UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Júlio de Mesquita Filho

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Edital n º 08-2015-DTA Concurso Público de LIVRE-DOCÊNCIA

[Publicada no D.O.E, de 3-12-2015, Seção I, pág. 156, São Paulo, 125 (224)]

# "Proposta de utilização de resíduos lignocelulósicos para fabricação de painéis de partículas"

DISCIPLINA:

Tópicos Especiais em Estruturas: *Produtos Derivados de Madeira*

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Ilha Soleira, SP

Janeiro de 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Júlio de Mesquita Filho

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Edital n º 08-2015-DTA Concurso Público de LIVRE-DOCÊNCIA

[Publicada no D.O.E, de 3-12-2015, Seção I, pág. 156, São Paulo, 125 (224)]

Resolução Unesp-27, de 15-4-2009

[Publicada no D.O.E, de 16-4-2009, Seção I, pág. 45 e 46]

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Texto que sistematiza parte da obra do candidato apresentado à Faculdade de Engenharia da Unesp, Câmpus de Ilha Solteira, para o Concurso Público de Títulos e Provas para obtenção do título de Livre-Docente, na disciplina “Tópicos Especiais em Estruturas: Produtos Derivados de Madeira” do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira.

Ilha Solteira, SP
Janeiro de 2016

**APRESENTAÇÃO**

Edital n º 08-2015-DTA Concurso Público de LIVRE-DOCÊNCIA

[Publicada no D.O.E, de 3-12-2015, Seção I, pág. 156, São Paulo, 125 (224)]

Trata o presente texto de um resumo das atividades correspondentes à carreira universitária do docente após a obtenção de seu título de doutor como parte integrante dos requisitos necessários à inscrição em concurso de Livre Docência conforme a Resolução Unesp-27, de 15-04-2009, para o Concurso Público de Títulos e Provas do Departamento de Engenharia Civil, da FEIS – Unesp – Ilha Solteira, na disciplina “Tópicos Especiais em Estruturas: Produtos Derivados de Madeira”, para obtenção do Título de Livre-Docente em “Produtos Engenheirados da Madeira”.

As atividades descritas nesse texto referem-se aos resultados de pesquisas realizadas no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, da FEB, Faculdade de Engenharia de Bauru, Unesp – Bauru, SP.

O texto divide-se basicamente em uma breve introdução sobre painéis de partículas e o contexto atual, revisão bibliográfica sucinta sobre os principais aspectos a produção de painéis de partículas e, finalmente, os métodos e os principais parâmetros para produção, assim como, a conclusão das pesquisas realizadas.

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS ..... iii
LISTA DE FIGURAS ..... v
LISTA DE GRÁFICOS ..... vi
LISTA DE TABELAS ..... vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS ..... ix
LISTA DE SÍMBOLOS ..... x
RESUMO ..... xi
1. INTRODUÇÃO ..... 1
1.1 Objetivos ..... 5
1.2. Organização do texto ..... 5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 7
2.1. Painéis de partículas ..... 7
2.1.1. Definições e Aspectos Técnicos ..... 7
2.1.2. Histórico e propriedades físico-mecânicas ..... 9
2.2. Matéria-prima ..... 20
2.3. Painéis não estruturais para uso interno em condições secas ..... 26
3. PARÂMETROS DE CONFECÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS ..... 28
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS ..... 28
3.1.1 Madeira Eucaliptos e Cedrinho ..... 28
3.1.2 Espécie Bambu (*Dendrocalamus giganteus*) ..... 29
3.1.3 Adesivos ..... 30
3.1.3.1 Adesivo Uréia-Formaldeído ..... 30
3.1.3.2 Sikabond ..... 32
3.1.3.3 Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona ..... 33
3.1.4 Programa Experimental ..... 34
3.1.4.1 Pesquisa I – Painéis de partículas de Eucaliptos e Bambu ..... 34
3.1.4.2 Pesquisa II – Painéis de partículas de Cedrinho e Bambu ..... 35
3.1.4.3 Pesquisa III – Painéis de partículas de Bambu ..... 35
3.1.4.4 Pesquisa IV – Painéis de partículas com ajustes de parâmetros ..... 36
3.1.5 Seleção e preparação dos cavacos ..... 37
3.1.6 Aplicação do adesivo e mistura dos componentes dos painéis ..... 38
3.1.7 Formação do colchão dos painéis de partículas ..... 39
3.1.8 Prensagem dos painéis de partículas ..... 40

3.1.9 Métodos de ensaio ..... 42
3.2 RESULTADOS OBTIDOS ..... 43
3.2.1 Pesquisa I — Painéis de partículas de Eucaliptos e Bambu ..... 43
3.2.2 Pesquisa II — Painéis de Partículas de Cedrinho e Bambu ..... 45
3.2.3 Pesquisa III — Painéis de partículas de Bambu ..... 48
3.2.4 Pesquisa IV — Painéis de partículas com ajustes de parâmetros ..... 50
3.2.5 Resumo dos resultados das pesquisas I, II, III e IV ..... 53
3.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS ..... 54
3.3.1 Análise para Umidade ..... 55
3.3.2 Análise para Densidade ..... 59
3.3.3 Análise para Inchamento em 24 horas ..... 63
3.3.4 Análise para Tração Perpendicular ..... 67
3.3.5 Análise para Flexão estática (MOR) ..... 71
3.3.6 Análise para o Módulo de elasticidade (MOE) ..... 75
3.3.7 Resumo da análise das pesquisas I, II, III e IV (NBR 14810) ..... 79
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 80
5. RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS ..... 82
6. REFERÂNCIAS BIBLIOGRAFICAS ..... 83

## AGRADECIMENTOS

A Deus,

Pela minha família.
Pelo dom da vida e saúde recuperada.
Pelos amigos que conquistamos ao longo da vida.
Pelas opiniões contrárias que nos fazem crescer e fortalecer.
Pelas derrotas que nos ensinam a ser mais humildes.
O autor expressa seus sinceros agradecimentos a todos os colegas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, que direta ou indiretamente, participaram na elaboração deste trabalho.
Por todas as nossas vitórias.

Na crise você tem duas opções: ou você vai se sentir vítima porque sua proposta não foi aceita ou concretizada ou vai mudar de plano de atuação para atingir suas metas. Certamente, passará por crises que, de tempos em tempos, afetarão suas propostas. Seu plano de atuação estruturado deve sofrer mudanças radicais se for preciso. O importante é nunca deixar de acreditar em seu potencial, por que, que não se adapta entra em extinção.

FOCO
para não distrair

FORÇA
para progredir

FÉ
para persistir

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Vista da organização do resíduo selecionado por traço em laboratório. ..... 38
Figura 3.2. Misturador horizontal de tambor (a) e partículas com adesivo (b). ..... 39
Figura 3.3. Partículas pré-prensadas (a) e colchão de partículas formado (b). ..... 40
Figura 3.4. Prensa hidráulica a quente modelo PHH 80T Marca PHS. ..... 41
Figura 3.5. Prensagem individual do painel de partículas (a) e vários traços de painéis de partículas desenvolvidos nas pesquisas (b). ..... 42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Boxplot e Histograma dos resultados de Umidade (%). ..... 55
Gráfico 3.2. Transformada de Johnson para a Umidade. ..... 56
Gráfico 3.3. Normalidade dos dados transformados da Umidade (P-valor: 0,297). ..... 56
Gráfico 3.4. Boxplot e Histograma dos resultados de Densidade (kg/m³). ..... 59
Gráfico 3.5. Probabilidade Normal para Densidade (kg/m³). ..... 60
Gráfico 3.6. Resíduos versus valores estimados, Densidade (kg/m³). ..... 60
Gráfico 3.7. Boxplot e Histograma dos resultados de Inchamento 24h (%). ..... 63
Gráfico 3.8. Transformada de Johnson para Inchamento durante 24 horas ($T_7$ a $T_{24}$)..... 64
Gráfico 3.9. Normalidade dos dados transformados, $T_7$ a $T_{24}$, para Inchamento 24 h (P-valor: 0,403)..... 64
Gráfico 3.10. Boxplot e Histograma dos resultados de Tração Perpendicular (N/mm²). ..... 67
Gráfico 3.11. Transformada de Johnson para Tração Perpendicular. ..... 68
Gráfico 3.12. Normalidade dos dados transformados da Tração Perpendicular (P-valor: 0,304). . 68
Gráfico 3.13. Boxplot e Histograma dos resultados de Flexão Estática (N/mm²)..... 71
Gráfico 3.14. Transformada de Johnson para Flexão Estática – MOR (N/mm²). ..... 72
Gráfico 3.15. Normalidade dos dados transformados para Flexão Estática - MOR (P-valor: 0,184). ..... 72
Gráfico 3.16. Boxplot e Histograma dos resultados de MOE (N/mm²). ..... 75
Gráfico 3.17. Transformada de Johnson para Módulo de Elasticidade. ..... 76
Gráfico 3.18. Normalidade dos dados transformados para Módulo de Elasticidade (P-valor: 0,138). ..... 76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Conjunto de peneiras, Compensado, MDP e MDF. ..... 16
Tabela 2.2. Característica mecânica e física do Bambu. ..... 23
Tabela 2.3 - Valores médios para espécies de Eucalyptus (NBR 7190, 1997) ..... 24
Tabela 2.4 Valores médios de umidade (%) e densidade aparente (g/cm³) para madeira de sete espécies de *Eucalyptus* ..... 25
Tabela 2.5. Painéis não estruturais para uso interno em condições secas (Tipo P2) ..... 27
Tabela 3.1. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa I). ..... 34
Tabela 3.2. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa II). ..... 35
Tabela 3.3. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa III). ..... 36
Tabela 3.4. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa IV). ..... 36
Tabela 3.5. Resultados do Traço 1 ($T_1$) com 8% de URÉIA-FORMALDEÍDO. ..... 43
Tabela 3.6. Resultados do Traço 2 ($T_2$) com 10% de URÉIA-FORMALDEÍDO. ..... 43
Tabela 3.7. Resultados do Traço 3 ($T_3$) com 12% de URÉIA-FORMALDEÍDO. ..... 44
Tabela 3.8. Resultados do Traço 4 ($T_4$) com 8% de SIKABOND. ..... 44
Tabela 3.9. Resultados do Traço 5 ($T_5$) com 10% de SIKABOND. ..... 44
Tabela 3.10. Resultados do Traço 6 ($T_6$) com 12% de SIKABOND. ..... 45
Tabela 3.11. Resultados do Traço 7 ($T_7$) com 12% de UF (0% Cedrinho e 100% Bambu) .. 45
Tabela 3.12. Resultados do Traço 8 ($T_8$) com 12% de UF (25% Cedrinho e 75% Bambu). . 46
Tabela 3.13. Resultados do Traço 9 ($T_9$) com 12% de UF (40% Cedrinho e 60% Bambu). . 46
Tabela 3.14. Resultados do Traço 10 ($T_{10}$) com 12% de UF (50% Cedrinho e 50% Bambu) .. 46
Tabela 3.15. Resultados do Traço 11 ($T_{11}$) com 12% de UF (60% Cedrinho e 40% Bambu). . 47
Tabela 3.16. Resultados do Traço 12 ($T_{12}$) com 12% de UF (75% Cedrinho e 25% Bambu). . 47
Tabela 3.17. Resultados do Traço 13 ($T_{13}$) com 12% de UF (100% Cedrinho e 0% Bambu). . 47
Tabela 3.18. Resultados do Traço 14 ($T_{14}$) com 12% de SIKABOND. ..... 48
Tabela 3.19. Resultados do Traço 15 ($T_{15}$) com 12% de SIKABOND. ..... 48
Tabela 3.20. Resultados do Traço 16 ($T_{16}$) com 12% de SIKABOND. ..... 49
Tabela 3.21. Resultados do Traço 17 ($T_{17}$) com 12% de SIKABOND. ..... 49
Tabela 3.22. Resultados do Traço 18 ($T_{18}$) com 12% de SIKABOND. ..... 49
Tabela 3.23. Resultados do Traço 19 ($T_{19}$) com 10% de MAMONA (50% Eucaliptos e 50% Bambu) ..... 50
Tabela 3.24. Resultados do Traço 20 ($T_{20}$) com 10% de MAMONA (75% Cedrinho e 25% Bambu) ..... 50
Tabela 3.25. Resultados do Traço 21 ($T_{21}$) com 10% de MAMONA (75% Cedrinho e 25% Bambu). ..... 51

