiras de valorizar
Aparas (dimensões maiores)	Produtos para piso de madeira; Pequenos Objetos de Madeira (Pom's); Artigos decorativos, brinquedos para pet; Ferramentas para agricultura e produção de energia/calor.
Cavacos (acima de 2,35 cm)	Elemento para marchetaria; compósito com cimento ou plástico; Fabricação de tijolos; Utilização em compostagem; Cobertura de solo; Produção de energia; Briquetagem e Corantes.
Maravalha (entre 2,36 a 1,18 cm)	Compósito com cimento ou plástico; Fabricação de tijolos; Utilização em compostagem; Cobertura de solo; Produção de energia; Briquetagem e Corantes.
Serragem 1 (entre 1,18 a 0,60 cm)	Compósito com cimento ou plástico; Fabricação de tijolos; Utilização em compostagem; Cobertura de solo; Produção de energia; Briquetagem e Corantes.
Serragem 2 (entre 0,59 a 0,31 cm)	Compósito com cimento ou plástico; Fabricação de tijolos; Utilização em compostagem; Cobertura de solo; Produção de energia; Briquetagem e Corantes.
Serragem 3 (entre 0,30 a 0,15 cm)	Compósito com cimento ou plástico; Fabricação de tijolos; Utilização em compostagem; Cobertura de solo; Produção de energia; Briquetagem e Corantes.
Pó 1 (entre 0,14 a 0,08 cm)	Compósito com cimento ou plástico; Fabricação de tijolos; Utilização em compostagem; Cobertura de solo; Produção de energia; Briquetagem e Corantes.
Pó 2 (entre 0,07 a 0,04 cm)	Compósito com cimento ou plástico; Fabricação de tijolos; Utilização em compostagem; Cobertura de solo; Produção de energia; Briquetagem e Corantes.

Fonte: Adaptado Nolasco & Uliana (2014).

Para as aparas foram encontrados diferentes modos de reutilização, já aqueles que apresentam tamanhos menores com serragem e pó têm seus métodos de reciclagem muito parecidos. De acordo com informações relevantes da geração de resíduos sólidos e derivados da madeira e das amplas formas de valorizá-las e reciclá-las, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma revisão integrativa sobre como tem sido feito o gerenciamento de resíduos de madeira.

2.1.6 Metodologia

A revisão integrativa tem como intuito resumir determinado assunto pesquisado e abordar uma comparação para compreender o estado da arte de um determinado tema. Para concretização dessa modalidade de pesquisa é necessário aprofundar-se em conhecimento científico, sendo assim este método permite um entendimento amplo para compreensão do ambiente macro e micro (Souza et al., 2010)

Para a realização deste trabalho foram adotadas as seguintes etapas: definição do tema de estudo, descrição do problema e objetivo, escolha da palavra-chave, definição dos critérios para seleção das publicações, avaliação e interpretação dos resultados e conclusões sobre o tema.

Para a busca dos artigos científicos foi utilizado o descritor “*Wood waste management*” na base de dados *ScienceDirect*, utilizado de aspas para que o buscador compreendesse que essas sentenças precisariam estar no mesmo contexto. A busca ocorreu durante o mês de agosto de 2022.

Além da definição do descritor foram aplicados filtros em relação à delimitação de tempo utilizando um intervalo de publicação entre 2012 até 2022 e limitou-se em buscas apenas por artigos científicos. Os critérios de exclusão podem ser vistos na Figura 11.

Figura 11

Critérios de exclusão adotados para a busca de artigos científicos para compor a revisão integrativa

Critério de exclusão	Enquadramento
Não contempla resíduos de madeira.	Artigos que não abordassem temas que utilizam resíduos de madeiras.
Materiais que provêm da madeira, mas não enquadra ao tema.	Artigos que utilizavam resíduos que se originam de um subproduto da madeira, exemplo: celulose e cinzas.
Estudos que abordam revisões.	Artigos que realizam revisões de literatura e bibliometria.
Pesquisas para conhecer possíveis cenários.	Artigos que apenas buscam entender qual o cenário da gestão de resíduos de um ambiente, seja uma cidade ou empresas.
Que não aborda soluções para o resíduo de madeira.	Artigos que não demonstram alguma melhoria ou solução para algum determinado resíduo de madeira.
Publicações duplicadas.	Mesmos artigos encontrados na base de dados, mantendo apenas um dos que repetiram.

Fonte: Autores (2023).

Definidos os critérios de seleção, foram lidos os títulos, resumos, materiais, métodos e objetivos para então realizar os descartes de forma correta e respeitando os parâmetros estabelecidos. Para organizar as informações os artigos classificados foram compilados em um quadro com informações sobre ano, autor principal, país que originou a publicação, periódico, objetivos do trabalho, principais conclusões e soluções para o resíduo de madeira descrita no artigo, isso facilitara a visualização e leitura dos artigos de forma sintetizada.

2.1.7 Resultados

O resultado preliminar das buscas foram 29 artigos, aplicando os filtros estabelecidos na base *Sciencedirect*. Após a leitura dos títulos, resumos, objetivo, materiais e métodos de todas as publicações encontradas foram excluídos sete por não abordar solução para resíduos de madeira, três por tentar conhecer apenas o cenário de regiões ou empresas sobre os resíduos, dois artigos por serem uma revisão literária e dois por não usar resíduo de madeira. Assim, foram classificados 15 artigos para a construção da revisão integrativa que podem ser observadas na Figura 12.

Figura 12

Artigos classificados

Título	Ano	Autor principal	País	Revista	Objetivo	Principais conclusões	Soluções para o resíduo de madeira
Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities	2018	Md. Uzzal Hossain	China - Hong Kong	Journal of Cleaner Production	O objetivo deste estudo foi avaliar e comparar os impactos ambientais da gestão de resíduos de madeira gerados nas atividades de construção de edifícios usando diferentes cenários alternativos de gestão em Hong Kong.	Três cenários alternativos foram escolhidos: 1° polímero-madeira, 2° cimento-madeira, 3° biocombustíveis para geração de energia e 4° aterro. Pode-se concluir que o Cenário 3° é a melhor opção disponível para gerenciamento de resíduos de madeira em Hong Kong, seguido pelo Cenário 1° e Cenário 2°, respectivamente, em termos de impactos ambientais e recuperação de recursos. Em contraste, o Cenário 4 pode ser considerado o pior, mas é a prática predominante para a gestão de resíduos de madeira em Hong Kong.	Energia, cimento-madeira e polímeros-madeira



<p>Critical impacts of pyrolysis conditions and activation methods on application-oriented production of wood waste-derived biochar</p>	<p>2021</p>	<p>Mingjing He</p>	<p>China - Hong Kong</p>	<p>Bioresource Technology</p>	<p>Desvendar as incertezas para fabricar o biochar projetado com propriedades adequadas à finalidade e reduzir os custos de produção.</p>	<p>O biochar puro pirolisado a 650 °C alcançou o maior poder calorífico. A temperatura de pirólise de 750 °C foi crítica para o biochar de resíduos de madeira desenvolver estrutura porosa e esqueleto de carbono grafítico. A ativação de vapor facilitou a formação de mesoporos, enquanto a ativação de CO² e tratamento ácido formaram microporos no biochar No geral, a produção de biocarvão com base científica com design adequado à finalidade é crucial para maximizar os benefícios do gerenciamento sustentável de resíduos de madeira.</p>	<p>Biochar</p>
<p>Dynamic accounting of greenhouse gas emissions from cascading utilisation of wood waste</p>	<p>2019</p>	<p>Giorgia Faraca</p>	<p>Dinamarca</p>	<p>Science of the Total Environment</p>	<p>O objetivo é avaliar o potencial de aquecimento global de cenários alternativos para a gestão de resíduos de madeira pós-consumo e compará-los com a prática atual.</p>	<p>Com base na comparação de 15 cenários alternativos de gestão em cascata de resíduos de madeira, mostramos de uma perspectiva de mitigação das mudanças climáticas que a reciclagem orientada para a qualidade do resíduo da madeira é preferível à maximização da quantidade enviada para reciclagem.</p>	<p>Energia, cimento-madeira e pellet</p>

<p>Effect of nitrogen, phosphorus and pH on biological wood oxidation at 42 °C</p>	<p>2020</p>	<p>Shiyang Fan</p>	<p>Holanda</p>	<p>Science of The Total Environment</p>	<p>Objetivo foi estudar as exigências nutricionais para sustentar a oxidação biológica da madeira (BWO). Para este propósito, três fatores diferentes, incluindo adição de nitrogênio, adição de fósforo e pH, foram estudados.</p>	<p>A melhor faixa de adição de nitrogênio (N) neste estudo foi de 2,5 a 5 mg/g. Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre esses grupos de adição de N ($P > 0,05$). A adição de fósforo (P) (0-5 mg/g) e a faixa de pH entre 4 e 6 não tiveram efeito significativo no BWO a 42 °C ($P > 0,05$). A perda de massa e o consumo cumulativo de oxigênio tiveram uma forte relação linear ($R^2 = 0,9307$) entre todos os testes. A adição de P e o pH não teve efeito significativo no BWO. A maior taxa teórica de produção de calor foi de 0,63 W/kg matéria seca, obtida pela adição de 2,5 mg/g N.</p>	<p>Energia</p>
--	-------------	--------------------	----------------	---	---	---	----------------



<p>Recycling of saw dust as a filler reinforced cotton seed oil resin amalgamated polystyrene composite material for sustainable waste management applications</p>	2022	Mercy Eben Newton Balakrishnan	Índia	Materials Today: Proceedings	<p>Relatar que a formação dos materiais compósitos a partir dos resíduos naturais à base de madeira com a matriz polimérica altera o comportamento mecânico dos compósitos.</p>	<p>A mistura de serragem à base de celulose natural com a matriz polimérica de resina de caroço de algodão foi preparada com sucesso e caracterizada por técnicas espectroscópicas e microscópicas. Esta classe de resinas à base de óleo vegetal amalgamadas com o pó de serra pavimentam o novo caminho para as aplicações ambientais de gestão sustentável de resíduos.</p>	Polímero-plástico
<p>Multi-objective utilization of wood waste recycled from construction and demolition (C&D): Products and characterization</p>	2022	H. Khodaei	Canadá	Waste Management	<p>O objetivo geral do estudo foi reduzir os materiais residuais e simultaneamente produzir um recurso de energia térmica limpa autoindependente, juntamente com coprodutos de valor agregado, como biocarvão, biogás e/ou carvão ativado.</p>	<p>Potenciais notáveis de economia de energia coincidem com a produção de produtos de alta qualidade que são alcançados pela combustão de resíduos de madeira de baixa qualidade reciclados de construção e demolição (C&D).</p>	Energia Bio-carvão

<p>Evaluation of fast and slow pyrolysis methods for bio-oil and activated carbon production from eucalyptus wastes using a life cycle assessment approach</p>	<p>2019</p>	<p>Ava Heidari</p>	<p>Irã</p>	<p>Journal of Cleaner Production</p>	<p>O objetivo deste estudo foi identificar o produto mais ecologicamente correto a partir de madeira de eucalipto por meio da metodologia LCA.</p>	<p>A produção de bio-óleo a partir de resíduos de madeira de eucalipto teve melhor desempenho ambiental do que Carvão ativado. Por exemplo, o potencial de aquecimento global da produção de carvão ativado é mais de 3,8 vezes maior do que a geração de bio-óleo. Além disso, a produção de bio-óleo não apenas reduz a demanda por combustíveis fósseis e o esgotamento dos recursos abióticos, mas produz biocarvão como coproduto, o que diminui a carga ambiental.</p>	<p>Bio-óleo e bio-carvão</p>
--	-------------	--------------------	------------	--------------------------------------	--	--	------------------------------



<p>Catalytic hydroliquefaction of charcoal CCB (copper, chromium and boron)-treated wood for bio-oil production: Influence of CCB salts, residence time and catalysts</p>	<p>2014</p>	<p>Silao Espérance Kinata</p>	<p>França</p>	<p>Applied Energy</p>	<p>Investigação sobre a hidroliquefação de madeira tratada com carvão CCB.</p>	<p>Apesar de seu alto poder calorífico inferior, a extração de materiais perigosos é necessária antes de usar o bio-óleo. Por outro lado, as análises de gases permitiram entender o mecanismo químico que ocorre durante o processo de hidroliquefação.</p>	<p>Bio-óleo e bio-carvão</p>
---	-------------	-------------------------------	---------------	-----------------------	--	--	------------------------------



<p>Forest Waste Derived Fuel with Waste Cooking Oil</p>	<p>2017</p>	<p>Yen-JungLu</p>	<p>China - Taiwan</p>	<p>Energy Procedia</p>	<p>Investigação sobre os comportamentos de combustão dos combustíveis derivados de resíduos florestais.</p>	<p>Os resultados mostram que o combustível preparado nesse trabalho a partir de resíduos florestais misturados com óleo de cozinha residual é adequado para uso como combustível alternativo e reduz as emissões globais de gases de efeito estufa.</p>	<p>Energia</p>
---	-------------	-------------------	-----------------------	------------------------	---	---	----------------



<p>Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard</p>	<p>2018</p>	<p>Md Uzzal Hossain</p>	<p>China - Hong Kong</p>	<p>Construction and Building Materials</p>	<p>Este estudo avaliou a viabilidade técnica e sustentabilidade ambiental de painéis aglomerados cimentícios (CBPs) produzidos com agregados de madeira reciclada e ligante alternativo e comparou o desempenho de sua contraparte produzida com madeira virgem e ligante comum usando análise experimental e avaliação do ciclo de vida (LCA).</p>	<p>Os resultados experimentais mostraram desempenho mecânico aceitável dos CBPs desenvolvidos em conformidade com as normas exigidas. As considerações de sequestro direto de carbono e evitar aterros sanitários contribuiu para uma redução de 9% do total de gases do efeito estufa (GEEs) em comparação com os CBPs convencionais, além da análise do ciclo de vida do produto auxiliar a diminuir os GEEs. A inovação tecnológica pode efetivamente resolver o problema de descarte de resíduos de madeira e melhorar a utilização de materiais e a sustentabilidade da indústria da construção.</p>	<p>Cimento-madeira</p>
---	-------------	-------------------------	--------------------------	--	---	---	------------------------



<p>Sustainability analysis of pelletized bio-fuel derived from recycled wood product wastes in Hong Kong</p>	2016	Md. Uzzal Hossain	China - Hong Kong	Journal of Cleaner Production	<p>Avaliar a sustentabilidade ambiental da conversão de resíduos de madeira reciclada para produzir pellets de madeira para geração direta de energia.</p>	<p>Os resultados dos testes mostraram que o teor de energia, as composições químicas e as concentrações de metais vestigiais atenderam aos padrões relevantes. Os resultados mostraram que impactos significativos na saúde, ecossistema, mudanças climáticas e danos aos recursos podem ser potencialmente evitados usando pellets de madeira em vez de carvão para geração de energia.</p>	Energia e pellet
<p>A novel post-modification of powdered activated carbon prepared from lignocellulosic waste through thermal tension treatment to enhance the porosity and heavy metals adsorption</p>	2020	Seyyedeh Maryam Kharrazi	Irã	Powder Technology	<p>Avaliar o efeito da tensão térmica na estrutura do carvão ativado</p>	<p>A simulação do estresse térmico usando uma análise de elementos finitos implicou que as mudanças rápidas de temperatura podem causar a formação de trincas levando ao aumento da porosidade. A tensão térmica pode ser utilizada como um processo eficiente para melhorar as propriedades adsorptivas dos carvões ativados.</p>	bio-carvão

<p>Possibility of efficient utilization of wood waste as a renewable energy resource in Serbia</p>	<p>2012</p>	<p>Bojan Đerčan</p>	<p>Sérvia</p>	<p>Renewable and Sustainable Energy Reviews</p>	<p>O objetivo foi explicar a importância do uso, tanto quanto possível, da biomassa como fonte de energia renovável, particularmente a biomassa lenhosa, que representa o combustível ecologicamente correto que é produzido a partir de fontes renováveis, tornando o combustível lenhoso uma das soluções para reduzir a emissão de gases de efeito estufa.</p>	<p>A utilização de biomassa para fabricação de energia abriria alguns novos caminhos dos quais todos se beneficiariam: a existência de fontes disponíveis de matérias-primas e o uso otimizado dos recursos; desenvolvimento de novas indústrias com potencial significativo; a introdução de novas tecnologias que ajudam a reduzir a poluição ambiental; emprego na indústria em áreas rurais; criar um mercado para produtos de resíduos de madeira; economia no uso de fontes de energia renováveis; redução do uso de outros combustíveis; Proteção Ambiental; envolvimento nos processos de desenvolvimento europeus e a disponibilidade de fundos de desenvolvimento.</p>	<p>Energia</p>
--	-------------	---------------------	---------------	---	---	--	----------------



Unlocking economic value and sustainable furniture manufacturing through recycling and reuse of sawdust	2018	Wilson R. Nyemba	África do Sul	Procedia Manufacturing	Transformar os desafios em oportunidades em que a empresa não apenas descartaria os resíduos de serragem, mas também obterá receita agregando valor econômico aos resíduos.	A empresa não apenas obterá uma receita modesta com os resíduos, mas economizará em seus custos atuais de gerenciamento de resíduos e pagará facilmente pela máquina de briquetagem. Os recursos podem ser investidos de volta para fabricação sustentável, transformando assim o desafio da gestão de resíduos em uma oportunidade econômica.	Briquetagem
Recovery of ammonium and phosphate from urine as value-added fertilizer using wood waste biochar loaded with magnesium oxides	2018	Kangning Xu	China	Journal of Cleaner Production	Investigar a recuperação simultânea de amônio e fosfato da urina usando Mg-biochar produzido a partir de resíduos de madeira por meio de pirólise lenta.	Mg-biochar demonstrou alta capacidade de remoção de amônio e fosfato, chegando a 47,5 mgN/g e 116,4 mgP /g, respectivamente. Particularmente, a capacidade de remoção de amônio foi maior do que a de muitos outros absorventes à base de carbono. Os resultados indicaram que o Mg-biochar de resíduos de madeira pode efetivamente remover fosfato da urina enquanto recupera amônio e fosfato como um fertilizante enriquecido com nutrientes à base de biochar.	Biochar

Fonte: Autores (2023).

Dentre os 15 artigos classificados neste trabalho, 27% foram publicados em 2018, 13% nos anos de 2022, 2020 e 2019, os restantes tiveram apenas uma (7%) publicação nos anos de 2021, 2017, 2016, 2014 e 2012, não havendo publicações em 2015 e 2013.

Em relação à origem das pesquisas, a maioria concentrou-se na Ásia, com nove artigos, representando 60% dos estudos encontrados. Destaca-se a China, que apresentou seis artigos, logo após aparece a Europa, com quatro publicações, sendo que nenhum país do continente foi responsável por mais de um estudo. Já América e África tiveram apenas uma (7%) publicação encontrada. O autor que se destacou foi Md. Uzzal Hossain, que teve três (20%) publicações explanadas neste trabalho, os demais tiveram apenas um estudo encontrado.

A revista que obteve maior relevância foi *Journal of Cleaner Production*, que aborda assuntos como produção mais limpa e sustentabilidade e disponibilizou quatro (27%) artigos relacionados a este assunto. Em seguida com duas publicações é a revista *Science of the Total Environment*, que aborda assuntos ambientais. Os restantes obtiveram apenas uma publicação, entre os temas das demais estão energia, com três revistas que abordam esse assunto, biorecursos, construção civil, materiais, pó, manufatura e resíduos. Uma revista por vez tem esses temas como foco.

Dentre os artigos classificados foram explanadas oito soluções para os resíduos de madeira, o meio mais utilizado foi a transformação em energia, que esteve presente em sete (30%) artigos. Em seguida o método mais utilizado nos trabalhos foi o bio-carvão, que apareceu quatro (17%) vezes nas publicações, e o terceiro mais utilizado foi cimento-madeira, com três (13%) aparições. *Biochar*, Bio-óleo, *Pellet* e polímero-madeira - cada solução apareceu duas vezes nos artigos selecionados e apenas a briquetagem apareceu em uma publicação.

2.1.8 Discussão

Uma relação inicial que pode se conceber é a origem das produções científicas com os locais que mais produzem resíduos sólidos. Como visto no relatório *What a Waste 2.0* (2018), as regiões do Leste Asiático, Pacífico, Europa e Ásia central são as que mais originam os resíduos. Por sua vez, as pesquisas selecionadas sobre soluções para resíduos de madeira tiveram como continentes predominantes a Ásia e a Europa.

O autor de destaque Md. Uzzal Hossain é filiado à universidade de Hong Kong e sua principal base de pesquisa está pautado em energia incorporada, sustentabilidade e construção verde, no entanto outros inúmeros trabalhos salientam os resíduos gerados pela construção civil, focando-se em reutilização deles. Seus trabalhos aqui citados enquadram-se na sua linha de

pesquisa, pois o primeiro, com o título “*Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities*”, busca avaliar o potencial dos resíduos de madeira provenientes da construção civil em uma ótica do reaproveitamento em três cenários e em mais um como descarte em aterro.

O segundo trabalho, denominado “*Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard*”, analisa um painel cimentício que utiliza resíduo de madeira como uma das matérias-primas. E por último seu terceiro estudo, disposto neste artigo com o título “*Sustainability analysis of pelletized bio-fuel derived from recycled wood product wastes in Hong Kong*”, tem como premissa a reutilização de madeira da construção civil em pellets para geração de energia.

Das oito soluções descritas neste trabalho a que mais se destacou foi a geração de energia, seja ela por queima direta da madeira ou transformando-a em um outro produto para melhoria na combustão. Essa solução é extremamente importante para um desenvolvimento sustentável, comparando com outros métodos de geração de energia à base de combustíveis não renováveis que foram citados nos trabalhos “*Multi-objective utilization of wood waste recycled from construction and demolition (C&D): Products and characterization*”, “*Evaluation of fast and slow pyrolysis methods for bio-oil and activated carbon production from eucalyptus wastes using a life cycle assessment approach*”, “*Forest Waste Derived Fuel with Waste Cooking Oil*”, “*Sustainability analysis of pelletized bio-fuel derived from recycled wood product wastes in Hong Kong*” e “*Possibility of efficient utilization of wood waste as a renewable energy resource in Serbia*”. Ou até mesmo comparando com outras formas de reutilização da madeira, como os trabalhos “*Multi-objective utilization of wood waste recycled from construction and demolition (C&D): Products and characterization*”.

Porém, estudos mostram a importância da separação da qualidade do resíduo da madeira, antes de dar um destino final. Por exemplo, o próprio artigo “*Multi-objective utilization of wood waste recycled from construction and demolition (C&D): Products and characterization*” e “*Dynamic accounting of greenhouse gas emissions from cascading utilisation of wood waste*”. Os estudos utilizam a legislação alemã que classifica o pós-consumo de madeira em quatro tipos de qualidade, sendo os dois primeiros ideais para reciclagem, o terceiro apenas para fornecimento de energia e o quarto descarte em locais adequados devido à periculosidade e alta contaminação por conter conservantes, e ainda concluem a importância dessa separação para o maior desempenho na sustentabilidade.

Apesar desse último trabalho mencionado dizer que madeiras com contaminação não devem ser reutilizadas, o estudo “*Catalytic hydroliquefaction of charcoal CCB (copper,*

chromium and boron)-treated wood for bio-oil production: Influence of CCB salts, residence time and catalysts” demonstra a possibilidade da reutilização sem agressão ao meio ambiente.

Soluções como bio-carvão, bio-óleo e pellets são muito associadas à geração de energia também. Percebe-se essa relação nos estudos "*Dynamic accounting of greenhouse gas emissions from cascading utilisation of wood waste*", "*Multi-objective utilization of wood waste recycled from construction and demolition (C&D): Products and characterization*", "*Evaluation of fast and slow pyrolysis methods for bio-oil and activated carbon production from eucalyptus wastes using a life cycle assessment approach*" e "*Catalytic hydroliquefaction of charcoal CCB (copper, chromium and boron)-treated wood for bio-oil production: Influence of CCB salts, residence time and catalysts*". Esses artigos aprofundaram-se na produção dos subprodutos, porém visando à utilização desses materiais na geração de energia.

