

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LARISSA QUEIROZ MINILLO

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DAS INDUSTRIAS DE CELULOSE E
SUCROALCOLEIRA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS**

Ilha Solteira
2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

LARISSA QUEIROZ MINILLO

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DAS INDUSTRIAS DE CELULOSE E
SUCROALCOLEIRA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Especialidade: Estruturas.

Prof. Dr. SÉRGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA
Orientador

Ilha Solteira

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

M665a Minillo, Larissa Queiroz .
Aproveitamento de resíduo das indústrias de celulose e sucroalcooleira para produção de painéis aglomerados / Larissa Queiroz Minillo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
96 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia . Área de conhecimento: Estruturas, 2017

Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva
Inclui bibliografia

1. Painéis de madeira aglomerada. 2. Resíduos da indústria de celulose.
3. Resíduos da indústria sucroalcooleira. 4. Resina poliuretana.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

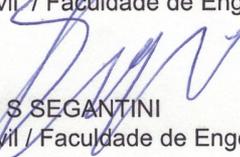
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DAS INDUSTRIAS DE CELULOSE E SUCROALCOLEIRA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

AUTORA: LARISSA QUEIROZ MINILLO

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S SEGANTINI
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Profa. Dra. ELEN APARECIDA MARTINES MORALES
Curso de Engenharia Industrial Madeireira / Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva

Ilha Solteira, 31 de janeiro de 2017

DEDICO

Ao meu pai, Airton Minillo, à
minha mãe, Mariza Gomes de
Queiroz Minillo (*in memoriam*),
ao meu irmão, Felipe Queiroz
Minillo, que me educaram e me
possibilitaram esta conquista.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade e pelas realizações que tem feito em minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Augusto de Mello da Silva, pela sua dedicação, orientação, carinho e entendimento.

À professora Elen Aparecida Martines Morales e à professora Cristiane Inácio de Campos, do campus de Itapeva, juntamente com o técnico Juliano Brito, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao técnico Alvino da Silva, importante colaborador desta pesquisa.

Aos técnicos de laboratório Mário Roberto Correa Ferreira, Flávio Rogério Porato, Gilson Campos Correa e Ozias da Silva Porto, agradeço a colaboração e a ajuda nas atividades de pesquisas.

À Arthur Almeida e Marcone Araújo da indústria Eldorado papel e celulose, por toda atenção e ajuda no fornecimento de material

À Vinicius Silva Frasson da usina de açúcar e álcool Vale do Paraná, por toda atenção e ajuda no fornecimento de material.

À minha amiga e colega de trabalho Bruna Bessa pela cumplicidade, ajuda e amizade na orientação deste trabalho.

À minha amiga e colega de mestrado e graduação Silvia Teixeira Mello, pela amizade, ajuda e confiança.

À minha amiga e colega de trabalho Raissa Pivetta pela cumplicidade, ajuda e amizade na orientação deste trabalho.

Ao meu companheiro Mário Celso Vitorino Aldrigue, pelo apoio e ajuda neste trabalho.

RESUMO

No Brasil intensificam-se os estudos visando o aproveitamento de resíduos provenientes de processos industriais com o objetivo de reduzir o impacto ao meio ambiente, pois são desenvolvidos novos produtos que minimizam a exploração e o uso de recursos naturais como por exemplo a madeira nativa. Este trabalho avaliou o emprego dos resíduos do descascamento de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis* provenientes de florestas da Indústria Eldorado Brasil - Papel e Celulose e partículas de bagaço da indústria Vale do Paraná - álcool e açúcar; para a produção de painéis aglomerados. Os painéis foram confeccionados utilizando-se resinas poliuretanas bi-componetes de dois fornecedores, a Industrial Prural Química de São Carlos e Imperveg de Aguaí, ambas de São Paulo. Foram realizadas avaliações segundo a NBR14810-2013 visando caracterizar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis e os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística pelos métodos de Tukey, Anova e Regressão Linear.

Palavras-chave: Painéis de madeira aglomerada. Resíduos da indústria de celulose. Resíduos da indústria sucroalcooleira. Resina poliuretana.

ABSTRACT

In Brazil, studies are intensified to aim the recovery of waste from industrial processes, in order to reduce the environmental impact, by developing new products that can minimize the misuse and the exploitation of natural resources, such as native wood. This study's goal is evaluate the waste potential that comes from *Eucalyptus urophylla* peeling, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus camaldulensis*, from the Eldorado - Papel e Celulose industry and Bagasse particles of the Vale do Paraná - alcohol and sugar industry; For the production of medium density particle board. The particle boards were made using bi-component polyurethane resins from two suppliers, Industrial Prural Química of São Carlos and Imperveg of Aguaí, both from São Paulo. Evaluations were carried out according to NBR14810-2013 to characterize the physical and mechanical properties of the particle board and the results were submitted to statistical analysis by the Tukey, Anova and Linear Regression methods.

Keywords: Particle board. Cellulose industry waste. Sugar-alcohol industry waste. Polyurethane resin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Descrição da anatomia da árvore.....	19
Figura 2 – Tabela não periódica de elementos de madeira	21
Figura 3 – Esquema representativo de painéis de madeira reconstituída	22
Figura 4 – Painel Compensado Laminado	23
Figura 5 – Painel Compensado Sarrafeado	23
Figura 6 – Flocos em vista aumentada	24
Figura 7 – Aparas de madeira e parede feita de aparas de madeira-cimento.....	24
Figura 8 – Painéis MDF em diversas espessuras	26
Figura 9 – Painéis de fibras duras (frente e verso do painel)	26
Figura 10 – Painel OSB com fibras sem orientação.....	27
Figura 11 – Áreas de cultivo florestal e destinos dados à madeira em porcentagens.....	29
Figura 12 – Consumo de painéis (MDF e MDP) de acordo com seu uso	30
Figura 13 – Os maiores produtores mundiais de MDF e MDP em 2013.....	31
Figura 14 – Os maiores consumidores de MDP do mundo em 2008.....	32
Figura 15 – Composição estrutural dos aglomerados	34
Figura 16 – Processo de fabricação dos painéis.....	35
Figura 17 – Resíduo estocado in natura	40
Figura 18 – Moedor de resíduos fabris.....	40
Figura 19 – Resíduo estocado (seco e moído).....	41
Figura 20 – Localização da indústria de papel e celulose Eldorado Brasil bem como localização das florestas de Eucalipto.....	42
Figura 21 –Secagem no pátio do laboratório central de engenharia civil FEIS/UNESP	45
Figura 22 – Resíduo já seco e moído.....	46
Figura 23 – Diferença entre tamanhos de partículas de Resíduo de eucalipto	46
Figura 24 – Partículas do resíduo bagaço de cana	48
Figura 25 – Diferença entre tamanhos de partículas de bagaço de cana	49
Figura 26 – Conjunto de peneiras utilizado já montado no agitador de peneiras	51
Figura 27 – Misturador mecânico.....	54
Figura 28 – Formadora de colchão	55

Figura 29 – Prensa hidráulica manual durante a pré-prensagem do painel	55
Figura 30 – Aspecto do colchão de partículas (com bagaço de cana) após a pré-prensagem	56
Figura 31 – Prensa mecânica automatizada	56
Figura 32 – Aspecto final do painel prensado de resíduo de eucalipto (T0).....	57
Figura 33 – Aspecto final do painel prensado de resíduo de eucalipto com bagaço de cana.....	58
Figura 34 – Painéis sendo serrados nas medidas exigidas por norma	58
Figura 35 – Pontos de medição no corpo de prova.....	59
Figura 36 – Medição da espessura do corpo de prova utilizando micrometro	61
Figura 37 – Corpo de prova de flexão durante a execução do ensaio	63
Figura 38 – Grampo utilizado na fixação do corpo de prova ao apoio em madeira serrada	64
Figura 39 – Corpo de prova já rompido durante o ensaio de tração perpendicular...	65
Figura 40 – Aspectos dos corpos de prova após 24 horas de permanência na estufa à 100°C.....	72
Figura 41 – Corpo de prova de tratamento T2 após ensaio de inchamento.....	73
Figura 42 – Aspecto do corpo de prova logo após sua ruptura.....	75
Figura 43 – Relação entre densidades e a quantidade de bagaço de cana na proporção	78
Figura 44 – Relação entre as proporções de resíduo e resistência à tração perpendicular.....	87
Figura 45 – Relação entre as proporções de resíduo e resistência flexão (MOR)	87
Figura 46 – Gráfico de relação entre modulo de elasticidade para cada tratamento	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de painéis de fibra separados por suas densidades.....	25
Tabela 2 – Distribuição da base florestal da Eldorado Brasil	43
Tabela 3 – Tratamentos propostos para confecção dos painéis aglomerados utilizando-se a retina PU Mamona – São Carlos.....	52
Tabela 4 – Tratamentos propostos para confecção dos painéis aglomerados utilizando-se a retina PU Mamona – Aguaí	53
Tabela 5 – Tabela de densidade média, variação percentual da densidade e valor exigido pela NBR ABNT 14810 (2013).....	70
Tabela 6 – Tabela de umidade média em porcentagem, desvio padrão da média e valor exigido pela NBR ABNT 14810 (2013).....	71
Tabela 7 – Inchamento médio em porcentagem, desvio padrão e valor exigido pela NBR ABNT 14810-2 (2013).....	72
Tabela 8 – Absorção média em porcentagem dos corpos de prova ensaiados	74
Tabela 9 – Módulo de ruptura médio para cada tratamento.....	74
Tabela 10 – Módulo de Elasticidade médio para cada tratamento.....	75
Tabela 11 – Resultados de tração perpendicular média (MPa).....	76
Tabela 12 – Resultados obtidos para cada tratamento, relacionando a proporção dos resíduos a cada resultado de Densidade, Tração Perpendicular e Correlação entre Tração Perpendicular e Densidade, encontrado através de regressão estatística	85
Tabela 13 – Resultados obtidos para cada tratamento, relacionando a proporção dos resíduos a cada resultado de Densidade, Resistencia à Flexão e Correlação entre Resistencia à Flexão e Densidade, encontrado através de regressão estatística	86
Tabela 14 – Resultados obtidos relacionados para tratamentos 70% eucalipto e 30% bagaço de cana.....	89
Tabela 15 – Resultados obtidos relacionados para tratamentos 50% eucalipto e 50% bagaço de cana.....	89
Tabela 16 – Resultados obtidos relacionados para tratamentos 70% eucalipto e 30% bagaço de cana.....	90

Tabela 17 – Resultados obtidos relacionados para tratamentos 50% eucalipto e 50% bagaço de cana.....	90
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Subgrupos de utilização da madeira	20
Quadro 2 – Características da resina poliuretana à base de mamona.....	47
Quadro 3 – Proporções utilizadas para cada resina.....	47
Quadro 4 – Resultado do ensaio de granulometria realizado com as partículas do resíduo de eucalipto	67
Quadro 5 – Resultados do ensaio de granulometria realizado com as partículas de bagaço de cana.....	69
Quadro 6 – Análise entre os tratamentos T0 A T3 quanto à sua densidade	77
Quadro 7 – Análise entre os tratamentos T4 e T5 quanto à sua densidade	77
Quadro 8 – Resultado do teste Tukey para diferença entre os tratamentos quanto a densidade.....	78
Quadro 9 – Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T0..	79
Quadro 10 – Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T1.....	80
Quadro 11 – Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T2.....	81
Quadro 12 – Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T3..	82
Quadro 13 – Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T4..	83
Quadro 14 – Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T5..	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1	MADEIRA.....	18
3.2	A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA	20
3.3	PAINÉIS RECONSTITUÍDOS	22
3.3.1	Painéis de compostos laminados	22
3.3.2	Painéis de compostos particulados	24
3.4	PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA TIPO MDP	28
3.4.1	Histórico e situação atual no Brasil	28
3.4.2	Situação atual (2013) no mundo	31
3.4.3	A produção dos painéis MDP	32
3.4.4	Adesivos utilizados na produção dos painéis MDP	36
3.4.5	Resíduos utilizados na confecção dos painéis MDP	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1	MATERIAIS.....	44
4.1.1	Partículas para produção dos painéis	44
4.1.2	Resina	46
4.1.3	Bagaço de cana	48
4.2	MÉTODOS	49
4.2.1	Cálculo da massa de partículas para confecção dos painéis	49
4.2.2	Determinação do teor de umidade das partículas	50

4.2.3	Determinação da composição granulométrica das partículas.....	51
4.2.4	Tratamentos dos painéis	52
4.2.5	Fabricação dos painéis.....	53
4.2.6	Determinação da densidade dos painéis	59
4.2.7	Determinação do teor de umidade dos painéis	60
4.2.8	Determinação do inchamento e da absorção de água.....	60
4.2.9	Módulos de ruptura e elasticidade na flexão estática.....	62
4.2.10	Tração perpendicular ou adesão interna	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1	TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS	66
5.2	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS	66
5.3	DENSIDADE DOS PAINÉIS	70
5.4	TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS	71
5.5	INCHAMENTO E ABSORÇÃO DOS PAINÉIS.....	72
5.6	RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) DOS PAINÉIS.....	74
5.7	TRAÇÃO PERPENDICULAR.....	75
5.8	ANÁLISE DA DIFERENÇA ENTRE TRATAMENTOS EM RELAÇÃO A DENSIDADE	76
5.9	ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE TRAÇÃO PERPENDICULAR E DENSIDADE	78
5.10	ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À FLEXÃO E DENSIDADE	85
5.11	ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PROPORÇÕES DE RESÍDUOS EM RELAÇÃO A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR	86
5.12	ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PROPORÇÕES DE RESÍDUOS EM RELAÇÃO A RESISTÊNCIA À FLEXÃO	87
5.13	ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PROPORÇÕES DE RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO MÓDULO DE ELASTICIDADE	88

5.14	ANÁLISE DA RELAÇÃO A RESINA PU – SÃO CARLOS NA PROPORÇÃO 1:1 E A RESINA PU – AGUAÍ NA PROPORÇÃO 1,5:1	88
6	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

A madeira, por ser um material versátil, abundante e de fonte renovável, tem diversas utilizações na produção humana, podendo ser proveniente de florestas naturais ou artificiais.

Em pleno século 21, a maior parte da madeira consumida na fabricação de painéis de madeira aglomerada, de painéis de fibras de madeira ou de celulose e papel é proveniente de árvores de espécies selecionadas, plantadas com essa finalidade em um prazo determinado, geralmente compreendido entre quatro e oito anos de idade da árvore.

O Brasil se destaca no mercado internacional de celulose de eucalipto, com extensas áreas de plantio de diversas espécies, que superam três milhões de hectares somente para esse segmento, além do plantio de florestas de eucalipto utilizadas pela indústria moveleira. Verificada a abundância de matéria-prima, é preciso dar atenção à quantidade de resíduos gerada pela indústria de celulose e papel.

A partir da reconstituição de elementos de madeira é possível obter novos produtos como os compostos laminados e particulados. O primeiro é formado pela sobreposição de lâminas de madeira, já os particulados podem ser obtidos com a reutilização da madeira na forma de minerais, fibras ou aglomerado. (IWAKIRI, 2005).

Em função da escassez da matéria-prima, a tecnologia de produção de painéis desenvolveu-se principalmente após a Segunda Guerra Mundial. No Brasil, a produção de painéis de madeira aglomerada teve início na década de 60 e se mostra um grande nicho no século 21.

Os painéis estruturais são largamente utilizados na construção civil, principalmente nos Estados Unidos. No Brasil, os painéis mais produzidos são os de partículas, segundo Juvenal e Mattos (2003). Esses painéis são geralmente produzidos a partir de partículas de madeira aglutinadas com adesivos sintéticos ou outro aglomerante, sendo o conjunto prensado a quente por tempo suficiente para que a cura da resina se efetue. A princípio, esses painéis podem também ser fabricados a partir de qualquer outro material lignocelulósico que lhes confirmam alta

resistência mecânica e peso específico preestabelecido, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta um estudo sobre o aproveitamento de resíduo de madeira, especificamente do gênero *Eucalyptus*, oriundo do descascamento das toras de madeiras utilizadas na produção de papel e celulose e partículas provenientes de bagaço de cana-de-açúcar.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Confeccionar painéis de partículas de madeira aglomeradas homogêneas que possam ser utilizados na construção civil utilizando resíduos da indústria de papel e celulose, da indústria sucroalcooleira e resina poliuretana derivada de óleo de mamona.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a viabilidade técnica de utilização de resíduos em diferentes proporções, para produzir painéis de partículas para aplicação na construção civil;
- Estudar a viabilidade da utilização da resina poliuretana derivada do óleo de mamona em diferentes proporções e com diferentes fabricantes.
- Estudar a correlação das propriedades mecânicas tração perpendicular às faces e módulos de ruptura e de elasticidade na flexão estática à densidade.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 MADEIRA

É de conhecimento geral que a madeira é um material orgânico de origem vegetal, inesgotável em contínua formação nas florestas naturais ou de reflorestamento sob a forma de árvores, disponíveis em grande escala mundial.