Tabela 3.26. Resultados do Traço 22 ($T_{22}$) com 10% de URÉIA-FORMALDEÍDO (Bambu). 51
Tabela 3.27. Resultados do Traço 23 ($T_{23}$) com 10% de SIKABOND (Bambu). ..... 51
Tabela 3.28. Resultados do Traço 24 ($T_{24}$) com 10% de MAMONA (Bambu). ..... 52
Tabela 3.29 Resumo dos resultados médios para os ensaios físicos e mecânicos. ..... 53
Tabela 3.30 Comparação dos resultados para o ensaio de Umidade (%). ..... 57
Tabela 3.31 Comparação dos resultados para os ensaios de Densidade (kg/m³). ..... 61
Tabela 3.32 Comparação dos resultados para o ensaio de Inchamento em 24 horas. ..... 65
Tabela 3.33 Comparação dos resultados para os ensaios de Tração Perpendicular. ..... 69
Tabela 3.34 Comparação dos resultados para os ensaios Flexão Estática (MOR). ..... 73
Tabela 3.35 Comparação dos resultados para os ensaios de Flexão Estática (MOE). ..... 77
Tabela 3.36 Resumo das análises das pesquisas I, II, III e IV (ABNT NBR 14810). ..... 79
Tabela 4.1 Traços eficientes para todas as variáveis respostas..... 80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**MDF** *Medium Density Fiberboard*

**UF** Uréia-Formaldeído

**UNESP** Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

## LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| L | comprimento |
| $\rho_{ap}$ | densidade aparente da madeira |
| $\delta$ | coeficiente de variação |
| $\mu$ | média |
| U | teor de umidade |
| $f_{c0}$ | resistência à compressão paralela às fibras |
| $f_{t0}$ | resistência paralela às fibras |
| E | módulo de elasticidade |
| n | número de corpos de prova |

**RESUMO**

Com valorização da filosofia do desenvolvimento sustentável, a busca por possíveis soluções para diminuir o desperdício e as perdas de materiais, surge à necessidade de novas pesquisas para produção de painéis de partículas com matérias-primas fibrosas de natureza lignocelulósica. Os painéis de partículas, de maneira geral, são definidas como o produto da aglutinação de pequenas partículas de materiais lignocelulósicos, normalmente com o uso de adesivos sintéticos, sob pressão e calor, por um determinado período de tempo. No Brasil, a produção de painéis de partícula é realizada apenas com madeira de reflorestamento, entretanto, seria interessante o estudo de outros materiais neste processo. As espécies Eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) e Cedrinho (*Cupressus lusitanica*) merecem destaque em virtude do crescimento da área plantada nos últimos anos no Brasil. O Bambu, espécie *Dendrocalamus giganteus*, conhecida como bambu-gigante, adapta-se bem às regiões tropicais e subtropicais e, portanto, tornou-se comum em nosso meio. A produtividade da biomassa do Bambu pode variar entre 50 a 100 ton/ha/ano e a colheita da biomassa do bambu, após o terceiro ano é vantajosa, pois a cultura não necessita de replantio. Esta pesquisa visa estabelecer uma nova alternativa na disposição final destes rejeitos, por meio da produção de compósitos de painéis de partículas e caracterizar suas propriedades físicas e mecânicas em conformidade com as normas NBR 14810-1:2013 e NBR 14810-2:2013. Para tanto, foram produzidas painéis de partículas, em 24 diferentes traços, $T_1$ a $T_{24}$, dividindo-se para melhor organização do texto em Pesquisa I, II, III e IV, com todos os traços detalhados. Tais painéis de partículas foram distinguidos por meio de ensaios normatizados nos quais foram mensurados os coeficientes de teor de umidade, densidade, inchamento durante 24 horas, tração perpendicular, flexão estática (MOR) e flexão estática (MOE). Nos ensaios para as pesquisas I, II e III, os dados obtidos demonstraram traços eficientes a uma determinada variável resposta e ineficientes simultaneamente a outra variável resposta, em relação à norma NBR 14810-1:2013 e NBR 14810-2:2013, assim, elaborou-se novos traços, Pesquisa IV, com o objetivo de atender os requisitos mínimos estabelecidos em norma para as variáveis resposta em não conformidade.

**Palavras chave:** *Eucalyptus grandis, Cupressus lusitanica; Dendrocalamus giganteus* e painéis de partículas.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é considerado de grande importância para a economia do país por apresentar significativa participação no Produto Interno Bruto Nacional, representado por 3,5 % do PIB, ou seja, US $37,3 bilhões (Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS, 2007). Segundo Castro et al. (2010) essa importância é impulsionada pela crescente demanda por produtos madeireiros e pela vasta riqueza em recursos florestais representada pelas espécies nativas. No entanto, o uso destes recursos de forma disseminada e sem controle é uma das causas da poluição ambiental, passando a afetar a sociedade como um todo (DONAIRE, 1995).

Esses programas se justificam nos padrões atuais de produção e consumo, que não são sustentáveis, e no aumento crescente da população, conduzindo à geração de resíduos urbanos e industriais em quantidades cada vez maiores (PIASSI et al., 2007). Ainda para o mesmo autor, é consenso entre os especialistas que o descarte desses resíduos exerce pressão sobre o meio ambiente, causando sérios impactos ambientais e a deterioração das condições de vida, comprometendo a saúde da população e o equilíbrio do meio ambiente.

Em meio a um mercado globalizado, busca-se hoje o desenvolvimento de novos materiais, que possam com eficiência substituir os já existentes, explorando-se as relações custo-benefício que possam vir a trazer uma melhor administração no uso dos recursos naturais e no aproveitamento de resíduos que não encontram destino apropriado, e que poderiam tornar-se matéria-prima de grande potencial no setor industrial (SAMPAIO et al., 2008); logo, visa-se estabelecer uma nova alternativa na disposição final desses resíduos.

Como alternativa, Castro et al. (2010) defende que painéis particulados são produtos com maior valor agregado quando comparados com a madeira in natura ou com os produtos sem industrialização ou semi-industrializados. Portanto, painéis particulados podem ser produzidos com o propósito de aproveitamento de resíduos madeireiros, desde que o controle sobre o material lignocelulósico seja realizado sem que haja prejuízo na qualidade do produto final, visto que as variações entre espécies, tipos de madeira, como também composição química da mesma produzem diferentes efeitos nos painéis particulados

Dentre os produtos à base de madeira, os painéis de partículas são um dos que vêm apresentando as maiores taxas de crescimento, em função da gama de produtos disponíveis e flexibilidade na aplicação para os mais variados fins (BIANCHE et al., 2010).

Os processos de produção, a matéria-prima utilizada em várias formas e geometrias, bem como os aditivos, conferem uma variação bastante ampla às propriedades do produto acabado (BRITO et al., 2004).

Neste âmbito, outro aspecto atrelado à problemática em questão é a busca por novos materiais e resíduos que não só a madeira para a confecção de painéis particulados. Tal fato é notável visto que, como apontado por Melo et al. (2010), em função do aumento do consumo de produtos derivados de madeira, as reservas arbóreas nativas vêm diminuindo, ocasionando a busca por novos materiais lignocelulósicos renováveis que possam suprir, com eficiência, a demanda.

Nesse contexto, o bambu, material que apresenta boas características físico-mecânicas, baixo custo, facilidade de obtenção e trabalhabilidade, vem sendo largamente utilizado como material de construção em países asiáticos e em alguns da América Latina, substituindo com eficiência algumas espécies de madeira em construções diversas (PAES et al., 2009). Do ponto de vista físico-mecânico,

Hiziroglu et al. (2005) descreveram, como vantagem da inclusão de bambu em painéis, o aumento das propriedades de resistência e elasticidade e da estabilidade dimensional. Calegari et al. (2007) concordaram com o uso de colmos de bambu para a produção de chapas aglomeradas, após verificarem que estes se comportaram de maneira similar aquelas produzidas exclusivamente com madeira. Durante os últimos anos, várias pesquisas contribuíram para melhor compreensão das propriedades do bambu e para melhoria das tecnologias de seu uso (MALANIT et al., 2011).

Inúmeras pesquisas avaliaram as propriedades dos compostos feitos de bambu, especialmente produtos para engenharia, e consideraram o efetivo uso do bambu para vários produtos como compensado (Chen 1985), chapas compensadas com fibras orientadas (OSB - Oriented Strand Board) (Lee et al. 1996, 1997; Sumardi et aal 2007, 2008), placas Waferboard (Zhang 2001), placas Zephyr (Nugroho and Ano 2000) e madeira laminada de bambu (Nugroho and Ando 2001). No Brasil já foram contabilizados 34 gêneros e cerca de 232 espécies de bambu, das quais 174 são consideradas endêmicas, o que aponta o potencial para o desenvolvimento de tecnologias ligadas ao bambu e incentivo a estudos de caracterização, conservação e manejo, assim como técnicas relacionadas ao beneficiamento e industrialização dos produtos derivados.