Embora esses insumos sejam comumente associados à geração de energia, eles contêm propriedades físicas e químicas que permitem serem utilizados para outros fins, como o exemplo do estudo "*A novel post-modification of powdered activated carbon prepared from lignocellulosic waste through thermal tension treatment to enhance the porosity and heavy metals adsorption*", que analisa o bio-carvão com finalidade de absorção de elementos químicos.

Nessa mesma linha de pesquisa sobre produtos derivados do resíduo da madeira que citam o absorvimento de componentes químicos estão os trabalhos "*Critical impacts of pyrolysis conditions and activation methods on application-oriented production of wood waste-derived biochar*" e "*Recovery of ammonium and phosphate from urine as value-added fertilizer using wood waste biochar loaded with magnesium oxides*", que utilizam de biochar para a remoção de impurezas.

Abrangendo métodos para reutilização do resíduo da madeira, temos trabalhos que falam da fabricação de componentes cimentícios e polímeros que utilizam a madeira como matéria-prima. Destes trabalhos alguns se aprofundaram na parte técnica do produto, avaliando características físicas e químicas com os artigos intitulados "*Recycling of saw dust as a filler reinforced cotton seed oil resin amalgamated polystyrene composite material for sustainable waste management applications*" e "*Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard*".

Outros apenas compararam a viabilidade sustentável em comparação com outras maneiras de reciclagem descritos nos trabalhos "*Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities*" e "*Dynamic accounting of greenhouse gas emissions from cascading utilisation of wood waste*".

Os artigos explanados neste estudo enfatizam que maneiras de agregação de valor em um produto que seria descartado é uma vantagem competitiva para empresas e municípios. Existe uma concentração em poucos estilos nas soluções de resíduo proveniente da madeira em comparação a inúmeras formas de reaproveitar esse material, como citado no trabalho dos autores Nolasco & Uliana (2014), algumas maneiras de reutilização não foram mencionadas, como a utilização em produtos para piso de madeira, Pom's; artigos decorativos, ferramentas para agricultura, marchetaria, fabricação de tijolos, compostagem de cobertura de solo e corantes.

2.1.9 Conclusão

A geração de energia foi o método mais utilizado para reutilizar a madeira. A classificação da qualidade da madeira pode maximizar os potenciais desse tipo de material, ou seja, a categorização e subsequente destinação do resíduo lenhoso para o melhor uso é a ideal para o desenvolvimento sustentável.

Empresas do ramo florestal podem utilizar esse método para aumentar o rendimento da madeira, o que antes é descartado ou não classificado pode potencializar seus ganhos. Por exemplo, pedaços que serviriam para desenvolver um novo produto e agregar um valor econômico pode apenas estar servindo para geração de energia, isto é, um potencial produto poderia acrescentar maior lucro se ocorresse uma separação nas qualidades dos resíduos gerados e assim destinar para o melhor reuso.

Outro fator importante é a fomentação de estudos na área, a criação de soluções inovadoras eleva o desenvolvimento socioeconômico e ambiental, atingindo os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável proposto pela ONU (2015). Para futuros trabalhos aconselha-se a acompanhar o desenvolvimento das novas soluções para o resíduo de madeira e explanar quais as inovações inseridas no mercado.

2.2 REVISÃO NARRATIVA

A revisão narrativa será dividida em três assuntos: sistema produtivo da manufatura de portas de madeira, sustentabilidade e produção mais limpa e sistemática CPQvA.

2.2.1 Sistema produtivo da manufatura de portas de madeira

De acordo com a ABNT NBR 15930-1 de 2011, a porta de madeira é definida como um "componente construtivo cujo principal propósito é possibilitar ou bloquear a passagem de pessoas, animais e objetos entre diferentes espaços ou ambientes. Os principais elementos que constituem uma porta incluem o marco, a folha da porta, o alizar e as ferragens". A norma ABNT NBR 15930-1 de 2011 abrange essa definição para todas as portas, embora haja uma variedade de maneiras de construí-las, com diferentes formatos, dimensões e materiais.

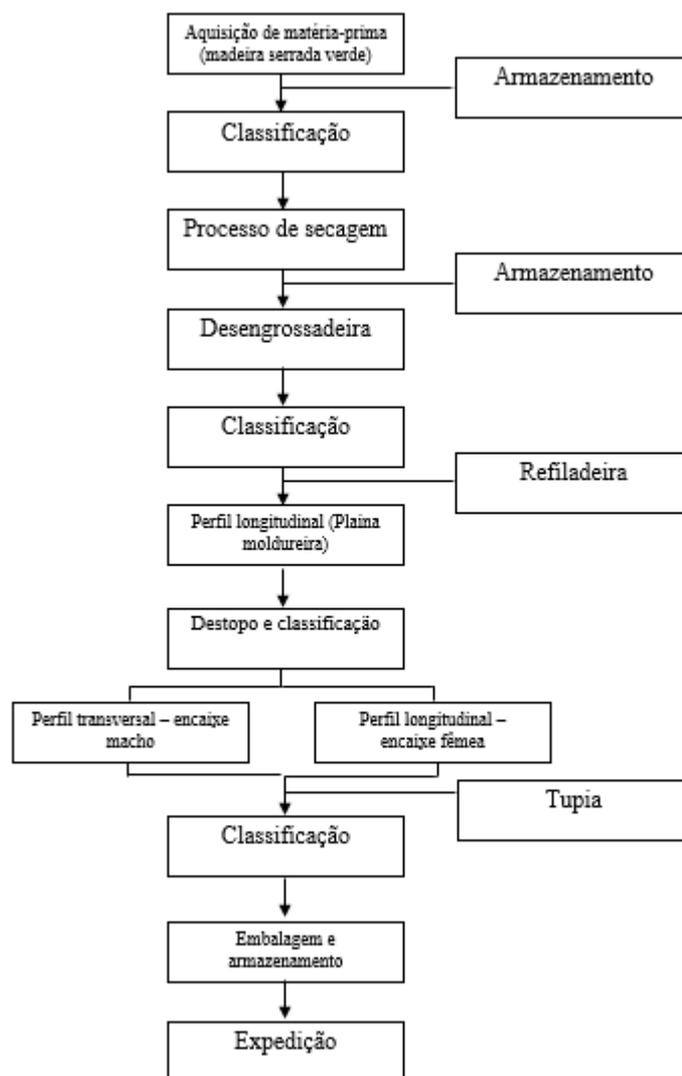
Segundo Tubino (2007), o sistema produtivo é definido como um processo que transforma insumos em produtos nos quais é considerado útil para os consumidores, esse processo é concretizado a partir de planejamentos em prazos, onde planos são feitos e aplicados conforme os prazos estipulados.

Cada modelo de sistema produtivo tem suas características e complexidade de atividades que exige tipos diferentes de planejamentos. Os sistemas produtivos são agrupados em três grandes grupos: sistema de produção contínua, por lotes ou encomendas e para grandes projetos (Moreira, 2008)

Devido à complexidade dos modelos de porta, cada empresa emprega diferentes formas de produção de porta, porém, segundo a ABIMCI (2004), o processo produtivo mais comum para empresas produtoras de portas maciças é por lote, e segue o padrão do fluxograma demonstrado na Figura 13.

Figura 13

Fluxograma de produção de portas de madeira maciça



Fonte: Adaptado ABIMCI (2004).

O processo inicia-se na compra da madeira serrada e verde (úmida) e colocado no estoque, após é classificado por qualidade e tamanhos e levado para a secagem, podendo ser em estufas ou a céu aberto, a madeira seca então é armazenada até sua utilização (ABIMCI, 2004).

Seguindo o processo, a madeira é desengrossada por máquinas, gerando o produto adequado aos tamanhos necessários para produzir a porta, além de gerar resíduo em formato de pó, cavaco e serragem. Em seguida são realizados os cortes e conjuntamente feitos os encaixes que são unificados a fim de dar origem à porta, em sequência é classificado novamente, embalado e armazenado (ABIMCI, 2004)

2.2.2 Sustentabilidade e produção mais limpa

No século XVIII, após a Revolução Industrial, ocorreu um crescimento tecnológico que se estendeu de forma crescente para as futuras décadas, resultando em um impacto nos sistemas de produção, gerando transformações sociais, econômicas e ambientais (Daily & Huang, 2001).

Dessa forma as forças regulamentadoras, mercadológicas, comunitárias e econômicas são as quatro causas fundamentais para manifestar interesses ambientais e sustentáveis ao longo do tempo (Mohan Das Gandhi et al., 2006).

Em 1972 um marco da legislação ambiental foi a Conferência da Cúpula, que ocorreu em Estocolmo. O evento contou com as participações de Chefes de Estado que debateram sobre orientações gerais para confrontar os desafios relacionados à utilização dos recursos naturais, principalmente aqueles referentes aos impactos industriais causados pela extração demasiada de recursos ambientais, cuja temática passou a ser debatida no cenário global (Japiassú, 2017).

Nos anos subsequentes foram feitas diversas conferências, convenções e diretrizes que abordavam temas ambientais como assuntos climáticos, preservação da biodiversidade e sustentabilidade, essas ações tiveram a intenção de promover normas em comum acordo para proteção ambiental (Japiassú, 2017).

Vale ressaltar a importância do ano de 1980, em que ocorreram inovações na legislação brasileira, muito influenciadas pela Declaração de Estocolmo, assim gerando a Lei nº 6.938/1981, que ficou denominada como Política Nacional do Meio Ambiente. Nela foram introduzidas ferramentas relativas à prevenção, contendo punições, repressão e reparo de danos para infratores (Japiassú, 2017)

Outro fator histórico foi o ano de 1983, quando a Assembleia Geral das Nações Unidas aprovou a criação da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, presidida na época pela primeira-ministra norueguesa Gro Harlem Brundtland. O relatório elaborado chama-se “Nosso Futuro Comum” e contém os fundamentos, definições e compromissos do país com o desenvolvimento sustentável (Japiassú, 2017).

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano (CMMAD, 1988), em seu relatório Nosso Futuro Comum denominou o conceito de desenvolvimento sustentável como:

O desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico

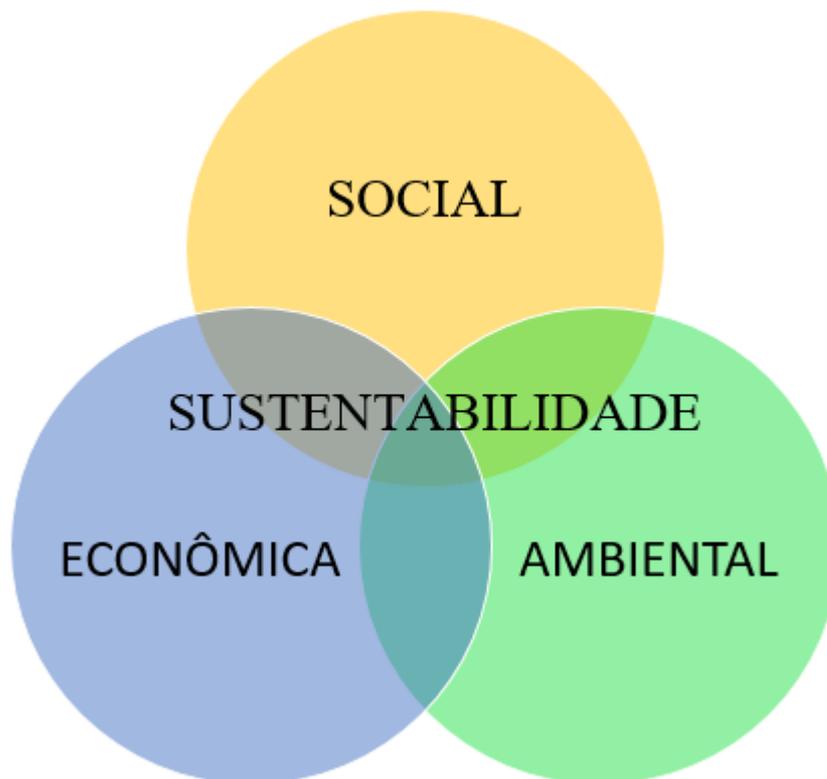
e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas.

O texto complementa que o intuito não é de impedir a utilização dos recursos naturais, pelo contrário, a utilização é fundamental para o desenvolvimento humano, porém o contexto mais importante é o uso adequado conforme a disponibilidade. Por exemplo, ter controle sobre a extração de madeira, sendo extraído o necessário e respeitando o tempo de reflorestamento, de modo a não consumir mais do que o planeta pode regenerar, além de buscar novas formas para recursos não renováveis, e caso não seja possível investir em reciclagem do material (CMMAD, 1988).

Durante os anos foram incorporados conceitos e ferramentas para a definição sobre sustentabilidade. Uma das mais importantes foi o que aconteceu na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, no ano de 2002, que ficou conhecida como Rio Mais 10 e ocorreu em Johannesburgo – África do Sul, onde trouxe o conceito de tripé da sustentabilidade ou *Triple Bottom Line*. Esse conceito pode ser resumido na Figura 14 (Gabriele et al., 2012).

Figura 14

Tripé da sustentabilidade



Fonte: Adaptado Metcalfe (2006).

O conceito do tripé da sustentabilidade é a interação de ações sociais, econômicas e ambientais, sendo assim para atingir metas sustentáveis não bastava interagir com apenas uma área, se faz necessário o entrosamento desses três campos de influência (Gabriele et al., 2012).

Outro marco a complementar as ações governamentais ocorridas nos anos subsequentes foram as medidas tomadas em setembro de 2015 pela ONU, correlacionadas à Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que originou uma ação global onde nações comprometeram-se com 17 objetivos e 169 metas que têm o intuito de atingir a sustentabilidade ambiental, o desenvolvimento econômico, a inclusão social, a boa governança e a erradicação da fome, pobreza e miséria, com prazo de acontecer até 2030 (ONU, 2015).

Em relação à sustentabilidade industrial, durante os 50 anos passados houve uma evolução do entendimento sobre sustentabilidade, principalmente na geração de resíduos. Antes ações conhecidas com “fim-de-tubo” eram recorrentes nas empresas, entendia-se que o resíduo era consequência da manufatura e medidas eram tomadas apenas na linha final da produção, porém conceitos mais modernos estão sendo comumente implementadas, fazendo do resíduo uma estratégia industrial para reduzir gastos (Santos & Araújo, 2020).

A Produção mais Limpa (P+L) é um modelo de gerenciamento de resíduo eficiente e que vem ao encontro da sustentabilidade, pois não traz apenas ações para o meio ambiente, ele complementa as outras áreas do *Triple Bottom Line* por exemplo: o econômico por trazer benefícios monetários para as empresas e bem-estar humano (Metcalf, 2006).

O modelo de negócio do P+L é uma quebra de paradigma, pois antes o resíduo era visto como um problema que deveria ser resolvido e um gerador de custos para a empresa. Com o novo modo de pensar resíduo, o P+L encara essa situação como oportunidade de negócio, gerando melhorias produtivas, visto que é uma técnica econômica e ambiental que visa aumentar a eficiência na utilização da matéria-prima, por meio da não geração, minimização ou reciclagem. A sequência de etapas pode ser vista na figura 15 (Silva & Menelau, 2021).

Figura 15

Fluxograma do sistema de Produção mais Limpa



Fonte: SENAI-RS (2003)

Os níveis do P+L têm prioridades diferentes, sendo o Nível 1 como a melhor ação a ser tomada. Nela se tenta reduzir o resíduo na fonte utilizando as técnicas de modificação do produto ou modificando o processo. Logo em seguida o Nível 2, em que se fazem presentes medidas de reciclagem interna, e por fim o Nível 3, que dispõe de métodos de reciclagem externa ou ciclos biogênicos (Santos & Araújo, 2020)

A P+L, sustentabilidade e valorização de resíduos andam juntos, pois a valorização de resíduos faz parte da estratégia de Produção mais Limpa e é uma maneira eficaz de promover a sustentabilidade. Ou seja, a relação entre produção mais limpa, sustentabilidade e valorização de resíduos é fundamental para promover práticas industriais e empresariais ambientalmente responsáveis (Silva & Menelau, 2021).

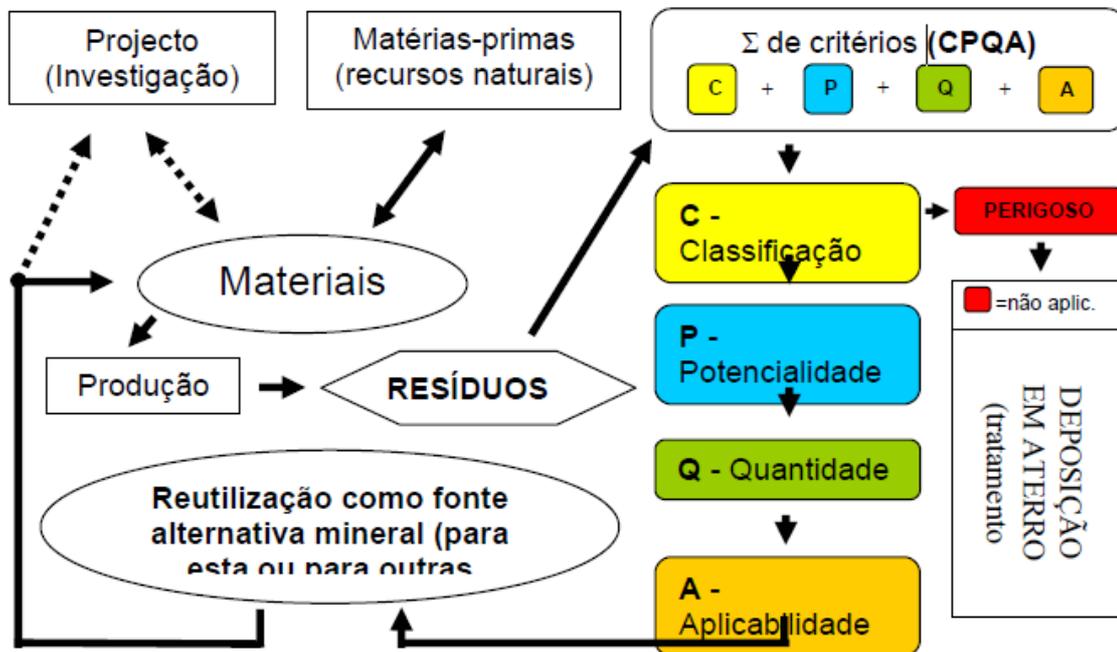
2.2.3 Sistemática CPQvA

Para valorizar o resíduo é necessário analisar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais de forma integrativa, pois estes temas são interdependentes. Desse modo, foi

elaborada uma estratégia que visa à valorização dos resíduos em uma sequência de etapas que conecta estes aspectos, seguindo quadro de etapas sistemáticas (Raupp, 2006). Essa sucessão de fases tem como nome CPQvA e pode ser sintetizada na Figura 16.

Figura 16

Representação esquemática dos critérios sistemáticos para a valorização de resíduos, de forma abreviada – CPQvA



Fonte: Raupp (2006).

O caminho para a valorização do resíduo utilizando a esquemática CPQvA segue critérios de Classificação que visam analisar o resíduo sob a ótica legislativa, potencialidade que busca possibilidade do reuso do resíduo, qualidade/viabilidade, onde examina de modo geral a praticabilidade das soluções encontradas, e aplicabilidade, que verifica se a solução encontrada é viável para utilização (Raupp, 2006).

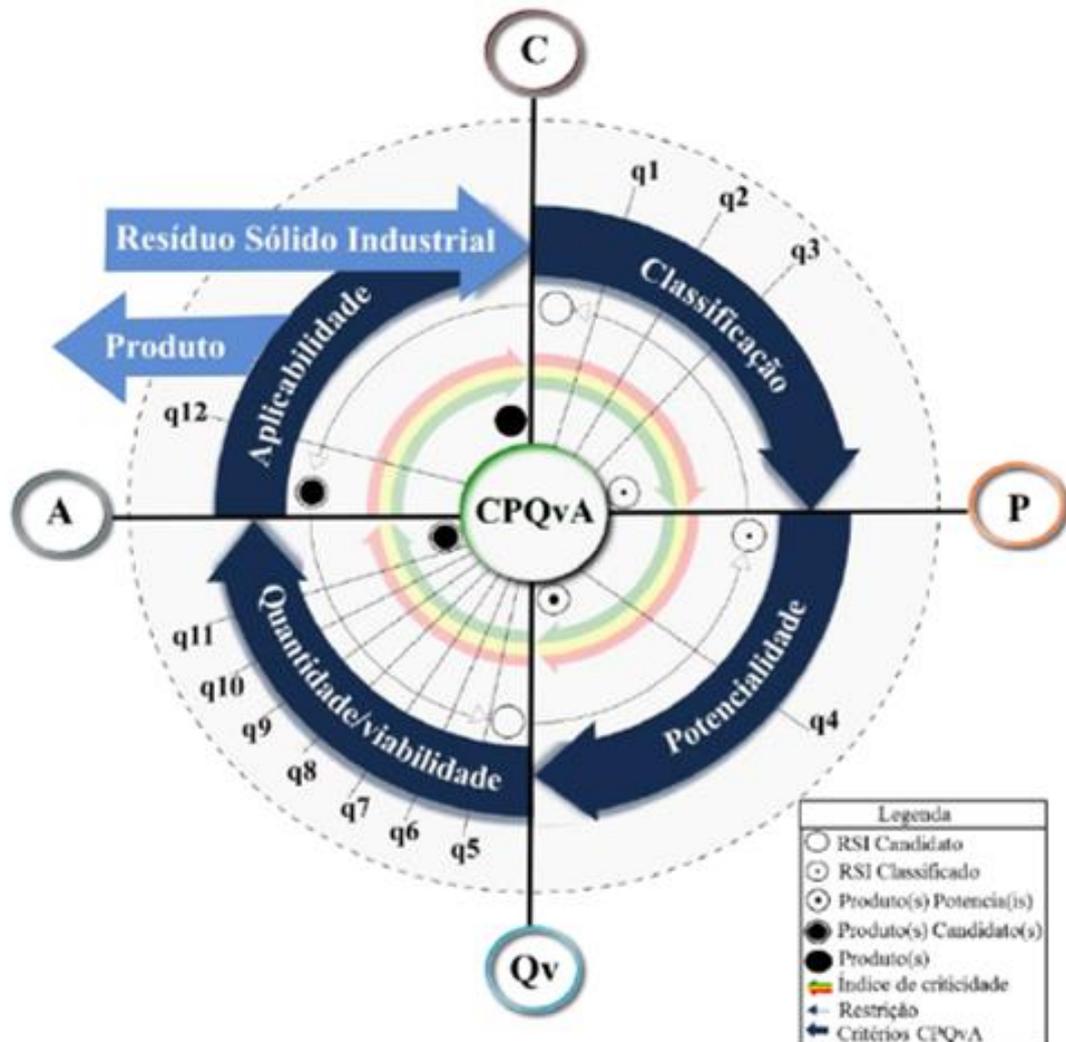
A ferramenta CPQvA foi divulgada no ano de 2006 pelo professor doutor Fabiano Raupp Pereira em sua tese de doutorado, intitulada 'Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentícias'. Em sua pesquisa, ele estudou a valorização de resíduos industriais na composição de cerâmica e cimento (Raupp, 2006).

De forma a estabelecer a tomada de decisão utilizando multicritérios e orientado pelo sistema CPQvA, foi elaborado um guia, sendo assim é possível seguir passos (visto na Figura

17), avaliá-los de forma qualitativa e escolher a solução com o melhor desempenho para cada resíduo testado (Oliveira et al., 2023)

Figura 17

Representação circular para a sistemática de valorização de Resíduos Sólidos Industriais (RSI), critérios CPQvA.



Fonte: Oliveira et al. (2023).