As árvores têm sua classificação botânica entre os vegetais de mais alto nível de desenvolvimento, denominados Fanerogamas. Essa classificação encontra-se sob as seguintes subdivisões:

- Gimnospermas: nome proveniente do latim que significa semente nua, essas árvores não possuem frutos. A classe mais importante das gimnospermas é a das Coníferas, também chamadas de madeiras moles (*soft woods*).
- Angiospermas – Monocotiledôneas: dentre as monocotiledôneas, não há árvores propriamente ditas, encontram-se nesse grupo as palmas e as gramíneas. As palmas são conhecidas por ter troncos longos, pesados e difíceis de trabalhar, mas ainda assim são utilizadas na construção civil. Como fator que distingue esta categoria da próxima, podem ser mencionadas suas raízes fasciculadas ou em cabeleira.
- Angiospermas – Dicotiledôneas: entre as dicotiledôneas, encontram-se as principais espécies utilizadas na construção civil. Conhecidas como madeira dura (*hard woods*), as dicotiledôneas possuem folhas largas, frutos e raiz pivotante como características principais.

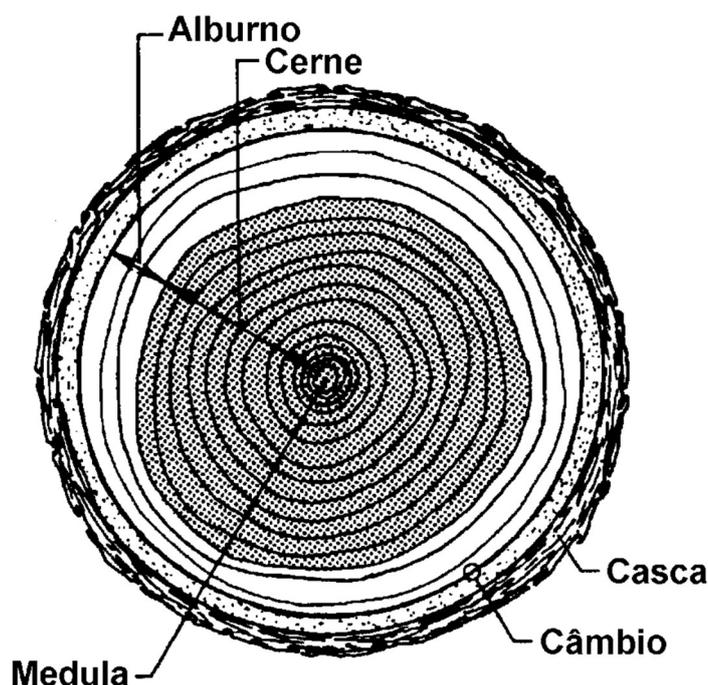
Segundo Iwakiri (2005), quando se diz respeito ao crescimento das árvores e à sua fisiologia, é necessário saber que a árvore inicialmente cresce seguindo a direção vertical e forma camadas sucessivas que vão se sobrepondo a cada ano, formando, então, em corte transversal, linhas chamadas de anéis de crescimento.

Examinando-se um corte transversal de um tronco de árvore, podem-se reconhecer as seguintes partes:

- Medula: resultante do crescimento vertical, geralmente formada por madeira mais fraca ou defeituosa.

- Lenho: o conjunto resultante dos anéis de crescimento, constituído por duas partes: albarno e cerne.
- Cerne: camada mais interior do lenho, é geralmente mais densa, menos permeável a líquidos, mais resistente ao ataque de insetos e fungos e com maior resistência mecânica. Tais características resultam da impregnação de substâncias que não servem de alimento para a árvore e que, ao longo do tempo, vão lentamente sendo armazenadas no lenho, endurecendo-o.
- Albarno: trata-se do conjunto de camadas externas que participam ativamente do transporte de substâncias importantes para a árvore. Essas camadas são mais novas, permeáveis a líquidos, menos densas, mais sujeitas a ataque de insetos e fungos e com menor resistência mecânica.
- Casca: camada que recobre o lenho.

Figura 1 – Descrição da anatomia da árvore



Fonte: Ritter (1990).

Por sua própria natureza, o albarno tem melhores condições para impregnação com resinas ou adesivos sintéticos, quando se deseja melhorar as características físicas e mecânicas da madeira, ou com preservativos, quando se deseja melhorar a resistência da madeira ao ataque de fungos e insetos (HELLMEISTER, 1983, p. 4)

3.2 A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA

O homem extrai diversos produtos da madeira, produzindo riquezas e suprindo suas necessidades. Tais produtos podem ser subdivididos em subgrupos de utilização, gerando produtos diversos como pode ser visto no Quadro 1.

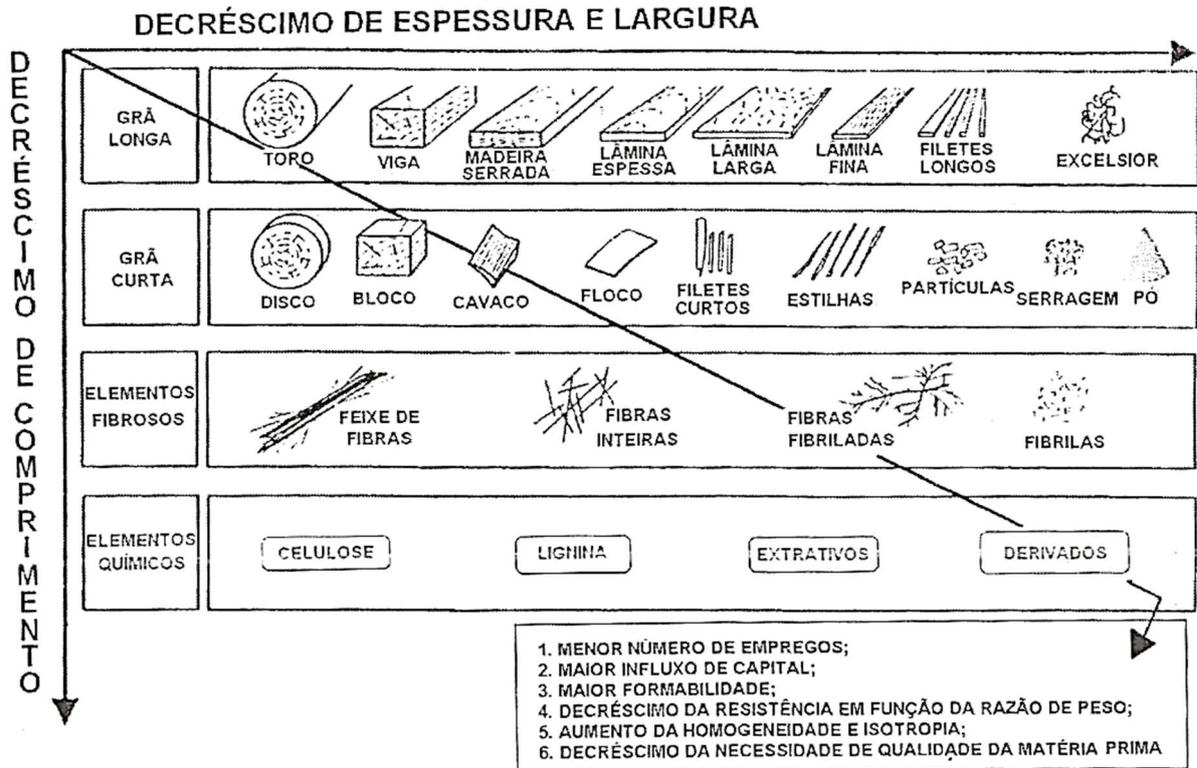
Quadro 1 – Subgrupos de utilização da madeira

Subgrupos de utilização	Produtos
Madeira “in natura”	Toras
Produtos sem industrialização ou semi-industrializados	Postes, moirões e similares de madeira roliça
Serrados	Madeira Serrada com ou sem beneficiamento
Laminados	Lâminas e compensados
Energia	Lenha, cavacos, carvão vegetal, alcatrão, álcool, briquetes etc.
Produtos de partículas	Aglomerados
Produtos de fibras	Polpa e papel, painéis de fibras
Outros	Frutos, borracha, óleos, resinas e essências vegetais

Fonte: Iwakiri (2005).

A madeira extraída da floresta passa por várias operações de processamento para redução de suas dimensões, formando diversos tipos de elementos de madeira. De acordo com a Figura 2, o toro de madeira é o maior elemento de madeira em espessura, largura e comprimento, já as partículas de madeira têm menor espessura e largura e um comprimento maior quando comparadas às fibras.

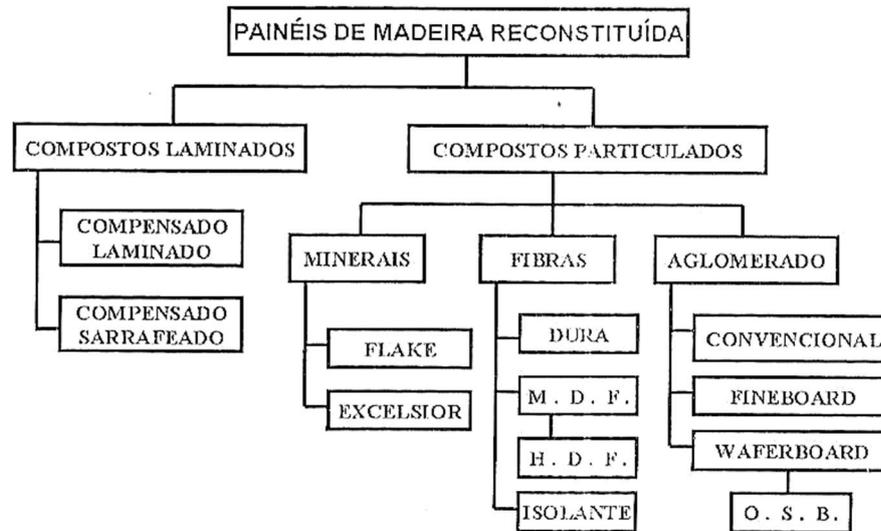
Figura 2 – Tabela não periódica de elementos de madeira



Fonte: Marra (apud IWAKIRI, 2005, p. 2).

Segundo Iwakiri (2005), a partir dos elementos de madeira, podem-se gerar novos produtos de madeira através de sua reconstituição, utilizando métodos e processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso.

Figura 3 – Esquema representativo de painéis de madeira reconstituída



Fonte: Iwakiri (2005).

A madeira reconstituída, então, por padrão, é processada em painéis. Os painéis são divididos entre Compostos Laminados e Compostos Particulados.

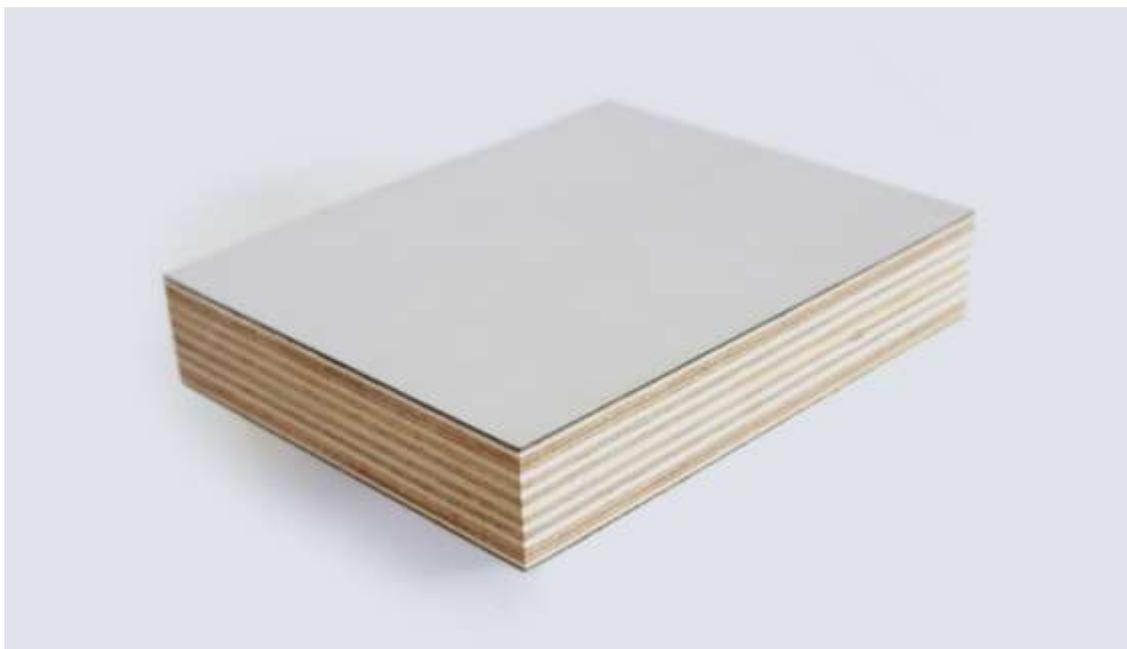
3.3 PAINÉIS RECONSTITUÍDOS

3.3.1 Painéis de compostos laminados

Os painéis de compostos de elementos de madeira, como lâminas, podem ser divididos em painéis laminados e painéis compensados sarrafeados.

- **Painel Compensado Laminado:** trata-se de um painel composto por lâminas de madeira sobrepostas em número ímpar de camadas paralelas entre si.

Figura 4 – Painel Compensado Laminado



Fonte: Decorbras Compensados (200-).

- **Painel Compensado Sarrafeado:** trata-se de um painel com miolo composto por sarrafos e as faces, por lâminas de madeira.

Figura 5 – Painel Compensado Sarrafeado



Fonte: Decorbras Compensados (200-).

3.3.2 Painéis de compostos particulados

3.3.2.1 *Painéis de compostos particulados minerais*

Os compostos particulados, quando estão em seu formato solto, podem ser divididos em “flake” e “excelsior”.

- **Flake:** são flocos de madeira que posteriormente podem ser aglomerados e colados.

Figura 6 – Flocos em vista aumentada



Fonte: Fiber-by (200-).

Excelsior: são aparas de madeira que posteriormente podem ser formadoras do painel de madeira-cimento.

Figura 7 – Aparas de madeira e parede feita de aparas de madeira-cimento



Fonte: Eltomation (2016).

3.3.2.2 Painéis de compostos particulados em fibras

Os painéis de compostos de partículas fibrosas são separados por sua densidade (vide Tabela 1). Nessa categoria, se destacam o HDF (*High Density Fiberboard*) e o MDF (*Medium Density Fiberboard*).

Tabela 1 – Tipos de painéis de fibra separados por suas densidades

TIPO	DENSIDADE g/cm ³
NÃO PRENSADOS	
Painéis isolantes semirrígidos	0,02 a 0,15
Painéis isolantes rígidos	0,15 a 0,40
PRENSADOS	
Painéis (MDF)	0,55 a 0,75
Painéis duros (<i>Hardboard</i>)	0,80 a 1,20
Painéis de alta densificação (HDF)	1,2 a 1,45

Fonte: Mello (200-).

- **Painéis de fibras isolantes:** são painéis de fibras de baixa densificação, que são produzidas a partir de fibras de madeira com a ligação primária derivada do empastamento das fibras e de suas propriedades adesivas.
- **MDF:** MDF é a abreviação de *Medium Density Fiberboard* ou Painel de Fibras de Média Densidade. São painéis de fibras de média densificação, produzidas a partir de fibras de madeira coladas com resina ureia-formaldeído e consolidadas através de prensagem a quente.

Figura 8 – Painéis MDF em diversas espessuras



Fonte: Decorbras (200-).

- **Painéis de fibras duras (Hardboard):** são painéis de fibras de alta densificação, com espessura fina e homogênea, produzidas a partir de fibras de madeira coladas geralmente com resina fenol-formaldeído e consolidadas através de prensagem a quente.

Figura 9 – Painéis de fibras duras (frente e verso do painel)



Fonte: APA (200-).

3.3.2.3 Painéis de compostos particulados aglomerados

Neste grupo, temos os painéis aglomerados convencionais, os painéis do tipo *Fineboard*, os do tipo *waferboard*, o MDP e o OSB.

- Painel de madeira aglomerada: painel produzido com partículas de madeira coladas geralmente com resina ureia-formaldeído, com distribuição aleatória das partículas e consolidadas através de prensagem a quente, nesta categoria, encontra-se o MDP (*Medium Density Particleboard*).
- Painel Waferboard: painel de uso estrutural, produzido com partículas maiores e de formato quadrado ou retangular, as quais são coladas com resina fenol-formaldeído, com distribuição aleatória de partículas e consolidadas através de prensagem.
- Painéis de partículas orientadas (OSB – *Oriented Strandboard*): painel de uso estrutural produzido com partículas longas de formato retangular, coladas com resina fenol-foemaldeído e isocianato, orientadas na mesma orientação ou sem orientação e consolidadas através de prensagem a quente.

Figura 10 – Painel OSB com fibras sem orientação



Fonte:APA (200-).