Em função da Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu, conforme Lei nº 12.484, em setembro de 2011, de incentivo a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico voltado para o manejo sustentado, cultivo e das aplicações do bambu, de suas fases de transformação e de comercialização dos produtos derivados do Bambu faz-se necessário pesquisas voltadas ao assunto. A Lei nº 12.484, ainda, incentiva o intercâmbio com instituições congêneres nacionais e internacionais, como por exemplo, a Cooperação Bilateral em Ciência e

Tecnologia na área de desenvolvimento em Bambu, atos assinados entre o Ministério da Ciência e Tecnologia da República Federativa do Brasil e o Ministério da Ciência e Tecnologia da República Popular da China, em abril de 2011.

Com os avanços tecnológicos e a competitividade do mercado torna-se necessária a busca de melhorias na qualidade dos produtos industrializados, destinados à construção civil (MOLINA et al., 2007). O mesmo auto reforça que nesse cenário, voltado para a modernidade e maior qualidade dos materiais, observa-se que a tecnologia tem ampliado a gama de novos produtos derivados da madeira, seja em diferentes formas ou na combinação com outros materiais, associada à busca de benefícios ambientais, mas sempre visando ao melhor desempenho do produto para o fim a que se destina. Neste sentido, o desenvolvimento de materiais alternativos utilizando-se diferentes resíduos sólidos faz-se necessário, e entre as possibilidades de soluções para esta questão, vinculadas à construção civil, destacam-se pesquisas como as de Agopyan (1988), Battistelle et al. (2004), Nascimento (2003) e Silva (2006).

O desenvolvimento das pesquisas apresentadas a seguir justifica-se pela necessidade do conhecimento das propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas compostos por resíduos lignocelulósicos. Os parâmetros avaliados em cada pesquisa foram: Umidade (%), Densidade (kg/m³), Inchamento 24 horas (%), Tração Perpendicular (N/mm²), Flexão Estática — MOR (N/mm²) e Flexão Estática Módulo de elasticidade — MOE (N/mm²). Os ensaios podem contribuir na investigação do comportamento dos painéis de partículas não estruturais no uso interno em condições secas. Assim, os dados coletados nos ensaios serão essências para avaliar suas possibilidades de aplicação em diversos setores industriais, garantindo a eficácia e segurança de sua aplicação.

### 1.1 Objetivos

O principal objetivo deste texto é agrupar as pesquisas realizadas pelo autor sobre Produtos Derivados de Madeira, em especial, a confecção de painéis de partículas. Foram fabricados painéis de partículas lignocelulósicos não estruturais para uso interno em condições secas — P2, e avaliados conforme os requisitos exigidos pela norma NBR 14810-1 (2013) e NBR 14810-2 (2013), para as seguintes condições:

- Pesquisa I – Painéis de partículas de Eucaliptos e Bambu.
- Pesquisa II – Painéis de partículas de Cedrinho e Bambu.
- Pesquisa III – Painéis de partículas de Bambu.
- Pesquisa IV – Painéis de partículas com ajustes de parâmetros.

Pretende-se que este trabalho ampare outros em continuidade dentro da linha de pesquisa em “Materiais de Construção, Convencionais e Alternativos”, Área de Conhecimento: Construção Civil, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNESP FEB.

No futuro, estimulará a criação de uma nova linha de pesquisa no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNESP FEB, a princípio, “Materiais e processos construtivos de baixo impacto ambiental”, para unificar os esforços de pesquisas de docentes que tenham suas atividades relacionadas à caracterização de materiais e em tópicos especiais em Estruturas, por meio de uma investigação conjunta.

### 1.2. Organização do texto

O leitor encontrará, neste texto que sistematiza parte da obra do docente para obtenção de título de livre docente, a estrutura do trabalho descrita a seguir.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sucinta efetuada sobre a preocupação socioambiental da geração de resíduos, conceito de logística reversa, definições e aspetos técnicos, resultados de pesquisas das propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas. Parte dos resultados apresentados originaram subsídios para a elaboração do programa experimental, levantando informações sobre as pesquisas realizadas no exterior e no Brasil.

O capítulo 3 trata do estudo dos parâmetros de confecção de painéis de partícula não estruturais para uso interno em condições secas — P2, com a finalidade de verificar a influência das variáveis das pesquisas e suas interações, de 4 pesquisas orientadas pelo docente após o ingresso na UNESP/FEB, em fevereiro de 2011. Em todas as pesquisas foram avaliadas a Umidade (%), Densidade (%), Inchamento durante 24 horas (%), Tração Perpendicular (N/mm²), Flexão Estática — MOR (N/mm²) e Flexão Estática — MOE (N/mm²) em corpos de prova isentos de defeitos, em concordância com a norma NBR 14810-2 (2013).

O capítulo 4 apresenta as principais conclusões obtidas nas análises experimentais efetuadas.

O capítulo 5 apresenta as referências bibliográficas utilizadas na pesquisa.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentará conceitos sobre uso de resíduos, definições e aspectos técnicos para produção de painéis de partículas para uso interno em condições secas e avaliações de suas propriedades físico-mecânicas.

## 2.1. Painéis de partículas

### 2.1.1. Definições e Aspectos Técnicos

Segundo Stangerlin et al. (2010), os painéis aglomerados são compósitos confeccionados a partir de partículas de materiais lignocelulósicos, em que a madeira é a principal matéria-prima, com a adição de algum aglutinante (adesivo) e consolidado por meio da aplicação de calor e pressão. Na formação das chapas considera-se a umidade, a temperatura, a pressão e a quantidade adequada para cada material utilizado para produção das chapas aglomeradas. MELO et al. (2009) citam que as chapas aglomeradas podem ser produzidas a partir de alguns materiais lignocelulósicos, desde que lhes confiram resistência física, mecânica e biológica adequada. A madeira a ser utilizada pode ser de baixa e média densidade; além da madeira, podem ser utilizadas outras fontes de fibras, como o bambu, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, aparas de papel reciclado, dentre outros. Entretanto, a qualidade final do produto pode ser limitada pela escolha do material.

O termo “partícula” é definido no padrão ASTM D1554 (1999) como o componente agregado de uma chapa de partículas de madeira ou outro material lignocelulósico, incluindo todas as menores subdivisões da madeira, fabricadas por meios mecânicos. O estudo avaliou as propriedades mecânicas e físicas de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões (HASELEIN et al.,

2002). Os tipos de partículas mais comumente usados nos processos de composição de chapas são flocos, maravalhas e fibras, empregadas em tamanhos variados. Segundo Kollman et al. (1975), a dimensão das partículas é uma variável de merecida importância sendo seu tipo e tamanho os principais fatores a serem considerados no processo de fabricação de chapas aglomeradas. Brito e Peixoto (2000), avaliando duas granulométrias de partículas de *Pinus taeda*, afirmam que, uma vez alterada a geometria ou granulométria das partículas, há a necessidade também de se averiguar outras variáveis do processo, sobretudo a melhor proporção de adesivo a ser empregada. A geometria das partículas é outro dos fatores básicos determinantes das características das chapas de partículas (HASELEIN et al., 2002).

Em conjunto com a espécie de madeira, o tipo e a quantidade de resina, os aditivos, a estrutura da chapa formada pela orientação das partículas, a disposição das camadas e as condições de prensagem do colchão determinam as propriedades das chapas aglomeradas. A granulometria das partículas influencia na classificação das chapas as quais podem ser chapas homogêneas e chapas de camadas múltiplas. Nas chapas homogêneas, as partículas com granulometria variada apresentam-se na mesma proporção, resultando numa única operação na formação do colchão. As chapas de camadas múltiplas são formadas por mais de três camadas. As partículas constituintes são distribuídas em operações sucessivas, simetricamente em relação a uma camada central.

As camadas centrais são formadas de partículas maiores e as menores são dispostas nas camadas externas (TONISSI, 1985). Para Vital et al. (1992), o uso de partículas curtas e espessas beneficia a resistência à tração perpendicular, porém ocasiona redução da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática. Essas duas propriedades são melhoradas quando se aumenta o comprimento das partículas. Esse efeito é resultado de alterações na parte

superficial e na flexibilidade das partículas, do consumo relativo de adesivo e da área de contato entre as partículas. Moslemi (1974) estabelece que partículas finas, pequenas e flexíveis geram superfícies livres de vazios. A flexibilidade das partículas não somente tem influência direta no aspecto da superfície e das bordas como também determina, em grande parte, o grau de contato partícula-partícula e, portanto, influencia as propriedades físico-mecânicas das chapas. Conforme Sumardi et al. (2008), as propriedades dos painéis com fibras são fortemente influenciadas pela estrutura das camadas, a densidade, comprimento da fibra, adesivos e o ângulo de alinhamento das fibras.

### 2.1.2. Histórico e propriedades físico-mecânicas

Segundo KOLLMANN et al. (1975), a ideia de produzir chapas de partículas vem sendo desenvolvida ao longo da história. A origem das chapas de madeira aglomerada tem sua primeira patente em 1901, (USP Watson, sob o número 796545). Outras patentes foram se sucedendo a partir de 1929, 1930/36/37, 1940 e 1942, sob o número DRP 967328 Fahrni. Nos anos 40, a primeira produção de chapas de partículas de madeira se efetivou na Alemanha. Em 1946, a indústria aeronáutica mostrou-se interessada na utilização de chapas de partículas; evidentemente as chapas a serem utilizadas deveriam ser de alta qualidade e, nesse momento, iniciou-se a preocupação com a espessura, tipo de adesivo, densidade e resistência das chapas.

Segundo Biazus et al. (2008) a produção brasileira de painel de madeira foi de 7,8 milhões de m³. A taxa de crescimento da produção de madeira reconstruída é superior quando comparada aos demais segmentos do setor florestal.

De acordo com BNDES (2015), no Brasil, no início da década de 1970, o segmento produtor de painéis de chapas de partículas aglomeradas expandiu

consideravelmente. Sua capacidade, tendo como estimulo as expectativas favoráveis sobre a demanda, bem como os incentivos concedidos pelo CDI (Conselho de Desenvolvimento Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio). Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 2006), o Brasil é considerado um dos países mais avançados do mundo na fabricação de particleboard (PB) e de Medium Density Fiberboard (MDF), contando atualmente com o maior número de fábricas de última geração, com produção de 612.000 $m^3$ de MDF, um percentual mundial muito baixo se for considerado o potencial madeireiro do país.

A trajetória de crescimento que vem realizando o mercado nacional de painéis de chapas de partículas deverá continuar. A demanda nacional deverá aumentar à taxa de 10,5% ao ano, exigindo aumento da oferta em cerca de 65% nos próximos cinco anos BNDES (2015).

O painel aglomerado é resultado de adição de adesivo nas partículas de matéria prima lignocelulósica proporcionando não somente a estabilidade de dimensão mas também melhora a distribuição de resistência, e ao mesmo tempo aproveita resíduos, isto evidencia a vantagem ambiental e econômica (MALONEY, 1993 apud MENDES, et al., 2009).