A premissa das etapas leva em consideração a entrada do resíduo que se dá na Classificação (C) onde avaliam-se requisitos legislativos do resíduo candidato, segue-se para as Potencialidades (P), que analisam o resíduo e buscam potenciais formas de reutilização, posteriormente continua-se para Qualidade/viabilidade (Qv), buscando a viabilidade das soluções selecionadas de forma técnica, econômica e ambiental, e por fim obtém-se o resultado final de modo a averiguar a Aplicabilidade (A) da solução encontrada (Oliveira et al., 2023)

Em cada etapa são feitos questionamentos, representados graficamente pelos “q” na Figura 17, onde avalia-se de forma qualitativa e obtém-se respostas quantitativas através da atribuição de notas que podem variar entre 0 para um julgamento que facilite a aceitação e continue o processo, 10 para maiores dificuldades de prosseguimento para as próximas etapas e 5 para respostas em níveis intermediários. A Tabela 1 representa os valores das notas conforme o julgamento de forma qualitativa.

Tabela 1

Valores atribuídos aos níveis de dificuldade para estabelecer respostas (R) aos questionamentos sistêmicos fixados (q1 – q12).

Valores	Julgamento qualitativo
0	Baixa
5	Média
10	Alta

Fonte: Oliveira et al. (2023).

Segundo Oliveira et al. (2023), cada pergunta recebe um peso conforme a importância do tema para a continuidade da valorização, sendo que perguntas que expressam exigências legais ao resíduo levam maior peso para avaliação (peso 10), já aquelas perguntas que podem ser explicadas a partir de normativas, porém não têm caráter obrigatório, recebem menor peso aos obrigatórios (peso 8). As que não se obtém resposta a partir de normativa ou leis levam pesos inferiores (peso 6). As perguntas com os pesos informados podem ser vistas na Figura 21, localizada no item 2.6.

Para Oliveira et al. (2023), os questionamentos são uma ferramenta a fim de causar a reflexão na tomada de decisão ao aplicador da sistemática, desse modo, por ser resposta pessoal do decisor as notas podem diferir para cada executor do CPQvA, porém todas as respostas devem conter fundamentos que justifiquem a nota dada. Os resultados de todas as notas geram o índice de criticidade (I_C), sendo ela parcial para cada fase (C), (P), (Qv) e (A) e um valor para o modelo (Oliveira et al., 2023). Para encontrar o índice de criticidade utiliza-se a fórmula.

$$I_C = \frac{\sum (q_n \times R_n)}{\sum q} \quad (1)$$

A fórmula do índice de criticidade (I_c) é a razão do somatório (Σ) da multiplicação entre peso atribuído no questionamento (q_n) e a nota dada (R_n) pelo somatório do peso das questões (Σq). O valor resultante derivado dessa forma classificará se a solução proposta é adequada para o resíduo estudado.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A seguir serão apresentados os procedimentos metodológicos que embasaram o desenvolvimento desta pesquisa.

3.1 ABORDAGEM, OBJETIVOS, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Esta pesquisa adota o modelo qualitativo, pois utiliza de julgamento e classifica por notas os aspectos de cada valorização, e quantitativo, para coletar dados numéricos a fim de verificar o volume de resíduo gerado pela empresa estudada e aplicação. Além disso, é uma pesquisa aplicada e descritiva.

Para Zanella (2011) a pesquisa aplicada “tem como finalidade gerar soluções aos problemas humanos, entender como lidar com um problema”. Desse modo, o presente estudo atende características de uma pesquisa aplicada, pois objetiva a utilização do conhecimento científico aplicado em uma empresa produtora de porta a fim de compreender sua natureza e encontrar soluções práticas para os resíduos madeireiros que são gerados.

Segundo Heerdt et al., (2007) “pesquisa descritiva é aquela que analisa, observa, registra e correlaciona aspectos (variáveis) que envolvem fatos ou fenômenos, sem manipulá-los”. Sendo assim, o presente estudo apenas registra e descreve o ocorrido, ordena os dados, sem fazer alterações, além de buscar padrões e frequência das ocorrências e relações entre outros fatos, portanto esta pesquisa classifica-se como descritiva.

Pelo fato de apresentar o cenário atual da empresa e verificar as condições do processo produtivo, analisando os resíduos gerados por meio da utilização de ferramentas, pode-se considerar que este projeto de pesquisa é classificado como estudo de caso, pois segundo Provdanov & Freitas (2013) “o estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa”.

3.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A seguir será apresentada a delimitação do estudo, demonstrando a descrição do local e as etapas da pesquisa.

3.2.1 Descrição do local e população em estudo

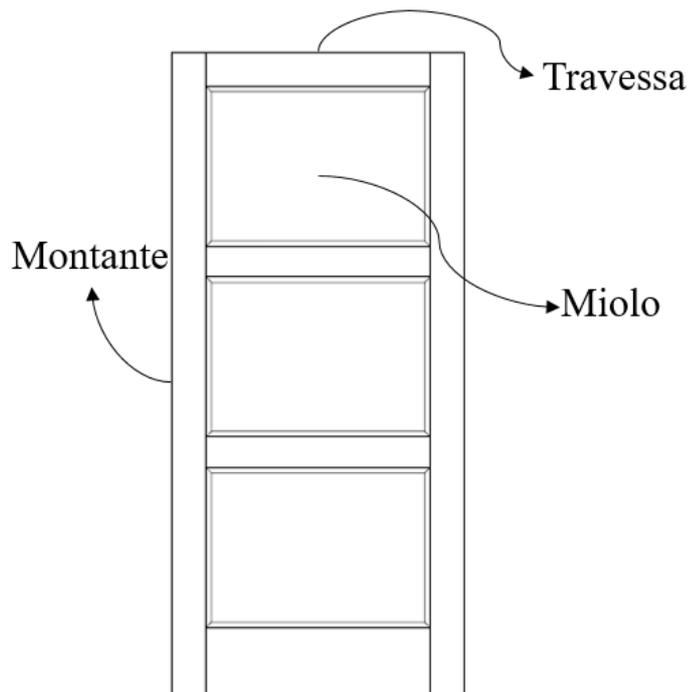
A empresa estudada atua no mercado de fabricação de portas, atualmente está localizada em Forquilha – SC e tem seu enfoque na venda para o exterior. O estudo foi aplicado no setor produtivo a fim de identificar os resíduos gerados no processo fabril.

Atualmente possui mais de 120 funcionários no chão de fábrica e conta com uma mescla de máquinas autônomas e novas com equipamentos manuais e antigos.

Basicamente a porta produzida pela empresa estudada utiliza três partes para ser fabricado, o montante, travessa e miolo, porém existe modelos diferentes, podendo mudar o *layout* do produto, mas mantendo as partes definidas. Um exemplo de porta pode ser visto na Figura 18

Figura 18

Modelo da Porta com indicativos das partes que compõe



Fonte: Autores (2023)

Os montantes são fundamentais para o estrutural da porta de madeira. Como visto na Figura 28, o montante fica sempre na vertical, composto por uma peça inteira, fazendo assim o material mais buscado na realização dos cortes das tábuas por ser a maior peça do conjunto, conseqüentemente dificultando encontrar sem defeitos.

Quando não é possível transformar a tábua em montante são buscados tamanhos menores para serem feitas travessas que, por sua vez, podem ter diversas dimensões e direções, dependendo do modelo que será produzido. Na Figura 28 usada como exemplo ele configura-se na horizontal, porém pode ter travessas verticais.

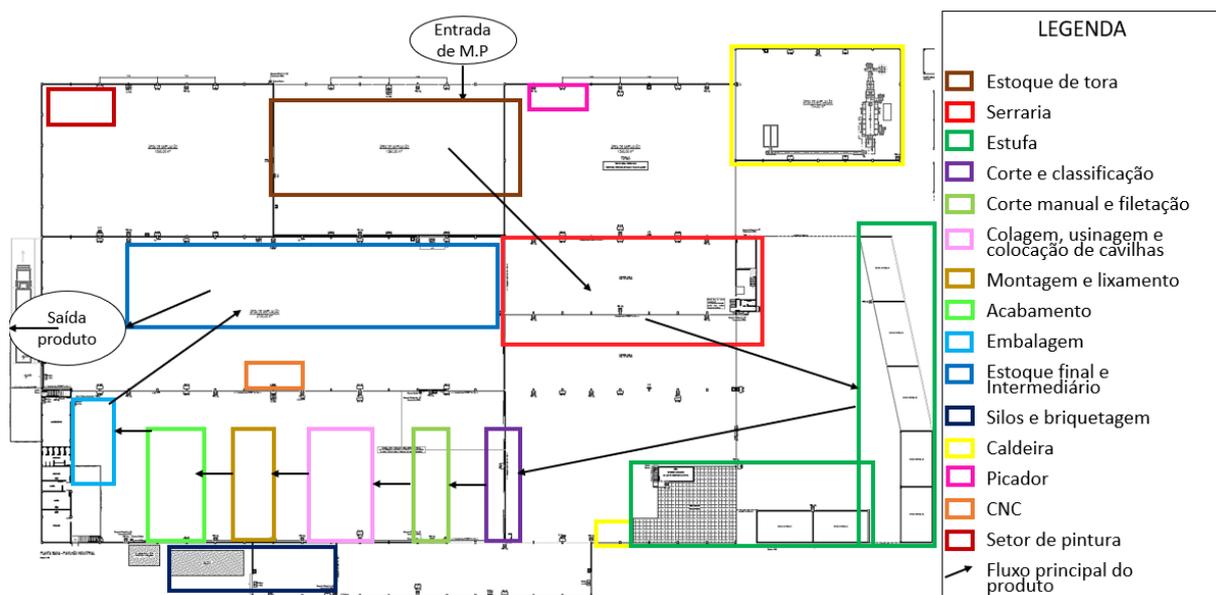
Os miolos são a face da porta, ficam entre as travessas e o montante, podem ser feitos de diversas formas, como sarrafeados para montar uma persiana ou em forma de almofadas, como visto na Figura 28. As almofadas são pedaços menores que são colados entre si, formando um painel de madeira que após é recortado conforme o tamanho da almofada especificada no projeto da porta e encaixados entre os montantes e as travessas.

Além dessas partes para a fabricação da porta, o setor de corte gera resíduos como pó, serragem, maravalha, pedaços com defeitos e aparas que são madeiras consideradas de boa qualidade, porém com tamanhos que não dão continuidade no processo produtivo e objeto deste estudo. A madeira trabalhada na empresa não contém tratamentos químicos para maior conservação.

O *layout* da empresa está demonstrado na Figura 18, juntamente estão contidos os setores produtivos e o fluxo do produto. A indústria produz inúmeros modelos de portas.

Figura 19

Layout da empresa estudada



Fonte: Autores (2023).

O processo produtivo inicia-se na entrada das toras de madeiras indicado na Figura 19 como “Entrada matéria-prima (MP)”, e então são estocadas, após são levadas até a serraria, observado na Figura 20, a fim de transformar em tábuas. Nesse momento existe a saída de resíduos, como casca, costaneiras, pó, serragem e maravalha.

Figura 20

Máquina que serra as toras de madeira

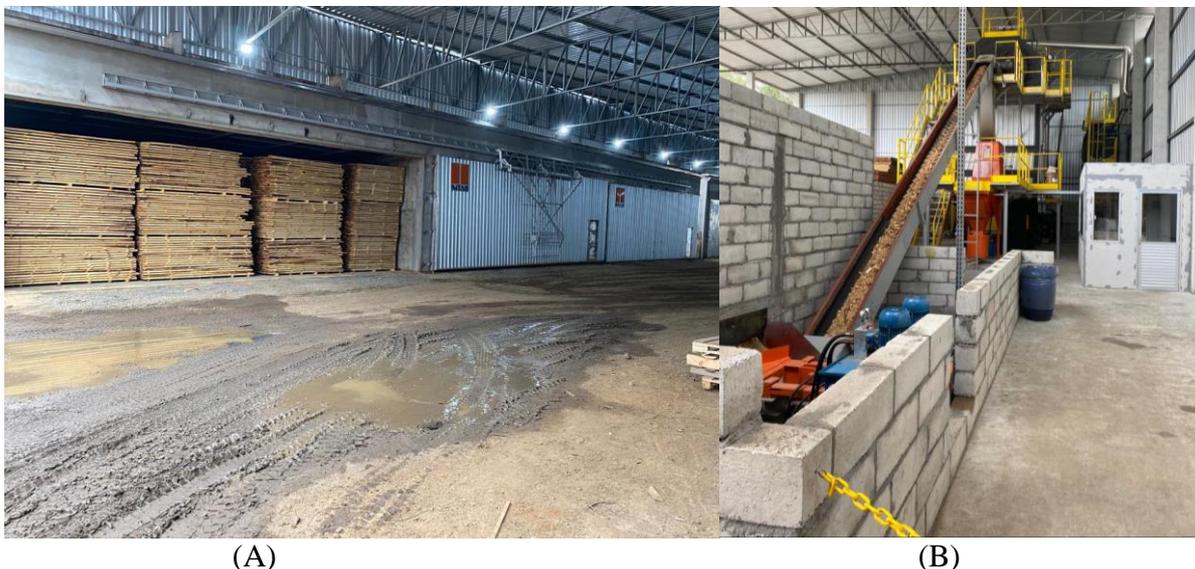


Fonte: Autores (2023).

A tora de madeira cortada vai para a secagem nas estufas e aquecida por um sistema de transmissão de calor produzido pelas caldeiras (Figura 21).

Figura 21

Estufas com madeira serrada (A) e caldeira na empresa estudada (B) no processo produtivo da empresa estudada.



Fonte: Autores (2023)

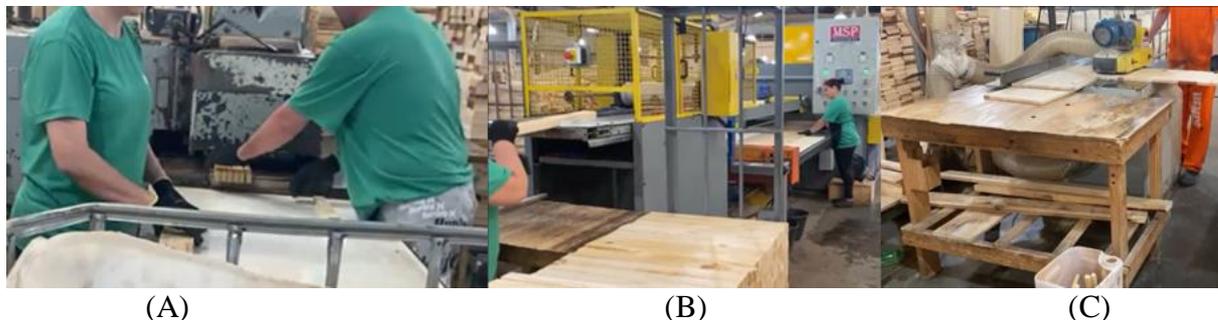
A caldeira mais moderna foi instalada no ano de 2022 e supre a demanda para todas as estufas instaladas na empresa. A madeira para utilização da fabricação da porta necessita estar entre 10% e 14% de umidade, para tal a madeira permanece 120 horas na estufa. Após secas entram no processo de corte e classificação, essa parte refere-se ao objeto de estudo, sendo iniciada na colocação das tábuas em uma esteira que as leva em uma máquina que lixa e aparas as imperfeições, depois é passado em um escâner chamado *Opticore*, que identifica as imperfeições e corta em pedaços conforme o projeto da porta.

Devido à madeira não ser uma matéria-prima padronizada, o escâner calcula o maior aproveitamento possível da tábua, porém ainda são gerados resíduos como pedaços com nó, fungos e aparas, cujo é o objeto deste e não podem dar continuidade no processo por terem tamanho inferior ao usado para produção de porta.

Então, os pedaços cortados são separados pela máquina em box e cada um recebe tamanho diferente que segue caminho diverso na linha produtiva, sendo que os pedaços para a fabricação das almofadas vão para filetagem e colagem (Figura 22). Posteriormente são transformados em painel de madeira colada, esse painel vai então para corte e usinagem para depois ser montado com as outras partes da porta.

Figura 22

Filetagem da madeira (A) colagem dos filetes na prensa (B) e usinagem do painel colado (C) no processo produtivo da empresa estudada.



Fonte: Autores (2023)

Um box é separado em tamanhos para fazer as travessas, elas passam pela usinagem, e furação para inserção de cavilhas, seguem para a montagem e encaixamento das almofadas, como mostra a Figura 23.

Figura 23

Furação das travessas (A) e encaixe nas almofadas (B) no processo produtivo da empresa estudada.



Fonte: Autores (2023)

E por fim, o tamanho com maior dimensão conhecido como montante vai direto para a furação e montagem, sendo a última parte a se encaixar na produção de uma porta e sendo auxiliado em uma prensa pneumática, como mostra a Figura 24.

Figura 24

Encaixe dos montantes na porta no processo produtivo da empresa estudada.



Fonte: Autores (2023)

Após a montagem da porta ela passa pelo acabamento, sendo lixada por máquinas e equipamentos operados por pessoas, posteriormente é embalada, etiquetada e segue para o estoque. Durante todo este processo produtivo de portas há geração de pó de madeira, porém ao longo do processo há tubulações que sugam esse material e levam para um silo que por sua vez transforma o resíduo gerado em briquetes, como acompanhado na Figura 25.

Figura 25

Máquina de briquetes (A) e produto final em bag no processo produtivo da empresa estudada (B).



(A)

(B)

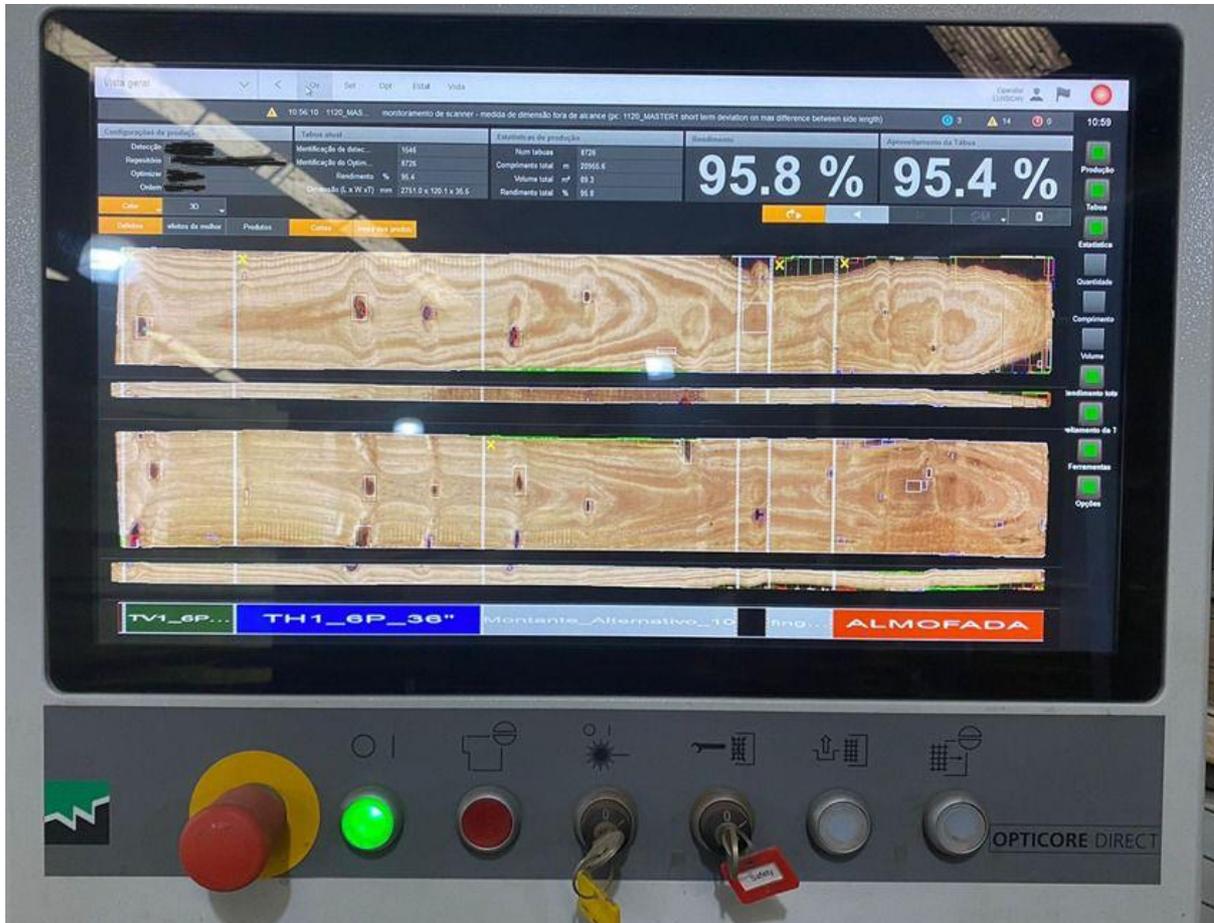
Fonte: Autores (2023)

3.2.2 Etapas da pesquisa

A pesquisa se inicia na escolha das aparas de madeira da espécie *Pinus Elliottii* como objeto de estudo, suas dimensões são fixas em 12 centímetros de largura e 3,5 centímetros de espessura, porém contém variações no comprimento entre 12 e 40 centímetros. Este resíduo se encontra apenas no setor de corte das tábuas secas, onde se inicia com o recebimento da tábua com dimensões padrão de 3 ou 2,75 ou 2,50 metros de comprimento, 12,5 centímetros de largura e 4 centímetros de espessura e passa por escâner que através do software *Opticore* identifica os defeitos da madeira que não são apropriados para seguir na linha produtiva. O software mostra os pontos de corte da madeira para ter o maior rendimento possível. Esse momento é retratado na Figura 26.

Figura 26

Software Opticore utilizado para catalogar os defeitos da madeira e determinar os cortes a serem realizados



Fonte: Autores (2023).

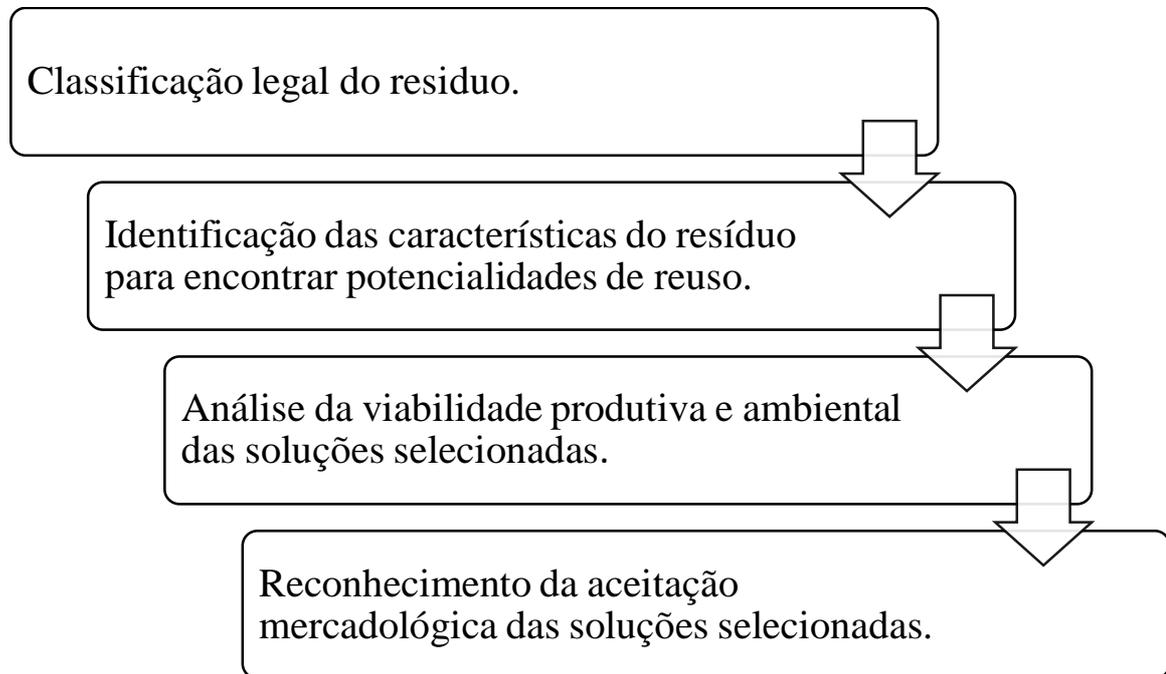
Os cortes têm como único propósito alterar o comprimento da tábua, preparando-a para ser incorporada à linha de produção. O software dá prioridade aos tamanhos maiores, uma vez que a coleta desses tamanhos maiores é mais desafiadora devido à distribuição heterogênea de defeitos na madeira.