3.4 PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA TIPO MDP

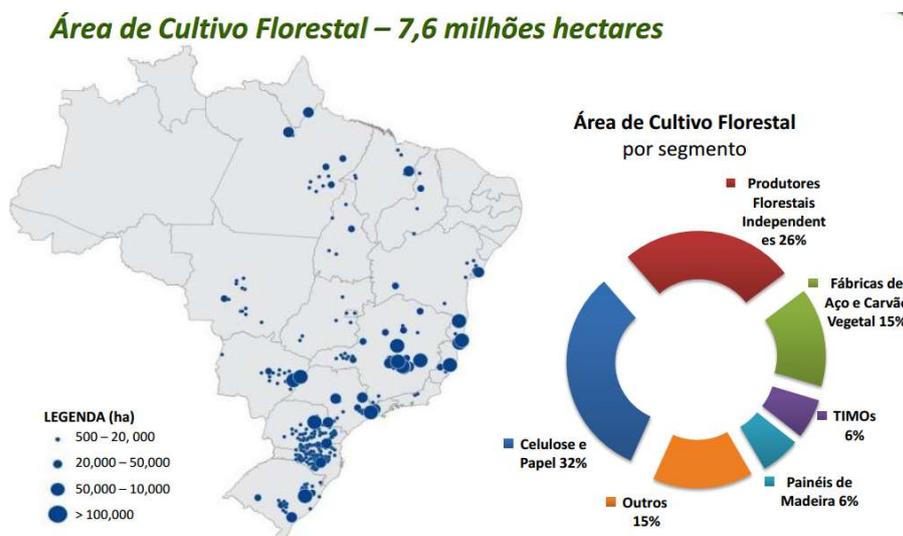
3.4.1 Histórico e situação atual no Brasil

Os painéis de madeira aglomerada passaram a ser produzidos na Europa na década de 40 devido à grande quantidade de madeira de demolições geradas pela guerra e a necessidade de sua utilização. Desde então a prática se popularizou e chegou ao Brasil na década de 60. Posteriormente, houve uma grande expansão industrial, o que possibilitou a expansão fabril dos painéis aglomerados. Consolidaram-se no país a empresa Duratex e posteriormente a Eucatex, ainda em funcionamento e líderes na produção de painéis aglomerados no Brasil.

O Brasil possui condições favoráveis para se tornar um produtor mundial de painéis de madeira, pois, além das tecnologias implantadas de última geração, vem desenvolvendo tecnologias que possibilitam o uso de resíduos do processamento da madeira (LAHR, 2004).

Nesse contexto, a maior transformação prevista para o mercado brasileiro deverá ocorrer devido à crescente utilização do eucalipto em segmentos como madeira serrada e painéis de fibra. O consumo projetado de madeira industrial, para 2020, é superior a 280 milhões de m³. Desse total, a maior parte (49%) será representada pela madeira de eucalipto, já a madeira de pinus representará aproximadamente 31% do consumo total e a tropical, os 20% restantes. O consumo se concentrará nas Regiões Sul e Sudeste do país e, no que concerne às madeiras de espécies plantadas (pinus e eucalipto), o setor de celulose e papel continuará a ser o principal demandante (GNOATTO, 2014).

Figura 11 – Áreas de cultivo florestal e destinos dados à madeira em porcentagens



Fonte: Pöyry (2013 apud GNOATTO, 2014, p. 9).

A utilização de madeira de eucalipto e de resíduos de madeira nos processos de produção aumentará sua participação, principalmente, nos painéis de menor espessura. Observa-se na Figura 11 que as áreas de cultivo florestal para painéis de madeira representa 6% do total de florestas, este total tende a aumentar pois a área de cultivo florestal para celulose e papel tende a crescer além do valor de 32% para 2013.

A indústria brasileira de painéis de madeira modernizou-se rapidamente para garantir competitividade. Nos últimos cinco anos, foram investidos quase US\$ 1 bilhão. Nesse contexto, o Brasil transformou-se em um centro de produção mundial no setor de painéis de madeira e, nos próximos anos, haverá uma ampliação das vendas externas, na medida em que a capacidade produtiva cresça acima do consumo interno.

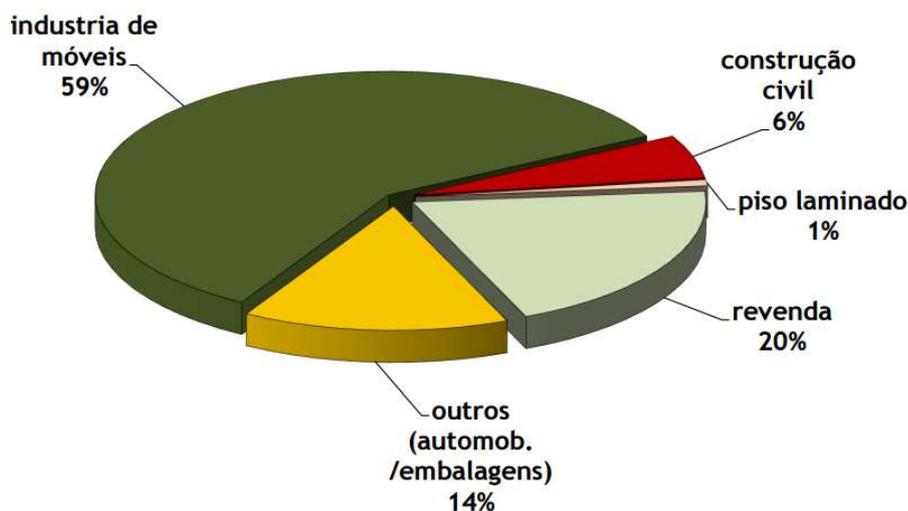
Outra característica importante é a verticalização dessas empresas em atividades florestais. Como no Brasil a madeira provém, em sua totalidade, de florestas plantadas, as empresas investiram na melhoria da produtividade e na qualidade de suas florestas, garantindo suprimento para suas fábricas.

Os principais demandantes de painéis aglomerados no Brasil são a indústria moveleira, que é atendida diretamente (59%) ou através de revendedores (20%), e a indústria da construção civil (6%).

De acordo com o cenário de Construção Civil, a expansão do setor e o aumento da oferta de crédito e da renda estão se refletindo na demanda de painéis

de madeira para a produção de móveis e para acabamentos - rodapés, batentes, portas e pisos.

Figura 12 – Consumo de painéis (MDF e MDP) de acordo com seu uso



Fonte: Gnoatto (2014, p. 11).

Caso se concretizem tais perspectivas, em 2020, o Brasil deverá produzir um total de 12 milhões de m³ de painéis de madeira. As indústrias devem aumentar sua capacidade de produção dobrando o número de unidades produzidas. Tal aspecto deve representar um aumento de importância no comércio internacional de alguns desses produtos, como ocorreu com a madeira aglomerada de pinus. A madeira aglomerada de eucalipto deverá estar mais presente na produção nacional, particularmente nos produtos com maior valor agregado.

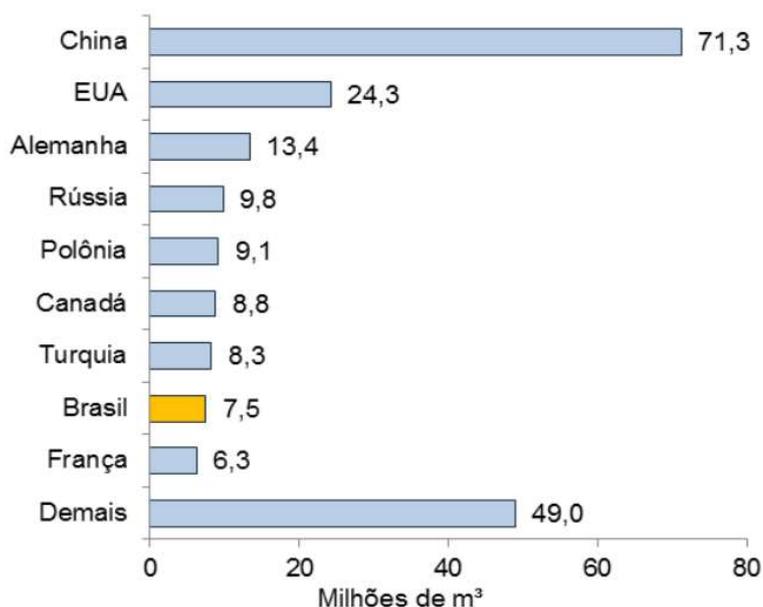
A capacidade nominal instalada é de 2.800.000 m³, em 2005, e 4.790.000 m³, em 2011, representando aproximadamente 60% de crescimento em 6 anos.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira-ABIPA (2013), o Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída, contando com o maior número de fábricas de última geração, com investimentos em novas tecnologias e automação, e implantando novos processos de impregnação, impressão, revestimento e pintura.

3.4.2 Situação atual (2013) no mundo

O maior produtor de painéis MDF e MDP atualmente é a China, liderando com 71,3 milhões de metros cúbicos anuais, seguido pelos Estados Unidos e Alemanha, que somam 37,7 milhões de metros cúbicos anuais (Figura 13).

Figura 13 – Os maiores produtores mundiais de MDF e MDP em 2013



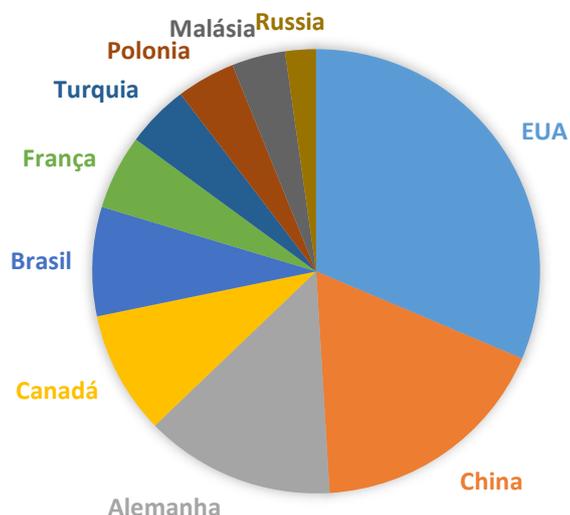
Fonte: Gnoatto (2014, p. 12).

Um estudo da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO, denominado “*Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe*”, analisou o setor nessas regiões geográficas, considerando o contexto atual e projetando o setor até 2020. Os resultados de tal estudo mostram que a alta competitividade da indústria de MDF, OSB e painéis de partículas, principalmente no Brasil e no Chile, devido ao baixo custo de produção e de matéria-prima abundante, deve influenciar o incremento da produção regional desses produtos em médio e longo prazo.

O consumo mundial de MDF e MDP cresceu significativamente ao longo das últimas décadas. É possível, nesse sentido, analisar graficamente quais países têm

as maiores fatias mundiais de consumo de painéis, como demonstra o gráfico a seguir.

Figura 14 – Os maiores consumidores de MDP do mundo em 2008



Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations- FAO (200-).

3.4.3 A produção dos painéis MDP

O documento normativo Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira 14810 define um produto em forma de painel, cuja espessura varia entre 3 a 50 mm, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, sob pressão e calor. Os painéis aglomerados não exigem muito em relação à qualidade da madeira, pois apresentam flexibilidade de aplicação para diversos usos.

A granulometria das partículas, os aglomerantes e a pressão exercida na compactação dos painéis de mistura durante a confecção caracterizam e diferenciam os tipos de painéis aglomerados e as características físico-mecânicas finais (BAUER, 1999).

A geometria das partículas, sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais e específicos, pois essas propriedades

propiciam estabilidade dimensional aos painéis que os diferenciam da madeira maciça.

Para a confecção dos painéis aglomerados, é necessário analisar as espécies de madeira, verificando alguns aspectos importantes, como sua densidade e o pH, fatores influentes na compactação dos painéis e adesão. Segundo Maloney (1993), citado por Colli et al. (2010), madeiras de baixa densidade são preferidas porque permitem a fabricação de painéis mais leves e com propriedades adequadas.

Os painéis aglomerados de madeira podem ser confeccionados a partir de algum material que seja ligno-celulósico e que apresente resistência mecânica, física e biológica apropriada. Para a produção dos painéis de partículas de madeiras com fibras naturais, o bagaço de cana-de-açúcar, o bambu e a casca de arroz vêm sendo estudadas para verificação da qualidade e viabilidade da produção de painéis aglomerados com essas misturas (STANGERLIN et al., 2011).

De acordo com Petrucci (1998), as características do material admitem revestimentos em suas faces como o plástico, os laminados melânicos e pinturas, devendo ser material que resista ao desgaste, à temperatura alta, à água fervente e a produtos químicos.

Pierre (2010) descreve que o processo industrial para produção das partículas para confecção dos painéis utiliza toretes de madeira previamente descascados, transformados em cavacos. Esses são transformados em partículas, por meio de moinhos ou refinadores, essas então são secas em estufas e, posteriormente, classificadas em peneiras vibratórias, giratórias ou classificadores a ar. Segundo Bertolini (2011), a fabricação dos painéis depende diretamente das partículas que definirão sua estrutura, assim como dos aditivos e adesivos empregados.

A ABNT NBR 14810 - 2 (ABNT, 2013) classifica os painéis de madeira aglomerada de acordo com sua densidade, natureza do adesivo, geometria da partícula e características complementares.

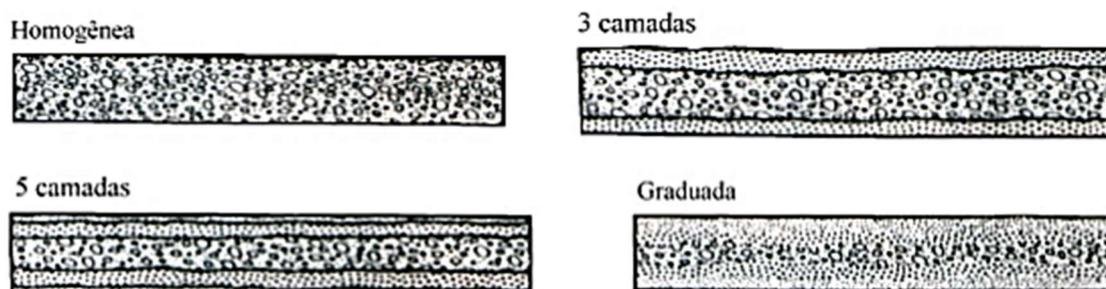
A distribuição das partículas, conforme Maloney (1977) citado por Dias (2005), se apresenta em três formas básicas de painéis aglomerados: homogêneas, em múltiplas camadas e graduadas.

- *Homogêneas*: a mistura das partículas ocorre por acaso.
- *Múltiplas camadas*: as partículas são mais finas nas faces e mais grossas no centro.

- *Graduadas*: as partículas são mais finas sobre as faces do painel, havendo uma variação gradual da dimensão das partículas, nas faces estas partículas são mais finas e no interior do painel estas partículas são grossas.

A Figura 15 esquematiza os painéis demonstrando os tamanhos das partículas diferenciadas em cada região do painel aglomerado.

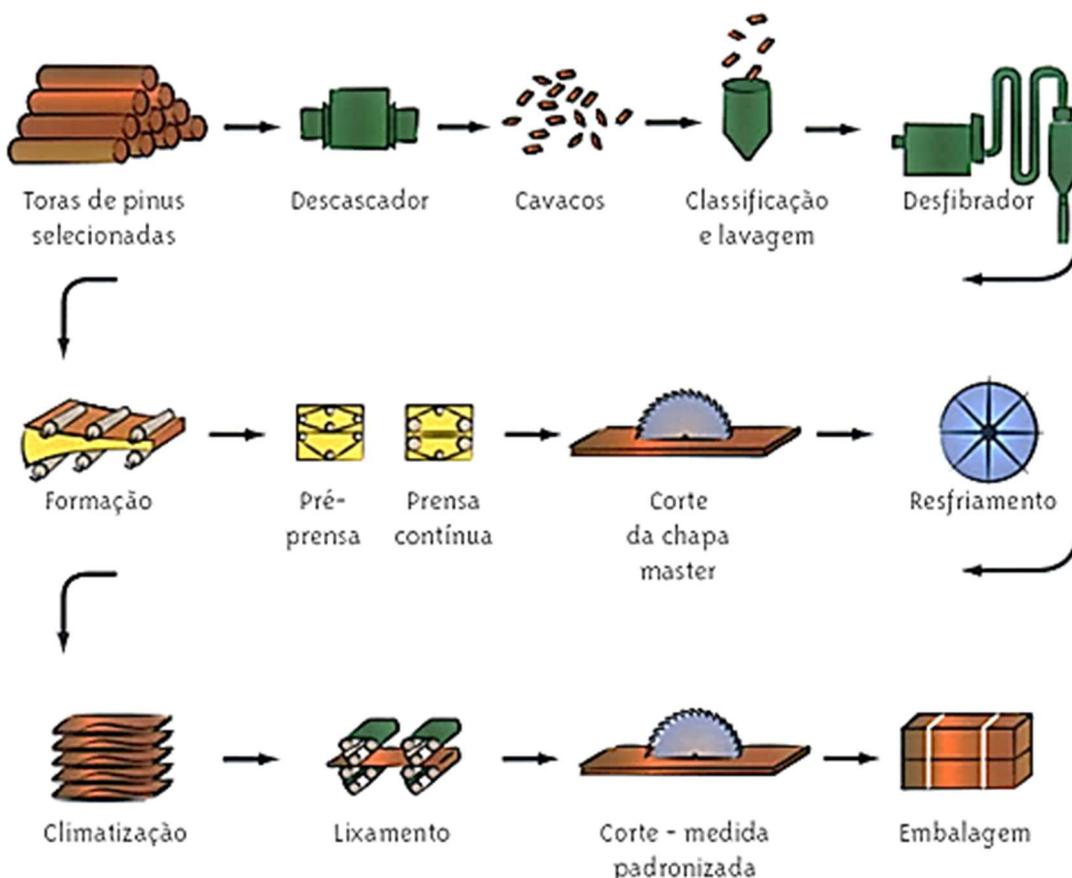
Figura 15 – Composição estrutural dos aglomerados



Fonte: Dias (2005).