Atualmente são crescentes os investimentos para melhorar a qualidade das chapas de partículas, também para definirem os adesivos e os materiais mais adequados à confecção de chapas de partículas e aplicação destas (VISNARDI et al., 2010).

Na produção de chapas de madeira aglomerada (aglomerados), as principais variáveis de controle do processo produtivo são: densidade do material a ser utilizada, densidade da chapa produzida, geometria e umidade das partículas,

quantidade de resina e ciclo de prensagem (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977 e MALONEY, 1977, apud IWAKIRI et al, 1999).

Do controle destas variáveis dependem as propriedades de resistência e estabilidade dimensional das chapas produzidas, sendo as mais importantes: inchamento em espessura durante 24 horas e resistência à tração perpendicular (adesão interna) (KOLLMAN, KUENZI e STAMM, 1975 e TSOUMIS, 1991, apud IWAKIRI et al, 1999).

Segundo IWAKIRI et al (1999), uma das características das chapas de partículas produzidas no Brasil é o uso de partículas de pequenas dimensões que provoca limitações na estabilidade dimensional e resistência à flexão. Portanto, estas chapas são utilizadas para móveis e ambientes internos (divisórias). Além disso, quanto menor a partícula, maior a área de superfície e maior a quantidade de resina necessária para sua fabricação.

Há inúmeras vantagens de se utilizar os painéis reconstituídos de madeira em relação à madeira em seu estado natural, uma vez que as dimensões dos painéis não estão relacionadas às dimensões das árvores. Há também a possibilidade de se eliminar muitos defeitos provenientes da secagem, da anatomia da árvore, como nós, medula e desvios de crescimento, e reduzir a anisotropia, o que confere ao produto final menor heterogeneidade do que a encontrada na madeira serrada (MENDONÇA, 2008; MELO 2009).

As resinas de uso mais comum atualmente são as compostas por polímeros de ureia formaldeído e fenol formaldeído, sendo a de ureia indicada para uso interior devido a sua baixa resistência à umidade e ao menor custo, e a fenólica utilizada para chapas de uso estrutural e uso exterior devido a maior durabilidade e resistência (KELLY, 1977).

A resina é o material mais dispendioso na produção de uma chapa de partículas, portanto deve-se estar atento quanto ao seu uso e dosagem (IWAKIRI, 1989). Segundo Iwikiri (2005) os principais tipos de resinas utilizados na indústria de madeira reconstruída são:

- Uréia-formaldeído (UF): é a mais empregada pelas indústrias de painéis aglomerados devido ao seu custo ser menor em relação às outras resinas. Tem o limite de emprego interno já que apresenta baixa resistência á umidade. A outra desvantagem de UF é a liberação de formaldeído residual no ambiente fechado durante o tempo de uso. Durante a fabricação, a maior parte deste formaldeído é consumida na reação de cura, outra parte menor é deixado nos vazios, e tende a escapar gradualmente. (Kelly, 1977 apud Wittmann 1962). A grande concentração de UF residual liberado pode ser nocivas para saúde humana, por isso é recomendado o uso de revestimento de uma camada de material impermeável no caso de painel utilizado ter dimensão maior. No entanto, de acordo com Kelly, *o aumento do teor de resina 6-12% (sólidos de resina em peso seco de madeira) não aumentou significativamente a formaldeído residual.*
- Fenol-formaldeído: é utilizado para produção de painéis estruturais como OSB, tem alta resistência a umidade, assim geralmente é destinado para uso externo. A liberação de formaldeído a partir de painel colado de fenol-formaldeído não apresenta problema de UF, devido à irreversibilidade do polímero (Kelly, 1977).
- Melamina-formaldeído: tem custo alto, apresenta alta resistência a umidade, empregado para produção de painéis de fibras de alta densificação “HDF”.

- Isocianato: tem alto custo e alta resistência a umidade, utilizado para fabricação de OSB e colagem de partículas mais úmidas, não apresenta emissão formol livre. Os resultados obtidos nos estudos indicaram que este tem melhor desempenho em relação às resinas fenol-formaldeído e melamina-formaldeído.
- Adesivos alternativos: Existe grande quantidade de adesivos alternativos no mercado, que tem a tendência de atender a demanda de baixa poluição e ecologicamente correto.

De acordo com Kelly (1977) o aumento de teor de adesivo até certo ponto pode melhorar a estabilidade em espessura do painel, ao aumentar as ligações entre partículas. No entanto, até determinado nível, quando as partículas estão totalmente interligadas, o aumento no teor de adesivo não interfere mais na ligação, mas somente eleva a incorporação de partícula pelo adesivo.

Iwakiri et al (2005) observou este comportamento de para os painéis colados com resina ureia-formaldeído ao realizar uma analise estatística, não constatou diferença estatística entre as médias, para o aumento de teor de adesivo, com o aumento na densidade de 700 kg/m³ para 1000 kg/m³.

Nas chapas aglomerados fabricadas com partículas de *Pinus SP*, usando o adesivo uréia-formaldeído com densidades diferentes de 500 kg/m³, 700 kg/m³ e 900 kg/m³, avaliaram-se a influência da densidade no inchamento em espessura durante 2 horas e 24 horas, e constatou-se que o maior inchamento ocorreu chapas aglomeradas mais densas (ALBUQUERQUE, 2002). Ou seja, quando maior a densidade, maior será a porcentagem de inchamento: isso decorre do aumento da quantidade de partículas por volume, e resulta em uma liberação de tensões de compressão. Enquanto nos painéis menos densos, observa-se menor taxa de

inchamento devida a menor consolidação, pois, deixa maior quantidade de vazios que são preenchidos pela água na imersão.

Melo e Menezzi (2010) ao compararem os resultados físicos de chapas aglomerados confeccionados com densidade pré-estabelecidos de 600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³, também, afirmaram: as propriedades de estabilidade dimensional tiveram um comportamento antagônico: maior massa específica, menor absorção e maior inchamento em espessura.

Albuquerque (2002) avaliou o ciclo de prensagem de chapas de aglomerados e porcentagens diferentes de adesivo entre 8% e 12% e variações de ciclo de prensagem. Ao analisar os resultados de MOR e MOE, notou que os corpos de provas confeccionados com 12% de adesivo apresentam valores superiores perante os de 8% de adesivo, resposta justificada pela consolidação mais efetiva das partículas, devido ao maior quantidade de resina disponível em sua superfície.

Iwakiri et al (2005) comentam que com o aumento da densidade das chapas de aglomerado resulta no incremento positivo nos resultados das propriedades mecânicas, observados em traços elaborados com 7% a 12% de Uréia-Formaldeído.

Quanto a influencia nas características físicas das chapas de aglomerado, o aumento no teor de resina garante maior encobrimento de material, além de reduzir os espaços vazios, ainda dificulta o contato da água com material lenhoso. Portanto, com o aumento da proporção de 8% para 12% de adesivo uréia-formaldeído, ocorreu à dedução do inchamento na espessura durante os ensaios de imersão de 2 horas e 24 horas (Albuquerque, 2002).

Ao consolidar os componentes na fabricação das chapas aglomeradas, por compactação do colchão, os espaços vazios entre as partículas são suprimidos e o contato superficial entre seus componentes aumenta o recobrimento do adesivo sobre as partículas. Por isso, o pré-estabelecimento da densidade considerando as

características da matéria prima podem garantir boa ligação interna (ALBUQUERQUE, 2002).

Outro fator que influi nas propriedades mecânicas de uma chapa de partículas é a dimensão e forma das próprias partículas. A geometria de partículas é um dos fatores básicos determinantes das propriedades e características das chapas aglomeradas, juntamente com espécies da madeira, tipo e quantidade de resina e outros aditivos. Uma vez que se altera a geometria ou a granulometria de partículas, há a necessidade também de se averiguar a melhor proporção de adesivos a serem empregados, entre outras variáveis do processo (BODIG & JAYNE, 1982 apud Peixoto & BRITO, 2000). Yano, H. et al. (2000) concluiu que a diminuição do tamanho das partículas não resultam essencialmente na diminuição da resistência à flexão.

Miyamoto et al. (2002) pôde determinar em um experimento no qual ele trabalhou com diversos tamanhos e formatos de partículas que a expansão linear, das chapas aglomeradas, a 40ºC e 90% de umidade relativa foi afetada pela geometria das partículas, assim como ele observou que em chapas com partículas menores apresentaram uma maior expansão linear.

Em um estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados MDF e MDP para produção de painéis aglomerados, realizado por Weber (2011) foram usados cavacos com as seguintes dimensões: 4,0 mm, 2,0 mm, 0,84 mm, 0,50 mm e 0,42 mm. Sendo a distribuição percentual desses cavacos a seguinte (Tabela 2.1):

Tabela 2.1 Conjunto de peneiras, Compensado, MDP e MDF.

| CONJUNTO DE (mm) | PENEIRAS (ASTM) | COMPENSADO (%) | MDP (%) | MDF (%) |
|---|---|---|---|---|
| 4,00 | 5[1] | 2,86 | 1,32 | 95,20 |
| 2,00 | 9[2] | 27,19 | 27,10 | 0,96 |
| 0,84 | 20[3] | 48,91 | 54,26 | 0,88 |
| 0,50 | 32[4] | 14,92 | 13,33 | 1,23 |
| 0,40 | 35[5] | 2,52 | 1,63 | 0,43 |
| fundo | fundo | 3,60 | 2,36 | 1,30 |

NOTAS: [1] Partículas retidas na peneira ASTM 5, com abertura de 4,0 mm. [2]Partículas que passaram na peneira ASTM 5 e ficaram retidas na peneira ASTM 9, com abertura de 2,0 mm. [3]Partículas que passaram na peneira ASTM 9 e ficaram retidas na peneira ASTM 20, com abertura de 0,84 mm. [4]Partículas que passaram na peneira ASTM 20 e ficaram retidas na peneira ASTM 32, com abertura de 0,50 mm. [5]Partículas que passaram na peneira ASTM 32 e ficaram retidas na peneira ASTM 35, com abertura de 0,40 mm.

Após a determinação da distribuição granulométrica dos cavacos, os resíduos de compensado, MDP e MDF foram combinados para produção de chapas aglomeradas e as chapas foram ensaiadas para determinação de suas propriedades físicas e mecânicas. Entre os painéis produzidos com resíduos puros e 10% de resina, os painéis com MDF (maior número de partículas grossas) apresentaram as melhores médias nas propriedades físicas, enquanto os painéis com MDP (maior número de partículas finas) se destacaram nas propriedades mecânicas. Entre os painéis produzidos com misturas de resíduos, os painéis com MDP e MDF apresentaram as melhores médias nas propriedades físicas. A interação das partículas de MDF com as partículas de compensado e de MDP nas misturas apresentaram bons resultados.