Por haver aproveitamento apenas dos maiores tamanhos do resíduo de madeira e descartar partes com defeitos ocorre o surgimento das aparas, que são resíduos de tamanhos menores da produção de porta que não possuem o comprimento suficiente para seguir na linha de produção.

Estes resíduos então são descartados sem agregar valor, resultando em desperdício. Portanto, esta pesquisa utiliza a abordagem CPQvA para explorar alternativas de aproveitamento desses resíduos, com o objetivo de agregar valor a eles. A Figura 27 demonstra os passos seguintes para desenvolvimento da pesquisa utilizando-se da sistemática CPQvA.

Figura 27

Etapas para elaboração da pesquisa



Fonte: Autores (2023).

A primeira fase descrita na Figura 27 é o enquadramento legislativo ambiental do resíduo estudado, buscando legislações que proibam a valorização do resíduo e classificando conforme as normas do PNRS, CONAMA e ABNT. Determinado o resíduo e definido o enquadramento legal, o próximo passo foi a escolha das soluções que podem ser empregadas para valorizar as aparas.

Nessa etapa foram analisadas as características físicas e químicas que o resíduo tem e com o alinhamento dessas informações foi possível identificar os produtos que podem ser feitos a partir desse resíduo, sendo que a escolha das soluções para análises e em continuar nas próximas etapas é do pesquisador que tem o intuito de avaliá-las (Oliveira et al., 2023).

Na sequência foi realizada uma análise de viabilidade das soluções selecionadas, para isso foi investigado se as variabilidades do resíduo podem interferir na produção do produto, depois se algum elemento pode ultrapassar os limites legais dos potenciais soluções e em seguida foi verificado se houve a necessidade de adequações no gerenciamento do resíduo na empresa geradora e receptora. Posteriormente, foi verificada a existência de legislação sobre os produtos selecionados ou que restrinja a utilização do resíduo estudado nas soluções adotadas,

após isso foi averiguado se o volume de resíduo gerado é suficiente para suprir a demanda e por fim se há mercado consumidor para esse tipo de produto.

A última fase da pesquisa foi averiguar a aplicabilidade dos potenciais produtos no mercado, para isso verificou-se o desempenho deles perante a comercialização. A partir dessa etapa obteve-se notas que geraram um índice de criticidade, a partir do que foi possível classificar a melhor valorização das aparas que podem ser utilizadas pela empresa.

3.3 PROCESSO DE COLETA DE DADOS

O trabalho seguiu as etapas da sistematização do CPQvA, ou seja, respeitou as fases que se iniciam na classificação, depois potencialidades, quantidade/viabilidade e aplicabilidade. Essas partes contêm perguntas com pesos diferentes e cada resposta possui uma nota, que no final resulta na classificação da proposta selecionada para as aparas de madeira.

As perguntas que têm respostas binárias levam notas extremas, 0 (zero) quando facilite ou 10 (dez) onde tem um maior nível de dificuldade. Por exemplo, a pergunta q1, “Há legislação que restrinja a valorização do RSI?”, quando ela se restringe a respostas de sim ou não, caso não tenha legislação que proíba o uso será atribuído uma nota 0, caso contrário uma nota 10.

Em perguntas que envolvem uma avaliação e não têm uma resposta simplesmente "sim" ou "não" é possível incluir notas intermediárias, como a nota 5, para expressar uma resposta mais detalhada (Oliveira et al., 2023). Os questionamentos e os pesos para cada item podem ser vistos na Figura 28.

Figura 28

Questionamentos que compõem a sistemática, de acordo com cada critério e seus respectivos pesos (assim fixados de q1 – q12)

Critérios	Questionamentos (q)		Pesos
C	q1	Há legislação que restrinja a valorização do RSI?	10
	q2	Qual a dificuldade em estabelecer uma amostra representativa do RSI?	8
	q3	Qual a classe ambiental – legislativa do RSI?	10
Somatório das questões da Classificação (Σ qC)			28
P	q4	A composição do RSI classificado restringe a potencialidade das aplicações?	10
Somatório questões da Potencialidade (Σ qP)			10
Qv	q5	A variabilidade composicional compromete possíveis produto (s) potencial (is)?	6
	q6	Há algum elemento que configure limite de tolerância no (s) produto (s) potencial (is)?	8
	q7	Há necessidade de adequação do gerenciamento para geradora do RSI?	6
	q8	Há necessidade de adequação do gerenciamento para a receptora do RSI?	6
	q9	Há legislação que regulamenta o (os) produto (s) ou restrinja o uso do RSI?	10
	q10	A quantidade de produção do RSI atende a necessidade do (s) produto (s) candidato (s)?	10
	q11	Há mercado consumidor para a valorização do RSI conforme o (s) produto (s) candidato (s)?	6
Somatório das questões de Quantidade/viabilidade (Σ qQv)			52
A	q12	O desempenho do (s) produto (s) atende as exigências de mercado?	10
Somatório das questões de Aplicabilidade (Σ qA)			10

Fonte: Oliveira (2017).

Com os resultados apurados foi possível encontrar o índice de criticidade (I_c), que é obtido pela fórmula (1). Esse índice indica uma faixa de classificação sobre o grau de facilidade/dificuldade para a solução do resíduo. As faixas de classificação são: 0 a 3,3 - fácil utilização do resíduo, 3,4 a 6,6 - moderada utilização do resíduo e 6,7 a 10 - difícil utilização do resíduo (Tabela 2). A partir desta classificação, pode-se utilizar as respostas para a tomada de decisão para a escolha da melhor valorização das aparas de madeira (Oliveira et al., 2023).

Tabela 2

Faixa de valores e escala qualitativa de cores utilizadas na definição do índice de criticidade (IC) de valorização de RSI

Faixa de índice de criticidade (Ic)	Escala de cores
0 a 3,3	Fácil
3,4 a 6,6	Moderado
6,7 a 10	Difícil

Fonte: Oliveira et al. (2023).

As cores ajudam a demonstrar graficamente os resultados de forma visual (Oliveira et al., 2023). Para responder ao questionário foram elaboradas etapas onde respondem os passos da sistemática CPQvA. Cada etapa tem ações que foram realizadas e quais recursos foram utilizados, essa sequência de etapas pode ser vista na Figura 29.

Figura 29

Etapas para o processo de coleta de dados para responder aos questionamentos da sistemática CPQvA

Etapa do processo	Ação realizada	Recursos Utilizados
Etapa 1: Coleta de Informações	-Pesquisa da legislação vigente.	-Documentos legais e normativos.
Etapa 2: Escolha das Soluções	-Diálogo com o responsável pelo gerenciamento produtivo.	-Comunicação com o responsável pela produção.
	-Investigação de possíveis soluções propostas pela empresa.	-Comunicação com os departamentos relevantes na empresa.
Etapa 3: Pesquisa na Literatura	- Busca na literatura científica sobre as características químicas e físicas da madeira seca da espécie <i>Pinus Elliottii</i> .	-Acesso a bancos de dados acadêmicos e literatura especializada.
	-Identificação das propriedades da madeira e seus potenciais efeitos sobre os produtos.	-Análise e síntese de informações de pesquisas científicas.
Etapa 4: Avaliação do Processo	-Busca por legislações relacionadas a produtos potenciais.	-Documentos legais e normativos.
	-Observação do processo fabril da empresa produtora do resíduo.	-Observação in loco do processo de produção.
	-Avaliação das mudanças para produzir produtos potenciais.	-Análise de processos e fluxos de produção.
Etapa 5: Avaliação de Mercado	-Pesquisa de mercado para os produtos potenciais.	-Pesquisa de mercado e análise de demanda.
	-Análise dos requisitos de desempenho do mercado.	-Pesquisa de mercado e análise de tendências.

Fonte: Autores (2023).

Este quadro resume as várias etapas do processo para avaliar e responder aos questionamentos relacionados ao resíduo selecionado, desde a pesquisa legal até a avaliação do mercado consumidor potencial. Cada etapa é acompanhada das ações realizadas e dos recursos utilizados durante o processo.

3.4 PROCESSO DE ANÁLISE DE DADOS

As notas obtidas para classificação das soluções em fácil, moderado e difícil a partir da sistemática CPQvA foram analisadas de forma qualitativa. Porém, para alcançar as notas foi necessário utilizar ferramentas quantitativas. As notas foram comparadas a partir da escala definidas na metodologia e visto na tabela 2, as informações encontradas foram transformadas em notas e calculadas utilizando o software Excel

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa são apresentados os resultados da aplicação da sistemática CPQvA e as discussões sobre os resultados encontrados.

4.1 ACHADOS CIENTÍFICOS

A empresa estudada gera resíduos como pó, serragem, maravalha, pedaços defeituosos e aparas de madeira de boa qualidade, que são muito pequenos para continuar no processo produtivo. A empresa busca maneiras viáveis de reutilizar esses resíduos, seguindo princípios de produção mais limpa. Como é difícil evitar completamente a geração de aparas, os gestores da empresa estudada estão focando na reciclagem interna para agregar valor aos resíduos. Foram selecionadas soluções candidatas para esse propósito visto na Figura 30.

Figura 30

Soluções selecionadas para os resíduos de aparas na indústria estudada

Soluções propostas	Descrição da solução
Porta <i>Primed</i>	Fabricação de portas utilizando de aparas coladas formando montantes e travessas.
Energia	Queima do material em caldeira para gerar energia em forma de calor e aquecer as estufas da própria empresa.
Briquete	As aparas são trituradas para a fabricação de briquetes.
Painel <i>Edge Glued Pane</i> (EGP)	Colagem de aparas para construção de um painel e vender para marcenarias.

Fonte: Autores (2023).

Para demonstrar qual das soluções propostas é mais viável e qual mais adequada ao cenário da empresa foram avaliadas as soluções acima expostas pela ótica da sistemática CPQvA e classificadas com base nos cálculos do índice de criticidade, dando suporte técnico e científico para a melhor tomada de decisão da empresa de acordo com os itens a seguir.

4.2 CRITÉRIO C – CLASSIFICAÇÃO

As aparas de madeira seca da espécie *Pinus Elliottii* foram o resíduo sólido industrial escolhido para uma análise das alternativas para a valorização, dessa forma foram avaliadas suas condições legais perante as legislações brasileira, a fim de julgar os questionamentos do critério C e, conseqüente a isso, discutir sobre os resultados encontrados para dar uma nota e definir o índice de criticidade para este critério. Neste item buscou-se responder aos questionamentos relativos à sistemática descritos na figura 28.

4.2.1 **Questão 1 (q1): Há legislação que restrinja a valorização do RSI? (Peso 10)**

Considerando que as aparas de madeira são utilizadas como resíduo para reutilização, não contêm tratamentos químicos para a sua maior durabilidade, a legislação brasileira não tem restrições para a utilização, sendo assim, não existem limitantes legais para o estudo.

O regulamento que cita o resíduo é o CONAMA, que na sua resolução nº 313/2002 enquadra em “Resíduos de madeira contendo substâncias não tóxicas”, cujo código é A009 e está classificado como Classe II, ou seja, um resíduo não perigoso. Desse modo a esta questão é atribuída uma nota baixa (R=0), que indica nenhuma restrição a sua valorização.

4.2.2 **Questão 2 (q2): Qual a dificuldade em estabelecer uma amostra representativa do RSI? (Peso 8)**

Para estabelecer os critérios da amostra do resíduo estudado, foi utilizada a ABNT NBR 10.007, de 2004, norma brasileira que tem como objetivo fixar “os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos”. Nesta norma há etapas que devem ser seguidas para determinar as características do resíduo e por sua vez encontrar sua classificação e métodos de tratamento.

Para melhor compreensão da amostragem que foi utilizado nos resíduos a ABNT NBR 10.007 de 2004 informa que é necessária a pré-caracterização do resíduo, ou seja, é necessário o levantamento do processo que foi gerador do resíduo, a fim de entender a origem do resíduo, e a possível definição do amostrador mais adequado, bem como os parâmetros que foram utilizados na pesquisa.

Seguindo a premissa da norma, a geração do resíduo de apra de madeira se dá no setor que faz os cortes das tábuas de madeira seca da espécie *Pinus Elliottii*. O processo inicia-se na colocação das tábuas na esteira da máquina, a qual lixa e retira imperfeições mecânicas, como envergaduras e empenamento, e depois é levado ao escâner que identifica problemas na madeira como nós, manchas e mofos e posteriormente demarca pontes de cortes para a máquina automatizada realizar essa tarefa.

As aparas surgem porque durante o processamento da madeira não é possível aproveitar 100% da tábua, pois após separar as partes que contêm defeitos pode sobrar pedaços pequenos que não conseguem dar continuidade ao processo produtivo de portas de madeira. As peças

cortadas pela máquina são automaticamente separadas, as aparas fazem parte desse processo de separação.

A madeira utilizada no processo produtivo não recebe tratamento químico e todas as aparas são separadas em um recipiente específico. Desse modo, devido ao resíduo de aparas ser padronizado em relação à composição química e ser destinado para um ambiente diferente dos outros materiais produzidos no processo, a amostragem é facilitada segundo a norma ABNT NBR 10.007 de 2004.

Nesse sentido, atribui-se uma nota baixa para esta questão (R=0), que indica nenhuma dificuldade em estabelecer uma amostra.

4.2.3 Questão 3 (q3): Qual a classe ambiental - legislativa do RSI? (Peso 10)

A classificação de resíduos sólidos é informada pela ABNT NBR 10.004 de 2004, podendo ser Classe I – Perigosos e Classe II – Não perigosos, e os da Classe II são divididos em não inertes e inertes. Os resíduos da Classe I têm características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou seja, podem ter algum grau de periculosidade para o meio ambiente.

Já os resíduos da Classe II, os não inertes que tem como propriedade biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água, já os inertes são aqueles que não tiveram solubilização, segundo a ABNT NBR 10.006, de 2004.

O objeto de estudo deste trabalho são madeiras secas e sem contaminação de qualquer produto, sendo assim, as aparas de madeiras constituem-se em um resíduo não perigoso, de acordo com a resolução nº 313/2002 do CONAMA.

Segundo Staiss e Pereira 2001 A madeira seca derivados de arvores coníferas tem a capacidade de alimentar a combustão, por isso são classificados como materiais não inertes, de acordo com a norma da ABNT NBR 10.004 de 2004. Assim, por apresentar características não perigosas e ser não inerte, a nota atribuída na Questão q3 é baixa (R=0), que indica uma classificação legislativa adequada para a reutilização.

4.2.4 Índice de Criticidade: Critério C – Classificação

Os resultados do critério C podem ser observados na tabela 3 juntamente com os questionamentos das etapas, os pesos atribuídos, as respostas dadas a cada etapa, o valor do índice de criticidade e o resultado da classificação dos resíduos.

Tabela 3

Índice de criticidade do critério Classificação (C)

Questionamento (q)		Pesos	Respostas (R)
q1	Há legislação que restrinja a valorização do RSI?	10	0
q2	Qual a dificuldade em estabelecer uma amostra representativa do RSI?	8	0
q3	Qual a classe ambiental – legislativa do RSI?	10	0
Índice de criticidade (Ic) para Classificação			
0 (APROVADO)			

Fonte: Autores (2023).

O índice de criticidade no critério C para as aparas de madeiras obtiveram uma nota baixa e, conforme demonstra a Tabela 3, é facilitada a utilização para a valorização. Destaca-se a nota mínima devido ao resíduo estudado não interferir em nenhum quesito, demonstrando a incomplexidade das aparas de madeira produzidas pela empresa estudada na sua reutilização.

4.3 CRITÉRIO P – POTENCIALIDADE

No critério (P), as características físicas e químicas das aparas de madeira são demonstradas a fim de avaliar se suas propriedades são adequadas para os potenciais de valorização destinadas pelo autor. O material utilizado na indústria que resulta nas aparas são madeiras da espécie *Pinus (P.) Elliottii*, do qual é retirada a umidade a fim de aumentar sua resistência

4.3.1 **Questão 4 (q4): A composição do RSI classificado restringe a potencialidade das aplicações? (Peso 10)**

A sequência sobre as informações se dá no aprofundamento sobre as características da espécie *P. Elliottii*, tendo em vista notas sobre origem, principais utilizações, densidade básica, teor de umidade, alterações dimensionais, resistência mecânica, composição química e poder calorífico.

4.3.1.1 Árvores do gênero *Pinus*

As árvores do gênero *Pinus* abrangem cerca de 100 espécies, nativas principalmente de países do hemisfério norte como Europa, Ásia e América do Norte, sua predominância é em regiões temperadas e tropicais (Marchiori, 2005). A entrada das espécies de *Pinus* no Brasil ocorreu via imigrantes europeus nos anos 40, nessa época o Serviço Florestal do Estado de São

Paulo trouxe espécies americanas conhecidos como pinheiros amarelos, cujas espécies mais conhecidas são o *P. Palustris*, *P. Echinata*, *P. Elliottii* e *P. Taeda* (Shimizu, 2008).

Comercialmente a madeira do gênero *Pinus* tem abrangência no mercado, podendo atender pequenos produtores até indústrias de diversos ramos como a serraria, celulose, geração de energia, laminação e chapas de madeira. Essa quantidade de setores é devido as suas características diversificadas (Shimizu, 2008).

Do ponto de vista macro, a cor da madeira de *Pinus* pode ser dividida em três tipos: branca, vermelha e amarela, separadas em dois subgêneros. As *Haploxyylon*, referentes a madeiras com baixa densidade, são mais utilizadas para marcenarias e artesanatos, sendo a *P. Chiapensis* um exemplo da espécie. Já as madeiras provenientes do subgênero *Diploxyylon* são conhecidas como “madeira dura”, e seu comércio é voltado para fabricação de móveis, embalagens, papel e estruturas (Shimizu, 2008).

O subgênero mais utilizado no comércio brasileiro é *Diploxyylon*, e as espécies *P. Elliottii* e *P. caribaea* destacam-se na utilização nas indústrias, pois além de usar a madeira na manufatura são reconhecidas pela produção de resinas em quantidades viáveis para comercialização (Shimizu, 2008).

As árvores de *Pinus* são conhecidas pela produção de resinas, porém pode variar a quantidade produzida conforme a espécie. No Brasil o *P. taeda* é o mais utilizado para manufatura de celulose devido as suas características de crescimento rápido e pouca resina em seu interior. Em contrapartida, a exploração de resina devido ao volume gerado pelo *P. Elliottii* faz dele a espécie mais buscada no Brasil para este fim, além disso essa espécie é utilizada amplamente em madeiras serradas e chapas (Shimizu, 2008).

No interior dos *Pinus* é possível a visualização da madeira jovem, devido à presença dos anéis de crescimento mais largos e próximo à medula (Shimizu, 2008). Diferentemente a parte adulta da madeira pode ser vista com seus anéis menores e mais uniformes próximo à casca da árvore (Ross, 2010).

A quantidade de madeira jovem na árvore é definida pela espécie plantada, pelos cuidados na silvicultura e a idade que foi derrubada (Benjamin, 2002). A madeira que constitui mais material jovem apresenta características indesejáveis para algumas indústrias que exigem materiais mais rígidos. Dentre as particularidades da madeira jovem destaca-se sua baixa densidade, baixa resistência e fragilidade (Ross, 2010).

Assim, quanto mais madeira adulta tiver em relação à madeira jovem, melhor o rendimento para a indústria, até mesmo para produtora de celulose, pois a relação entre madeira adulta e rendimento de material é proporcional, pois essas características de maior resistência

e uniformidade presentes na madeira adulta estão associadas à maior densidade básica da madeira (Shimizu, 2008).

4.3.1.2 Pinus elliottii

A espécie *P. Elliottii* tem proveniência de regiões subtropicais, sendo originária do Estados Unidos (Bendtsen & Senft, 2007). No Brasil o *P. Elliottii* teve melhor adaptação nas regiões Sul e Sudeste do país, isso decorre devido a uma peculiaridade da espécie, que tem tolerância a solos úmidos, ou seja, é capaz de ser cultivada em zonas que possuem lençol freático próximo à superfície (Shimizu, 2008; Zenid, 2009).

A aderência no mercado da espécie *P. Elliottii* deu-se por conta de suas importantes características, como a produção de resina com alto teor de pineno e a facilidade de ser manipulada em desdobrar, lixar, tornear, colar, plainar e furar (Shimizu, 2008; Zenid, 2009). Esses atributos são indicados para a indústria da construção civil com a fabricação de portas, janelas, forros, painéis e móveis, entre outros, que servem como estrutural e acabamentos (Zenid, 2009).

Em comparação com outras espécies, como o *P. Taeda*, o *P. Elliottii* costuma ter menor incremento volumétrico, todavia, a geração de madeira adulta do *P. Elliottii* inicia-se em média com cinco anos de antecedência comparado com o *P. Taeda*. Ou seja, a proporção de madeira adulta é maior na espécie de *P. Elliottii*, conseqüentemente a qualidade mecânica e física será melhor, sendo essa espécie mais indicada para manufatura de produtos estruturais (Shimizu, 2008).

No Brasil, a espécie de madeira *P. Elliottii* não é comumente usada na produção de celulose, ao contrário dos Estados Unidos. Isso ocorre devido ao fato de que a madeira brasileira tem uma maior quantidade de resina em seu interior em comparação com a madeira dos Estados Unidos (Shimizu, 2008). Para utilizar essa espécie na produção de celulose no Brasil, seria necessário implementar processos adicionais na linha produtiva para remover essa substância indesejável, por essa razão não é uma prática habitual no país (Shimizu, 2008).

4.3.1.3 Densidade

A qualidade da madeira pode ser medida de várias maneiras, porém a densidade básica é comumente utilizada para medir este parâmetro e definir qual a melhor opção para fabricar determinados produtos (Ross, 2010). Essa relação se deve por mostrar a quantidade de madeira por determinado volume ou quanto de lacunas sem material lenhoso existe em uma amostra (Melo et al., 2013).

A densidade pode ser calculada pela divisão entre o peso da madeira e o volume da amostra, sendo este controlado por um determinado teor de umidade, portanto sua unidade de medida geralmente é representada pelo sistema internacional de unidades (SI), ou seja, quilogramas por metro cúbicos (Kg/m^3) (Ross, 2010).

Alguns fatores sobre as árvores, como sua idade, origem e cuidados no plantio, podem interferir na densidade básica da madeira, inclusive entre as mesmas espécies (Valerio et al., 2008). As madeiras têm suas densidades variadas conforme a espécie, porém intervalo predominante de 320 a 720 kg/m^3 (Pinheiro, 2014), sendo que as espécies *Pinus* com idade entre 16 e 18 anos têm em média 480 kg/m^3 (Andrew & Burley, 1972). Segundo Ross (2010), a densidade média da madeira do *P. Elliottii* é de 540 Kg/m^3 , ou seja, a madeira é mais densa que a média entre as espécie de *Pinus*.

As diferenças entre as densidades podem ocorrer devido a mudanças celulares como espessura da parede celular, diâmetro do lume, arranjo dos elementos anatômicos, dimensões das fibras e volume de vasos, ou até para algumas espécies a composição de minerais e as substâncias extraíveis podem alterar a densidade (Valerio et al., 2008).

4.3.1.4 Teor umidade

A composição molecular das células da madeira é principalmente constituída por celulose, hemicelulose e lignina, sendo que na parede celular tem presença de grupos de hidroxilas, que têm a capacidade de absorver a umidade do ar, sendo um material higroscópico. Porém, devido à lignina estar presente na composição da madeira e ser uma molécula hidrofóbica, ou seja, tem aversão à água, ocorre uma limitação quanto à quantidade de água absorvida (Ross, 2010).

A madeira da árvore recém-cortada tem um alto teor de umidade em seu interior, sendo seus canais, vasos e lúmen saturados de água, essas partes úmidas são conhecidas como água de capilaridade ou água livre, quando derrubadas são as primeiras a começar a secar. A madeira seca (0% umidade) capta água do local em que está e busca manter o equilíbrio da umidade com o ambiente, essa água absorvida pode ser chamada de higroscópica ou de adesão (Ross, 2010).