De acordo com Bauer (1999), o processo de fabricação dos painéis utiliza madeira bruta, que pode ser de pinho, de eucalipto e de outras espécies, sob o formato de toras, de galhos, que serão conduzidos a equipamentos e transformados em painéis derivados de madeira, como esquematizado na figura 16.

Figura 16 – Processo de fabricação dos painéis



Fonte: AECWeb (200-).

No processo de fabricação dos painéis de partículas, são necessários:

- **Descascador de partículas:** navalhas giratórias que reduzem em fragmentos pequenos e removem as cascas da madeira.

- **Secadores:** os fragmentos passam pelos secadores com um teor de umidade de 35% a 120%, antes de serem misturados com o aglomerante, que pode ser mineral, como cimento Portland, gesso ou resinas sintéticas.

- **Misturadores de partículas ao adesivo:** são equipamentos onde as partículas são misturadas com o adesivo uniformemente, sendo um parâmetro importante nesse processo, por conta da adesão.

- **Formadora de colchão:** a mistura vai se transformar em um colchão de partículas numa esteira, onde serão controlados seu peso e suas dimensões para definição da densidade nominal dos painéis.

- **Prensa contínua:** responsável pela compactação do colchão de partículas, transformando-o em painel por meio de temperatura e pressão.

- **Câmaras para cura ou climatização:** após a prensagem, os painéis devem permanecer por 72h em câmara ou climatizadoras para finalização do ciclo de cura do adesivo.

- **Acabamento final:** os painéis recebem acabamento final, tais como ajuste nas dimensões, lixamento, pintura ou revestimento.

3.4.4 Adesivos utilizados na produção dos painéis MDP

Após a Primeira Guerra Mundial, eram muito utilizados os adesivos provenientes de proteína animal. Com o passar dos anos e com o desenvolvimento de novos produtos, eles passaram a ser resistentes à água e à temperatura, características estas ainda presentes nos materiais utilizados até os dias atuais por muitas indústrias na colagem de madeira (DIAS, 2005).

Para Negrão et al. (2014), as tecnologias para fabricação dos derivados de madeira tiveram grande impulso com o surgimento dos adesivos sintéticos, em especial, aqueles à base de uréia-formaldeído (UF). Na década de 30, foi criada a resina sintética à base de fenol-formaldeído, ainda hoje, em países como Brasil, a produção de painéis aglomerados é realizada empregando-se esse adesivo.

De acordo com alguns estudos, esses tipos de resinas têm apresentado alguns pontos insatisfatórios devido à baixa resistência à ação de umidade e à ocorrência de uma saída de gás do formaldeído, quando aquecida, o que prejudica o meio ambiente. Portanto, há uma necessidade de encontrar um substituto às resinas tradicionais com igual qualidade e desempenho (ZAU et al., 2014).

3.4.4.1 Resina bicomponente de óleo de mamona

A resina poliuretana derivada de mamona (PU) foi produzida na década de 1940, conforme aponta Vilar (1993), citado por Bertolini (2011). Ainda segundo o autor e outros trabalhos da área, o óleo da mamona é extraído da semente da planta

Ricinus Communis, que é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo abundante no Brasil.

Para Dias (2008) e demais autores da área, a partir do óleo de mamona, torna-se possível sintetizar polióis e pré-polímeros com características diferenciadas, que, quando são misturados, dão origem à poliuretana.

Atualmente muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a resina poliuretana à base de mamona para a produção de derivados de madeira, e os resultados obtidos indicam a possibilidade de utilização desses materiais na produção de móveis e, de modo geral, na construção civil. Além disso, a resina é proveniente de fontes renováveis, é biodegradável e propicia excelentes benefícios ambientais (BESSA, 2015).

3.4.5 Resíduos utilizados na confecção dos painéis MDP

A mistura das partículas de madeira com outros materiais, para a fabricação de painéis, tem como finalidade a diminuição dos custos de aquisição de matéria-prima, podendo ser produzida industrialmente "[...] desde que não sejam alteradas negativamente as propriedades físico-mecânicas destes produtos [...]" (MELO et al., 2015, p.35).

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos podem ser classificados como sólidos ou semissólidos. Eles resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços ou de varrição. O resíduo industrial, quando gerado em diversas áreas de produção, geralmente não é utilizado para outros fins, e, se descartado de forma incorreta, causa prejuízos ambientais.

A resolução 307 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - considera os geradores de resíduos da construção civil responsáveis pelo seu destino. Eles deverão ter como objetivo primordial a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, reutilização, reciclagem e destinação final. Os estados e municípios devem elaborar suas políticas de gestão de resíduos, nas quais deve ser prevista a implantação de ATT – Áreas de Transbordo e Triagem, para onde deverão ser encaminhados os resíduos da construção civil, entre eles os de

madeira, para que possam ser segregados, reutilizados, reciclados ou tenham a correta destinação.

Uma das soluções para diminuir o descarte inadequado e reutilizar os resíduos é a criação de novos produtos a partir do resíduo resultante das indústrias, devendo essa atender critérios de eco-eficiência, reduzindo a utilização de recursos energéticos e principalmente economizando matéria-prima, o que, conseqüentemente, baixa os custos de produção ao utilizar as sobras da produção primária.

Os resíduos podem ser considerados matéria-prima classificada como sendo alternativa, à medida que a reutilização dessa matéria seja economicamente viável e, em termos de sustentabilidade, consuma os recursos existentes de maneira mais proveitosa, agregando um valor maior a esse material e beneficiando o meio ambiente.

Para que a gestão desses resíduos seja adequada, é necessário que haja um planejamento de uso desde sua geração, para que assim se aproveitem as sobras na linha de produção, no processo de tratamento e na sua disposição final. Isso propiciará um benefício para o meio ambiente e para o produtor, podendo este ganhar créditos de sustentabilidade com a fabricação de um produto ecologicamente correto.

As indústrias de base florestal geram no Brasil um volume significativo de resíduos durante as fases operacionais, desde a exploração florestal até o produto final (IWAKIRI et al., 2000). De acordo com Cerqueira et al. (2012), o volume de perdas e o não aproveitamento dos resíduos florestais na indústria são considerados grandes.

A geração de resíduos na obtenção de celulose nas indústrias de celulose é uma consequência direta do processamento primário da madeira sólida.

Para Fontes (1994), de acordo com as características morfológicas, os resíduos de madeira industriais são classificados como:

- **Lenha:** resíduos de maiores dimensões, compostos por costaneiras, aparas e resíduo de topo de tora.
- **Cavacos:** partículas com dimensões máximas de 50 x 20 mm, provenientes de uso de picadores.
- **Serragem:** partículas de madeira com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm, provenientes do uso de serras.

- **Maravalhas:** resíduo com menos de 2,5 mm.
- **Pó:** resíduos menores que 0,5 mm.

Segundo Narciso et al. (2014), a identificação dos resíduos que são provenientes do processamento da madeira é essencial para a análise das possibilidades de aplicação e bom emprego deles.

Em relação à sustentabilidade, as empresas realizam ações sociais desenvolvidas para comunidades, criando produtos de reciclagem reaproveitando resíduos de madeira, o que reduz a poluição no meio ambiente e promove ações socioambientais, seguindo a política de compra de madeira e políticas ambientais.

A indústria de papel e celulose possui procedimentos de tratamento e reaproveitamento adotados no processo produtivo de celulose que buscam a otimização da utilização de recursos. Atualmente a biomassa resultante do processo produtivo de celulose é processada em uma caldeira, produzindo vapor para geração de energia elétrica, processo este que pode ser utilizado em apenas parte do resíduo gerado, a outra parte é destinada para outros usos como, por exemplo, a transformação em fertilizantes minerais utilizados como adubo na floresta.

Mesmo com as alternativas de aproveitamento do resíduo, este ainda não é eliminado do processo produtivo, restando toneladas mensais ou até diárias de acordo com a produção fabril.

A planta industrial no complexo Eldorado Brasil tem capacidade de produção de 1 milhão e 500 mil toneladas de celulose por ano, abastecida com aproximadamente 16 mil m³ de eucalipto por dia.

O processo fabril constitui-se em dois “descascamentos” prévios da tora de eucalipto (Figura 17) para posteriormente ser picada em cavacos de aproximadamente 5 por 2 centímetros para processamento fabril. O resíduo proveniente do descascamento, objeto desta pesquisa, atualmente é, em parte, moído (Figura 18) e estocado em grandes montes nos fundos da fábrica (Figura 19).

Figura 17 – Resíduo estocado in natura



Fonte: da própria autora

Figura 18 – Moedor de resíduos fabris



Fonte: da própria autora

Figura 19 – Resíduo estocado (seco e moído)



Fonte: da própria autora

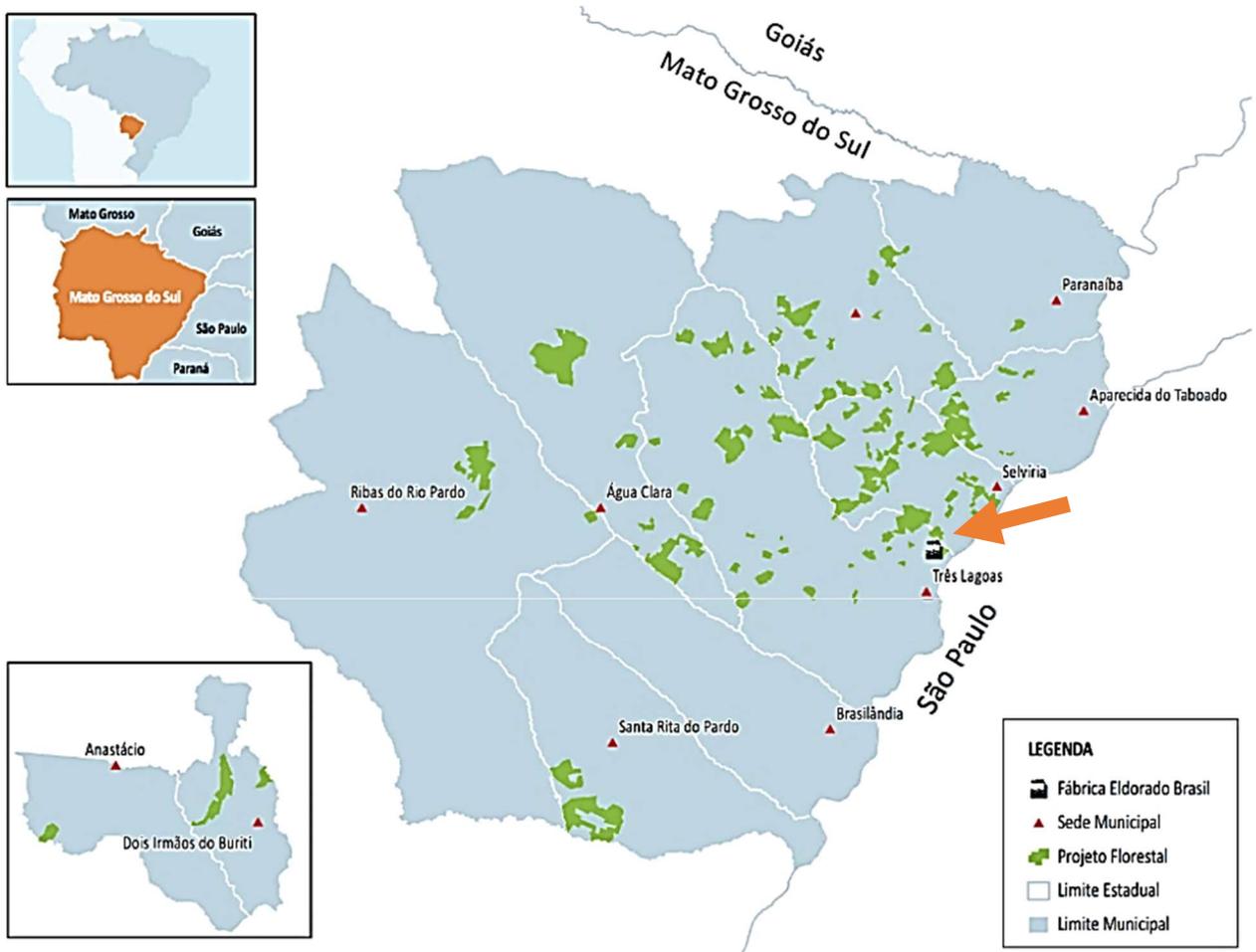
As espécies utilizadas na produção de papel e celulose são *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*, bem como os híbridos dessas espécies. São utilizadas técnicas de melhoramento genético via hibridação para aumentar a produtividade e redução de custo da produção. A Eldorado Brasil, assim como as outras indústrias de papel e celulose da região, optou pelo gênero *Eucalyptus* pela adaptação às condições ambientais de solo, clima e biodiversidade da região, pela alta produtividade, pela facilidade de reprodução e de melhoramento, pelo baixo potencial de invasão de ambientes naturais e por evitar o uso de árvores transgênicas.

A região sudeste do estado do Mato Grosso do Sul, onde se localiza a indústria de papel e celulose Eldorado Brasil, possui grande potencial para a produção dessa madeira devido ao alto índice de sol ao longo do ano e sem alterações ao longo das estações, o que favorece a planta em um desenvolvimento rápido destas espécies. O tempo médio de crescimento da árvore até que ela

chegue á altura e diâmetro necessários para ser utilizada na produção de papel é de dois a três anos.

A Figura 20 mostra a localização da indústria em relação a localização de suas florestas plantadas.

Figura 20 – Localização da indústria de papel e celulose Eldorado Brasil bem como localização das florestas de Eucalipto



Fonte: Pöyri (2013, p. 7).

A região tem grandes áreas de floresta plantada utilizadas não somente para a indústria Eldorado Papel e celulose com também para outras indústrias desse seguimento da região. A Tabela 2 quantifica as florestas plantadas na região, em hectares.

Tabela 2 – Distribuição da base florestal da Eldorado Brasil

Município	Área Produtiva (ha)
Água Clara	9797,75
Anastácio	453,62
Aparecida do Taboado	16564,64
Dois Irmãos do Buriti	6810,94
Inocência	22593,43
Paranaíba	1130,75
Ribas do Rio Pardo	5037,06
Santa Rita do Pardo	9861,89
Selvéria	31805,20
Três Lagoas	40286,85
Total	144252,13

Fonte: Eldorado Brasil (2013, p. 7).

No processo para produção de celulose, como já citado, ocorre a geração de um grande volume de resíduo, uma alternativa para o aproveitamento mais adequado desse resíduo de eucalipto é a produção de painéis de madeira aglomerada, pois esse é um processo já reconhecido pela modificação da madeira sólida em partículas pequenas, podendo ser usado então com partículas de resíduo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Partículas para produção dos painéis

As partículas são provenientes de resíduos do descascamento das toras de eucalipto que são utilizadas na indústria de papel e celulose. O descascamento é uma das partes do processo de produção de papel e celulose, pois é necessário o descarte da casca, do cambio e uma pequena parte do alburno, que não são utilizados pela indústria, se tornando um resíduo deixado ao sol em pátios de armazenamento.

O material, portanto, foi coletado no pátio de descascamento e moagem da indústria de Papel e Celulose Eldorado Brasil, localizada no município de Três Lagoas – MS, tendo como madeiras constituintes *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis* com densidades aparente de 0,5 a 0,6 g/cm³

Figura 21 - Secagem no pátio do laboratório central de engenharia civil FEIS/UNESP



Fonte: da própria autora

Foi realizada a seleção da casca por meio visual, seguido de secagem ao sol, como visto na Figura 21, até alcançarem umidade com porcentagem variando de 10 a 12%. Após seco, o material foi triturado em triturador de 2HP afim de se obter partículas homogêneas de 2 a 6 milímetros de comprimento (Figura 22).