Durante a segunda guerra mundial, o primeiro painel de bambu foi desenvolvido na China, usado como alternativa de madeira compensada no interior de um aeronave, a partir de então 28 produtos de painéis com bambu foram desenvolvidos segundo Ganapathy et al. (1996).

Atendendo a demanda do mercado, os produtos desenvolvidos são fabricados em escala industrial. Durante o processo de fabricação, os resíduos são inevitavelmente gerados, como subproduto de laminado colado de bambu, menos da metade dos colmos são utilizados para a obtenção de lâminas, ainda durante o processo de preparação do painel colado, são obtido mais que 30% de resíduos na plaina para os bambus *calcooa* e *vulgaris* (BISWAS et al., 2011). Surgiu então o interesse de usar este material na fabricação de painel aglomerado ou misturado com os resíduos de matérias primas de fibras lignocelulósicas, em forma de chapas reconstruídas que oferecem dimensões controladas e desejadas, podendo agregar valor final aos resíduos, e, ao mesmo tempo, apresentando interesse econômico e de aproveitamento máximo de recursos naturais. Segundo o autor, as pesquisas afirmam que os painéis reconstruídos feitos de bambu apresentam propriedade física e mecânica conforme exigido pela norma ASTM, ou em alguns casos, apresenta maior resistência do que os painéis de madeira disponíveis no mercado.

Calegari et al. (2007) confirmaram em sua pesquisa que o uso de colmos de bambu pode ser uma alternativa viável para a produção de chapas aglomeradas, pois se comporta de maneira similar as chapas produzidas exclusivamente de madeira. Produziu traços com a madeira eucalipto e Bambu combinados ou puros, e percebeu que chapas confeccionadas com maior porcentagem de madeira reduz o inchamento em espessura avaliado em 2 horas e 24 horas, ainda, observou um comportamento semelhante em chapas produzidas com bambu sem epiderme.

Ganapathy et al. (1996) fizeram um levantamento de pesquisas em torno dos grandes variedades de painéis que têm o bambu como sua principal matéria prima desenvolvido até então, e concluíram que apesar de intensas pesquisas nos últimas décadas, ainda existe falta de normalização e métodos de ensaios padronizados.

Ainda, outra dificuldade é o reconhecimento dos produtos desenvolvidos e o incentivo para a fabricação em escala industrial.

De acordo com Papadopoulos et al. (2004) as partículas de bambu são mais compridas e finas do que as partículas de madeira, como resultado a razão entre o comprimento para a espessura é maior que do que as partículas de madeira. A densidade aparente das partículas de bambu determinada em sua pesquisa foi próxima ao da madeira o que mostra a semelhança de características entre estes dois materiais e justifica a sua combinação ou substituição de uma por outra. Os autores encontraram resultados satisfatórios com aplicação de 10% de resina ureia-formaldeído para as chapas fabricadas com bambu.

A sensibilidade dos materiais lignocelulósicos em serem atacados por micro-organismo é o principal fator que confere a qualidade dos painéis. Os painéis que apresentam elevada durabilidade natural ao ataque dos fungos podem ser destacados por um alto grau de nobreza, conferindo-lhes uma ampla área de utilização. Stangerlin et al. ( 2011) observaram que a os painéis fabricados com 100% de bambu apresentam resistência biológica satisfatório, semelhante dos painéis fabricados de madeira. A resistência dos painéis confeccionados com os dois materiais mostrou resistência moderada. No entanto, a pesquisa também revela que todos os painéis fabricados têm resistência superior em comparação a madeira de referência que passou pelo os mesmos testes. Os autores também confirmam que a os painéis fabricados possuem classificação moderadamente resistente e podem ser utilizados em ambiente não adverso, como uso interno que os painéis geralmente são aplicados.

Segundo Malanit et al. (2011) os painéis feitos de bambu apresentaram valores elevados de MOR e MOE, entretanto, o mesmo resultado não foi observado para nos resultados de tração perpendicular. Os autores indicaram que é possível

obter o melhoramento deste resultado através da alteração nos parâmetros de fabricação, por exemplo, com o desenvolvimento de uma resina específica para o bambu poderá minimizar esta problema.

Hiziroglu et al. (2005) estudaram a fabricação de chapas de aglomerados com bambu e com adição de outras matérias primas, por exemplo, palha de arroz e a madeira eucalipto. Observou-se que a composição mais promissora foi à constituída por 50% de Eucalipto e 50% de Bambu e alcançou a maior resistência mecânica à flexão e a tração, entre os outros traços, o que revela a boa interatividade entre partículas de bambu e eucalipto. Os autores exploraram o potencial destes recursos subutilizados misturadas para a fabricação de painéis experimentais, com a intenção de agregar valor ao produto final.

Os autores confirmaram que os painéis feitos usando 100% de casca de arroz são o menos resistente e não atendem as exigências da normatização da indústria do Japão. No entanto, quando se reduz a composição da casca de arroz para 15% e 75% de Bambu as propriedades físicas e mecânicas atendem esta norma. Os painéis feitos com 100% de bambu apresentam o menor índice de inchamento aproximadamente de 12,9% (HIZIROGLU et al., 2005). A pesquisa informa que os traços podem ser utilizados para fabricação de chapas de aglomerado, entretanto, a adição de maior quantidade de adesivo pode melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, no caso, na pesquisa utilizou-se 8% de ureia-formaldeído. Os autores recomendam uma extensão desta pesquisa com a fabricação de novas chapas com variações diferentes de consumo de adesivo e densidades diferentes.

### 2.2. Matéria-prima

No que tange os painéis de partículas, considera-se que a matéria-prima pode ser:

- Material florestal proveniente de desbaste e poda;
- Resíduos industriais grosseiros, tais como costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas, etc;
- Resíduos industriais finos tais como pó-de-serra e cavacos de plaina;
- Cavacos de madeira dos beneficiamentos de indústria de móveis e carpintaria;
- Materiais lignocelulósicos como bambu, bagaço de cana, palha de arroz e outros resíduos agrícolas puros ou misturados com partículas de madeira.

Iwakiri (2004) afirma que as indústrias de chapas de aglomerados e de fibras, no Brasil, consomem um volume significativo de madeiras provenientes de florestas plantadas de Pinus e algumas espécies de Eucalipto. Para atender à demanda cada vez mais crescente pela madeira, existe a necessidade de não somente aumentar a área de plantio com essas espécies, mas também procurar outras espécies de rápido crescimento que possam contribuir, de forma quantitativa e qualitativa, para suprir as necessidades das indústrias.

Para Sampaio et al. (2008) os estudos concernentes ao potencial tecnológico de espécies alternativas (bambu) de rápido crescimento para usos múltiplos são de grande importância, tendo em vista aumentar a oferta de matéria-prima no setor industrial de base florestal, além de contribuir para minimizar as pressões ambientais sobre o uso de florestas nativas. Possuindo alta resistência e dureza superficial, flexibilidade superior e propriedades estáveis, o bambu é também um vegetal de crescimento rápido e um material lignocelulósico que tem mostrado possuir senão

iguais, melhores propriedades físicas e mecânicas em comparação com algumas espécies comerciais de madeira (SUMARDI et al., 2007). Ele tem ganhado crescente interesse nos últimos anos como material alternativo à madeira e materiais feitos de madeira e pode ser usado como matéria-prima para painéis de madeira.

No Brasil, o bambu foi introduzido na época da colonização pelos imigrantes japoneses. A espécie *Dendrocalamus giganteus*, conhecida como bambu-gigante, adapta-se bem às regiões tropicais e subtropicais e, portanto, tornou-se comum em nosso meio. Essa espécie é considerada pelo seu alto porte, apresentando colmos com altura de 24 a 40 m, internódios variando entre 0,40 e 0,50 m, diâmetro médio de 0,10 a 0,20 m e com uma parede espessa, que varia de acordo com a altura do colmo (BATISTTELLE et al., 2009). Nisgoski et al. (2010) afirma que tal espécie caracteriza-se como espécie ideal para o processo de manufatura de lâminas para painéis em virtude de possuir, em média, um índice de aproveitamento maior dentre as espécies comerciais. Também pode ser utilizado na indústria de polpa e papel, utensílios domésticos e alimento, entre outros produtos. Em relação à forma, disposição do tecido esclerenquimático, bainhas das fibras, tipos de estruturas de feixes fibrovasculares e suas variações, Grosser e Liese (1971, 1974) realizaram diversos estudos em 52 espécies e 14 gêneros de bambus. Geralmente as fibras do bambu contribuem com 60-70% do peso total do tecido do colmo, podendo ter variações entre os gêneros e espécies, parte disso está relacionado com os diversos tipos de feixes vasculares (GROSSER e LIESE 1971, 1974; WEN e CHOU 1987).

Em geral a constituição anatômica dos colmos de bambu é formada por 50% do parênquima, 40% de fibras e 10% de tecidos, vasos e tubos perfurados (LIESE e GROSSER, 1972). De acordo com Higuchi (1957) a composição química do bambu é similar à madeira; Kollman e Côté (1968) afirmam que as variações na densidade dos tecidos lenhosos tem sua origem nas diferenças estruturais, na presença de

extrativos e também pela composição química. Os principais constituintes do bambu são celulose, poliose e lignina que compreendem 90% da massa total. Além da celulose e lignina, contêm outros compostos orgânicos em menores quantidades como as resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos. Para Feng et al. (2002) o alto teor de extrativos em álcool benzeno pode ser uma vantagem para a resistência à degradação.

PEREIRA et al (2010) realização o acompanhamento de plantio do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* durante 15 anos realizado na área agrícola da UNESP/FEB, Campus Bauru. A espécie apresentou bom desenvolvimento e adaptação às condições locais, mostrando a partir do seu oitavo ano uma tendência de estabilidade, com uma produção média anual de aproximadamente 1392 colmos/ha/ano.

O bambu tem a vantagem que a colheita de colmos não interfere na continuação da existência da moita, o manejo na exploração não interfere no ecossistema, os colmos podem ser utilizados em forma natural, assim reduzindo possíveis impactos ambientais provenientes de processos de transformação, além disso seus rizomas tecem uma malha por baixo da terra, contendo a erosão e evitando colapso de margens de rios e morros (CAVERSAN, 2010).