A relação entre a madeira e a água interfere diretamente nas suas propriedades mecânicas, pois a absorção da água aumenta o espaçamento entre as paredes celulares da madeira e, como consequência, diminui a resistência mecânica, assim a madeira seca é mais rígida devido à diminuição do tamanho das lacunas entre as células submicroscópicas da madeira (Pinheiro, 2014).

As mudanças no comportamento da madeira conforme as alterações de umidade impactam diretamente no uso industrial. Além de alterar a resistência, a retirada de água da madeira pode ocasionar alterações dimensionais do material e dificultar o uso em alguns produtos manufaturados (Zenid, 2009).

4.3.1.5 Alteração dimensional

As mudanças no volume da madeira são associadas diretamente à absorção da água (Melo, 2013). A madeira é um sólido poroso com estrutura capilar capaz de ganhar e perder água, sendo um material higroscópico (Melo, 2013). Essa alteração dimensional é mais visível no momento da secagem da madeira, e as mudanças podem ser visíveis principalmente quando seu teor de umidade fica em torno de 28% (Melo, 2013; Rezende et al., 1988).

Dentre os componentes químicos da madeira, a hemicelulose é a que tem maior capacidade de absorção de água, como consequência é o maior responsável nas alterações das dimensões da madeira. As variações de tamanhos interferem nas propriedades físico-mecânicas da madeira (Melo, 2013; Oliveira & Silva, 2003).

Quando a madeira absorve água seu volume aumenta, isso é chamado de inchamento da madeira, e na liberação da água ocorre o oposto, ou seja, seu tamanho diminui, conhecido como retração (Melo, 2013). O ganho de volume da madeira é devido as moléculas de água ficarem entre as microfibrilas o que gera um afastamento entre elas, do mesmo modo, porém oposto ao fato explicado, a saída da água reduz o volume devido ao espaço preenchido pela molécula de água ser retirado e o resultado é a aproximação das microfibrilas da madeira (Melo, 2013).

A magnitude das alterações dimensionais pode ter interferência devido a alguns motivos relacionados ao material, como a espécie da árvore, massa específica da madeira e a direção estrutural que compõe a madeira. Além disso, fatores que ocorrem durante a secagem, como temperatura e umidade relativa, podem interferir na intensidade das mudanças em suas alterações dimensionais (Melo, 2013).

As direções da retração da madeira são a radial, tangencial e longitudinal, e uma das formas para medir o quanto foi modificado é a utilização do coeficiente de anisotropia, onde se calcula a relação entre as retrações tangenciais e radiais da madeira (Melo, 2013). Na Figura 31 é demonstrada a qualidade da madeira em relação aos valores do coeficiente de anisotropia.

Figura 31

Coefficiente de anisotropia x qualidade da madeira

Coefficiente de anisotropia	Qualidade da madeira
1,2 a 1,5	Excelente
1,5 a 2,0	Normal
Acima de 2,0	Ruim

Fonte: Adaptado (NOCK et al., 1975).

Segundo o estudo de Balloni (2009) e IPT (1989), a madeira da espécie *P. Elliottii* tem em média uma contração volumétrica de 10,50%, 6,3% no sentido tangencial e 3,4% no sentido radial, além de ter um coeficiente de anisotropia de 1,33, ou seja, comparando com a Figura 31 podemos dizer que o *P. Elliottii* é uma madeira excelente no quesito de alterações dimensionais.

4.3.1.6 Resistência mecânica (elasticidade e ruptura)

A madeira tem suas propriedades mecânicas diferentes quando aplicado uma força nos eixos longitudinal, radial e tangencial, ou seja, considera-se um material ortotrópico. Os eixos são definidos a partir da disposição das fibras e dos anéis de crescimento, por exemplo o eixo tangencial é tangente ao anel de crescimento, o longitudinal é paralelo à fibra e o radial é perpendicular à fibra (Ross, 2010).

As medidas para descobrir as propriedades mecânicas da madeira de *Pinus* estão relacionadas a mais resistência do material, para isso é medido principalmente o Módulo de Ruptura (MOR) e o Módulo de Elasticidade (MOE), porém vale ressaltar outros testes que avaliam a dureza, carga máxima e impacto (Pinheiro, 2014). Para Ross (2010), *P. Elliottii* tem seu MOR à flexão de 612Kgf/cm² para madeira verde e 1.174kgf/cm² para a madeira com 12% de umidade, já o MOE à flexão são 107.569Kgf/cm² para madeira verde e 157.487Kgf/cm² para madeira com 12% de umidade.

A escolha do tipo de madeira a ser usado na indústria é importante, pois com a opção por um material muito “mole” haverá dificuldade para ter uma superfície lisa e um material resistente, porém a escolha de uma madeira dura fará ter mais desgastes no equipamento (Pinheiro, 2014).

4.3.1.7 Características químicas

A composição química da madeira é definida com elementos de alta massa molecular, nesse grupo estão a celulose, a lignina e a hemicelulose, que para árvores coníferas tem sua composição de 42% ± 2, 28% ± 2 e 27% ± 2, respectivamente, e também tem os grupos de

elementos com baixa massa molecular, sendo os extrativos e as cinzas que compõem cerca de $3\% \pm 2$ das árvores coníferas (Ross, 2010).

4.3.1.8 Poder calorífico

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia gerada durante a combustão de algum elemento, sendo assim, sua unidade de medida pode ser representada em Kcal/kg, e para identificação da quantidade de poder calorífico de determinado elemento é necessária a realização de experimentação que geralmente utiliza a bomba calorimétrica como equipamento auxiliar (Nascimento et al., 2006).

A madeira tem seu poder calorífico na faixa de 3.500Kcal/kg a 5.000kcal/kg, sendo que árvores coníferas têm comumente seu poder calorífico de 4.460Kcal/kg e a madeira da espécie *P. Elliottii* de 4.786Kcal/Kg em média (Brito, 1993; Staiss & Pereira, 2001). A Porta *Primed* e o painel EGP são produtos que exigem materiais mais resistentes para serem fabricados e, como visto, a madeira seca de *P. Elliottii* tem resistência e densidade elevadas em comparação às outras espécies de madeira, além de ter pouca alteração em suas dimensões, tornando-o apta para as soluções apontadas.

O poder calorífico é ponto-chave para a utilização das aparas de madeira em Briquetes e Energia, pois sua capacidade de gerar calor é elevada em comparação às outras espécies de *Pinus*, além de ter uma quantidade de material maior em determinado volume, devido a sua densidade ser elevada comparado às demais árvores.

4.3.2 Índice de Criticidade: Critério P – Potencialidade

O critério P é necessário para fundamentar e ampliar as soluções que podem ser utilizadas nos resíduos que estão sendo estudados, todavia, alguns materiais, como as aparas de madeira seca de *P. Elliottii*, têm diversas características que podem ser aplicadas em vários produtos.

As aparas de madeira seca de *P. Elliottii*, como visto no critério anterior, não são prejudiciais ao meio ambiente, além disso, possuem as características necessárias para atender as demandas das soluções propostas, o que leva à atribuição de uma nota baixa (R=0) para o critério P (Tabela 4). A nota 0 indica que as aparas de madeiras têm as características apropriadas para a valorização com as soluções selecionadas.

Tabela 4

Índice de criticidade do critério Potencialidade (P)

Questionamento (q)		Pesos	Respostas (R)
q4	A composição do RSI classificado restringe a potencialidade das aplicações?	10	0
Índice de criticidade (Ic) para Potencialidade			
0 (APROVADO)			

Fonte: Autores (2023).

Para a escolha das soluções buscou-se atender os anseios da empresa e conseqüentemente que as características da aparas de madeira possam atender a demanda das soluções escolhidas, sendo Porta *Primed*, Energia, Briquete e Painel EGP (descrito na Figura 30).

4.4 CRITÉRIO QV – QUANTIDADE/VIABILIDADE

O critério Qv tem como finalidade avaliar as soluções propostas do ponto de vista da viabilidade técnica, econômica e ambiental, a fim de determinar se são viáveis para serem utilizadas na indústria estudada. Antes de buscar as respostas para as perguntas do critério Qv, foi necessário compreender como é feita cada solução selecionada para o resíduo de aparas.

4.4.1 Solução para Porta *Primed*

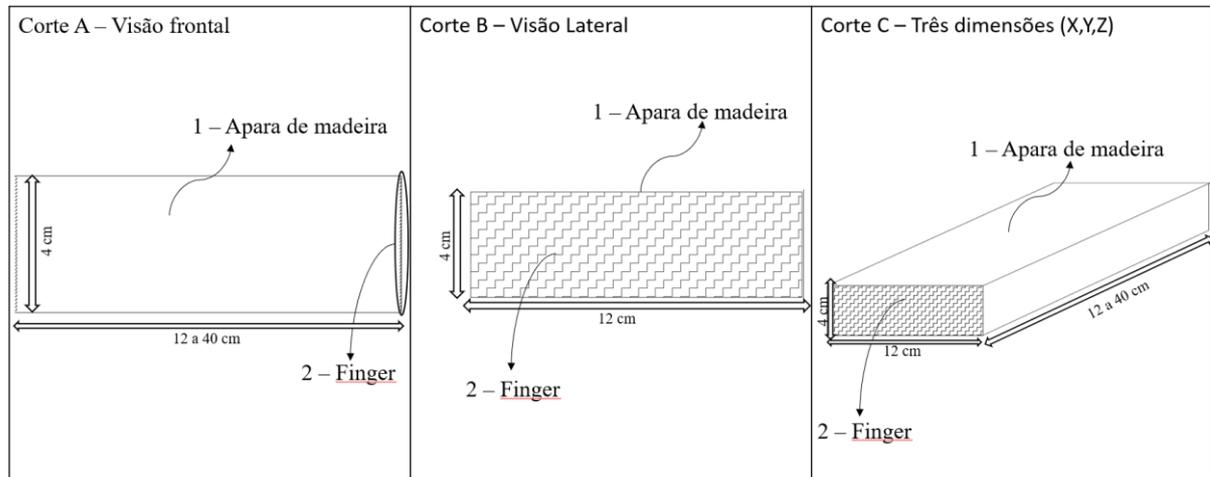
O conceito de reutilização das aparas de madeira na fabricação da porta *primed* é a disposição desse produto nas partes estruturais da porta, ou seja, nas travessas e montantes (Figura 18). Atualmente a empresa utiliza montantes e travessas como um produto inteiro e sem defeitos, porém, sendo a madeira um material biológico, possui vários defeitos encontrados, o que torna os montantes e as travessas materiais difíceis de serem feitos.

Estudando como aumentar a quantidade de montantes e travessas produzidas, pensou-se na utilização das aparas sendo coladas linearmente de modo a dar acabamentos que sejam suficientes para não encontrar as junções da porta e possibilitar a usinagem para o encaixe das outras partes da porta.

A Figura 32 mostra, em três visões, o primeiro processo, onde são feitas ranhuras na aparas, denominado como *Finger joint*, que é responsável por melhorar a aderência das aparas umas às outras.

Figura 32

Aparas de madeira com Finger joint com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C



Fonte: Autores (2023).

Após feitas as ranhuras nas aparas adiciona-se cola nas extremidades da ranhura, e posteriormente é levado à máquina coladeira de alta frequência para secar rapidamente a colagem e garantir a fixação (Figura 33). Os tamanhos das travessas que são feitos dependem do projeto da porta.

Figura 33

Máquina coladeira de alta frequência no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina

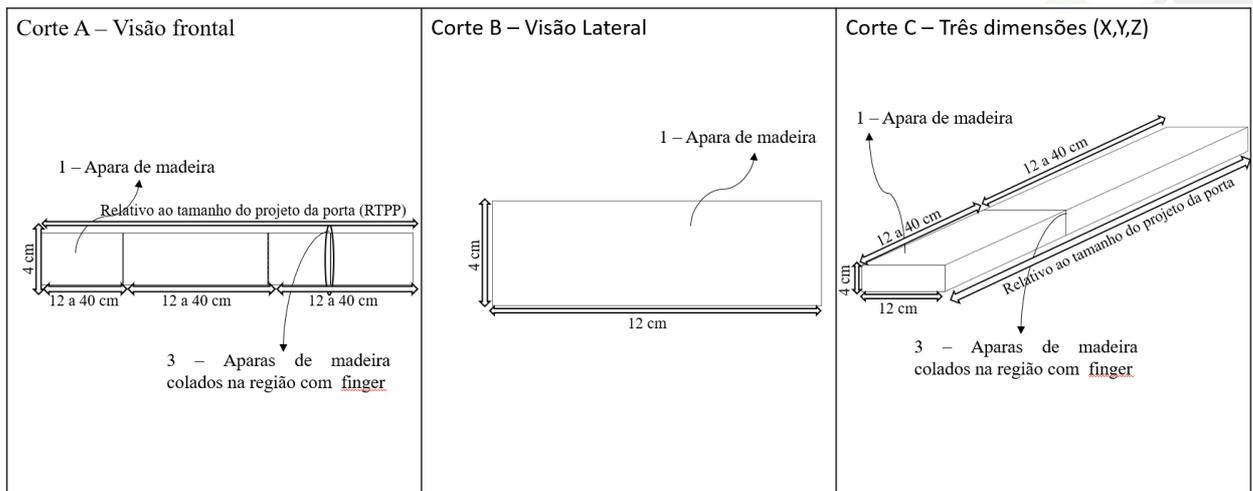


Fonte: Autores (2023).

A Figura 34 mostra as aparas coladas em três tipos de ângulos diferentes.

Figura 34

Aparas de madeiras coladas com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C

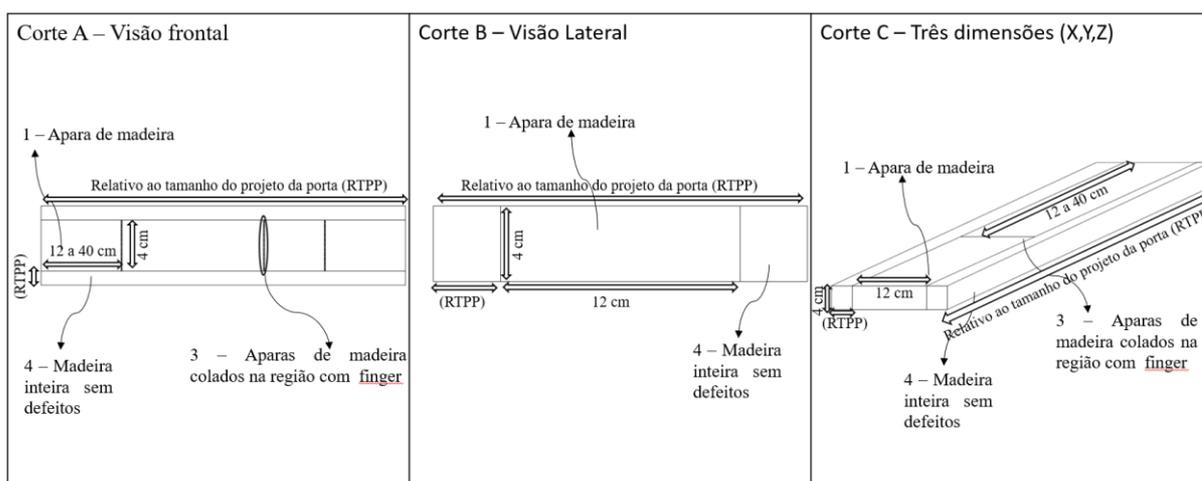


Fonte: Autores (2023).

A Figura 34 mostra o ponto de colagem, em seguida as aparas coladas são lixadas para não terem desníveis que possam atrapalhar as próximas etapas. Logo após é feita a colagem nas laterais das aparas. Para tal é utilizada uma madeira inteira, porém mais fina, que tem a função de reforçar a estrutura da colagem e possibilitar a usinagem, no que serve para possibilitar o encaixe das outras partes da porta. Este processo pode ser visto na Figura 35.

Figura 35

Aparas coladas junto com a madeira inteira com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C

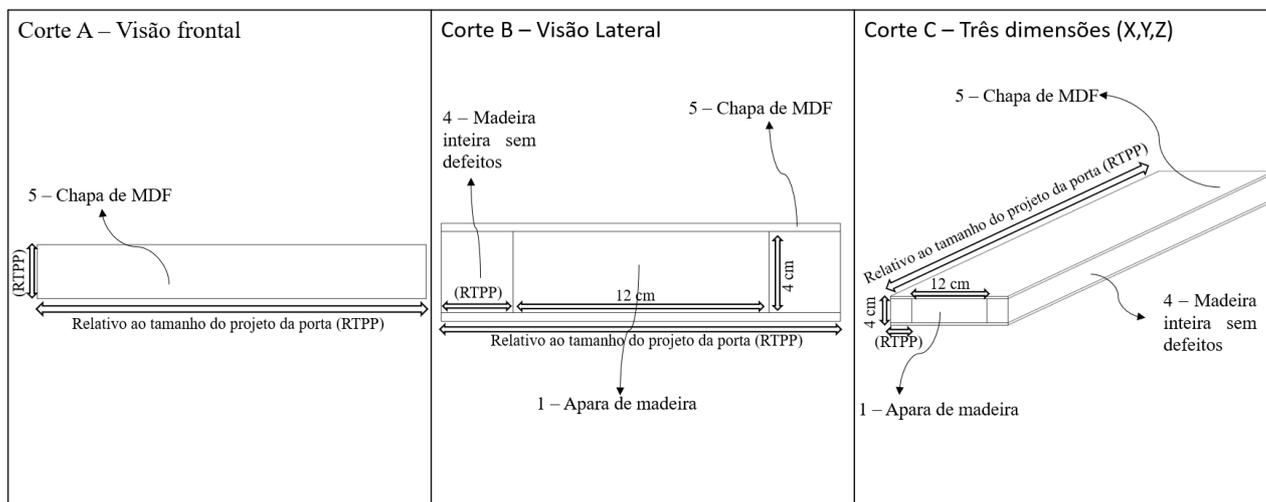


Fonte: Autores (2023).

Posteriormente a peça inteira é lixada novamente para remover imperfeições. Na Figura 35 é possível ver a madeira sem defeitos colada nas aparas. Por fim é colada uma chapa de MDF de 2,8mm de espessura em cima das aparas a fim de esconder os pontos que foram colados e possíveis defeitos que possam ter nas aparas, assim ocorre a finalização da peça (Figura 36).

Figura 36

Travessa ou Montantes prontos feito de aparas de madeira com visão frontal no corte A, visão lateral no Corte B e visão em perspectiva no corte C



Fonte: Autores (2023).

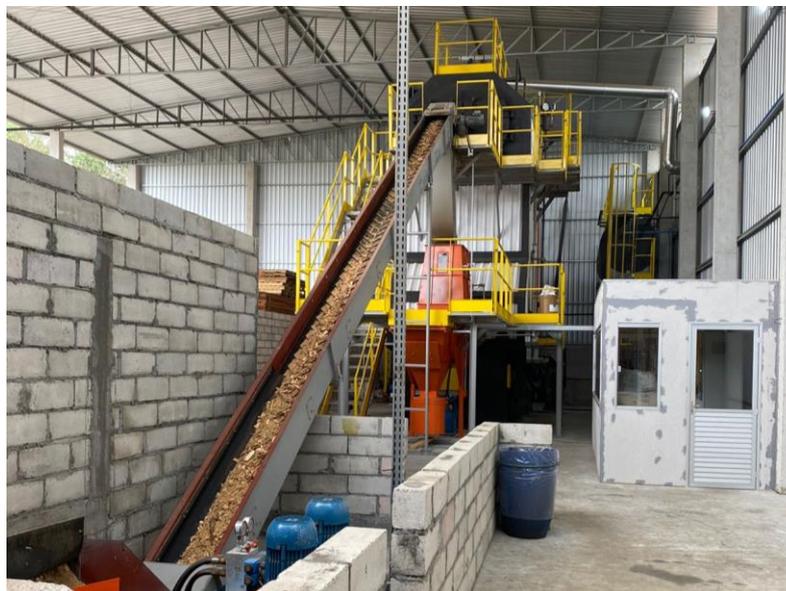
A partir da travessa ou montante feito de aparas pronto, ele pode voltar ao processo produtivo, sendo usinado, encaixado em outras partes da porta, lixado, pintado e embalado, ou seja, é possível aproveitar o resíduo e continuar utilizando os mesmos maquinários para produzir o principal produto da empresa.

4.4.2 Utilização das aparas para fabricação de energia

Atualmente a empresa estudada conta com estufas que são secas com caldeira, utilizando-se da queima de serragem, para produzir calor. A empresa utiliza cascas, costaneiras e serragem que caem no chão para alimentar a caldeira, sendo que os resíduos inteiros como as cascas e as costaneiras são moídos previamente para que sejam transformados em serragem, a fim da utilização na caldeira. Na Figura 37 é possível ver a caldeira utilizada para este processo.

Figura 37

Caldeira recebendo serragem no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina



Fonte: Autores (2023).

A caldeira funciona com partículas menores que as aparas de madeiras, ou seja, para utilizar as aparas para produzir energia em forma de calor é necessário passar pelo moedor.

4.4.3 Utilização de aparas para produção de briquetes

A empresa tem um sistema de sucção instalado em todos os maquinários a partir do processamento da madeira seca, sendo possível a extração do pó gerado e então levado para um silo, tendo uma máquina em um nível abaixo desse silo capaz de compactar todo o pó e transformar em briquete, este briquete é embalado em big bag e vendido para o consumidor final. A máquina que compacta o pó da madeira e transforma em briquete pode ser visto na Figura 38.

Figura 38

Máquina de fabricação de briquete no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina



Fonte: Autores (2023).

Da mesma forma que a solução para gerar energia, a apara de madeira tem suas dimensões incompatíveis para a fabricação de briquetes, sendo assim, há necessidade de transformar em pó de serra, porém a empresa atualmente não tem uma máquina que seja capaz de moer o material e transformar em partícula de pó de madeira. Assim, faz-se necessário a aquisição da máquina para possibilitar a utilização da apara de madeira em fabricação de briquetes.

Com a máquina nova instalada será necessário levar as aparas até o local de sua instalação e, com o processo realizado, o pó de madeira vindo das aparas será levado para o silo, que está instalado na empresa e por consequência entrará na máquina de fabricar briquetes para ser transformada no produto desejado.

4.4.4 Utilização de aparas para fabricação de Paineis EGP

Os painéis EGP são feitos com aparas coladas uma do lado da outra, formando uma chapa de madeira, e são vendidos para as marcenarias para fabricação de móveis. Diferente da utilização das aparas para fazer as portas *primeds*, não é necessário fazer o *Finger joint*, o

processo consta apenas em colar o material com o maquinário (Figura 33) e lixar para dar acabamento. O produto acabado é visto na Figura 39.

Figura 39

Modelo da solução selecionada para painel EGP



Fonte: Autores (2023).

Na Figura 39 é possível ver como é o modelo. Percebe-se que é um material que não exige tanta preocupação quanto à colagem, pois servirá como interior para móveis que serão revestidos por MDF.

4.4.5 **Questão 5 (q5): A variabilidade composicional compromete possíveis produto (s) potencial (is)? (Peso 6)**

Como visto na questão q2, a madeira pode sofrer diversas interferências do ambiente e, por ser tratar de um material biológico, defeitos e mudanças são recorrentes, porém o processo produtivo que gera as aparas de madeira não influencia na sua composição química, fazendo um material sem alterações químicas comparados com virgem.

As mudanças na matéria-prima antes de se transformar em aparas de madeira são alterações físicas, com a modificação de tamanho e a retirada de umidade, todavia, a utilização de madeira seca é ideal para as soluções escolhidas. Por exemplo, a fabricação da porta *primed* e o painel EGP tem maior resistência com a utilização da madeira seca e o briquete e a geração de energia aumenta seu poder calorífico, devido a não ter água em seu interior.