Figura 22 - Resíduo já seco e moído



Fonte: própria autora

A Figura 23 mostra a diferença entre os tamanhos de partículas obtidos após a moagem.

Figura 23 – Diferença entre tamanhos de partículas de Resíduo de eucalipto



Fonte: da própria autora

4.1.2 Resina

A resina utilizada para a confecção dos painéis aglomerados é a poliuretana bi-componente derivada de óleo de mamona.

Conforme estudo de Jesus (2000), esta resina, após a mistura à frio, tem sua viscosidade aumentada e seu tempo de utilização é de aproximadamente 20 minutos. A resina se constitui de um isocianato polifuncional denominado pré-polímero (polímero com polimerização incompleta) e um componente derivado do óleo vegetal de mamona, o polioli.

Quadro 2 - Características da resina poliuretana à base de mamona

	Poliol	Pré-polímero
Densidade	1,10 g/cm ³	1,24 g/cm ³
Aparência	Líquido viscoso amarelado	Líquido marrom escuro

Fonte: Alves (2013).

Afim de comparar dados, foram utilizadas duas resinas de diferentes proveniências e em dosagens diferentes entre os componentes da resina, conforme relacionado no Quadro 3.

Quadro 3 - Proporções utilizadas para cada resina

Resina	Sigla	Proporção de Polioli	Proporção de Pré-polímero
Resina Poliuretana à base de mamona proveniente de Aguai – SP	PU - Aguai	1,5	1
Resina Poliuretana à base de mamona proveniente de São Carlos – SP	PU – São Carlos	1	1

Fonte: da própria autora

A resina PU-Mamona – Aguai foi adquirida da empresa Imperveg Polímeros Indústria e Comércio Ltda. Foram seguidas as especificações do fabricante sobre a proporção de utilização 1,5:1.

A resina PU-Mamona – São Carlos foi adquirida da Plural-Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. Como esta usina não tinha especificação do uso, foi utilizada a proporção 1:1, normalmente utilizada pelos pesquisadores de São Carlos em outros trabalhos na fabricação de painéis aglomerados (DIAS et al., 2004; CAMPOS; LAHR, 2004) e na fabricação de madeira laminada colada (JESUS, 2000; AZAMBUJA, 2002).

4.1.3 Bagaço de cana

O bagaço de cana utilizado na pesquisa foi proveniente da usina de açúcar e álcool Vale do Paraná S/A. O processo de obtenção das partículas foi o mesmo utilizado na obtenção das partículas de resíduo de eucalipto.

Figura 24 – Partículas do resíduo bagaço de cana



Fonte: da própria autora

Após moído, o resíduo foi transformado em partículas finas, de variação de tamanho de 4mm a 10 mm, conforme mostrado nas Figura 24 e Figura 25.

Figura 25 - Diferença entre tamanhos de partículas de bagaço de cana



Fonte: da própria autora

4.2 MÉTODOS

Com base nos documentos normativos ABNT NBR 14810 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 2013), foi idealizada a confecção de painéis homogêneos de mesmas dimensões (40x40x1 cm) e de mesma composição granulométrica, com partículas de 2 à 6 mm. Os painéis foram confeccionados empregando-se resinas poliuretanas na proporção de 10% em relação à massa seca das partículas.

Determinados estes dados, foi feita a escolha dos tratamentos utilizados em cada painel, variando as proporções entre partículas de cada resíduo e também variando as proporções e fabricantes de adesivos utilizados.

Após definição dos tratamentos, foi realizada a confecção dos painéis e em seguida a realização dos ensaios para caracterização de suas propriedades físicas e mecânicas.

4.2.1 Cálculo da massa de partículas para confecção dos painéis

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT- 2013), o cálculo da massa de partículas para confecção dos painéis deve ser feito obedecendo a Equação 1.

$$D = \frac{m}{v} \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

Sendo:

D = densidade nominal dos painéis igual a 0,8 g/cm³

m = massa em gramas de partículas a ser determinada para confecção dos painéis.

v = volume em cm³ dos painéis definido em função da formadora de colchão com dimensões de 40x40x1cm

Partindo-se da estimativa de que os painéis devem ter em média 0,8 g/cm³ de densidade, calcula-se a massa de partículas necessária para preencher um volume já definido de 1600 cm³, ou seja, a massa de partículas será 1300 g.

4.2.2 Determinação do teor de umidade das partículas

Segundo Galvão (1935) o método de secagem em estufa à 103°C é um dos métodos mais precisos de obtenção do teor de umidade da madeira, cujos valores são obtidos com o auxílio de estufas que permitam regular e manter a temperatura entre 101°C e 105°C, e balança, possibilitando pesagens com aproximação de 0,1g.

O cálculo da umidade das partículas, de acordo com cada tratamento foi realizado de acordo com a Equação 2.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

U = teor umidade das partículas (%)

M_u = massa úmida expressa em gramas;

M_s = massa seca expressa em gramas.

Segundo Iwakiri (2005), o teor de umidade das partículas exerce grande influência sobre a cura da resina, tempo de prensagem e pressão necessária para consolidação do colchão de partículas até a espessura final do painel.

4.2.3 Determinação da composição granulométrica das partículas

Foram realizados ensaios para determinação da composição granulometria para os dois materiais separadamente: o resíduo de eucalipto e o bagaço de cana.

Para o ensaio de composição granulométrica é utilizado agitador de peneiras mecânico e conjunto de peneiras (Figura 26). Vale ressaltar que este ensaio é uma adaptação da norma NBR 1004:2004 com o objetivo de aplicação em partículas de madeira.

Figura 26 – Conjunto de peneiras utilizado já montado no agitador de peneiras



Fonte: da própria autora

O objetivo deste ensaio é conhecer a distribuição granulométrica do material e representá-la através de uma curva, chamada curva granulométrica, obtendo-se assim o módulo de finura do material, dado importante para verificar se as partículas

encontram-se no tamanho correto para fabricação de painel de partículas de média densidade (MDP).

4.2.4 Tratamentos dos painéis

Para a fabricação dos painéis utilizando a resina PU - São Carlos foram propostos 4 tratamentos: T0, T1, T2 e T3, descritos na Tabela 3, onde o tratamento T0 foi utilizado como controle. Para cada tratamento foram confeccionados 3 painéis com dimensões nominais de 40x40x10cm.

Tabela 3 - Tratamentos propostos para confecção dos painéis aglomerados utilizando-se a retina PU Mamona – São Carlos

Tratamento	Resíduo de eucalipto (g)	Resíduo de bagaço de cana (g)	Resina PU-Mamona - São Carlos (g)	Proporção entre Polioliol e Pré-polímero	Massa Total (g)
T0	1300 (100%)	0 (0%)	130 (10%)	1:1	1430
T1	910 (70%)	390 (30%)			1430
T2	390 (30%)	910 (70%)			1430
T3	650 (50%)	650 (50%)			1430

Fonte: da própria autora

Já para a fabricação dos painéis utilizando a resina PU – Aguaí, foram propostos dois tratamentos, T4 e T5. Os tratamentos T4 e T5 diferem dos tratamentos T0, T1, T2 e T3 quanto à proveniência da resina e à proporção de utilização do mesmo, utilizando-se 1,5 polioliol para 1 pré-polímero, conforme indicação do fabricante.

Tabela 4 - Tratamentos propostos para confecção dos painéis aglomerados utilizando-se a retina PU Mamona – Aguai

Tratamento	Resíduo de eucalipto (g)	Resíduo de bagaço de cana (g)	Resina PU-Mamona - Aguai	Proporção entre Polioli e Pré-polímero	Massa Total (g)
T4	910 (70%)	390 (30%)	130 (10%)	1,5:1	1430
T5	650 (50%)	650 (50%)			1430

Fonte: da própria autora

4.2.5 Fabricação dos painéis

Foi realizada a adição da resina às partículas em duas etapas, inicialmente misturando-se o polioli e em seguida o pré-polímero. Esse procedimento facilita a homogeneização da resina bicomponente e facilita a cura da resina.

A homogeneização é primeiramente feita à mão e posteriormente mecanicamente, com a ajuda de um misturador, durante 10 minutos, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27 - Misturador mecânico



Fonte: da própria autora

Após a homogeneização do resíduo com a resina bi-componente, é utilizada a formadora de colchão (Figura 28) para se executar a pré-prensagem do painel.

Figura 28 - Formadora de colchão



Fonte: da própria autora

A pré-prensagem é feita por prensa manual (Figura 29), na qual se aplica 5 toneladas sobre o colchão de partículas (Figura 31) durante 10 minutos.

Figura 29 - Prensa hidráulica manual durante a pré-prensagem do painel



Fonte: da própria autora

Figura 30 - Aspecto do colchão de partículas (com bagaço de cana) após a pré-prensagem



Fonte: da própria autora

Figura 31 – Prensa mecânica automatizada



Fonte: da própria autora

A prensagem é executada com a aplicação de 80 toneladas de carga para confecção de um painel com área de 1600 cm², gerando pressão de 50 Kgf/cm² (ou 5 MPa) sobre o colchão de partículas.

Saídos da prensa, os painéis foram armazenados, para continuação do processo de cura da resina e secagem.

Figura 32 - Aspecto final do painel prensado de resíduo de eucalipto (T0)



Fonte: da própria autora

Os painéis devem apresentar após a prensagem um aspecto rijo com superfícies lisas e uniformidade na distribuição da resina pelo painel, sem a formação de concentrações de resina.

Figura 33 - Aspecto final do painel prensado de resíduo de eucalipto com bagaço de cana



Fonte: da própria autora

Os painéis são, então, esquadrejados após o período de cura de 72 horas com o auxílio de serra em disco mecanizada. Durante esta etapa, o painel é medido e cortado já no tamanho exigido por norma para os corpos de prova de cada ensaio a ser feito, o procedimento de corte pode ser visto na Figura 34.

Figura 34 - Painéis sendo serrados nas medidas exigidas por norma

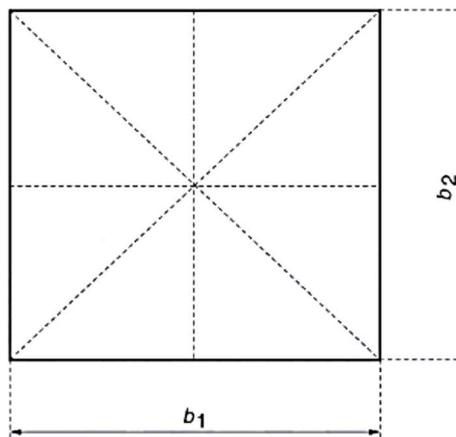


Fonte: da própria autora

4.2.6 Determinação da densidade dos painéis

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013), para determinação da densidade dos painéis é necessário o corte de corpos de prova nas dimensões nominais de 50x50mm, medidos em pontos médios do corpo de prova, como demonstrado na Figura 35.

Figura 35- Pontos de medição no corpo de prova



Fonte: ABNT (2013).

Para a determinação da densidade do painel, emprega-se os resultados da medição nas equações 3 e 4.

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (3)$$

$$V = b_1 \times b_2 \times e \quad (4)$$

$$D \% = \frac{(D - D_{m\u00e9dia})}{D_{m\u00e9dia}} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

D = densidade do corpo de prova, expressa em kg/m^3

$D_{m\u00e9dia}$ = densidade m\u00e9dia dos corpos de prova, expressa em kg/m^3

$D\%$ = variação percentual da densidade, expressa em porcentagem

M = massa do corpo de prova, expressa em g

V = volume do corpo de prova, expresso em mm^3

b_1 e b_2 = dimensões do corpo de prova, expressas em mm

e = espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm)

4.2.7 Determinação do teor de umidade dos painéis

A determinação do teor de umidade dos painéis foi realizada conforme a norma NBR 14810-2 (2013), que especifica a elaboração de 10 corpos de prova com medidas 50x50 mm para o ensaio. A partir dos resultados de pesagem dos corpos de prova à 100°C antes e após 24 horas de permanência na estufa, obtém-se, através da Equação 6, os resultados para o ensaio.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

U = teor umidade das partículas, em %

M_u = massa úmida expressa em g

M_s = massa seca expressa em g

4.2.8 Determinação do inchamento e da absorção de água

4.2.8.1 *Inchamento*

Foi realizado o ensaio de inchamento previsto por norma ABNT NBR 14810-2 (2013), que consiste na submersão dos corpos de prova com dimensões nominais de 50x50 mm durante 24 horas, medindo-se a espessura, com a ajuda de um micrometro (Figura 36), antes e após a execução do ensaio. Através da Equação 7 se obtém os resultados de inchamento em porcentagem.

$$I = \frac{e_1 - e_0}{e_0} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

I = inchamento em espessura do corpo de prova, em %

e_1 = espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em mm

e_0 = espessura do corpo de prova antes da imersão, em mm

Figura 36 - Medição da espessura do corpo de prova utilizando micrometro



Fonte: da própria autora

4.2.8.2 Absorção

O ensaio de absorção é realizado em conjunto com o ensaio de inchamento, onde o no inchamento mede-se a espessura final do corpo de prova após 24 horas de imersão e o ensaio de absorção mede a massa do corpo de prova após o mesmo período imerso.

Para obtenção dos resultados de absorção, os corpos de prova com as dimensões nominais de 50x50 mm têm sua espessura medida e empregando-se a Equação 8, é possível se apresentar este resultado em porcentagem de aumento de espessura final em relação a inicial.

$$A = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

A = absorção de água, em %

m_1 = massa do corpo de prova após imersão, em g

m_0 = massa do corpo de prova antes da imersão, em g

Este ensaio fazia parte da norma ABNT NBR 14810:2002, não sendo proposto na edição de 2013.

4.2.9 Módulos de ruptura e elasticidade na flexão estática

O ensaio de flexão estática foi realizado em corpos-de-prova nas dimensões (20 vezes a espessura + 50 mm) x 50mm de acordo com a ABNT NBR 14810 (2013). Neste ensaio são determinados o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

Para o cálculo da resistência à flexão (MOR) do corpo de prova, utilizou-se a Equação 9.

$$MOR = \frac{1,5 x (Px D)}{Bx(e)^2} \quad (9)$$

Sendo:

MOR = módulo de ruptura, em MPa ou N/mm²

P = carga de ruptura lida no indicador de cargas, em N

D = distância entre apoios do aparelho, em mm

B = largura do corpo de prova, em mm

e = espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em mm

Figura 37 – Corpo de prova de flexão durante a execução do ensaio



Fonte: da própria autora

Para determinação do módulo de elasticidade (MOE) utilizou-se a equação 10.

$$MOE = \frac{P_1 \times D^3}{dx \times 4 \times b \times e^3} \quad (10)$$

Sendo,

MOE = módulo de elasticidade, em MPa

P_1 = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, em N

D = distância entre os apoios do aparelho, em mm

d = deflexão, em milímetros, correspondente à carga P_1

b = largura do corpo de prova, em mm

e = espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em mm

4.2.10 Tração perpendicular ou adesão interna

Para os ensaios de tração perpendicular, foram preparados corpos-de-prova nas dimensões 50x50x10 mm. A Equação 11 foi utilizada para obtenção dos resultados.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (11)$$

Onde:

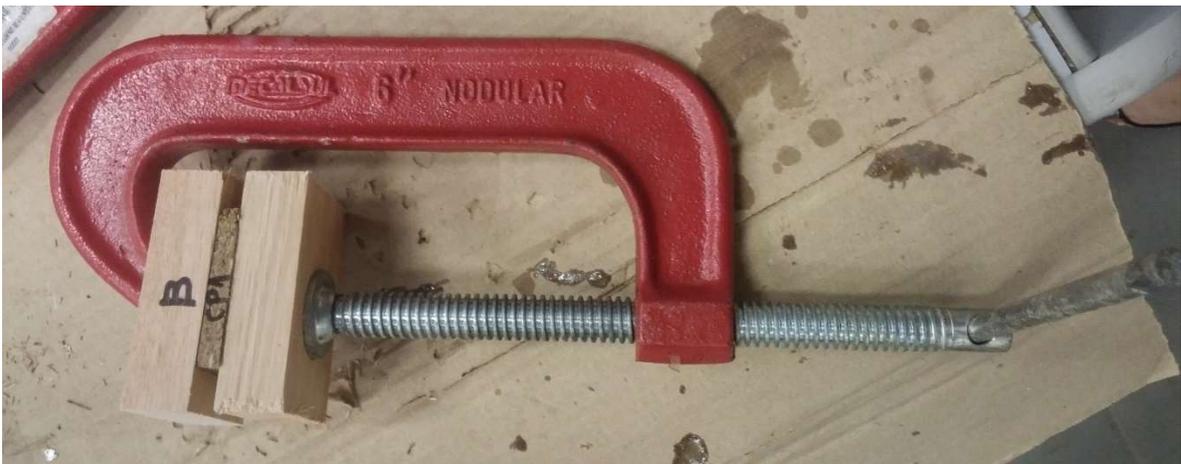
TP = resistência à tração perpendicular, em MPa

P = carga na ruptura, em N

S = área da superfície do corpo de prova, em mm^2

Para realização deste ensaio é necessário que o corpo de prova seja fixado em dois apoios retangulares feitos de madeira serrada (Figura 38) com a ajuda de cola, neste caso a cola utilizada foi a cola cianoacrilato convencional, afim de se obter uma colagem precisa. O corpo de prova é comprimido em um sargento (grampo) durante o período de 24 horas.