Ao contrario dos países Asiáticos que usam o bambu tradicionalmente em diversas áreas como construção, fabricação de moveis, papel, carvão e alimentação. No Brasil, utilizar-se apenas no meio rural, como cercas, estrados, comedouros, esteiras, cestos, forros, proteção de terrenos, quebra-vento, controle de erosão, carvão, drenagem, condução de água, lazer, abrigo para a vida silvestre. Já na área urbana, é utilizado na indústria de fabricação de móveis (FREIRE & BERALDO, 2003). Atualmente, no estudo de Bambu, os pesquisadores encontram dificuldades para padronização dos resultados de pesquisa em função de não existir uma norma

técnica nacional sobre o assunto. Isso é um desafio, pois os resultados obtidos dependem fortemente de vários parâmetros inerentes a cada espécie. Após 2,5 anos de idade o bambu obtém resistência mecânica para uso estrutural, entretanto, as propriedades físicas e mecânicas entre as espécies de bambu podem variar conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Característica mecânica e física do Bambu.

| Propriedades | Resistência |
|---|---|
| Resistência á compressão paralela às fibras (MPa) | 20 a 120 |
| Resistência à tração paralela às fibras (MPa) | 40 a 215 |
| Resistência à flexão (MPa) | 57 a 133 |
| Massa específica (Kg) | 600 a 1000 |

Garbino (2004) avaliou os procedimentos de ensaio e metodologia para a preparação de amostras do Bambu *Dendrocalamus Giganteus*, em Bauru, empregando-se, com as devidas adaptações, a norma ABNT NBR 7190:1997, Anexo B, e concluíram que a adaptação desta para utilização nos ensaios de propriedades físicas e mecânicas do bambu foi adequada, ou como ponto inicial, favorecerá a normatização de ensaios de caracterização de propriedades físicas do material bambu no futuro.

Por outro lado, a floresta plantada de madeira é considerada uma solução para atender a demanda crescente do mercado e manutenção de floresta nativa e biodiversidade, por apresentar alta velocidade de crescimento. Terezo et al (2006) a floresta nativa se recupera a base de 11 m³/ha/ano, enquanto o reflorestamento pode oferecer, no mínimo, 20 m³/ha/ano. Isto significa que cada hectare reflorestado garante a proteção de 20 hectares de mata nativa.

A norma ABNT 7190 (1997, p.90) apresenta os valores médios das propriedades de rigidez e resistência de algumas madeiras nativas e de florestamento. A Tabela 2.3 os valores médios para espécies de *Eucalyptus*, em especial, para espécie *Eucalyptus grandis* de 640 kg/m³.

Tabela 2.3 - Valores médios para espécies de Eucalyptus (NBR 7190, 1997)

| Nome comum (dicotiledôneas) | Nome cientifico | $\rho_{ap\ (12\%)}$ [1] Kg/m³ | $f_{c0}$ [2] MPa | $f_{t0}$ [3] MPa | $f_{t90}$ [4] MPa | $f_v$ [5] MPa | $E_{c0}$ [6] MPa | [7] n |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E. Alba | *Eucalyptus alba* | 705 | 47,3 | 69,4 | 4,6 | 9,5 | 13409 | 24 |
| E. Camaldulensis | *Eucalyptus camaldulensis* | 899 | 48,0 | 78,1 | 4,6 | 9,0 | 13286 | 18 |
| E. Citriodora | *Eucalyptus citriodora* | 999 | 62,0 | 123,6 | 3,9 | 10,7 | 18421 | 68 |
| E. Cloeziana | *Eucalyptus cloeziana* | 822 | 51,8 | 90,8 | 4,0 | 10,5 | 13963 | 21 |
| E. Dunni | *Eucalyptus dunni* | 690 | 48,9 | 139,2 | 6,9 | 9,8 | 18029 | 15 |
| E. Grandis | *Eucalyptus grandis* | 640 | 40,3 | 70,2 | 2,6 | 7,0 | 12813 | 103 |
| E. Maculata | *Eucalyptus maculata* | 931 | 63,5 | 115,6 | 4,1 | 10,6 | 18099 | 53 |
| E. Maidene | *Eucalyptus maidene* | 924 | 48,3 | 83,7 | 4,8 | 10,3 | 14431 | 10 |
| E. Microcorys | *Eucalyptus microcorys* | 929 | 54,9 | 118,6 | 4,5 | 10,3 | 16782 | 31 |
| E. Paniculata | *Eucalyptus paniculata* | 1087 | 72,7 | 147,4 | 4,7 | 12,4 | 19881 | 29 |
| E.Propinqua | *Eucalyptus propinqua* | 952 | 51,6 | 89,1 | 4,7 | 9,7 | 15561 | 63 |
| E. Punctata | *Eucalyptus punctata* | 948 | 78,5 | 125,6 | 6,0 | 12,9 | 19360 | 70 |

[1] $\rho_{ap\ (12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.
[2] $f_{c0}$ é a resistência à compressão paralela às fibras.
[3] $f_{t0}$ é a resistência à tração paralela às fibras.
[4] $f_{t90}$ é a resistência à tração normal às fibras.
[5] $f_v$ é a resistência ao cisalhamento.
[6] $E_{c0}$ é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.
[7] n é o número de corpos-de-prova ensaiados.
NOTAS
1 As propriedades de resistência e rigidez apresentadas neste anexo foram determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo.
2 Coeficiente de variação para resistência a solicitações normais: $\delta$ = 18%.
3 Coeficiente de variação para resistência a solicitações tangenciais: $\delta$ = 28%.

No Brasil, a experiência de florestas plantadas associada às condições favorável de clima, solo fértil, novas tecnologias e investimentos no setor poderá propiciar o suprimento de recurso florestal (NOCE et al., 2008).

O estudo realizado por Oliveira & Hellmeister (1998) de caracterização da Madeira de sete espécies de *Eucalyptus* para a Construção Civil encontro, em especial, para espécie de *Eucaliptus grandis* uma densidade aparente, com umidade de 12%, de 550 kg/m³, conforme Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Valores médios de umidade (%) e densidade aparente (g/cm³) para madeira de sete espécies de *Eucalyptus*

| ESPÉCIE | N[1] | UMIDADE (%) | | DENSIDADE APARENTE (g/cm³) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Verde[2] | UEH | DB | DA(12) | DUE | DS |
| *E. paniculata* | 80 | **49,0** | **9,7 CD[3]** | **0,72 A** | **0,92 A** | **0,94** | **0,91 A** |
| | | (7,0) | (0,6) | (0,05) | (0,06) | (0,06) | (0,07) |
| | | (14,3) | (6,6) | (6,7) | (6,3) | (6,7) | (7,4) |
| *E. citriodora* | 80 | **53,4** | **9,6 D** | **0,73 A** | **0,89 AB** | **0,89** | **0,87 A** |
| | | (12,1) | (1,1) | (0,07) | (0,09) | (0,09) | (0,09) |
| | | (22,6) | (11,4) | (9,9) | (10,2) | (10,2) | (10,9) |
| *E. cloeziana* | 80 | **63,3** | **11,2 A** | **0,69 A** | **0,85 B** | **0,85** | **0,81 B** |
| | | (19,5) | (1,3) | (0,10) | (0,13) | (0,13) | (0,09) |
| | | (30,7) | (11,8) | (13,9) | (14,9) | (14,9) | (10,9) |
| *E. tereticornis* | 80 | **70,0** | **10,6 B** | **0,63 B** | **0,79 C** | **0,79** | **0,76 B** |
| | | (23,0) | (1,2) | (0,11) | (0,13) | (0,13) | (0,13) |
| | | (32,8) | (11,2) | (17,1) | (16,7) | (16,3) | (15,7) |
| *E. pilularis* | 80 | **77,5** | **10,0 C** | **0,58 C** | **0,73 D** | **0,73** | **0,70 C** |
| | | (26,3) | (0,3) | (0,11) | (0,13) | (0,13) | (0,13) |
| | | (34,0) | (6,2) | (18,4) | (18,5) | (18,2) | (19,0) |
| *E. urophylla* | 80 | **91,0** | **9,5 D** | **0,52 D** | **0,67 E** | **0,69** | **0,66 C** |
| | | (26,9) | (0,7) | (0,11) | (0,14) | (0,14) | (0,14) |
| | | (29,5) | (7,6) | (20,2) | (21,2) | (20,7) | (20,9) |
| *E. grandis* | 80 | **93,2** | **8,8 E** | **0,46 E** | **0,55 F** | **0,55** | **0,53 D** |
| | | (24,0) | (0,5) | (0,08) | (0,11) | (0,11) | (0,11) |
| | | (25,7) | (5,9) | (18,0) | (19,5) | (20,3) | (20,8) |

[1] – número de observações;
[2] – valores entre parêntesis são desvio padrão (%; g/cm³) e coeficiente de variação em (%), respectivamente;
[3] – médias seguidas pela mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância igual a 5%.
* Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH), Densidade Básica (DB) e Densidade Aparente desde a condição anidra ou seca (DS), passando pela umidade de equilíbrio (DUE), até o valor na condição de umidade igual a 12% (DA(12)). Sendo esta última uma referência, em termos de caracterização da madeira a nível internacional.

De acordo com ABRF (2012) a área ocupada por plantios florestais de Eucaliptos e *Pinus* no Brasil totaliza 6510693 ha no ano 2012, sendo 73,0% correspondente à área de plantio de Eucalipto e 27% ao plantio de *Pinus*.

A idade da madeira eucalipto não influência significativa à absorção de água, inchamento e resistência à flexão e tração, no entanto os painéis feitos com madeira mais nova de 7 anos, por exemplo, apresenta valores maiores de resistência à tração perpendicular (adesão interna) e compressão paralela (MENDES, et al., 2009).

O plantio de árvores é um fator contribuinte para a geração de emprego, aumento da renda familiar, diminuição do êxodo rural e do comércio de madeiras de florestas nativas. De outro lado, as indústrias siderúrgicas, de papel e celulose, de móveis, compensados e laminados e outras que demandam matéria prima uniforme servem como fator importante de estimulo para o reflorestamento (TEREZO et al, 2006).

### 2.3. Painéis não estruturais para uso interno em condições secas

Os painéis de partículas de média densidade são classificados em seis tipos, conforme norma NBR 14810-2 (2013), sendo:

- P2 — painéis não estruturais para uso interno em condições secas;
- P3 — painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- P4 — painéis estruturais para uso em condições secas;
- P5 — painéis estruturais para uso em condições úmidas;
- P6 — painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas;
- P7 — painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições úmidas;

A Tabela 2.5 apresenta os requisitos estabelecidos na norma NBR 14810-2 (2013) para painéis não estruturais para uso interno em condições secas (Tipo P2). O painel deverá apresentar uma densidade entre 551 kg/m³ a 750 kg/m³ (NBR 14810-1, p.3).