Outro aspecto que pode interferir na utilização das aparas de madeira na produção das soluções porta *primed* e o painel EGP é a capacidade de a madeira alterar suas dimensões conforme muda sua umidade relativa, porém todas essas mudanças são inerentes à característica natural da madeira e não têm tanto impacto para produção desses produtos ($R=0$ para todas as soluções). Essa afirmação se concretiza, pois todas essas soluções podem continuar a ser feitas com o material virgem, ou seja, como essas alterações físicas são típicas do produto as soluções não sofrem com as mudanças composicionais do resíduo.

4.4.6 **Questão 6 (q6): Há algum elemento que supere o limite de tolerância no (s) produto (s) potencia (is)? (Peso 8)**

As soluções propostas exigem alguns materiais a mais que a própria apara e complementam o produto ou têm a capacidade de liberar subprodutos, por exemplo o painel EGP necessita da cola para ser desenvolvido, já a porta *primed*, além de também usar a cola, tem o MDF como outro material incorporado para fabricação.

A queima da madeira para gerar energia é responsável pela liberação de diversos gases. A resolução n° 436 de dezembro de 2011 do CONAMA determina limites máximos de emissão (Figura 40), por outro lado, os briquetes não recebem nenhuma adição de produto, assim não tem nenhum elemento que supere o limite de tolerância ($R=0$ solução briquetes).

Figura 40

Limites máximos de emissões de madeira queimada pela resolução n° 436 de dezembro de 2011 do CONAMA

Potência térmica nominal (MW)	MP (mg/Nm ³)	NO ₂ (mg/Nm ³)	CO ₂ (mg/Nm ³)
MW < 0,5	-	-	7800
0,5 < MW ≤ 2	-	-	3900
2 < MW ≤ 10	-	-	3250
MW < 10	730	-	-
10 ≤ MW ≤ 50	520	650	-
MW > 50	300	650	-

Fonte: Resolução n° 436 de dezembro de 2011 do CONAMA.

Para ter uma base sobre o conhecimento de quanto CO e NO é liberado na queima do cavaco de Pinos, utilizou-se uma pesquisa para avaliar a quantidade de CO e NO liberada

durante a queima de madeira moída, com foco no cavaco de *Pinus*. O estudo, realizado por Garcia et al. (2017), utilizou um equipamento com potência térmica nominal de 0,08 MW para queimar o cavaco de *Pinus*. Os resultados mostraram que, em média, a queima desse material produz 4.188 ± 357 mg/m³ de CO e 184 ± 26 mg/m³ de NO. Esses valores estão de acordo com a resolução n° 436 de dezembro de 2011 do CONAMA, que estabelece os padrões para emissão de poluentes atmosféricos.

Já a empresa estudada nos seus últimos relatórios realizados em 2021 em sua caldeira, cuja potência térmica nominal é de 3,66 MW, produziu 150 mg/Nm³ de material particulado, 1.289 mg/Nm³ de CO e 86 mg/Nm³ de NO. As coletas foram executadas conforme as normas EPA (Environmental Protection Agency – USA), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo).

Assim, a queima das aparas para gerar energia tem uma nota baixa (R=0 solução energia), devido à queima de madeira para o uso na empresa estar dentro dos limites determinados pela legislação brasileira. A cola utilizada para a produção das portas *primed* e dos painéis EGP é a de acetato de povinila, conhecida como cola PVA. Sua base é feita de água, ou seja, não contém solventes, tornando-se um material atóxico para o ser humano, além de não conter odor (Qiao & Easteal, 2001). Este material é comumente utilizado em materiais porosos como madeira e papel (Ferreira et al., 2012).

O destino dos produtos produzidos na empresa estudada são os Estados Unidos da América, que têm normativas para a importação de porta e reprovam a utilização de cola com base de ureia-formol para produção de portas e janelas, assim a cola PVA é para a empresa uma solução tanto para uso comercial quanto ambiental (United States Environmental Protection Agency, 2023).

Além da cola, as normativas americanas exigem que o MDF tenha baixas emissões de formaldeído, por isso a empresa utiliza apenas o MDF CARB 2, um material que está de acordo com as normativas americanas, que não agride o meio ambiente. Além disso, o material mantém as características de desempenho comparado com os MDFs convencionais.

Baseando-se nas informações, tanto o painel quanto a porta *primed* não superaram o limite de tolerância, tendo uma avaliação baixa (R=0 solução porta *primed* e painel EGP), isso significa que as variabilidades composicionais das aparas não interfere na fabricação da porta *primed* e painel EGP.

4.4.7 Questão 7 (q7): Há necessidade de adequação ao gerenciamento para a geradora do RSI? (Peso 6)

A etapa em que surgem as aparas de madeira é no setor de corte de madeira seca, onde o software *Opticore* escaneia o produto e determina os pontos de corte, excluindo partes que não servem para seguir na linha produtiva, e devido ao não conseguir aproveitar a tábua em sua totalidade para produção de porta, surge as aparas de madeira.

Após serem cortados, os diferentes tamanhos da madeira vão sendo dispostos em box de forma automatizada, para que os operadores retirem e empilhem a madeira com seu tamanho específico (Figura 41). Isso ocorre com as aparas de madeira, sendo amontoadas em pilhas, e após isso é estocado.

Figura 41

Processo de separação dos tamanhos da madeira no processo produtivo de portas em uma indústria de pequeno porte de Santa Catarina



Fonte: Autores (2023).

As aparas de madeira são levadas até o setor de estoque do produto final e intermediário, essa área pode ser vista na Figura 19. Sendo assim, a empresa não necessita de nenhuma adequação, quando se trata da geração do resíduo ($R=0$ para todas as soluções), pois já é feita a separação das aparas de madeira e tem seu determinado espaço para ser estocado.

4.4.8 **Questão 8 (q8): Há necessidade de adequação ao processamento para a receptora do RSI? (Peso 6)**

As soluções propostas para as aparas de madeira ocorrem na mesma indústria geradora do resíduo e, para que isso ocorra, para cada solução são necessárias adaptações no *layout* da empresa, no fluxo produtivo e para algumas soluções se faz necessário adquirir novas máquinas.

Essas alterações serão analisadas considerando os princípios do *lean manufacturing*, conhecido como manufatura enxuta. Esta abordagem envolve a identificação de elementos de desperdício na indústria, buscando maneiras de reduzi-los ou eliminá-los para aumentar a produtividade e o lucro, simplificando os processos (Wahab et al., 2013). Dentro desse contexto, há algumas oportunidades de aprimoramento a serem exploradas.

Os sete tipos de desperdício considerados na manufatura enxuta são: superprocessamento, superprodução, estoque excessivo, tempo de espera do operador/material, movimentos desnecessários, defeitos e transporte desnecessário (Palange & Dhattrak, 2021).

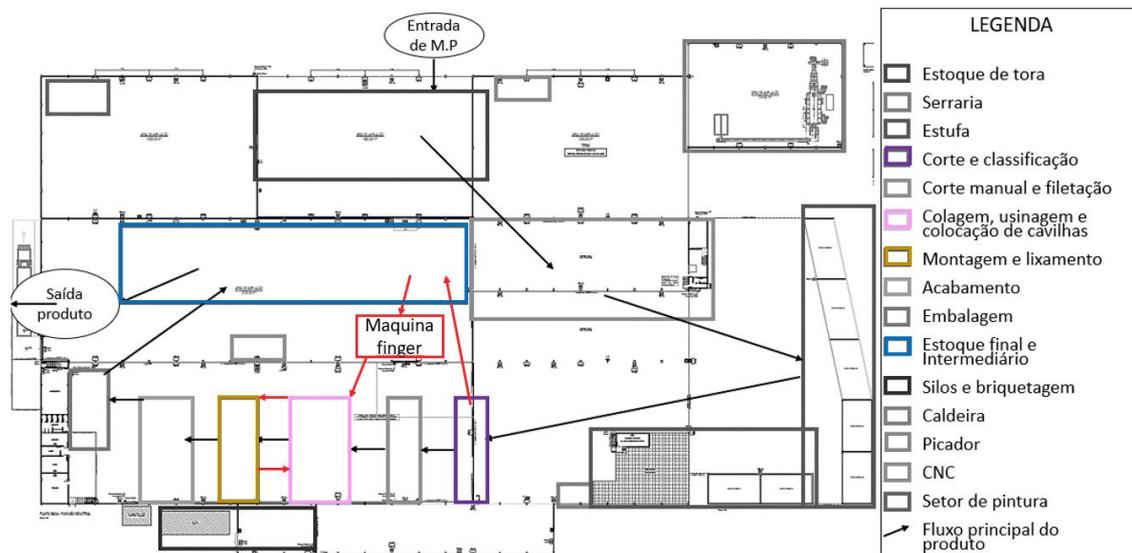
Uma ferramenta para auxiliar o entendimento dos fluxos produtivos e que vai ajudar a avaliar quais soluções impactam mais no processo fabril empresarial é o diagrama de espaguete, que é uma ferramenta visual essencial no *Lean Manufacturing*, que consiste em mapear as trajetórias de colaboradores ou recursos em uma planta fabril para entender o fluxo de pessoas e materiais (Beverari et al., 2021; Luciano et al., 2021).

A ferramenta destaca frequências e cruzamentos, sendo aplicada em alguns passos, o primeiro é a escolha do processo a ser analisado, logo após é feito o desenho da planta atual da instalação, mantendo as características atuais, com a planta concluída é realizado mapeamento contínuo e análise das trajetórias para identificar movimentos desnecessários e por fim é realizada a reorganização do processo para reduzir trajetos indesejáveis, eliminando etapas que não agregam valor ao produto. Essas fases têm o intuito de otimizar o sistema produtivo, tornando-o mais eficiente e linear (Santos et al., 2021).

Para a solução de Porta *Primed* o fluxo produtivo tem alterações, onde as aparas são levadas para o estoque intermediário, depois passa pela máquina responsável em fazer os *Finger Join* nas aparas. Após realizar essa etapa as aparas são coladas entre si no setor de colagem e lixadas para melhor acabamento no setor de lixamento, depois volta para o setor de colagem para colar a chapa de MDF, por fim dar continuidade no processo produtivo da porta de madeira. Esse fluxo pode ser visto na Figura 42.

Figura 42

Layout do processo de fabricação da porta primed



Fonte: Autores (2023).

Na Figura 42 é mostrado o *layout* da empresa com os processos e seu fluxo, as setas vermelhas representam o caminho que as aparas percorrem para se transformar em montantes ou travessas para a fabricação da porta *primed*. No retângulo vermelho, em que está escrito “Maquina finger”, é a disposição da máquina que realiza o *Finger join* nas aparas.

Este modelo demonstra o *layout* para produção de porta painel e irá se repetir para todas as soluções, ou seja, as setas vermelhas indicam o fluxo das aparas para realizar as soluções explicadas e quando se utiliza de algum setor da empresa o setor é destacado com as cores correspondentes, já demonstrado na Figura 19. Além de quando for necessário um maquinário novo acrescenta-se um retângulo vermelho com uma nomenclatura dentro para melhor identificação. Todos os *layouts* das soluções já foram feitos pensando no menor deslocamento e movimentações possíveis, sem alterar locações de máquinas já instaladas.

Para conseguir produzir a porta *primed* é necessária a utilização de uma máquina que realiza o *Finger join*, sendo que a empresa já a adquiriu recentemente, porém ainda não foi realizada a instalação, algo que já está nos planos da organização.

Sendo assim, as adaptações realizadas para a fabricação dos montantes e das travessas para a porta *primed* são relativamente simples, devido à empresa já ter todas as máquinas necessárias, além de continuar no ramo principal, a produção de portas, porém para acontecer a fabricação é necessário a agregação de novas movimentações que devem ser consideradas, pois altera o curso do processo original.

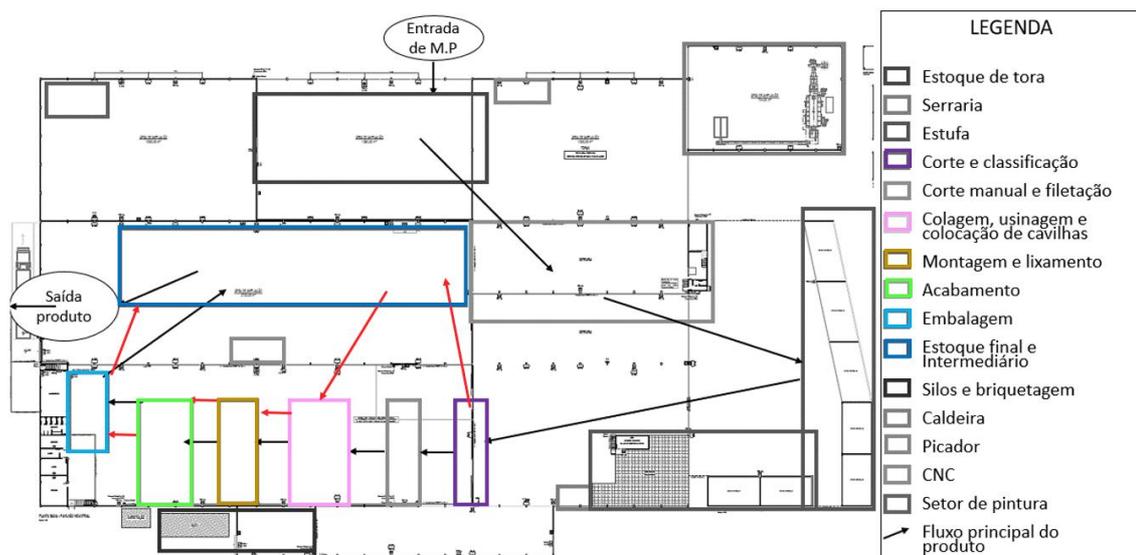
As distâncias percorridas comparado com as outras soluções são menores. Por todos esses motivos citados e adotando os princípios do *lean manufacturing* para avaliar os deslocamentos e movimentações, a nota para a adequação no processo para fabricar a porta *primed* é abaixo de intermediário (R=3).

As etapas para produção da solução painel EGP inicia-se na disposição das aparas de madeira no estoque intermediário, para então depois serem levadas para o setor de colagem que unirá as aparas no formato do painel, deixando-as grudadas.

Quando as aparas já estiverem coladas elas serão levadas para o setor de lixamento para nivelar e retirar as rebarbas, então a próxima etapa acontece no setor de acabamento, onde serão eliminadas as imperfeições do painel, e por fim serão embaladas no setor de embalagem e levadas para o estoque final. Toda essa etapa pode ser vista na Figura 43.

Figura 43

Layout do processo de fabricação do Painel EGP



Fonte: Autores (2023).

Na Figura 43 é possível ver toda a movimentação necessária para transformar as aparas de madeira em Painel EGP pelas setas vermelhas. Também é visível a não utilização de novos maquinários para elaborar o produto, porém, diferente da porta *primed*, a quantidade de movimentações é maior.

Outro fator importante é que o Painel EGP, apesar de ter um processo produtivo relativamente parecido com a fabricação de porta, é um produto novo para a empresa fabricar, ou seja, será necessário um treinamento para adaptar os funcionários para manipular esse novo

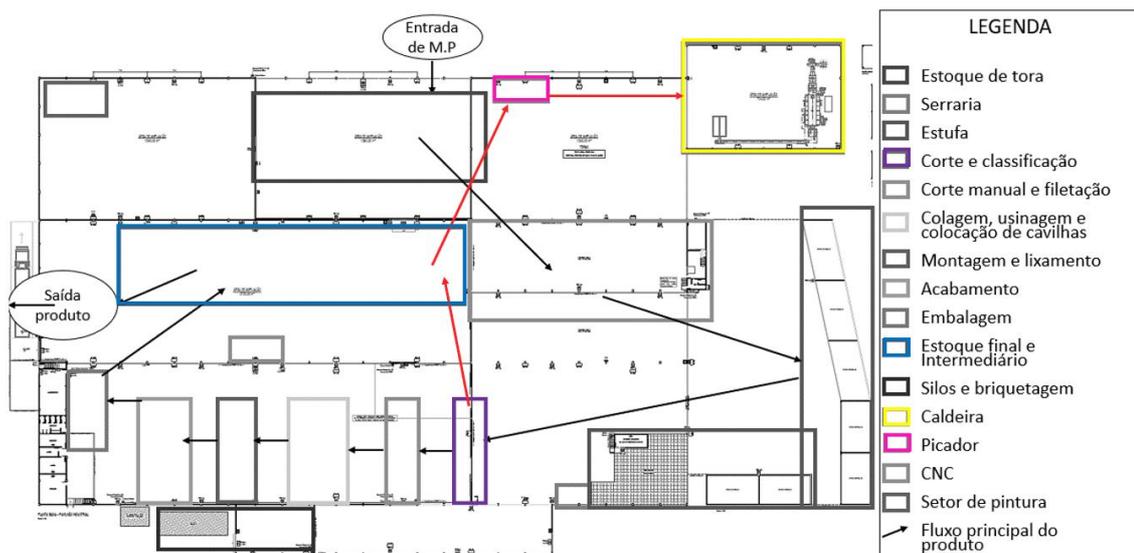
produto. Além de mudar o sistema produtivo, há necessidade de pessoas capacitadas no setor comercial da empresa para entrar no mercado da marcenaria e vender o novo produto.

Estas alterações que precisam ser feitas para fabricar o Painele EGP com as aparas de madeiras são pertinentes, tanto no deslocamento e aumento no número de movimentações quanto no treinamento dos funcionários do setor produtivo e comercial. Por esse motivo a nota para a adequação no processo para fabricar a porta *primed* é intermediária (R=5).

O processo para transformação das aparas de madeira em energia começa na disposição das aparas no estoque intermediário. No momento que o picador é utilizado para moer restos de madeira, as aparas são deslocadas para essa máquina e assim são transformadas em cavacos, que juntos são levados para a caldeira e queimados, transformando em energia em forma de calor. Esse fluxo do processo pode ser visto na Figura 44.

Figura 44

Layout do processo de fabricação de energia



Fonte: Autores (2023).

Analisando a Figura 44, vimos por meio das setas vermelhas a distância e as etapas que as aparas percorrem para transformar em energia, e comparando com os outros processos produtivos das soluções propostas é visível uma distância percorrida relativamente maior que porta *primed*, porém, as etapas para a transformação da energia são menores, ou seja, menos movimentações, um ponto positivo em vista dos princípios do *lean manufacturing*.

Além disso, a empresa já utiliza outros resíduos madeireiros gerados para a fabricação de energia, facilitando a adaptação das aparas de madeira para esse fim, ou seja, por esses

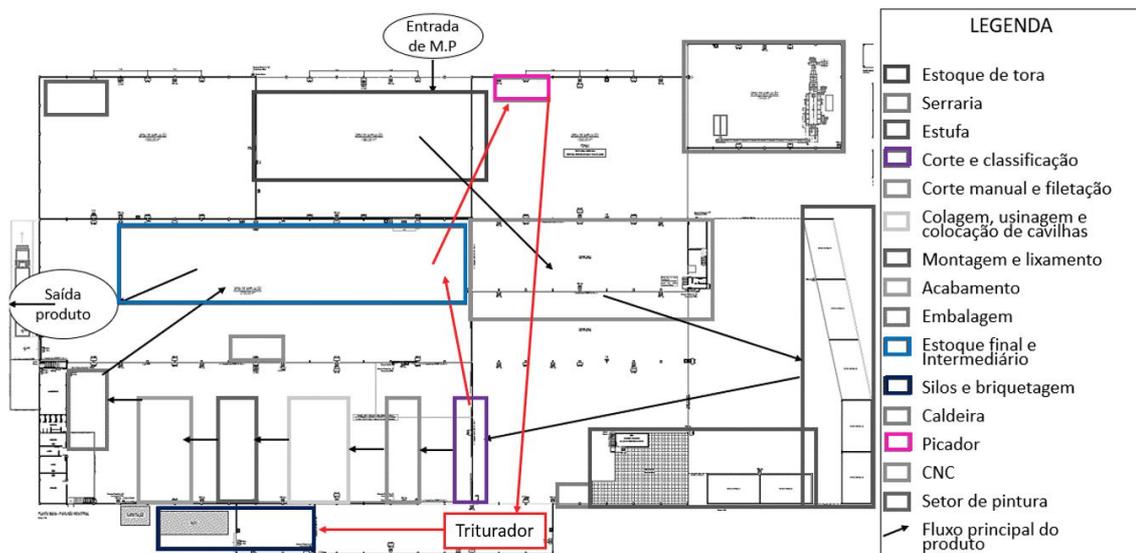
motivos citados, a nota para a adequação no processo para fabricar energia é abaixo de intermediário (R=3).

A fabricação de briquetes necessita que o pó de madeira seja seco. Seguindo esse pensamento, para transformar as aparas de madeira em briquetes é necessário estocar as aparas no estoque intermediário, levar para o picador somente quando não estiver trabalhando com nenhuma madeira verde, depois separado em bags com somente o cavaco de madeira seca vindo das aparas.

Os bags com cavaco seco são levados para o triturador, onde são transformados em pó, e para melhor deslocamento do material particulado se faz necessária a adaptação do sistema de sucção de pó que já se tem na empresa e levar um duto até o triturador para captar o pó e levar até o silo, que já está conectado à máquina que faz o briquete. Esse fluxo do processo pode ser visto na Figura 45.

Figura 45

Layout do processo de fabricação de energia



Fonte: Autores (2023).

Avaliando a Figura 45 é possível notar que, de todas as soluções propostas, o que percorre maior distância e que atravessa os outros setores, podendo atrapalhar o fluxo do produto principal, é a utilização de aparas para fazer briquetes. Como a fabricação de briquetes exige a granulometria menor da madeira, se faz necessário a utilização de um triturador para transformar o cavaco de madeira em pó. Este maquinário a empresa estudada não tem, sendo necessária a aquisição.

Além de ser preciso instalar a nova máquina, é necessário trazer tubulações da rede de sucção de pó para próximo do triturador, ou seja, terá que ser feita aquisição de tubos novos e fios, além de contratar uma empresa terceirizada para realizar essas mudanças. Devido à complexidade das adaptações necessárias para transformar as aparas de madeiras em briquetes, ter uma distância percorrida maior comparado com as outras soluções e ter maior quantidade de movimentações para realizar a tarefa, a nota atribuída para a adequação no processo para fabricar briquetes é alta (R=10).

4.4.9 **Questão 9 (q9): Há legislação que regulamenta o (s) produto (s) ou restrinja o uso do RSI? (Peso 10)**

Para a produção das soluções estudadas não há regulamentação que restrinja o uso ou a produção (R=0 para porta *primed*), porém existem normas, como por exemplo a ABNT NBR 15930, que determinam requisitos para portas de madeiras em edificações, sendo dividido em quatro partes: a primeira com a terminologia e simbologia, a segunda com requisitos da porta, a terceira para análise de desempenho e na última parte é a instalação e manutenção das portas. Inclusive a ABNT NBR 15930-1 de 2011, que traz termologias, inclui o termo madeira colada tipo *Finger join* e madeira colada do tipo EGP.

A normativa ABNT NBR 15930-1 de 2011 diz que o termo madeira colada tipo *Finger join* é “conjunto de peças unidas de topo e coladas em forma de ‘encaixe de dedos’ no sentido do comprimento da fibra. Este tipo de colagem é utilizado em marcos, alizar e folha de porta maciça ou composta”. E para o termo madeira colada tipo EGP a ABNT NBR 15930-1 de 2011 diz: “conjunto de peças de madeira coladas lateralmente formando um painel. Os sarrafos podem apresentar união de topo, a qual pode ser reta ou tipo *Finger join*. Este tipo de madeira é utilizado em marco, alizar e folha de porta maciça ou composta”.

A normatização do painel EGP inclui-se nas normativas de produção de porta da ABNT NBR 15930 e não há restrições de uso ou produção (R=0 para painel EGP). Foram analisadas as NBRs sobre móveis, pois a utilização desse material pode ser feita em ambas indústrias, porém de todas foram encontradas apenas citações na ABNT NBR 15761 de 2009, que trata sobre móveis de madeira – Requisitos e métodos de ensaios para laminados decorativos, onde no item 2.17 fala sobre painéis que os classificam como “chapa plana com diferentes densidades, constituída por lâmina de madeira, lascas, partículas ou fibras de madeira”. Esta descrição aborda painéis em geral, não especificamente do painel EGP.