Figura 38 - Grampo utilizado na fixação do corpo de prova ao apoio em madeira serrada



Fonte: da própria autora

Após a colagem, o corpo de prova é fixado na máquina universal de ensaios para que este seja rompido à tração perpendicular (Figura 39).

Figura 39 - Corpo de prova já rompido durante o ensaio de tração perpendicular



Fonte: da própria autora

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS

Os ensaios de teor de umidade das partículas foram realizados tanto para partículas de bagaço de cana quanto para partículas de resíduo de eucalipto obtendo-se o valor médio de 9%.

No processo industrial, as partículas devem ser secas ao teor de umidade abaixo de 3%, de forma homogênea, ao menor tempo e custos possíveis. Já na fabricação experimental dos painéis de madeira, é aceito teores de umidade acima deste valor, porém não prejudicando as características dos painéis.

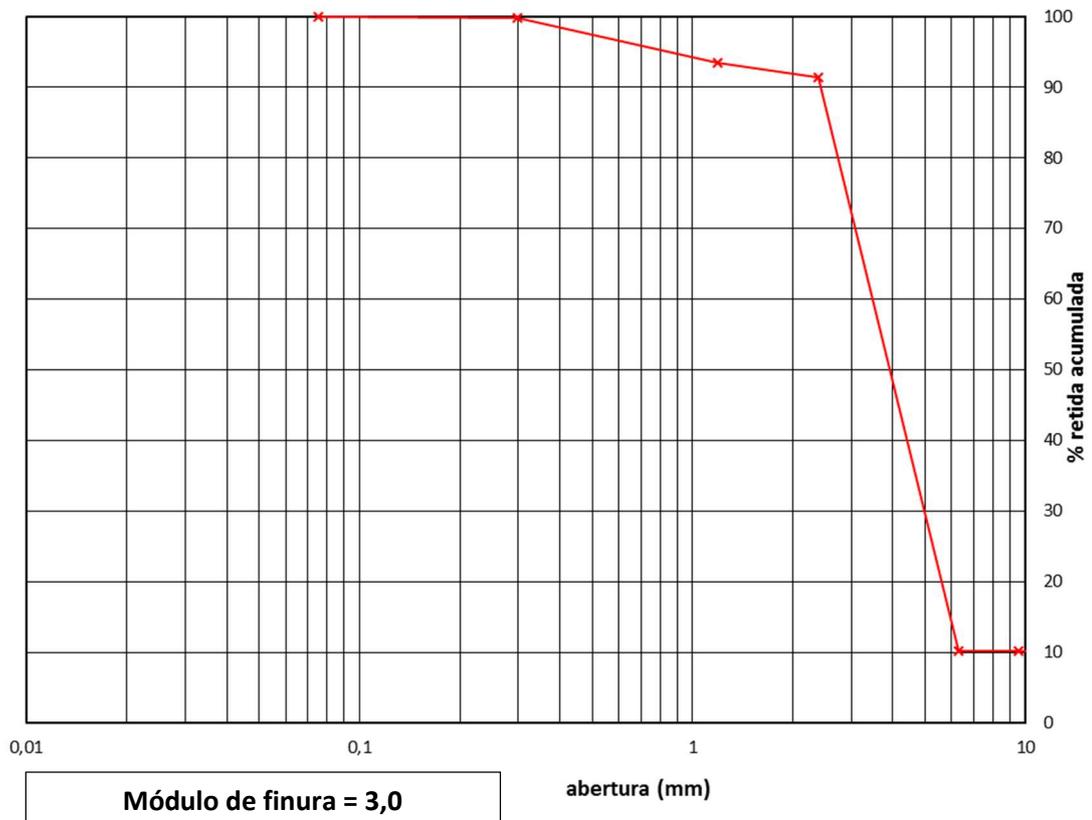
5.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS

Inicialmente foi realizada a verificação da composição granulométrica das partículas e conforme descrito anteriormente, esta análise foi realizada objetivando a confecção de painéis com partículas dentro da faixa granulométrica adequada de acordo com Iwakiri (1998).

Quadro 4 - Resultado do ensaio de granulometria realizado com as partículas do resíduo de eucalipto

PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (kg)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1		0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64		0,00		0	100,00
-	2"	50,8		0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1		0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4		0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19	20,9	9,52	9,52		90,48
-	1/2"	12,7	0,93	0,42		9,95	90,05
3/8"	-	9,51	0,45	0,21	10,15		89,85
-	1/4"	6,3	0,21	0,10		10,25	89,75
N.º 4	-	4,76		0,00	0,00		89,75
N.º 8	-	2,38	178,00	81,12	91,37		8,63
N.º 16	-	1,19	4,44	2,02	93,39		6,61
N.º 30	-	0,595		0,00	0,00		6,61
N.º 50	-	0,297	14,04	6,40	99,79		0,21
N.º 100	-	0,149		0,00	0,00		0,21
fundo	-	0,075	0,46	0,21		100,00	0,00
Total			219,43	100	3,04		

Peneiras (mm) →	% Retida Acumulada											
	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
eucalipto	100,00		99,79		93,39	91,37		10,25	10,15	10		



Fonte: da própria autora

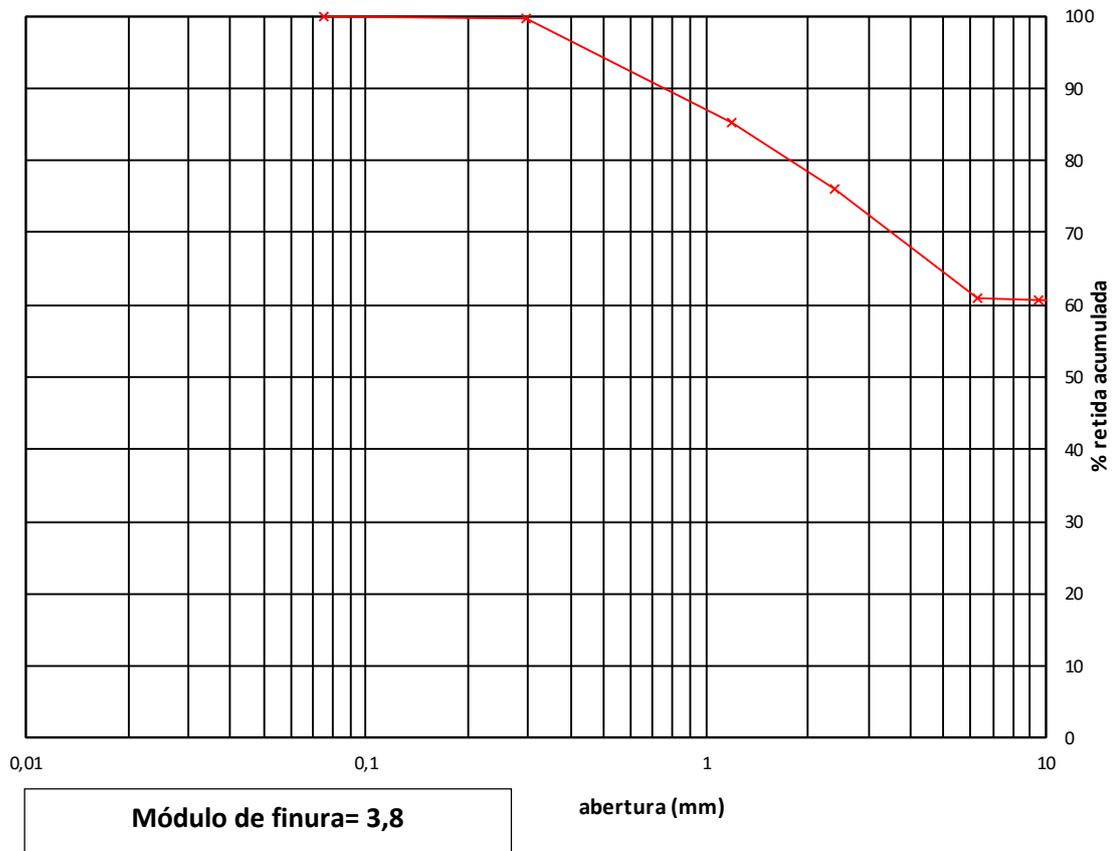
De acordo com o Quadro 4, o módulo de finura resultou em 3mm, significando que a média de tamanho das partículas do resíduo de eucalipto encontra-se próxima a este valor. Observa-se também que 81,12% das partículas ficaram retidas na peneira de 2,75 mm de espessura, ou seja, a maior parte do material encontra-se acima deste valor, porém menores do que a peneira de espessura imediatamente maior, que é a de abertura 4,76 mm.

Já em relação às partículas de bagaço de cana obteve-se um resultado de módulo de finura igual a 3,8 mm, significando que a maioria das partículas está próximo a este valor. Observando-se mais detalhadamente o Quadro 5, nota-se que 60% das partículas ficaram retidas na peneira de abertura 19 mm. Isto se dá pelo formato das partículas de bagaço de cana, que costumam ser finas e alongadas, formando emaranhados que dificultam a passagem pelas peneiras. Observa-se também que 15% das partículas ficaram retidas na peneira de abertura igual a 2,38 mm, o que mostra que a maioria das partículas se encontra com dimensões acima deste valor.

Quadro 5 - Resultados do ensaio de granulometria realizado com as partículas de bagaço de cana

PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (kg)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1		0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64		0,00		0	100,00
-	2"	50,8		0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1		0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4		0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19	76,74	60,74	60,74		39,26
-	1/2"	12,7	0,05	0,04		60,78	39,22
3/8"	-	9,51	0,00	0,00	60,78		39,22
-	1/4"	6,3	0,03	0,02		60,80	39,20
N.º 4	-	4,76		0,00	0,00		39,20
N.º 8	-	2,38	19,33	15,30	76,10		23,90
N.º 16	-	1,19	11,62	9,20	85,29		14,71
N.º 30	-	0,595		0,00	0,00		14,71
N.º 50	-	0,297	18,18	14,39	99,68		0,32
N.º 100	-	0,149		0,00	0,00		0,32
fundo	-	0,075	0,40	0,32		100,00	0,00
Total			126,35	100	3,83		

Peneiras (mm) →	% Retida Acumulada											
	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
bagaço	100,00		99,68		85,29	76,10		60,80	60,78	61		



Fonte: da própria autora

5.3 DENSIDADE DOS PAINÉIS

A densidade dos painéis aglomerados é um dado importante que pode estar relacionado a todos os outros resultados de ensaios posteriores.

Conforme mostrado na Tabela 5, os ensaios de densidade obtiveram variação percentual de densidade dentro do valor exigido por norma para este tipo de painel.

Tabela 5 – Tabela de densidade média, variação percentual da densidade e valor exigido pela NBR ABNT 14810 (2013)

Tratamento	Densidade media (kg/m ³)	NBR 14810-2 (2013)	Variação percentual da Densidade - D% (%)	NBR14810-2 (2013)
T0	877,47	551 kg/m ³ à 750 kg/m ³	6,9	±7%
T1	880,74		3,26	
T2	934,18		3,38	
T3	888,00		4,92	
T4	673,15		4,38	
T5	771,14		6,01	

Fonte: Elaboração da própria autora

Os resultados de densidade média dos tratamentos T4 e T5 se mostraram mais adequados aos valores da norma para painéis de média densidade. Porém, para Iwakiri (2005), os painéis de média densidade possuem densidades de 590 kg/m³ a 800kg/m³ e painéis de alta densidade acima de 800kg/m³, o que deixa os tratamentos de T0 a T3 mais próximos do aceitável.

5.4 TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS

A umidade nos painéis de madeira aglomerada pode influenciar na compactação do painel bem como indicar erro no ensaio de teor de umidade das partículas, não resultando no valor indicado para a resina a ser utilizada no painel.

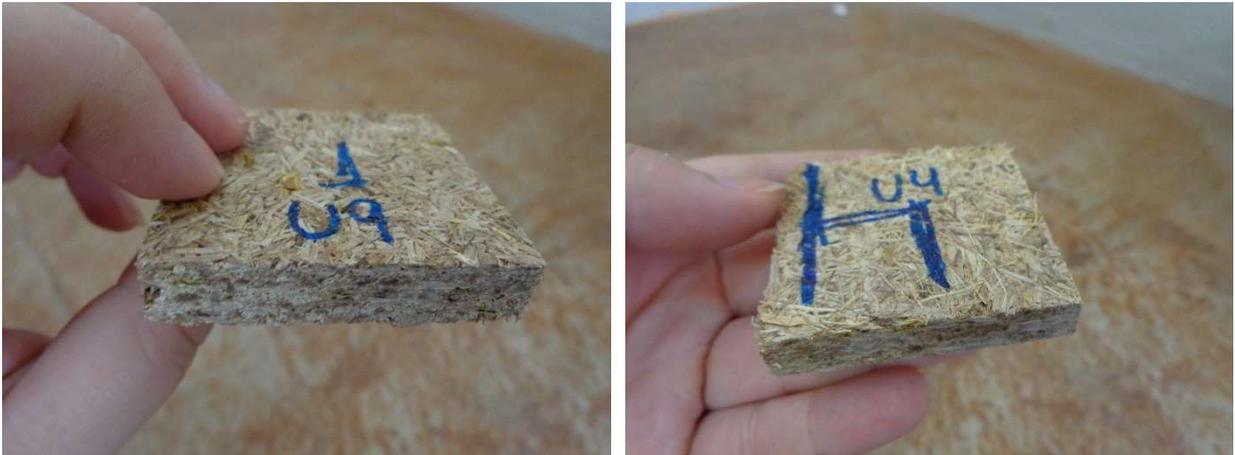
A Tabela 6 mostra resultados de umidade e desvio padrão para os tratamentos experimentados e observa-se que todos as umidades médias dos painéis fabricados encontram-se dentro da norma vigente para este tipo de painel.

Tabela 6 - Tabela de umidade média em porcentagem, desvio padrão da média e valor exigido pela NBR ABNT 14810 (2013)

Tratamento	Umidade média (%)	Desvio Padrão	NBR14810 (2013)
T0	11,27	1,90	5 à 13%
T1	8,11	0,14	
T2	8,10	1,06	
T3	9,43	1,78	
T4	8,14	0,17	
T5	7,65	0,94	

Fonte: Elaboração da própria autora

Figura 40 - Aspectos dos corpos de prova após 24 horas de permanência na estufa à 100°C



(a) Corpo de prova de T0

(b) Corpo de prova de T3

Fonte: da própria autora

5.5 INCHAMENTO E ABSORÇÃO DOS PAINÉIS

Os resultados de inchamento podem ser comparados aos valores exigidos na norma vigente para este tipo de painel e, segundo a Tabela 7, os painéis fabricados não encontram-se dentro do valor máximo normalizado, com exceção do tratamento T3.

Tabela 7 - Inchamento médio em porcentagem, desvio padrão e valor exigido pela NBR ABNT 14810-2 (2013)

Tratamento	Inchamento Médio (%)	Desvio Padrão	NBR14810-2 (2013)
T0	19,03	1,81	18%
T1	22,16	1,34	
T2	26,42	16,92	
T3	17,79	6,10	
T4	39,91	8,58	
T5	48,123	13,41	

Fonte: da própria autora

Tal resultado pode ser notado principalmente no tratamento T2, que tem maior quantidade de bagaço de cana na proporção, indicando que o bagaço de cana em demasia pode prejudicar o painel. Os painéis de tratamento T4 e T5 obtiveram os resultados mais discrepantes em relação ao resultado esperado por norma, podendo se dever à adesão e densificação das partículas serem insuficientes.

Nota-se também que o tratamento T3 atende ao valor exigido pela norma, podendo ser utilizado para a indústria de painéis aglomerados. Na Figura 41 é possível notar como um corpo de prova do tratamento T2 reage mal ao contato com a água.

Figura 41 – Corpo de prova de tratamento T2 após ensaio de inchamento



Fonte: da própria autora

Os documentos normativos brasileiros não apresentam exigências quanto à absorção de água por imersão por período de 24 horas. Porém, foram encontrados por IWAKIRI (1998) valores médios para painéis industrializados de Eucalipto entre 15,6 a 28,9%.

Tabela 8 - Absorção média em porcentagem dos corpos de prova ensaiados

Tratamento	Absorção média (%)	Desvio Padrão	IWAKIRI (1998)
T0	41,23	16,88	15,6 à 28,9%
T1	52,69	11,24	
T2	61,03	18,17	
T3	42,99	7,24	
T4	42,81	6,65	
T5	40,80	1,71	

Fonte: da própria autora

Observa-se que nenhum dos tratamentos atendem aos valores médios esperados.