Tabela 2.5. Painéis não estruturais para uso interno em condições secas (Tipo P2)
Requisitos para propriedades mecânicas e inchamento

| **Propriedades** | **Métodos de ensaio** | **Unidade** | **Requisitos, por faixa de espessura nominal** (mm) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **< 3** | **3 a 4** | **> 4 a 6** | **> 6 a 13** | **> 13 a 20** | **> 20 a 25** | **> 25 a 32** | **> 32 a 40** | **> 40** |
| Inchamento durante 24 horas | Anexo L | % | 26 | 24 | 21 | 18 | 18 | 15 | 15 | 14 | 14 |
| Resistência à tração Perpendicular | Anexo J | N/mm² | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,20 |
| Resistência à flexão estática | Anexo K | | 13 | 13 | 12 | 11 | 11 | 10,5 | 9,5 | 8,5 | 7 |
| Módulo de elasticidade | | | 1800 | 1800 | 1950 | 1800 | 1600 | 1500 | 1350 | 1200 | 1050 |
| NOTA $1MPa = \frac{1\ \mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ x 1 000 000 $= \frac{1\ \mathrm{kgf}}{\mathrm{cm}}$ x 10.1972 | | | | | | | | | | | |

Fonte: NBR 14810-2 (2013, p.2).

# 3. PARÂMETROS DE CONFECÇÃO DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS

Neste capítulo são apresentadas pesquisas desenvolvidas para determinar os valores mais adequados para quantidade de adesivo, partículas de madeira ou bambu para produção de painéis de partículas com materiais lignocelucósicos.

## 3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1.1 Madeira Eucaliptos e Cedrinho

Os resíduos de Eucaliptos e Cedrinho, utilizados na pesquisa, foram coletados de indústrias madeireira da Cidade de Bauru e do Horto Florestal de Bauru, SP.

A espécie de reflorestamento *Eucalipto Grandis,* uma folhosa, segundo Ferreira et al.(1979), tem densidade média varia entre 430 kg/m³ a 520 kg/m³, com tendência de aumento de densidade proporcional ao idade de arvore. A espécie Cedrinho (*Cupressus lusitanica*) é uma árvore, originária do México e América Central, apesar do nome popular "cedrinho", é na verdade um cipreste que produz madeira clara, leve e de baixa densidade. Ao contrário do alburno, o cerne apresenta excelente durabilidade, o que justifica seu uso em aplicações nobres como na indústria naval e moveleira.

De acordo com Pereira & Higa (2003), muitas são do gênero *Cupressus*, que inclui um grande número de espécies de ocorrência natural na Europa, na Ásia e nas Américas do Norte e Central. No Brasil, a espécie mais plantada é *C. lusitanica Mill.* A madeira do cedrinho é considerada de baixa densidade (madeira leve, em torno de 410 kg/m³). Porém, ela apresenta alta estabilidade dimensional, não

sofrendo alterações significativas em suas dimensões mesmo com a secagem (não ocorre encolhimento).

### 3.1.2 Espécie Bambu (*Dendrocalamus giganteus*)

A espécie *Dendrocalamus giganteus* é cultivado no bambuzal da UNESP, Campus de Bauru. Os resíduos de bambu foram obtidos no Laboratório de Experimentação em bambu da UNESP, gerado durante o processo de fabricação de artesanatos.

O bambu, que pertence à subfamília dos Babusoidae, é o grupo mais diverso de plantas na família das gramíneas. Com um ciclo de maturidade de 3 a 4 anos, o bambu é uma das plantas renováveis com crescimento mais rápido. Algumas plantas crescem a uma taxa de um metro por dia na época de crescimento. O Bambu é uma planta robusta e é tolerante em solos pobres, topografia e clima (HIZIROGLU et al., 2005), ocorrendo principalmente em zonas tropicais e subtropicais. Ele tem duas partes distintas: o rizoma e o caule; o caule, chamado de colmo, é a parte acima do terreno que contém a maioria do material fibroso (BISWAS et al., 2010).

A espécie *Dendrocalamus giganteus* possui as seguintes características:

- **Descrição:** Espécie de bambu gigante tipo moita, de altura grande.
- **Altura dos colmos:** 24-60 metros
- **Diâmetro dos colmos:** 10-20 cm
- **Espessura da parede:** Parede espessa, 1-3 cm
- **Clima e Solo:** Regiões tropicais úmidas até regiões sub-tropicais; usualmente prefere solos ricos.Temperatura mínima = -2ºC
- **Distribuição natural:** SriLanka; Bangladesh; Nepal; Tailândia; China; introduzido na Indonésia, Malásia e Filipinas.

- **Usos mais comuns:** Muito usado para construções e para confecção de bambu laminado colado; também usado para fabricação de polpa e papel, utensílios domésticos e alimento.
- **Pesquisa atual:** Em vários campos
- **Uso Potencial:** Produção de brotos; expansão da indústria de bambu laminado colado.
- **Necessidades de trabalhos:** Manejo, agronomia e melhoramento.

O crescimento médio diário do colmo é de aproximadamente 40 cm/dia e contêm 46,09% de massa fibrosa, colmos até 30 m de altura e entre 20 cm a 30 cm de diâmetro, com massa especifica seca 790 kg/m³ (BERALDO e FREIRE, 2003).

### 3.1.3 Adesivos

Foram utilizados os seguintes adesivos nas pesquisas: (1) Uréia-formaldeído — UF, (2) Sikabond e (3) Adesivo poliuretano à base de óleo de mamona — PU.

#### 3.1.3.1 Adesivo Uréia-Formaldeído

Para adesão dos resíduos ligno-celulósicos, são empregados diferentes tipos de adesivos, dentre os quais se podem citar: os de origem animal, os sintéticos termorrígidos e os sintéticos termoplásticos (PEDRAZZI et al., 2006). Na classe dos sintéticos termorrígidos, os adesivos à base de ureia-formaldeído, conforme mencionado por MELO et al. (2010), são empregados em 90% de todos os painéis aglomerados produzidos no mundo. Os principais fatores que contribuem para amplitude de aplicação da ureia-formaldeído (UF) se devem ao baixo custo, à rápida reação em prensa quente, ao fácil manuseio, ser incolor e à solubilidade em água.

Segundo NASCIMENTO (2003), a ureia-formaldeído é uma resina à base de uréia-formaldeído que tem solução aquosa, e é própria para a fabricação de chapas de partículas de madeira aglomeradas. Produto líquido, de aparência branca leitosa, com pH variando entre 7,8 a 8,2 e densidade entre 1,275 – 1,298 (g/cm3), este produto apresenta emissão de formol quando utilizado na prensagem de chapas, conforme informações fornecidas pelo fabricante do produto. Sua cura é processada através da redução do pH (ácido) com a adição de catalisador. Na cura quente utiliza-se como catalisador o cloreto ou sulfato de amônia e é processada com temperatura entre 90 e 130°C. Sua vida útil no estado líquido é limitada (no máximo 90 dias em temperatura ambiente). Quando armazenada em temperatura entre 4°C e 6°C, a vida útil passa de 6 meses a 12 meses. Esta resina apresenta boa resistência à umidade e baixo custo em relação a outros adesivos.

Os adesivos são classificados quanto ao tempo de cura e à temperatura utilizada na prensagem à quente. Os adesivos de alta temperatura superam os 90°C. Já os de temperatura média estão entre 30°C e 90°C e os de temperatura baixa estão abaixo de 30°C. Segundo esta classificação, o adesivo à base de Uréia-formaldeído (UF) é considerado de alta temperatura. Demais características relevantes são:

- Apresenta boa resistência à umidade;

- Baixo custo em relação aos outros adesivos;

- Cura-se à temperatura ambiente ou à temperatura alta (90°C à 130°C);

- Sua coloração é clara e possibilita a combinação com extensores de origem vegetal para reduzir ainda mais seu custo;

- Não resiste a ambiente muito úmido e quente;

- Sua vida útil no estado líquido é muito limitada (no máximo 90 dias em temperatura ambiente).

Ressalta-se, então, a escolha do adesivo à base de ureia-formaldeído por este ser de uso tradicional no campo de chapas de partículas aglomeradas. No entanto, o fato desse ser um produto tóxico traz incômodo por esta ser uma pesquisa de cunho socioambiental, visando, entre outros aspectos, o respeito ao meio-ambiente e à sustentabilidade.

Segundo Nascimento (2003) o sulfato de amônia $(NH_4)_2SO_4$ é normalmente disponível em forma de pó branco. É um sólido cristalino de estrutura rômbica, inodoro e de sabor salgado. Solúvel em água e insolúvel em álcool e acetona absorve umidade do ar e produz o gás amônia na reação com álcalis. Possui inúmeras aplicações entre elas como fertilizante nitrogenado, nutriente de microorganismos para produção de enzimas, aditivo em alimentos para melhorar aspecto, no beneficiamento de couros, em papéis resistentes à chama, na produção de pós para extintores, como agente de cura de resinas para chapas de madeira, como aditivo em banhos de tinturas para tecidos, em alimentos para gado e na produção de fermentos.

Características:

- Massa específica: 1770 kg/$m^3$
- Ponto de fusão: 235-280ºC (decompõe)
- Solubilidade a 20ºC: 75g em 100g de água
- pH: 5 (solução 100 g em 1l de água)

#### 3.1.3.2 Sikabond

A proposta de utilizar o adesivo Sikabond para a fabricação de painéis de partículas está aliada a busca da sustentabilidade, uma vez que, é considerado um adesivo ecologicamente correto. O adesivo elástico SikaBond® T54 FC é mono

componente, isento de solventes, e possui os certificados EMICODE EC 1 “emissão muito baixa” e GISCODE PU 10 “isento de solvente”.

#### 3.1.3.3 Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona

Foi utilizada a resina bi-componente poliuretana à base de óleo de mamona constituída a partir de um poliól 25040 e um pré-polímero A249 com a relação estequiométrica de mistura de 1 parte em massa do poliól 25040 para 1 parte em massa de pré-polímero A249. Segundo ARAÚJO (1998) a resina tem a vantagem de não ser agressiva ao homem e ao meio ambiente. Além disto, o óleo de mamona utilizado na fabricação do pré-polímero é proveniente de um recurso natural e renovável.

### 3.1.4 Programa Experimental

Foi feito um planejamento experimental para fabricação de **painéis de partícula não estruturais para uso interno em condições secas — P2**, com a finalidade de verificar a influência das variáveis das pesquisas e suas interações, buscando determinar os valores ideais para os parâmetros de fabricação de painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos, conforme os seguintes trabalhos orientados pelo docente após o ingresso na UNESP/FEB, em fevereiro de 2011:

- **Pesquisa I** – Painéis de partículas de Eucaliptos e Bambu.
- **Pesquisa II** – Painéis de partículas de Cedrinho e Bambu.
- **Pesquisa III** – Painéis de partículas de Bambu.
- **Pesquisa IV** – Painéis de partículas com ajustes de parâmetros.