O órgão que regulamenta a queima de madeira para produção de energia em fontes fixas para fins de produção de calor é a resolução nº 436 de dezembro de 2011 do CONAMA. São mostrados os limites máximos de emissões atmosféricas de diversos combustíveis, incluindo a madeira, sendo o limite máximo de CO e NO já visto na Figura 39. Sendo assim, devido à empresa atender as exigências governamentais não há restrição para utilização das aparas na fabricação de energia (R=0).

Não existe uma normatização que especifique a produção do briquete no Brasil. Apesar de ter diferentes características físicas, químicas e mecânicas que interferem diretamente na qualidade do produto, o serviço florestal brasileiro (SFB/MMA) é o único órgão que propõe classificação da qualidade do briquete baseando-se no teor de cinza que é produzido quando queimado (Dias et al., 2012). Conforme com os mesmos autores com tudo, essas normas ainda são apenas propostas, e para uma adequação maior ao mercado internacional as empresas seguem normas europeias, principalmente a alemã, austríaca e sueca.

A normativa alemã é Deutsches Institut für Normung - DIN, sendo as DIN 51731, DIN 15270 e DIN 66165, e diz respeito a qualidade a teste e qualidade para os péletes e briquetes de madeira. A Áustria tem seus normativos que tratam da qualidade dos briquetes e péletes pelas normas ÖNORM M 7135, ÖNORM M 7136 e ÖNORM M 7137. E a Suécia tem uma norma exclusiva para a produção de briquetes, sendo a norma SS187121 (Dias et al., 2012).

Apesar de não ter normativas nacionais sobre a fabricação do briquete, a comercialização desse produto é permitida no Brasil, atribuindo uma nota baixa para utilização de aparas de madeira na fabricação de briquetes (R=0). Isso significa que a regulamentação não restringe o uso dos briquetes.

4.4.10 Questão q10 (q10): A quantidade de produção do RSI atende a necessidade do (s) produto (s) candidato (s)? (Peso 6)

Primeiramente foi necessário encontrar o volume médio que a empresa produz de aparas, para isso se utilizou dos relatórios gerados pelo escâner Opticore do setor de corte da tábua, que demonstra o volume de madeira cortado no período e os tamanhos que foram cortados, sendo possível encontrar o volume médio por mês que a empresa gera de aparas. Segundo os relatórios da máquina, em média são produzidos 66,55m³ mensais de aparas de madeira seca.

A empresa é responsável por produzir diversos modelos de portas, porém a sua estrutura é semelhante, pois sempre vai ser constituído de travessas e de montantes, sendo assim, para

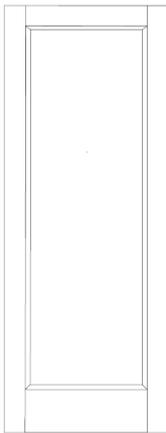
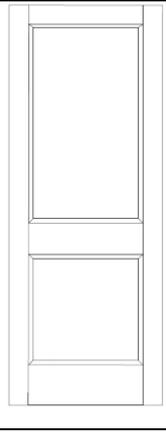
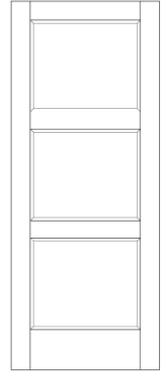
analisar o quanto em volume de aparas é necessário para produzir as portas mais vendidas foi utilizado o princípio de Pareto, chamado de 80/20, em que “20% das causas são responsáveis por 80% dos efeitos” (Delers, 2023).

Dentro desse conceito foram separados três modelos (20%), que representam 80% do faturamento, que podem ser vistos na Figura 45. Para determinar o volume de aparas necessário para produzir cada design, foi calculado o volume de cada montante e travessas utilizados no determinado design, descontando os sarrafos laterais e o MDF que compõem a peça.

Os pedidos que a empresa negocia tem seu volume mínimo de 1.050 portas, devido a ser a capacidade de um contêiner. Essa quantidade foi multiplicada pelo volume necessário para produzir cada modelo, assim possibilitando encontrar quantos contêineres podem ser feitos para cada design de porta por mês. Toda essa base de cálculo pode ser vista na Figura 46.

Figura 46

Modelos de porta que representam 80% do faturamento e seu volume de aparas necessário

Nome do modelo	Imagem do modelo	Volume necessário para produção	Quantidade de portas que cabem no contêiner	Total de aparas necessárias	Quantos contêineres possíveis por mês
1P		0,02027m ³	1050un	21,2885m ³	3,13
2P		0,02081m ³	1050un	21,8521m ³	3,05
3P		0,02471m ³	1050un	25,9455m ³	2,56

Fonte: Autores (2023).

Analisando a Figura 46 podemos ver que todos os modelos têm dois montantes, porém cada um tem as quantidades e tamanhos de travessas diferentes, ocasionando mudanças no volume de aparas para cada modelo. O primeiro modelo tem apenas duas aparas, ou seja, menos

material, essa lógica segue para os outros modelos, onde o do meio tem apenas duas travessas, ou seja, maior volume de material necessário comparado com o primeiro modelo, e o último com quatro, sendo o que mais necessita de aparas para serem feitas.

Com a média de aparas produzidas por mês é possível fazer 3,13, 3,05 e 2,56 de contêineres do modelo 1P, 2P e 3P, respectivamente. Diante dessa perspectiva, o volume de aparas gerado é suficiente para alimentar a linha produtiva da porta *primed*, resultando em uma nota baixa ($R=0$).

Os painéis que serão vendidos para as marcenarias têm a dimensão de 2,75 metros de altura e 0,95 metros de comprimento, para chegar nessas dimensões se faz necessário colocar alguns sarrafos entre as aparas para atingir o tamanho correto.

Para produzir um painel é necessário $0,080850\text{m}^3$ de aparas de madeira, esse valor foi encontrado devido à multiplicação das dimensões do painel e descontado o volume de sarrafos incorporados na peça. Seguindo essa lógica, 1m^3 de aparas de madeira é capaz de produzir 12,36 painéis, então com a média de $66,55\text{m}^3$ de aparas por mês que a empresa produz é possível fabricar 823,13 painéis por mês.

Devido à venda do painel acontecer no mercado interno, não existe uma quantidade mínima para fechar um pedido, pois independe de contêiner para exportação e a responsabilidade da entrega do produto pode ser feita pelo próprio cliente, facilitando as quantidades a serem vendidas. A nota é baixa ($R=0$) para o volume de aparas gerado ser suficiente para produzir os painéis EGP, pois além de ser possível produzir 823,13 painéis por mês o mercado interno retira a necessidade mínima de venda.

Para transformar as aparas de madeira em briquetes é preciso transformar a madeira sólida em pó de madeira, e para isso a empresa disponibilizou algumas informações internas em que eles consideram que em média 1m^3 de madeira seca moída no triturador produz $3,2413\text{m}^3$ de pó de madeira. A empresa considera que 1m^3 de pó de madeira tem 145kg. Esses valores foram obtidos a partir de cálculos internos a fim de calcular os custos que a empresa tem em cima de cada produto.

As vendas mínimas da empresa são de 1.000kg de briquetes, pois essa quantidade é o que cabe nas big bags utilizadas na linha produtiva. A máquina que fabrica briquetes tem capacidade de fazer 1000 Kg por hora, sendo possível trabalhar oito horas por dia, hoje a empresa produz em média 6.000Kg de pó por dia.

Com a média de aparas produzidas durante o mês é possível gerar 31.277,73Kg de pó de madeira, acrescentando mais 31,28 horas por mês na máquina, ou por outro espectro podemos

dizer que em média iria acrescentar 1.421,71Kg de pó de serragem por dia, fazendo a máquina trabalhar quase em sua totalidade máxima se somasse com o que já é produzido atualmente.

Devido a atualmente a máquina não ter sua capacidade total diária utilizada e com as aparas essa ociosidade diminui, além de ter uma quantidade significativa deste aumento. Então é atribuído uma nota baixa para este quesito (R=0).

Para aceitação das aparas de madeira nas caldeiras é necessário transformá-las em cavaco, ou seja, as aparas de madeira seca são colocadas no picador para deixar em menores tamanhos e facilitar a queima. Para 1m³ de aparas secas é possível gerar 3,15m³ de cavaco.

A caldeira fica ativa 24 horas por dia durante o ano todo e tem a capacidade de utilizar 6m³ por hora, porém essa capacidade não é explorada 100%, ou seja, a demanda de calor para as estufas instaladas não necessita de toda a potência da caldeira, sendo que atualmente ela utiliza apenas 2m³ de cavacos por hora. Se são utilizados 2m³ de cavaco por hora na empresa e a caldeira não desliga durante o ano todo, é necessário em média 1.460m³ de cavaco por mês.

Seguindo essa linha de pensamento, são gerados 66,55m³ de aparas de madeira seca por mês, que se forem todas trituradas viram 209,64m³ de cavacos. Ou seja, se forem apenas utilizadas as aparas de madeira para alimentar a caldeira não teria a quantidade suficiente para gerar o calor necessário para alimentar as estufas, devido as aparas sozinhas não conseguirem alimentar a caldeira a nota é alta (R=10).

4.4.11 Questão 11 (q11): Há mercado consumidor para a valorização do RSI conforme o (s) produto (s) candidato (s)? (Peso 6)

As soluções propostas consistem em produtos que já são comercializados, porém as soluções como porta *primed*, painel EPG e briquete são produtos que são vendidos diretamente para o consumidor final e a energia é para alimentar um processo produtivo da própria empresa. A solução porta *primed* segue o mesmo ramo do produto principal que a empresa manufatura, facilitando a negociação com os clientes que estão em carteira, além de acrescentar uma opção a mais de escolha para o consumidor. A empresa atende o mercado externo, e as exportações de portas de madeira do Brasil para o exterior tiveram um crescimento na taxa anual de 12,9% no valor entre o período de 2012 a 2021 (ABIMCI, 2022).

Devido à empresa já estar inserida no comércio de exportação de portas de madeira, na qual o mercado está em ascensão, além de acrescentar um novo produto sustentável em seu catálogo, assim possibilitando ampliar sua carteira de clientes, podemos considerar a solução porta *primed* com uma nota baixa (R=0).

A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) é responsável por divulgar estudos setoriais sobre a comercialização de madeira sólida e compensados, dentre elas está o Painel EGP, sendo que o último estudo sobre o consumo deste produto foi feito no período de 1997 a 2006, e apresentou uma taxa de crescimento anual de 8,5% (ABIMCI, 2007). Informações relacionadas à comercialização de Painel EGP não foram encontradas além do citado acima.

Na empresa estudada, a solução Painel EGP não é considerado como principal produto comercializado, pois a porta de madeira é o carro-chefe da empresa. A comercialização aconteceria no mercado interno com enfoque em marcenarias, ou seja, um ramo novo para a indústria. A aderência de um produto diferente do carro-chefe da empresa e a comercialização interna não é problema para a indústria estudada, pois já existem subprodutos que a organização vende para o mercado interno, como por exemplo briquetes.

Devido à empresa já transacionar produtos diferentes do carro-chefe para o mercado nacional, porém não ter muitas informações recentes sobre a comercialização do Painel EGP, a nota para esta solução é abaixo de intermediário ($R=3$). A empresa estudada produz a partir do pó de madeira gerado no processo o briquete, ou seja, já fabrica esse produto e comercializa no mercado interno, sendo que sua demanda nos últimos anos de venda vem crescendo.

Contudo, como visto na pergunta q10, a empresa produz 6.000kg de pó de madeira, cuja máquina tem a capacidade de produzir 8.000kg por dia. O acréscimo das aparas de madeira moída aumentaria a produção mensal de briquetes e conseguiria atender os aumentos na demanda que a empresa vem sofrendo, por esse motivo a nota para essa solução é baixa ($R=0$).

A geração de energia para produção de calor já é feita na empresa estudada, porém a comercialização não é realizada, pois todo o calor gerado é utilizado nas próprias estufas. A indústria estudada já produz outros resíduos que são triturados e levados para a caldeira, sendo que esses resíduos já geram 1.830m³ de cavaco ao mês, ou seja, a mais do que é necessário para alimentar mensalmente a caldeira, como visto na questão q10.

Sendo assim, analisando a demanda de cavacos para alimentar a caldeira vimos a incompatibilidade de utilizar as aparas de madeiras para gerar energia, pois a produção de cavacos a partir de materiais como casca e costaneiras, um produto relativamente mais difícil de agregar valor do que as aparas, já é o suficiente para alimentar as cadeiras.

Utilizando os cálculos feitos na questão q10 vimos que hoje a caldeira utiliza 2m³ por hora para gerar o calor suficiente para alimentar as estufas que a indústria estudada tem e que a empresa já gera cavaco suficiente com o tritamento das cascas e costaneiras, ou seja, está

sobrando cavaco. Pelo motivo da demanda de cavaco para a caldeira da empresa ser nula, a solução para aparas de madeira em transformar em energia é alta (R=10).

4.4.12 Índice de Criticidade: Critério Qv – Quantidade/viabilidade

O critério Qv avalia as respostas para cada pergunta e solução separadamente, então para ilustrar as respostas e o valor do índice de criticidade para cada solução foi criada a Tabela 5.

Tabela 5

Índice de criticidade do critério Quantidade/viabilidade (Qv)

Questionamento (q)		Pesos	Respostas (R)			
			Porta primed	Energia	Briquete	Painel EGP
q5	A variabilidade composicional compromete possíveis produto(s) potencial(is)?	6	0	0	0	0
q6	Há algum elemento que configure limite de tolerância no produto(s) potencia (is)?	8	0	0	0	0
q7	Há necessidade de adequação do gerenciamento para geradora do RSI?	6	0	0	0	0
q8	Há necessidade de adequação do gerenciamento para a receptora do RSI?	6	3	3	10	5
q9	Há legislação que regulamenta o(s) produto(s) ou restringe o uso do RSI?	10	0	0	0	0
q10	A quantidade de produção do RSI atende a necessidade do(s) produto(s) candidato(s)?	10	0	10	0	0
q11	Há mercado consumidor para a valorização do RSI conforme o(s) produto(s) candidato(s)?	6	0	10	0	3
Índice de criticidade (Ic) Quantidade e Viabilidade			0,35	3,42	1,15	0,93

APROVADOS

Fonte: Autores (2023).

Perante os resultados do índice de criticidade é possível notar que a solução para as aparas de madeira porta *primed*, briquete e painel EGP são fáceis de utilização. Já a produção de energia é uma solução com dificuldade moderada de utilização, tendo em vista o critério de Quantidade/viabilidade. O questionamento q8 foi o único de todos que apresentou uma nota diferente de zero, pois para fabricar quaisquer das soluções é necessária alguma adaptação no projeto de fábrica, seja em um grau maior ou menor, o que justifica as notas diferentes para cada solução.

Outros questionamentos relevantes para a determinação da nota foi q10 e q11, onde a solução energia recebeu uma nota alta para as duas questões devido a atualmente não ter uma demanda que necessite desse produto na empresa, além de sozinha não conseguir alimentar a demanda de calor da empresa. O painel EGP não recebeu uma nota zerada devido a não ter informações recentes sobre a sua demanda, tanto internamente com dados da empresa quanto externamente com informações de pesquisas setoriais.

4.5 CRITÉRIO A – APLICABILIDADE

No critério A as soluções para as aparas de madeira seca foram avaliadas sob a ótica do desempenho técnico, onde a tecnologia implementada consegue atender as necessidades do mercado. Para determinar os parâmetros técnicos foram utilizadas as normas brasileiras vigentes para os produtos candidatos.

4.5.1 **Questão q12 (q12): O desempenho do (s) produto (s) atende às exigências de mercado? (Peso 10)**

Para responder a essa questão buscou-se as normativas brasileiras que tratam sobre as soluções escolhidas, sendo assim procurou-se regras para produção de porta *primed*, onde encontrou-se a ABNT NBR 15930-2 de 2018, que trata de “Parte da ABNT NBR 15930 que especifica os requisitos para estabelecimento e avaliação do perfil de desempenho e a respectiva classificação de porta de madeira”.

Na ABNT NBR 15930-2 de 2018 as normas para porta *primed* se encontram em:

- Dimensionamentos e tolerâncias das portas: Traz regras para tamanhos necessários para cumprir com as normas e os limites de tolerância para os mesmos, nela se inclui limites para desvios de forma e planicidade.

- Aspecto visual: Classifica os aspectos físicos da porta de madeira, a fim de definir padrão de aparência.
- Exposição das folhas às variações higroscópicas: Limites para variação dimensional e forma da porta em relação ao contato com a umidade.
- Esforços mecânicos: Analisa as resistências necessárias para a produção de porta e classificação para cada resultado, nela se analisa os esforços no carregamento vertical, torção elástica, impactos de corpo, resistência no fechamento com obstrução e brusco, ciclos de abertura e fechamento e força de abertura e fechamento.

A porta produzida na empresa segue as regras da ABNT NBR 15930, inclui-se essas normas para a porta *primed*, sendo assim atribuída uma nota baixa para o desempenho (R=0), já que o desempenho do produto atende as exigências do mercado.

A geração de energia em forma de calor conta com regulamentação da resolução n° 436 de dezembro de 2011 do CONAMA, que determina limites de emissões, como visto na Figura 39.

Na questão q6 foram apresentados os laudos da última análise da caldeira da empresa e foi visto que atende o exigido, além da questão q4, pois a espécie *P. Elliotti* em sua média tem um poder calorífico maior que a média das árvores coníferas.

Então, devido ao mercado não exigir uma análise de desempenho no poder calorífico e que a empresa atende os requisitos da resolução n° 436 de dezembro de 2011 do CONAMA, atribui-se uma nota baixa para a solução energia no desempenho do mercado (R=0), ou seja, atende as demandas do mercado.

Também não são encontradas normas de desempenho no Brasil para as soluções Painel EGP e briquete, como visto na questão q9, foi encontrado apenas citações no serviço florestal brasileiro (SFB/MMA), que propõe normativas para classificação da qualidade do briquete. Já na ABNT NBR 15930-1 de 2011 encontram-se apenas citações sobre EGP em relação à definição, mas não a desempenho.

Baseando-se na falta de critérios avaliativos para o desempenho do briquete e considerando que a empresa já fabrica esse produto para clientes da região, ou seja, atende os anseios do mercado regional, foi atribuída uma nota baixa para essa solução (R=0), isto é, atende as demandas do mercado.

Já para o Painel EGP a falta de *Know how* da empresa estudada em relação à produção desse produto para venda direta, faltam normativas sobre o desempenho do produto, o que dificulta saber quais as exigências do mercado e se a indústria é capaz de atender essas exigências. Sendo assim uma nota alta para solução Painel EGP (R=10).

4.5.2 Índice de Criticidade: Critério Qv – Quantidade/viabilidade

Do mesmo modo que o critério Qv, o critério A avalia as notas para cada solução escolhida, e para ilustrar foi elaborada a Tabela 6.

Tabela 6

Índice de criticidade do critério Aplicabilidade (A)

Questionamento (q)		Pesos	Respostas (R)			
			Porta <i>primed</i>	Energia	Briquete	Painel EGP
q5	O desempenho do(s) produto(s) atende às exigências de mercado?	10	0	0	0	10
Índice de criticidade (Ic) para aplicação			0	0	0	10

APROVADOS

Fonte: Autores (2023).

As soluções que tiveram aplicabilidade no mercado facilitado foram a porta *primed*, energia e briquete, isso se deve pela empresa já trabalhar com esses tipos de produtos e conhecer a exigências do mercado. Diferente para o Painel EGP, que além de não ter normas para o desempenho do produto na empresa não se conhece as exigências do mercado para essa solução, tornando-a difícil de aplicar no mercado.

4.6 ÍNDICE DE CRITICIDADE TOTAL DA SISTEMÁTICA CPQVA

Nesta seção é possível ter uma visão da totalidade do processo de pesquisa, devido demonstrar o resultado final do índice de criticidade total da sistemática CPQvA, visto na tabela 6.

Tabela 7

Índice de criticidade do critério total da sistemática CPQvA

Questionamento (q)		Pesos	Respostas (R)			
			Porta <i>primed</i>	Energia	Briquete	Painel EGP
Índice de criticidade (Ic) total do CPQvA			0,18	1,78	0,6	1,48

APROVADOS

Fonte: Autores (2023).

Todas as soluções propostas neste trabalho tiveram um resultado de fácil aplicação para valorizar as aparas de madeira derivadas da produção de porta de madeira, porém vale ressaltar que algumas soluções tiveram notas menores, o que significa sob a ótica da sistemática CPQvA que a solução com maior facilidade em ser implementada é a Porta *Primed*, em sequência de facilidade vem Briquetes, Painel EGP e Energia.

4.7 APLICABILIDADE DO ESTUDO

A sistemática CPQvA é uma ferramenta empresarial para tomada de decisão quanto à escolha da melhor solução para um resíduo, sendo abordados temas como ambiental, social e econômico, ou seja, auxilia na melhor alternativa sustentável para um resíduo. Esse auxílio que a sistemática apresenta está relacionado à estrutura que possui, podendo avaliar questões qualitativas que, muitas vezes, são complexas de julgar, além de definir os passos que devem ser seguidos para mensurar as notas.

Os passos respeitam uma linha lógica, sendo primeiramente avaliado o resíduo no âmbito legislativo e potencialidades que podem conter. Logo após, são julgadas as soluções sob a ótica empresarial com as adaptações industriais e as quantidades de resíduo gerado necessárias para fabricar os produtos candidatos. Por fim, é avaliada a solução no âmbito comercial, ou seja, se o produto está de acordo com o que o mercado exige.

Os resultados mostram que o resíduo não apresenta nenhum empecilho para ser reutilizado, pois suas notas foram zeradas tanto para questões legais quanto para suas características físicas e químicas que facilitam sua reutilização para as soluções selecionadas.

Em relação às soluções no critério Qv, foi relatado que todas as soluções são de fácil utilização, com exceção da Energia, que foi considerada uma solução com dificuldade moderada na utilização. Esse resultado é reflexo da quantidade de aparas que é gerada e que não consegue suprir a demanda sozinha das caldeiras. Além disso, a empresa não necessita de um volume maior de cavaco, pois os resíduos madeireiros que já são picados são suficientes para alimentar a caldeira.

No critério Aplicabilidade, a única solução que recebeu uma nota elevada foi o Painel EGP, devido à falta de normativa que demonstre como é necessário produzir essa solução, além da empresa não ter o conhecimento tácito necessário para manufaturar o Painel EGP.

Ao longo da pesquisa foi notada a falta de normativas brasileiras em relação ao desempenho, modelo e métodos de produção para algumas soluções candidatas das aparas. Esses produtos têm liberação para serem comercializados, como é o caso do Briquete, e

algumas empresas utilizam normativas estrangeiras para demonstrar algum grau de expertise no negócio.

Vale ressaltar a falta de uma visão de valores monetários, tanto para venda quanto para fabricação das soluções propostas na sistemática CPQvA, pois esse critério é um ponto que impacta diretamente o consumidor na decisão de comprar ou não o produto, além de informar o quanto de investimento é necessário para fabricar determinada solução e qual é a possível taxa de retorno do dinheiro aplicado.

De um modo geral, os resultados apontam a Porta *primed* como a melhor solução a ser utilizada, traçando um paralelo com a pesquisa feita na fundamentação teórica deste trabalho. Primeiramente, utilizaram-se conceitos da sustentabilidade para validar a valorização de um resíduo sólido.

Para isso, a visão da produção mais limpa foi essencial para determinar quais as soluções a serem utilizadas, visto que a madeira é um produto orgânico, dificultando a não geração. Sendo assim, cabia à empresa ir até o segundo nível, ou seja, reutilização de forma interna.

Continuando a comparação dos resultados com a fundamentação teórica, também foi fundamental o primeiro artigo sobre bibliometria para produção de porta e sobre sistema produtivo da manufatura de porta de madeira, pois introduziu informações sobre pesquisas relacionadas à produção de porta de madeira e como funcionam as indústrias produtoras. A fundamentação da sistemática CPQvA foi o guia e uma ferramenta para determinar qual a melhor solução para as aparas de madeira provenientes da produção de portas.