5.6 RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) DOS PAINÉIS

Nota-se pelos resultados que os tratamentos T0 e T1 estão habilitados para ser painéis estruturais no que tange a resistência à ruptura por flexão simples. Já o tratamento T3 e T2 podem ser painéis não estruturais.

Tabela 9 - Módulo de ruptura médio para cada tratamento

Tratamento	MOR médio (MPa)	Desvio Padrão	NBR14810 (2013)
T0	18,28	1,19	11 MPa para painéis não estruturais e 16MPa para painéis estruturais
T1	16,76	2,58	
T2	10,38	1,18	
T3	15,50	1,24	
T4	5,63	2,28	
T5	7,52	1,86	

Fonte: da própria autora

É importante ressaltar os resultados que mais diferem dos valores exigidos por norma, que são os tratamentos T4 e T5, que utilizam a resina poliuretana à base de mamona dando maior proporção ao polioli.

Novamente o tratamento T3 se mostra mais próximo ao valor exigido por norma para painéis estruturais.

Tabela 10 - Módulo de Elasticidade médio para cada tratamento

Tratamento	MOE médio (MPa)	Desvio Padrão	NBR14810-2 (2013)
T0	1282	508,1	1800MPa para painéis não estruturais e 2300 MPa para painéis estruturais
T1	1023	277,8	
T2	1403	155,2	
T3	1395	162,1	
T4	1084	342,9	
T5	1300	338,4	

Fonte: da própria autora

Para os resultados de módulo de elasticidade, nenhum dos tratamentos atingiu os valores estipulados pela NBR 14810-2, tanto para painéis não estruturais quanto para painéis estruturais.

5.7 TRAÇÃO PERPENDICULAR

O ensaio de tração perpendicular, ou adesão interna entre partículas, gerou os resultados relacionados na Tabela 11.

Figura 42 - Aspecto do corpo de prova logo após sua ruptura



Fonte: da própria autora

Tabela 11 - Resultados de tração perpendicular média (MPa)

Tratamento	Tração Perpendicular Média (MPa)	Desvio Padrão	NBR14810 - 2 (2013)
T0	1,27	0,42	0,4 MPa
T1	1,39	0,40	
T2	0,90	0,54	
T3	1,02	0,20	
T4	0,32	0,13	
T5	0,31	0,13	

Fonte: da própria autora

Observa-se que os resultados dos tratamentos de T0 a T2 atendem ao valor estipulado pela norma NBR ABNT 14810 - 2. Os tratamentos T4 e T5 não obtiveram resultados compatíveis com a norma.

5.8 ANÁLISE DA DIFERENÇA ENTRE TRATAMENTOS EM RELAÇÃO A DENSIDADE

Para melhor leitura dos resultados, é interessante a separação dos tratamentos em dois grupos de análises distintas, portanto o primeiro grupo a ser analisado será o grupo de tratamentos T0 a T4, que utiliza resina PU- Mamona - São Carlos. Foi utilizada a análise ANOVA para identificar primeiramente se há discrepância entre os tratamentos quanto à sua densidade.

Quadro 6 - Análise entre os tratamentos T0 A T3 quanto à sua densidade

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>			
T0	10	3266,94	816,73	244,53			
T1	10	3424,62	856,15	675,94			
T2	10	3608,95	902,24	90,74			
T3	10	3560,78	890,20	1200,04			
ANOVA							
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	
Entre grupos	17688,94	3	5896,31	10,67	0,001056	3,49	
Dentro dos grupos	6633,78	12	552,82				

Fonte: da própria autora

A análise de variância (ANOVA) permite, através do seu valor p, descobrir se a diferença entre os grupos é significativa ou mero acaso. Valores de p menores que 0,0001 denotam mais de 99,99% de certeza de que a diferença encontrada não foi devido ao acaso.

Para a densidade, tem-se o valor p igual a 0,001056, mostrando que há diferença estatística entre os tratamentos avaliados. A mesma análise se fez para o grupo de tratamentos T4 e T5, obtendo-se a mesma conclusão da análise.

Quadro 7 - Análise entre os tratamentos T4 e T5 quanto à sua densidade

<i>Grupo</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>					
T4	675,80	1559,92					
T5	738,18	1161,29					
ANOVA							
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	
Entre grupos	29187,88	1	29187,88	21,45	0,0000759	4,20	
Dentro dos grupos	38096,93	28	1360,61				

Fonte: Elaboração da própria autora

Diante este resultado, optou-se analisar pelo teste de Tukey quais tratamentos que utilizam a resina PU mamona – São Carlos diferem entre si, chegando ao resultado de que o tratamento T2, que tem maior quantidade de bagaço de cana, apresenta a maior diferença em relação a todos os tratamentos.

Quadro 8 - Resultado do teste Tukey para diferença entre os tratamentos quanto a densidade

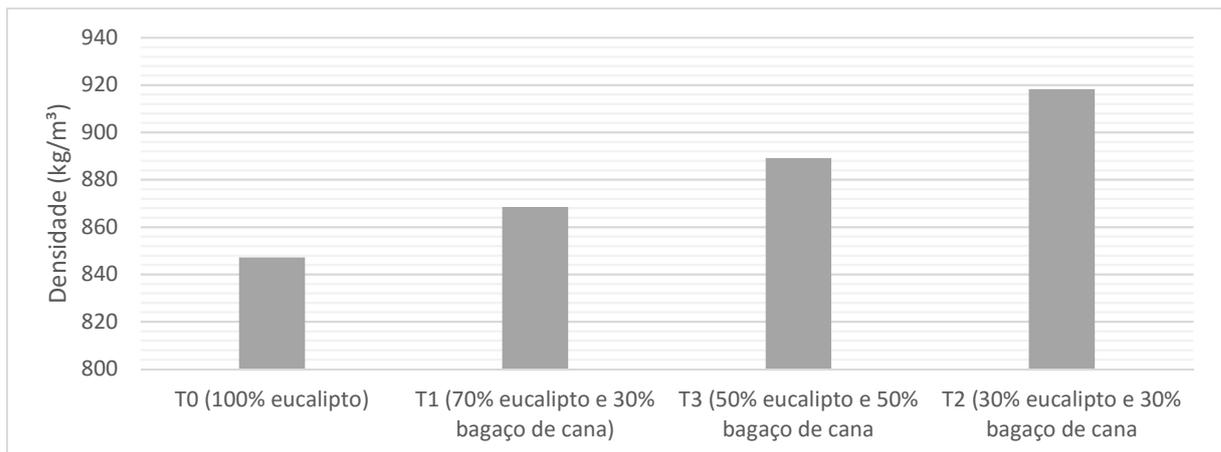
	T0	T1	T2	T3
T0		0,5826	0,000287	0,1361
T1	1,833		0,00091	0,7098
T2	9,524	7,692		0,004549
T3	3,355	1,522	6,17	

Fonte: da própria autora

Esta diferença se dá, provavelmente, devido a relação entre as proporções das partículas, pois, T2 apresenta 70% de bagaço, e apenas 30% de resíduo de eucalipto. O bagaço de cana tende a ser mais compressível, se arranjando melhor no colchão de partículas, ocupando de uma maneira mais efetiva os vazios entre as partículas, desta maneira, o painel tende a ser mais denso.

De uma maneira geral, observa-se que quanto maior a quantidade do resíduo bagaço de cana incorporado na massa de resíduo de eucalipto, maior a densidade do painel, vide gráfico da Figura 43.

Figura 43 - Relação entre densidades e a quantidade de bagaço de cana na proporção



Fonte: da própria autora

5.9 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE TRAÇÃO PERPENDICULAR E DENSIDADE

Trabalhos anteriores como Mello (2008) mostram que há relação entre a resistência à tração perpendicular e a densidade. Partindo desde conceito, utilizou-

se a análise por regressão para se definir esta relação para os diferentes tratamentos.

Quadro 9 - Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T0

<i>Estatística de regressão</i>						
R múltiplo	0,54					
R-Quadrado	0,29					
R-quadrado ajustado	0,17					
Erro padrão	106,06					
ANOVA						
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	1	27628,96	27628,96	2,46	0,17	
Resíduo	6	67486,21	11247,71			
Total	7	95115,17				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	686,52	127,48	5,39	0,001687	374,59	998,44
Variável X 1	150,51	96,03	1,57	0,16809	-84,47	385,49

Fonte: da própria autora

De acordo com os resultados obtidos para o tratamento T0, que é composto inteiramente por resíduo de eucalipto e resina PU – São Carlos numa proporção 1:1, obteve-se o valor de R-quadrado igual a 0,29, ou seja, tem-se 29% de correlação entre a densidade e a resistência à tração perpendicular. Neste caso não há uma boa correlação entre os dois fatores e também não há linearidade dos resultados.

Quadro 10 - Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T1

<i>Estatística de regressão</i>						
R múltiplo	0,72					
R-Quadrado	0,52					
R-quadrado ajustado	0,44					
Erro padrão	29,26					
ANOVA						
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	1	5557,77	5557,77	6,49	0,044	
Resíduo	6	5137,03	856,17			
Total	7	10694,80				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	783,16	39,67	19,74	1,1E-06	686,09	880,23
Variável X 1	70,20	27,55	2,55	0,043618	2,78	137,62

Fonte: da própria autora

De acordo com os resultados obtidos para o tratamento T1, composto 70% de resíduo de eucalipto e 30% bagaço de cana e resina PU – São Carlos numa proporção 1:1, obteve-se o valor de R-quadrado igual a 0,52, ou seja, tem-se 52% de correlação entre a densidade e a resistência à tração perpendicular.

Quadro 11 - Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T2

<i>Estatística de regressão</i>						
R múltiplo	0,91					
R-Quadrado	0,83					
R-quadrado ajustado	0,80					
Erro padrão	18,14					
ANOVA						
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	1	9808,00	9808,00	29,79	0,0016	
Resíduo	6	1975,31	329,22			
Total	7	11783,31				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	871,34	13,18	66,11	8,05E-10	839,09	903,59
Variável X 1	69,722	12,77	5,46	0,001575	38,47	100,98

Fonte: da própria autora

De acordo com os resultados obtidos para o tratamento T2, composto 30% de resíduo de eucalipto e 70% bagaço de cana e resina PU – São Carlos numa proporção 1:1, obteve-se o valor de R-quadrado igual a 0,83, ou seja, tem-se 83% de correlação entre a densidade e a resistência à tração perpendicular.

Quadro 12 - Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T3

<i>Estadística de regressão</i>						
R múltiplo		0,74				
R-Quadrado		0,55				
R-quadrado ajustado		0,47				
Erro padrão		40,07				
ANOVA						
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	1	11560,90	11560,90	7,20	0,036	
Resíduo	6	9632,60	1605,43			
Total	7	21193,51				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	680,58	78,58	8,66	0,000131	488,30	872,87
Variável X 1	202,85	75,59	2,68	0,036367	17,88	387,82

Fonte: da própria autora

De acordo com os resultados obtidos para o tratamento T3, composto 50% de resíduo de eucalipto e 50% bagaço de cana e resina PU – São Carlos numa proporção 1:1, obteve-se o valor de R-quadrado igual a 0,546, ou seja, tem-se 55% de correlação entre a densidade e a resistência à tração perpendicular. Neste caso não há correlação forte o suficiente entre os fatores para que haja uma linearidade nos resultados.

Quadro 13 - Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T4

<i>Estatística de regressão</i>						
R múltiplo		0,71				
R-Quadrado		0,50				
R-quadrado ajustado		0,46				
Erro padrão		28,91				
ANOVA						
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	1	11012,56	11012,56	13,18	0,0031	
Resíduo	13	10864,45	835,7272			
Total	14	21877,01				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	617,08	17,15	35,98	2,1E-14	580,027	654,14
Variável X 1	207,13	57,06	3,63	0,003051	83,86	330,40

Fonte: da própria autora

De acordo com os resultados obtidos para o tratamento T4, composto 30% de resíduo de eucalipto e 70% bagaço de cana e resina PU – Aguai, numa proporção 1,5:1, obteve-se o valor de R-quadrado igual a 0,50, ou seja, tem-se 50% de correlação entre a densidade e a resistência à tração perpendicular.

Quadro 14 - Resultados obtidos com a análise de regressão entre os valores de Tração Perpendicular e Densidade dos painéis de tratamento T5

<i>Estatística de regressão</i>						
R múltiplo		0,55				
R-Quadrado		0,30				
R-quadrado ajustado		0,25				
Erro padrão		49,19				
Observações		15				
ANOVA						
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>	
Regressão	1	13595,72	13595,72	5,62	0,034	
Resíduo	13	31453,66	2419,512			
Total	14	45049,38				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
Interseção	696,70	33,87	20,57	2,67E-11	623,52	769,88
Variável X 1	242,74	102,40	2,37	0,033905	21,52	463,97

Fonte: da própria autora

De acordo com os resultados obtidos para o tratamento T5, composto 50% de resíduo de eucalipto e 50% bagaço de cana e resina PU – Aguaí, numa proporção 1,5:1, obteve-se o valor de R-quadrado igual a 0,30, ou seja, tem-se 30% de correlação entre a densidade e a resistência à tração perpendicular. Neste caso não há uma boa correlação entre os dois fatores e também não há linearidade dos resultados.

A tabela a seguir facilita a visualização das correlações obtidas para cada tipo de tratamento.

Tabela 12 - Resultados obtidos para cada tratamento, relacionando a proporção dos resíduos a cada resultado de Densidade, Tração Perpendicular e Correlação entre Tração Perpendicular e Densidade, encontrado através de regressão estatística

Tratamento	Resíduo de Eucalipto (%)	Resíduo de Bagaço de cana (%)	Densidade Média (kg/cm ³)	Tração Perpendicular (MPa)	Correlação entre Tração perpendicular e Densidade (%)
T0	100	0	847,10	1,27	29
T1	70	30	868,44	1,39	52
T2	30	70	918,21	0,90	83
T3	50	50	889,10	1,02	55
T4	70	30	674,47	0,32	50
T5	50	50	754,66	0,31	30

Fonte: da própria autora

5.10 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À FLEXÃO E DENSIDADE

Repedindo-se as análises do item anterior, agora para relação entre a resistência à flexão e a densidade, obtiveram-se os resultados relacionados na tabela a seguir.

Tabela 13 - Resultados obtidos para cada tratamento, relacionando a proporção dos resíduos a cada resultado de Densidade, Resistência à Flexão e Correlação entre Resistência à Flexão e Densidade, encontrado através de regressão estatística

Tratamento	Resíduo de Eucalipto (%)	Resíduo de Bagaço de cana (%)	Densidade Média (kg/cm ³)	Resistência à Flexão – MOR (MPa)	Correlação entre Resistência à Flexão e Densidade (%)
T0	100	0	847,10	18,28	65
T1	70	30	868,44	16,76	72
T2	30	70	918,21	10,38	34
T3	50	50	889,10	15,50	69
T4	70	30	674,47	5,63	64
T5	50	50	754,66	7,52	31

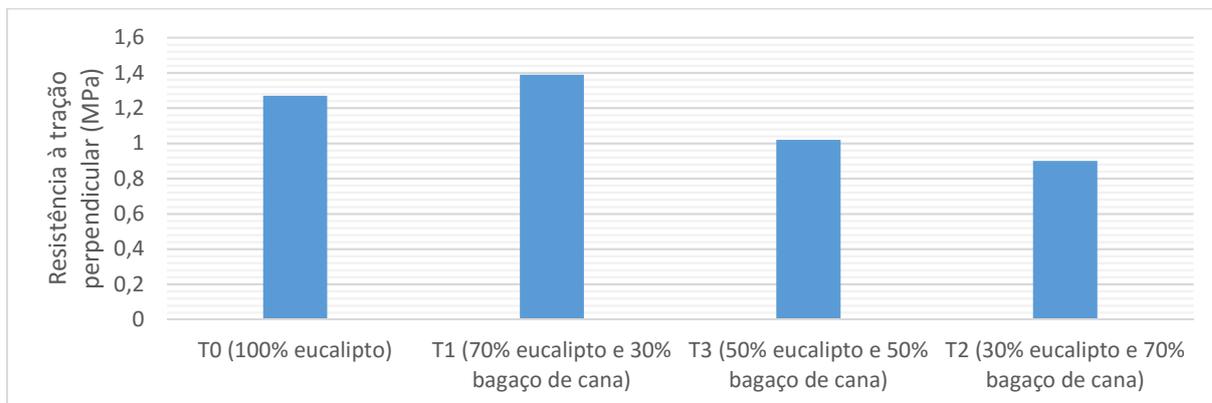
Fonte: da própria autora

Nota-se que a densidade tem correlação alta com a resistência à flexão, com exceção dos tratamentos T2 e T5.