Para completar, a revisão integrativa dos artigos relacionados à reutilização de resíduos madeireiros foi peça-chave para compreender algumas informações. Dentre as soluções propostas para as aparas, a geração de energia foi considerada. Contudo, a melhor solução pela sistemática CPQvA para as aparas é a Porta *primed*.

No entanto, destaca-se uma discussão feita no artigo da revisão integrativa, que vai ao encontro com a divergência da melhor solução escolhida pela sistemática CPQvA e pela maioria das soluções dadas nos resíduos madeireiros. A qualidade do resíduo da madeira deve ser considerada, pois o ideal é a seleção de resíduos cujas características predominantes facilitem a reutilização para soluções que agregam mais valor, e para aqueles que dificultam a reutilização, disponibilizá-los para soluções que agregam menor valor.

Sendo assim, devido às aparas de madeira provenientes da produção de porta serem um produto que pode ser reutilizado na linha produtiva, foi válido reutilizá-lo em um produto que possa agregar valor, como a Porta *primed*, e deixar para gerar energia resíduos que a empresa

cria e tem maior dificuldade na reintegração na linha produtiva ou fazer novos produtos, como é o caso das cascas e dos cavacos.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o extenso processo de avaliação das alternativas para valorização das aparas geradas na produção de portas de madeira em uma indústria situada na região sul catarinense, atingimos importantes objetivos. Inicialmente, realizamos uma minuciosa avaliação das alternativas disponíveis, considerando sua viabilidade técnica.

Identificamos também o enquadramento legal pertinente aos resíduos estudados, garantindo conformidade e alinhamento com as diretrizes ambientais vigentes.

Além disso, por meio de uma extensa pesquisa na literatura especializada, conseguimos levantar e compreender os aspectos físicos e químicos presentes nas aparas de madeira, fornecendo uma base sólida para nossa análise. Destacamos ainda a importância atribuída à viabilidade ambiental das soluções propostas, priorizando aquelas que minimizam impactos e promovem a sustentabilidade. Por fim, utilizando uma sistemática de decisão de multicritérios estabelecidos pela CPQvA, conseguimos determinar a melhor solução entre as escolhidas, assegurando um processo decisório embasado e alinhado com os objetivos estratégicos da empresa.

O trabalho determina uma solução para valorizar a apara de madeira proveniente da produção de porta utilizando a sistemática CPQvA, que se trata de uma forma de auxiliar o avaliador a tomar a melhor decisão baseando-se em questões de multicritérios. A análise passa por questões ambientais, sociais e econômicas. A solução para Porta *primed* é a que recebe menor nota, ou seja, é a melhor solução para as aparas de madeira para a indústria estudada.

A pesquisa realça a utilidade da sistemática CPQvA como uma eficaz ferramenta de apoio à tomada de decisões empresariais relacionadas à escolha da melhor alternativa para a gestão de resíduos. Essa abordagem abarca considerações ambientais, sociais e econômicas, simplificando a identificação da opção mais sustentável.

Identificou-se o enquadramento legal do resíduo e levantaram-se os aspectos físicos e químicos da apara de madeira. Nos resultados, verificou-se que não existe algo legal que impeça a reutilização do resíduo e que suas características físicas e químicas são adequadas para as soluções selecionadas.

A viabilidade ambiental e o desempenho das soluções sugeridas são analisados. Observa-se que em relação ao desempenho todas são regulares, exceto a solução painel EGP, para a qual a empresa não possui conhecimento técnico do produto e não tem normas disponíveis para identificar as características que o mercado exige. Quanto à viabilidade ambiental, a empresa consegue produzir todas as soluções propostas dentro das leis ambientais.

A aplicação de conhecimento interdisciplinar é fundamental para complementar uma visão completa da pesquisa. Utilizar conhecimentos disciplinares diferentes para atingir o resultado final é uma estratégia que facilita o desenvolvimento do trabalho e preenche lacunas que não seriam possíveis de responder apenas com uma área do conhecimento.

Na área ambiental são aplicados conhecimentos sobre valorização de resíduo, produção mais limpa, legislação ambiental e conceitos sustentáveis. Na área produtiva são utilizadas técnicas do *lean manufacturing*, observa-se o sistema produtivo da empresa produtora de porta, analisam-se *layouts* e normas de desempenho para produção.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são contemplados neste trabalho, principalmente o ODS 15, vida terrestre, onde a busca pela reutilização de resíduos sólidos impacta diretamente no ecossistema da natureza, pois menos material virgem é retirado da natureza e menos material é descartado no meio ambiente.

Este estudo representa uma inovação, ao adotar uma sistemática nova e pouco explorada, tendo o objetivo da valorização dos resíduos madeireiros. Em um mundo onde a sustentabilidade se torna essencial, este trabalho, além de abordar um desafio prático e econômico, supera os limites do conhecimento existente.

A exploração dessa sistemática oferece uma abordagem inovadora para um problema antigo, além de lançar luz sobre possíveis soluções que podem transformar a forma como encaramos resíduos em diversas indústrias.

O fato de compartilhar dados e informações, faz deste trabalho uma fonte vital para futuras pesquisas, facilitando o acesso a *insights* críticos sobre sustentabilidade, valorização de resíduos e otimização de sistemas produtivos.

Ao fazer isso, enriquece a rede acadêmica e catalisa a inovação, inspirando pesquisadores a se aventurarem por novos caminhos e a desafiar-se, criando um ciclo virtuoso de descoberta, aprendizado e aplicação prática que beneficia a sociedade como um todo.

O impacto deste estudo transcende fronteiras disciplinares, promovendo uma compreensão mais profunda dos desafios complexos enfrentados pelo nosso mundo e fornecendo as ferramentas intelectuais necessárias para enfrentá-los com resiliência e criatividade.

A dissertação propiciou à empresa, uma metodologia sólida para gerir seus resíduos, transformando desafios em oportunidades. Ao avaliar soluções de várias perspectivas, a empresa ganhou uma compreensão profunda das alternativas, considerando aspectos legais e demandas do mercado.

Ao reutilizar as aparas de madeira na fabricação, a empresa reduziu seu impacto ambiental e valorizou seus produtos, demonstrando compromisso com a sustentabilidade e inovação. Com isso fortaleceu a posição da empresa como um modelo de negócios ecologicamente responsável e comercialmente viável.

Visando à continuidade da pesquisa, entende-se que trabalhos futuros podem realizar estudos sobre os custos produtivos para a elaboração das soluções propostas, aplicar a sistemática CPQvA em soluções externas da empresa, atingindo assim o nível 3 da produção mais limpa. Por fim, replicar o mesmo estudo em outras indústrias que produzem portas de madeira, a fim de confrontar os resultados obtidos nas duas pesquisas.

REFERÊNCIAS

- A. J. Panshin, & Zeeuw, C. (1980). *Textbook of wood technology* (McGraw- Hill (ed.); 4th ed.).
- ABIMCI, A. B. D. I. D. M. P. M. (2004). *Produtos de Madeira*.
- ABIMCI, A. B. D. I. D. M. P. M. (2007). *Estudo setorial 2007*.
- ABIMCI, A. B. D. I. D. M. P. M. (2019). *Estudo Setorial 2019*.
- ABIMCI, A. B. D. I. D. M. P. M. (2022). *Estudo Setorial 2022*.
- ACR, A. C. D. E. F. (2016). *EXPORTAÇÃO DE PORTAS DE MADEIRA*.
<https://acr.org.br/exportacao-de-portas-de-madeira/>
- Andrew, I., & Burley, J. (1972). Variation of wood quality of *Pinus merkusii* Jungh. and de Vriese: five trees 16-18 years old in Zambia. *Rhodesian Journal of Agricultural Research*, 10, 183–202.
- Araújo, C. A. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, 12(1), 131–148.
- Balloni, C. J. V. (2009). Caracterização Física e Química da Madeira de *Pinus Elliotti*. In *Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira*.
- What a Waste 2.0, (2018).
- Bendtsen, B. A., & Senft, J. (2007). Mechanical and Anatomical Properties in Individual Growth Rings of Plantation-Grown Eastern Cottonwood and Loblolly Pine. In *Wood and Fiber Science* (Vol. 18, Issue 1).
- Benjamin, C. A. (2002). *Comparação Entre Três Critérios De Amostragem Para a Avaliação Da Densidade Básica Da Madeira De Florestas Implantadas De Eucaliptos*.
- Beverari, B., Rocha, L. B., Ricardo, P., Gouveia, C., Antonio, R., & Junior, L. (2021). *Sistema SLP : Sistematização de Planejamento do leiaute aplicado à Indústria Gráfica*
SLP System : Leiaute Planning Systematization applied to the Graphic Industry.
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 0 (2022).
- Brito, J. O. (1993). *Expressão da produção florestal em unidades energéticas*. 280–282.
- Camargo, S. S., Meneguzzi, A., Bisol, L., Paiano, G. M., Magro, M., & Rufato, L. (2020). Germination and initial in vitro development of explants of red strawberry-guava. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 18(5), 6–12.
<https://doi.org/10.5965/2238117118E2019025>

- Documento de Área 45 : Interdisciplinar, 0 (2019).
- Carneiro, S. M. M. (1994). Interdisciplinaridade: um novo paradigma do conhecimento? In *Educar em Revista* (pp. 99–109).
- Chave, J., Muller-Landau, H. C., Baker, T. R., Easdale, T. A., Hans Steege, T. E. R., & Webb, C. O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, *16*(6), 2356–2367.
[https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2356:RAPVOW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2356:RAPVOW]2.0.CO;2)
- CMMAD, C. M. sobre M. A. e D. (1988). Nosso futuro comum. In *Fundação Getulio Vargas*. Fundação Getulio Vargas.
- Coelho, H. M. G., Lange, L. C., Jesus, L. F. L., & Sartori, M. R. (2011). Proposta de um Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, *16*(3), 307–316. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000300014>
- Daily, B. F., & Huang, S. (2001). Achieving sustainability through attention to human resource factors in environmental management. *International Journal of Operations & Production Management*, *21*(12), 1539–1552.
<https://doi.org/10.1108/01443570110410892>
- de Cademartori, P. H. G., Gatto, D. A., Stangerlin, D. M., Schneid, E., & Hamm, L. G. (2012). Qualidade da madeira serrada de pinus elliottii engelm. procedente de florestas resinadas. *Cerne*, *18*(4), 577–583. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000400007>
- Delers, A. (2023). *O princípio de Pareto para a gestão empresarial: Expandir o seu negócio com a regra 80/20*. 50Minutes.com.
- Dias, J. M. C. de S., Souza, D. T. de, Braga, M., Onoyama, M. M., Miranda, C. H. B., Barbosa, P. F. D., & Rocha, J. D. (2012). Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. *Embrapa Agroenergia*, *13*(1), 132.
- Dos Santos, A. C., Contino, G. B., Da Silveira, J. P. C., Prates, R., & Simões, W. L. (2021). Melhoria de layout em uma empresa de fabricação e manutenção de moldes e matrizes de embalagens de vidro / Layout improvement in a glass packaging molds and dies manufacturing and maintenance company. *Brazilian Journal of Development*, *7*(10), 95281–95299. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-035>
- Fan, S., Zhang, P., Li, F., Jin, S., Wang, S., & Zhou, S. (2016). A Review of Lignocellulose Change During Hydrothermal Pretreatment for Bioenergy Production. *Current Organic Chemistry*, *20*(26), 2799–2809. <https://doi.org/10.2174/1385272820666160513154113>
- FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020. In *Global Forest Resources Assessment, key findings*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>

- Fariza, V., & Surjandari, I. (2018). *Comparing Artificial Neural Network and Failure Distribution Methods for Maintenance Scheduling : A Case Study of Wooden Door Industry*. 161–165. <https://doi.org/10.1109/ICISCE.2018.00043>
- Ferreira, B. S., de Campos, C. I., da Silva, M. S., & Valarelli, I. de D. (2012). Cisalhamento na Linha de Cola de Compensados de Eucalyptus sp. e Adesivo PVA. *Floresta e Ambiente*, 19(2), 141–146. <https://doi.org/10.4322/floram.2012.016>
- Francisco, E., Valentina, L. V. O. D., & De Oliveira, M. A. (2018). Implantação de uma nova técnica gerencial para melhoria de produtividade de processos numa empresa de fabricação de portas. *Produção Em Foco*, 8(3), 471–494. <https://doi.org/10.14521/p2237-5163.2018.0016.0004>
- Gabriele, P. D., Treinta, F. T., De Farias Filho, J. R., De Souza, M. C., Tschaffon, P. B., & Brantes, S. R. (2012). Sustentabilidade e vantagem competitiva estratégica: um estudo exploratório e bibliométrico. *Revista Produção Online*, 12(3), 729–755. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v12i3.975>
- Gaudillat, P., Antonopoulos, I. S., Canfora, P., Dri, M., European Commission. Joint Research Centre., & S, A. I. (2018). Best Environmental Management Practice for the Waste Management Sector Learning from frontrunners. In *Bemp 2018* (Issue May). <https://doi.org/10.2760/50247>
- Gonzaga, A. L. (2006). Madeira: Uso e Conservação. In *Cadernos Técnicos*, 6. IPHAN/MONUMENTA.
- Gonzaga, C. A. M. (2005). Marketing Verde De Produtos Florestais: Teoria E Prática. *Floresta*, 35(2), 353–368. <https://doi.org/10.5380/rf.v35i2.4623>
- Heerdt, M. L., Leonel, V., & Gamez, L. (2007). *Metodologia Científica e da Pesquisa*. UnisulVirtual.
- Hoeckesfeld, L., Caldart, A. F., Morais, V. A., & Neto, A. B. de M. (2021). A implementação da estratégia de produção mais limpa em uma indústria de pisos de madeira / Implementing a cleaner production strategy in a wood flooring industry. *Brazilian Journal of Development*, 7(7), 65503–65511. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-023>
- IPT. (1989). *Relatório No 27 078*.
- Japiassú, C. E. (2017). 30 Anos do Relatório Brundtland: Nosso Futuro Comum e o Desenvolvimento Sustentável Como Diretriz Constitucional Brasileira. *Revista de Direito Da Cidade*, 9(4), 1884–1901. <https://doi.org/10.12957/rdc.2017.30287>
- Laguarda Mallo, M. F., & Espinoza, O. (2015). Awareness, perceptions and willingness to adopt Cross-Laminated Timber by the architecture community in the United States.

- Journal of Cleaner Production*, 94, 198–210.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.090>
- Lu, W., Sibley, J. L., Gilliam, C. H., Bannon, J. S., & Zhang, Y. (2006). Estimation of U.S. Bark Generation and Implications for Horticultural Industries. *Journal of Environmental Horticulture*, 24(1), 29–34. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-24.1.29>
- Luciano, E. L., Souza, B. R. de, Ribeiro, R. B., Fioravante, I. A., Souza, N. R. de, Junqueira, G. D. S., & Constancio, M. D. O. (2021). a Aplicação Dos Conceitos De Tempos, Movimentos E Métodos No Abastecimento De Uma Célula De Soldagem Robotizada De Uma Indústria Metal Mecânica. *South American Development Society Journal*, 7(20), 140. <https://doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v7i20p140-161>
- Lykidis, C., & Grigoriou, A. (2008). Hydrothermal recycling of waste and performance of the recycled wooden particleboards. *Waste Management*, 28(1), 57–63.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.11.016>
- Plano nacional de desenvolvimento de florestas plantadas, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento 52 (2018).
- Marchiori, J. N. C. (2005). *Dendrologia das Gimnospermas*. Editora UFSM.
- Melo, R. R. (2013). Estabilidade Dimensional de Compostos de Madeira. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 4(2), 152–175. <https://doi.org/10.12953/2177-6830.v04n02a03>
- Melo, R. R., Silvestre, R., Oliveira, T. M., & Pedrosa, T. D. (2013). Variação Radial e Longitudinal da Densidade Básica da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com Diferentes Idades. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 4(1), 93–92. <https://doi.org/10.12953/2177-6830.v04n01a07>
- Metcalfe, P. (2006). The triple bottom line. *Elektron*, 23(4), 3. <https://doi.org/10.1108/ijrdm-11-2013-0210>
- Minini, D., Braga, B. de A., Maria, D. de M. B., Gmach, F., Albuês, T. A. S., Jesus, W. S., & Monteiro, T. C. (2021). *Qualidade E Processamento Da Madeira Serrada No Brasil: Estado Da Arte*. 401–419. <https://doi.org/10.37885/210604911>
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 209f (2022).
- Mohan Das Gandhi, N., Selladurai, V., & Santhi, P. (2006). Unsustainable development to sustainable development: a conceptual model. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 17(6), 654–672. <https://doi.org/10.1108/14777830610702502>
- Moraes, R. de O., Igarashi, E. T., Camacho, R. R., & Marques, K. C. M. (2013). Gestão Estratégica de Custos: Investigação da Produção Científica no Período de 2008 a 2012. *Anais Do Congresso Brasileiro de Custos - ABC*.

- Moreira, D. A. (2008). *Administração da produção e operações*. Cengage Learning.
- Nascimento, S. M., Dutra, R. I. J. P., & Numazawa, S. (2006). Resíduos De Indústria Madeireira: Caracterização, Consequências Sobre O Meio Ambiente E Opções De Uso. *Holos Environment*, 6(1), 08. <https://doi.org/10.14295/holos.v6i1.177>
- NOCK, H. P., RICHTER, H. G., & BURGER, L. M. (1975). *Tecnologia da madeira*. Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná.
- Nolasco, A. M., & Uliana, L. R. (2014). *Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira*.
- Oliveira, J. T. da S., & Silva, J. de C. (2003). VARIAÇÃO RADIAL DA RETRATIBILIDADE E DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna*. *Revista Árvore*, 27(3), 381–385.
- Oliveira, K. A., Simão, L., Rebouças, L. B., Hotza, D., Montedo, O. R. K., Novaes de Oliveira, A. P., & Raupp-Pereira, F. (2023). Ceramic shell waste valorization: A new approach to increase the sustainability of the precision casting industry from a circular economy perspective. *Waste Management*, 157(November 2022), 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.033>
- Oliveira, S. C. M., Barbosa, E. de S., Rezende, I. C. C., Silva, R. P. A., & Albuquerque, L. S. (2012). Bibliometria em artigos de contabilidade aplicada ao setor público. *Anais Do XX Congresso Brasileiro de Custos*, 7, 8526.
- ONU, O. das N. U. (2015). *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>
- Palange, A., & Dhattrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>
- Pedzik, M., Bednarz, J., Kwidzinski, Z., Rogozinski, T., & Smardzewski, J. (2020). The idea of mass customization in the door industry using the example of the company porta KMI Poland. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093788>
- Permchart, W., & Kouprianov, V. I. (2004). Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized-bed combustor firing various biomass fuels. *Bioresource Technology*, 92(1), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.07.005>
- Pinheiro, C. (2014). *Efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de Pinus Elliottii*. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.
- Provdanov, C. C., & Freitas, E. C. De. (2013). Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. In *Novo Hamburgo: Feevale*. Feevale.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Qiao, L., & Easteal, A. J. (2001). Aspects of the performance of PVAc adhesives in wood joints. *Pigment & Resin Technology*, 30(2), 79–87.

<https://doi.org/10.1108/03699420110381599>

Raupp, F. P. (2006). *Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentíceas*.

REMADE. (2001). *REVISTA DA MADEIRA - EUCALIPTO A MADEIRA DO FUTURO*.

http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=29&subject=Uso M%FAltiplo&title=Qualidade e Uso M%FAltiplo da Madeira de Eucalipto

Rezende, M. A., Escobedo, J. F., & Ferraz, E. S. B. (1988). Retratibilidade volumétrica e desdensidade aparente da madeira em função da umidade. *Scientia Forestalis*, 39(1976), 33–40.

Rodrigues, F., Carvalho, M. T., Evangelista, L., & De Brito, J. (2013). Physical-chemical and mineralogical characterization of fine aggregates from construction and demolition waste recycling plants. *Journal of Cleaner Production*, 52, 438–445.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.023>

Ross, J. R. (2010). Wood Handbook Wood as an Engineering Material. *USDA Forest Service*, 1(4), 509p. <https://doi.org/10.1161/01.RES.39.4.523>

Santos, P. V. S., & Araújo, M. A. de. (2020). a Metodologia De Produção Mais Limpa (P+L): Um Estudo De Caso Em Uma Indústria De Curtume. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(1), 524. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e12020524-547>

Saratale, G. D., Saratale, R. G., Banu, J. R., & Chang, J.-S. (2019). Biohydrogen Production From Renewable Biomass Resources. In *Biohydrogen* (pp. 247–277). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64203-5.00010-1>

Sarsaiya, S., Jain, A., Kumar Awasthi, S., Duan, Y., Kumar Awasthi, M., & Shi, J. (2019). Microbial dynamics for lignocellulosic waste bioconversion and its importance with modern circular economy, challenges and future perspectives. *Bioresource Technology*, 291(June), 121905. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121905>

Scarlat Nicolae, Dallemand Jean-Francois, Taylor Nigel, Banja Manjola, Sanchez Lopez Javier, & Avraamides Marios. (2019). Brief on biomass for energy in the European Union | EU Science Hub. *EC Publication*, 1–8.

Schneider, V. E., Hillig, E., Pavoni, E. T., Rizzon, M. R., & Filho, L. A. B. (2003). Gerenciamento ambiental na indústria moveleira – estudo de caso no município de Bento Gonçalves. *XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 1–7.

- SENAI-RS. (2003). Implementação de Programas de Produção mais Limpa. *Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP*, 46.
- Shimizu, J. Y. (2008). Pinus na Silvicultura Brasileira. In *Pinus na silvicultura brasileira*.
- Silva, M. de F. da, & Menelau, A. S. (2021). Cultura organizacional como fator determinante para a adoção da Produção Mais Limpa. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 6(1), 001–011. <https://doi.org/10.24221/jeap.6.1.2021.3082.001-011>
- Souza, M. T. de, Silva, M. D. da, & Carvalho, R. de. (2010). Integrative review: what is it? How to do it? *Einstein (São Paulo)*, 8(1), 102–106. <https://doi.org/10.1590/s1679-45082010rw1134>
- Souza, N. D., Lima, H. S., Carvalho, A. M., Nascimento, A. M., & Dias Júnior, A. F. (2014). Avaliação da Qualidade de Portas de Madeira Maciça por Meio de Cartas de Controle. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 5(2), 85–92. <https://doi.org/10.12953/2177-6830.v05n02a02>
- Staiss, C., & Pereira, H. (2001). Biomassa Energia Renovável na Agricultura e no Setor Florestal Instituto Superior de Agronomia. *Revista Agros*, 1, 21–28.
- Tubino, D. F. (2007). *Planejamento e controle da produção: teoria e prática*. Atlas.
- United States Environmental Protection Agency. (2023). *Formaldehyde Emission Standards for Composite Wood Products*. <https://www.epa.gov/formaldehyde/formaldehyde-emission-standards-composite-wood-products>
- USEPA. (2018). *Facts and Figures about Materials, Waste and Recycling (Wood: Material-Specific Data)*. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/glass-material-specific-data#GlassTableandChart>
- Valerio, A. F., Warzlawick, L. F., Santos, R. T. dos, Silvestre, R., & Koehler, H. S. (2008). DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE PEROBA (ASPIDOSPERMA POLINEURON MUELL. ARG.) AO LONGO DO FUSTE. *REVISTA CAATINGA*, 21.
- Wahab, A. N. A., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technology*, 11(Iceei), 1292–1298. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>
- Williston, E. M. (1976). *Lumber Manufacturing: The Design and Operation of Sawmills and Planer Mills* (E. M. Williston (ed.); 2nd ed.). Miller Freeman Publications.
- WWF Internacional. (2010). *Planeta Vivo Relatório 2010: Biodiversidade, biocapacidade e desenvolvimento*.
- Zanella, L. C. H. (2011). Metodologia de pesquisa /. In *Universidade Federal de Santa*

Catarina / Sistema UAB. Departamento de Ciências da Administração/UFSC.

Zenid, G. J. (2009). *Madeira : uso sustentável na construção civil.* Instituto de Pesquisas

Tecnológicas : SVMA.