5.11 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PROPORÇÕES DE RESÍDUOS EM RELAÇÃO A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR

Assumindo que existem diferenças entre os resíduos utilizados, estes foram utilizados em proporção diferentes afim de se analisar qual a interferência de suas propriedades nos resultados de resistência à tração perpendicular. Para melhor visualização destas diferenças entre proporções, segue o gráfico com as relações entre tratamentos, iniciando-se pelo tratamento com maior quantidade de resíduo de eucalipto para o menor. Optou-se por relacionar apenas os tratamentos que utilizam a resina PU – São Carlos na proporção 1:1 para que este fator resina não interfira no resultado.

Figura 44 - Relação entre as proporções de resíduo e resistência à tração perpendicular



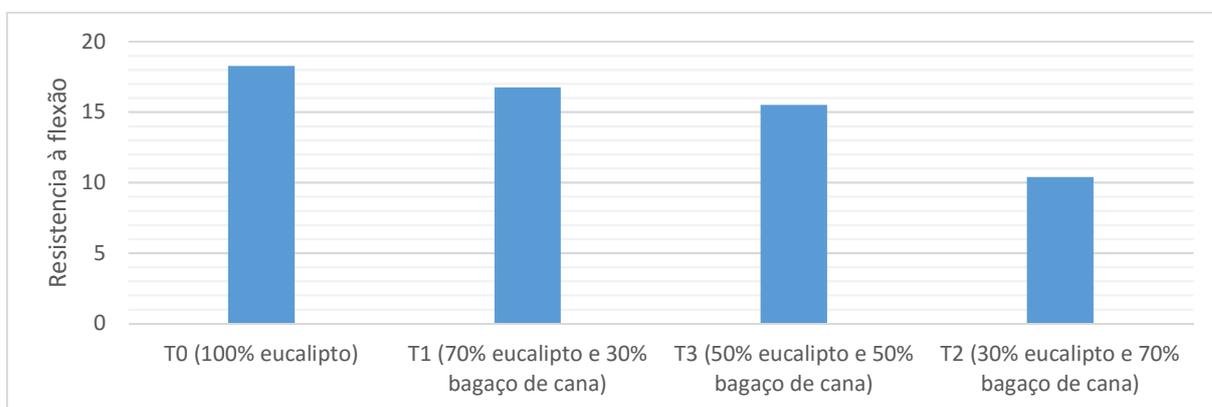
Fonte: da própria autora

Nota-se que a incorporação do bagaço de cana até 30% em massa tende a aumentar a resistência à tração perpendicular. Mas, acima de 30%, o resíduo de bagaço de cana tende a reduzir esta resistência.

5.12 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PROPORÇÕES DE RESÍDUOS EM RELAÇÃO A RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Para melhor visualização das diferenças entre proporções, segue o gráfico com as relações entre tratamentos, iniciando-se pelo tratamento com maior quantidade de resíduo de eucalipto para o menor. Optou-se por relacionar apenas os tratamentos que utilizam a resina PU – São Carlos na proporção 1:1 para que este fator resina não interfira no resultado.

Figura 45 - Relação entre as proporções de resíduo e resistência flexão (MOR)



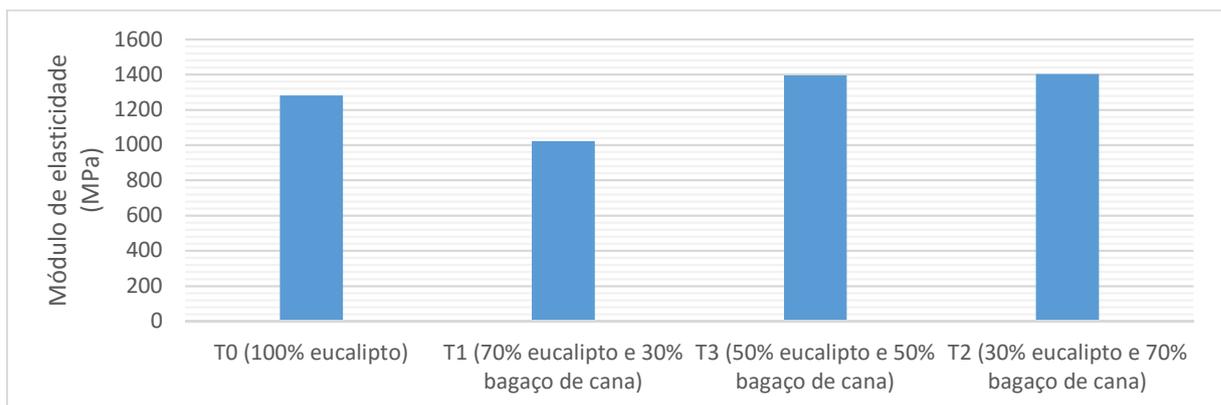
Fonte: da própria autora

Nota-se que a incorporação do resíduo bagaço de cana reduz a resistência à flexão do painel.

5.13 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PROPORÇÕES DE RESÍDUOS EM RELAÇÃO AO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Da mesma maneira que foi feita a análise para relação entre proporções de resíduos quanto ao módulo de resistência à ruptura, para melhor visualização das diferenças entre proporções, foi elaborado um gráfico iniciando-se pelo tratamento com maior quantidade de resíduo de eucalipto para o menor. Optou-se por relacionar apenas os tratamentos que utilizam a resina PU – São Carlos na proporção 1:1 para que este fator resina não interfira no resultado.

Figura 46 - Gráfico de relação entre modulo de elasticidade para cada tratamento



Fonte: da própria autora

A incorporação de partículas de bagaço de cana à massa de partículas de resíduo de eucalipto se mostrou benéfica para os painéis em relação ao seu módulo de elasticidade.

5.14 ANÁLISE DA RELAÇÃO A RESINA PU – SÃO CARLOS NA PROPORÇÃO 1:1 E A RESINA PU – AGUAÍ NA PROPORÇÃO 1,5:1

Nesta comparação é necessário que as proporções entre bagaço de cana e resíduo de eucalipto se equivalham, portanto serão comparadas as proporções 70% eucalipto com 30% bagaço de cana e 50% eucalipto e 50% bagaço de cana, ou seja, T1 e T3 com T4 e T5, conforme relacionado a seguir.

Tabela 14 - Resultados obtidos relacionados para tratamentos 70% eucalipto e 30% bagaço de cana

	Resina	Densidade (Kg/m ³)	Tração Perpendicular (MPa)	Resistencia à Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
T1 (70% eucalipto e 30% bagaço de cana)	Pu - São Carlos 1:1	868,44	1,39	16,76	1022,6475
T4 (70% eucalipto e 30% bagaço de cana)	Pu - Aguaí 1,5:1	674,47	0,32	5,63	1084,382

Fonte: do próprio autor.

Tabela 15 - Resultados obtidos relacionados para tratamentos 50% eucalipto e 50% bagaço de cana

	Resina	Densidade (Kg/m ³)	Tração Perpendicular (MPa)	Resistencia à Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
T3 (50% eucalipto e 50% bagaço de cana)	Pu - São Carlos 1:1	889,1	1,02	15,5	1395,345
T5 (50% eucalipto e 50% bagaço de cana)	Pu - Aguaí 1,5:1	754,66	0,31	7,52	1211,765

Fonte: do próprio autor.

Possível observar que a resina PU – Aguaí utilizada na proporção 1,5:1 tem decréscimo nos valores de densidade, resistência à tração perpendicular e resistência à flexão. A mesma oferece melhorias para o módulo de elasticidade porem não significativas.

A proporção maior de polioliol em relação ao pré-polímero diminuiu a eficiência da adesão entre as partículas, conseqüentemente, verificou-se menores valores nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, com relação aos painéis confeccionados com resina PU-Mamona - São Carlos.

Tabela 16 - Resultados obtidos relacionados para tratamentos 70% eucalipto e 30% bagaço de cana

	Resina	Densidade (Kg/m ³)	Inchamento (%)	Absorção (%)
T1 (70% eucalipto e 30% bagaço de cana)	Pu – Mamona - São Carlos 1:1	868,44	22,16	52,69
T4 (70% eucalipto e 30% bagaço de cana)	Pu - Aguai 1,5:1	674,47	39,91	69,06

Fonte: do próprio autor.

Tabela 17 - Resultados obtidos relacionados para tratamentos 50% eucalipto e 50% bagaço de cana

	Resina	Densidade (Kg/m ³)	Inchamento (%)	Absorção (%)
T3 (50% eucalipto e 50% bagaço de cana)	Pu – Mamona - São Carlos 1:1	889,1	17,79	42,99
T5 (50% eucalipto e 50% bagaço de cana)	Pu – Mamona - Aguai 1,5:1	754,66	48,12	76,92

Fonte: do próprio autor.

Em relação ao inchamento e absorção, a resina PU – Aguai utilizada na proporção 1,5:1 também apresentou resultados piores em relação à resina PU – São Carlos utilizada na proporção 1:1. Essa piora de resultados se dá principalmente por conta do aumento da quantidade de vazios quanto se aumenta a proporção de 1:1 para 1,5:1, causado pela maior proporção de polioli.

Realizando experimentos, Dacosta et al. (2005), constatou que chapas com menor quantidade de adesivo e de menores densidades foram as que obtiveram os piores valores de absorção e inchamento. Esse comportamento também foi observado no presente estudo, sendo que o tratamento onde foi encontrada a maior densidade apresentou os menores valores para absorção e inchamento

6 CONCLUSÃO

Quanto à resistência à tração perpendicular, os resultados não obtiveram correlação à densidade. Isto se deve ao fato de que os painéis apresentam teores de resíduos diferentes entre si, não sendo a densidade o fator preponderante entre elas.

A incorporação das partículas do resíduo de bagaço de cana associada às partículas do resíduo de eucalipto se mostrou benéfico para o painel em relação à sua resistência à flexão quanto esta associação não ultrapassa um valor maior que 30% em relação às partículas de resíduo de eucalipto. Este resultado pode ser devido as partículas de bagaço de cana serem menos resistentes à flexão.

Já em relação ao módulo de elasticidade, a associação das partículas de bagaço de cana às partículas de resíduo de eucalipto se mostrou benéfica de uma maneira crescente, ou seja, quanto maior a proporção de partículas de bagaço de cana em massa, maior o módulo de elasticidade obtido, este fator se dá pelo comportamento das fibras de bagaço de cana no painel, que são mais longas e flexíveis do que as partículas de madeira.

Quanto à diferença entre proporções utilizadas de polioli e pré-polímero, é possível concluir que a proporção mais eficiente para os painéis é a de 1:1 quando utilizamos resina poli-uretana a base de óleo de mamona, esta proporção propiciou maior força de adesão entre as partículas e conseqüentemente melhor densificação do painel, gerando melhores resultados finais para as propriedades físicas e mecânicas estudadas.

De uma maneira geral, o tratamento T3 se mostrou mais eficiente para produção de painéis estruturais, necessitando ajustes no módulo de elasticidade do mesmo.

Com relação aos resultados das propriedades físicas e mecânicas que não atenderam aos requisitos normativos da NBR 14810-2 (2013), sugere-se para os próximos estudos que sejam realizados ajustes nos parâmetros para confecção dos painéis com o objetivo de propiciar melhores qualidades aos painéis.

Conclui-se que o aproveitamento dos dois resíduos industriais é benéfico economicamente para o desenvolvimento regional, podendo trazer fabricas de

painéis para junto das indústrias de papel e celulose e sucroalcooleiras já presentes na região, bem como melhorias ao meio ambiente, reduzindo as quantidades de resíduos descartados na natureza e incinerados para geração de energia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA- ABIPA. **Programa setorial da qualidade de painéis de madeira**. São Paulo: Tesis, 2013. 5 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 14810-2**: painéis de partículas de média densidade: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro; 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 1004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

AECWEB. **Processo de fabricação das chapas**. [S.l.: s.n., 200-]. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

ALVES, L. S. **Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto para confecção e avaliação de painéis aglomerados** 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2013

AZAMBUJA, M. A. **Avaliação do adesivo poliuretano a base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC)**. 2002. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BAUER, F. **Materiais de construção**. 2. ed. Uberlândia: Ltc, 1999. 951 p.

BERNARDI, R. **Reconstituição de chapas de aglomerado**. Bento Gonçalves: SENAI/RSCETEMO, 2003. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 29 jul. 2014.

BERTOLINI, M. S.. **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado)– Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Caracterización del MDF Producido a Partir de Eucalipto y Adhesivo Poliuretano Natural. **Madera: Ciencia y Tecnología, Concepción**, Chile, v. 6, n. 1, p. 73-84, 2004.

CASTRO, V.; IWAKIRI, S. Influência de diferentes níveis de acetilação nas propriedades físico-mecânicas de aglomerados e painéis madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p.535-540, 2014. DOI: 10.1590/01047760201420041673.

CERQUEIRA, P. H. A. et al. Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p.506-510, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.051.

COLLI, A. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobiumamazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos*

nucifera L.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p.333-338, 2010. DOI: 10.1590/s0100-67622010000200016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução nº 307, de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União- DOU**, n. 136, 2002. . P. 95-96. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 30 out. 2013.

DECORBRAS COMPENSADOS. **Painéis MDF em diversas espessuras**. Santa Catarina: Decorbras, [200-]. Disponível em: < <http://www.decorbras.com/>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

DECORBRAS COMPENSADOS. **Painel compensado laminado**. Santa Catarina; Decorbras, [200-]. Disponível em: < <http://www.decorbras.com/>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

DECORBRAS COMPENSADOS. **Painel compensado sarrafeado**. Santa Catarina; Decorbras, [200-]. Disponível em: < <http://www.decorbras.com/>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

DIAS, A. A. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. ROCCO, F. A. (Org.). **Produtos derivados de madeira**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2008. p. 73-92.

DIAS, F. M. et al. Painéis de partículas de *Eucalyptus* manufaturadas com resina poliuretana a base de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., Cuiabá, 2004. **Anais...** Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2004. 1CD-ROM.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Materials Research**, São Carlos, v. 7, n. 3, p. 413-420, 2004.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 150 f. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FIBER-BY.[S.].: s.n., 200-]: Local de Edição, ano de publicação. Disponível em: <http://www.fiberby-products.com/products/wood_shavings.php>. Acesso em: 16 dez. 2016.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p. Tente links no: Google. Similares em: Rede SciELO. GNOATTO,

BERNECK, C. G. **Mercado de painéis de madeira reconstituída**. Rio de Janeiro: Instituto Besc de Humanidades e Economia, 2014. Slide.Disponível em: < [http://congressomadeira.com.br/2014/palestras/4/Carlos%20\(Representante%20Gra%C3%A7a%20Berneck\).pdf](http://congressomadeira.com.br/2014/palestras/4/Carlos%20(Representante%20Gra%C3%A7a%20Berneck).pdf)>. Acesso em: 19 dez. 2016.

HARDBOARD. **Stimson lumber**. Oregon: Stimson Lumber, [200-].. Disponível em: <<http://www.stimsonlumber.com/products/hardboard/hardboard/>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

HELLMEISTER, J. C., Madeiras e suas características In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1., 1983, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC, 1983. p. 1-37.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS- IPT. **Avaliação, controle de qualidade e elaboração de especificações de madeiras e produtos derivados.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, [200-]. Disponível em: <http://www.ipt.br/solucoes/60avaliacao_controle_de_qualidade_e_elaboracao_de_e_especificacoes_de_madeiras_e_produtos_derivados.htm>. Acesso em: 28 out. 2014.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012. DOI: 10.1590/s0044-59672012000100007.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná- FUPEF, 2005. p.123-166.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. L.; GORNIAC, E.; MENDES, L. M. et al. Resíduo de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

JESUS, M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC).** 2000. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

LAHR, R. **Derivados de madeira:** produtos derivados de madeira. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2004. 161 p.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, MENDES, R.; CHAGAS, F.B. das. **Painéis de madeira no Brasil:** panorama e perspectivas. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2008. 156 p.

MELO, R. R. de et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p.35-42, jan. 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20120970.

NARCISO, C. R. P. et al. Painéis aglomerados produzidos com resíduo de serraria. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14., 2014, Natal. **Anais...** Natal: Moura Ramos, 2014. v. 3, p. 56 - 67.

NEGRÃO, W. H. et al. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p.103-112, 2014. DOI: 10.1590/s1678-86212014000300008.

ORIENTED Strand Board (OSB). Washington: APA, 2009. Disponível em: <<http://www.apawood.org/osb>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

PETRUCCI, G. R. **Materiais de construção.** São Paulo: Editora São Paulo, 1975. 435 p.

PIERRE, F. C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de Eucalyptus grandis com adição de resíduos i.** 2010. 122 f. Tese (Doutorado)-

Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Botucatu, 2010.

RESUMO do plano de manejo florestal da Eldorado Brasil. São Paulo: Eldorado Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.eldoradobrasil.com.br/Content/file/resumo-do-plano-manejo-florestal-2013.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

STANGERLIN, D. M. et al. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 8, p.1369-1374, 2011. DOI: 10.1590/s0103-84782011000800012.

ZAU, M. D. L. et al. Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia - Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**, São Carlos, v. 24, n. 6, p.101-108, dez. 2014.