#### 3.1.4.1 Pesquisa I – Painéis de partículas de Eucaliptos e Bambu

Na pesquisa I avaliaram-se as propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas fabricados com a madeira Eucaliptos e o Bambu (*Dendrocalamus giganteus*), com consumos diferentes do adesivo uréia-formaldeído e do adesivo Sikabond de 8%, 10% e 12%, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa I).

| TRAÇOS | Porcentagens de cavacos (%) | | Adesivo | (%) |
|---|---|---|---|---|
| | Eucalipto | Bambu | | |
| $T_1$ | 50 | 50 | Uréia-formaldeído | 8 |
| $T_2$ | 50 | 50 | Uréia-formaldeído | 10 |
| $T_3$ | 50 | 50 | Uréia-formaldeído | 12 |
| $T_4$ | 50 | 50 | Sikabond | 8 |
| $T_5$ | 50 | 50 | Sikabond | 10 |
| $T_6$ | 50 | 50 | Sikabond | 12 |

### 3.1.4.2 Pesquisa II – Painéis de partículas de Cedrinho e Bambu

Na pesquisa II avaliaram-se as propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas fabricados com diferentes proporções da madeira cedrinho (*Cupressus lusitanica*) e do Bambu (*Dendrocalamus giganteus*), com adição de 12% da resina uréia-formaldeído, conforme os traços estabelecidos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa II).

| TRAÇOS | Porcentagens de cavacos (%) | | Adesivo | (%) |
|---|---|---|---|---|
| | Cedrinho | Bambu | | |
| $T_7$ | 0 | 100 | Uréia-formaldeído | 12 |
| $T_8$ | 25 | 75 | Uréia-formaldeído | 12 |
| $T_9$ | 40 | 60 | Uréia-formaldeído | 12 |
| $T_{10}$ | 50 | 50 | Uréia-formaldeído | 12 |
| $T_{11}$ | 60 | 40 | Uréia-formaldeído | 12 |
| $T_{12}$ | 75 | 25 | Uréia-formaldeído | 12 |
| $T_{13}$ | 100 | 0 | Uréia-formaldeído | 12 |

### 3.1.4.3 Pesquisa III – Painéis de partículas de Bambu

Na pesquisa III avaliaram-se as propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas fabricados com Bambu (*Dendrocalamus giganteus*), com diferentes distribuições de cavacos e consumo de 12% do adesivo Sikabond, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa III).

| TRAÇOS | Dimensão dos cavacos (mm) | | | | | | | Adesivo | (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4,75 | 4,00 | 3,35 | 2,80 | 2,00 | 0,84 | 0,42 | | |
| $T_{14}$ | 0 | 32 | 8 | 16 | 24 | 20 | 0 | Sikabond | 12 |
| $T_{15}$ | 8 | 24 | 24 | 4 | 20 | 15 | 5 | Sikabond | 12 |
| $T_{16}$ | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 10 | 10 | Sikabond | 12 |
| $T_{17}$ | 24 | 8 | 24 | 12 | 12 | 5 | 15 | Sikabond | 12 |
| $T_{18}$ | 32 | 0 | 24 | 8 | 8 | 8 | 20 | Sikabond | 12 |

### 3.1.4.4 Pesquisa IV – Painéis de partículas com ajustes de parâmetros

Na pesquisa IV, após avaliação dos resultados obtidos nas pesquisas I, II e III, foram produzidos novos painéis de partículas com ajustes no parâmetro de confecção para aprimorar os resultados de cada grupo. Foram produzidos os seguintes traços com ajustes de parâmetros (Tabela 3.4):

Tabela 3.4. Definição dos traços e respectivas porcentagens (Pesquisa IV).

| TRAÇOS | Porcentagens de cavacos (%) | | Adesivos | (%) |
|---|---|---|---|---|
| | Eucalipto | Bambu | | |
| $T_{19}$ | 50 | 50 | Mamona | 10 |

| TRAÇOS | Porcentagens de cavacos (%) | | Adesivos | (%) |
|---|---|---|---|---|
| | Cedrinho | Bambu | | |
| $T_{20}$ | 75 | 25 | Sikabond | 10 |
| $T_{21}$ | 75 | 25 | Mamona | 10 |

| TRAÇOS | Dimensão dos cavacos de Bambu (mm) | | | | | | | Adesivos | (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4,75 | 4,00 | 3,35 | 2,80 | 2,00 | 0,84 | 0,42 | | |
| $T_{22}$ | 8 | 24 | 24 | 4 | 20 | 15 | 5 | Uréia-formaldeído | 10 |
| $T_{23}$ | 8 | 24 | 24 | 4 | 20 | 15 | 5 | Sikabond | 10 |
| $T_{24}$ | 8 | 24 | 24 | 4 | 20 | 15 | 5 | Mamona | 10 |

Os traços com ajustes referem-se aos traços $T_5$ (Pesquisa I), $T_{12}$ (Pesquisa II) e $T_{15}$ (Pesquisa III) com a seguinte finalidade:

- $T_{19}$ (referente ao Traço $T_5$): aumentar a densidade, reduzir a umidade e aplicar o adesivo de Mamona para reduzir o inchamento durante 24 horas;
- $T_{20}$ e $T_{21}$ (referente ao Traço $T_{12}$): diminuir a umidade e avaliar os adesivos Sikabond e Mamona na resposta ao ensaio de Tração Perpendicular em substituição do Uréia-formaldeído;
- $T_{22}$, $T_{23}$ e $T_{24}$ (referente ao Traço $T_{15}$): reduzir a umidade, densidade e avaliar a redução do consumo de adesivo Sikabond de 12% para 10%, ainda, avaliar o desempenho dos adesivos Uréia-formaldeído (10%) e Mamona (10%) para comparação.

### 3.1.5 Seleção e preparação dos cavacos

Os resíduos de Eucaliptos, Cedrinho e Bambu foram transformados em cavacos pelo moinho de facas e após a moagem utilizou-se peneiras para classificação de sua granulometria.

Nas pesquisas I e II utilizaram-se a peneira com malha de 4,0 mm no primeiro peneiramento para reter cavacos acima dessa medida, após utilizou-se a peneira de 1,2 mm, separando-se assim as partículas finas. Os cavacos retidos entre as peneiras de 4,0 mm e 1,2 mm foram utilizados e definidos como “partículas grossas”. Os cavacos peneirados pela malha 1,2 mm foram definidos como “partículas finas”. Na pesquisa I e II foram empregados 20% em peso de partículas finas e 80% em peso de partículas grossas.

Após as partículas estarem peneiradas e secas pesaram-se 1450g de resíduo conforme os traços estabelecidos anteriormente necessários para fabricação de um painel de partícula, em balança com capacidade máxima de 2,0 kg, resolução de

0,01 g, fabricante Toledo. Para organizar o processo de produção dos painéis de partícula o material foi embalado individualmente em saco plástico e etiquetado (Figura 4.1).

Figura 3.1. Vista da organização do resíduo selecionado por traço em laboratório.

### 3.1.6 Aplicação do adesivo e mistura dos componentes dos painéis

Os painéis de partículas foram fabricados com três tipos de adesivos com aplicação manual e após mistura mecanizada:

(1) Uréia-formaldeído;

(2) Sikabond

(3) Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

Os adesivos foram aplicados conforme as porcentagens para cada traço apresentados nas tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

Para obtenção de boa homogeneidade da mistura de todos os produtos empregados na produção de painéis de partículas foi utilizado um misturador horizontal de tambor com capacidade para 137 litros, disponível no Laboratório de Experimental de Madeira e Bambu (FEB). Ele contém um eixo com pás posicionadas em linhas com ângulo de 120° entre elas. O tempo de mistura foi de 5 minutos, para cada uma dos painéis fabricados. A Figura 4.2 apresenta uma vista geral do misturador horizontal de tambor. Segundo MALONEY (1977) deve haver

homogeneidade de distribuição do adesivo nas partículas para assegurar propriedades uniformes sobre toda a extensão dos painéis de partícula.

(a)

(b)

Figura 3.2. Misturador horizontal de tambor (a) e partículas com adesivo (b).

### 3.1.7 Formação do colchão dos painéis de partículas

A mistura retirada do tambor horizontal foi levada para uma fôrma quadrada de madeira com dimensões de 45 x 45 cm, apoiada em um prato de metal forrado com filme de PVC, que evita que a adesão das partículas nos pratos da prensa. A distribuição da mistura é feita manualmente da forma mais homogênea possível e pré-compactada com um soquete de madeira. Após a distribuição, é realizada uma pré-prensagem para acomodação das partículas de forma homogênea. Posteriormente, o colchão pode ser levado até os pratos da prensa. Essa etapa é importante, pois um painel de partículas mal formado apresentará modificações nas suas propriedades devido à variação de densidade em sua extensão. Na sequência, a fôrma é retirada, ficando apenas o colchão de partículas que é levado até a prensa. A Figura 3.3 a seguir ilustra as partículas pré-prensadas e o colchão de partículas formado.

(a) (b)

Figura 3.3. Partículas pré-prensadas (a) e colchão de partículas formado (b).

### 3.1.8 Prensagem dos painéis de partículas

Em todas as pesquisas utilizou-se a Prensa Hidráulica Quente modelo PHH (Figura 3.4) fabricada pela empresa “PHS Máquinas Hidráulicas Ltda”, com capacidade de 80 toneladas e temperatura máxima de 200ºC. Esta prensa encontra-se nos Laboratórios de Processamento da Madeira e de Experimentação com Bambu da Faculdade de Engenharia da UNESP Bauru.

Após a pré-prensagem manual, que tem como objetivo a redução da altura e consistência do painel, o colchão foi colocado na a Prensa Hidráulica Quente modelo PHH e foi prensado. O painel de partículas permaneceu na prensa durante 5 minutos, 100ºC, sob uma pressão de aproximadamente 33 Kgf/cm², o que corresponde a uma força de 67 toneladas aplicada sobre uma área de 2.025 cm², em seguida aliviou-se totalmente a pressão e deixou-se o vapor acumulado na prensagem sair, para evitar a formação de bolha, durante 30 segundos, depois disso, continuou-se a prensagem com a mesma condição anterior por mais 5 minutos.

Após a retirada dos painéis de partículas da prensa eles permaneceram na posição vertical para que se resfriassem naturalmente. Os painéis permaneceram 72 horas em repouso para completa cura dos adesivos. Após esse tempo eles foram

esquadrejadas numa serra circular esquadrejadeira da marca BALDAN Maquinas e Equipamentos Ltda, modelo SEC –3R e retirados os corpos de prova de dimensões especificadas pela norma ABNT 14810-2 (2013) para os diversos ensaios programados em todas as pesquisas.

É muito importante considerar o conjunto de condições sob o qual as partículas são prensadas e consolidadas, tais como: temperatura, pressão e tempo de prensagem. Esta fase do processo é conhecida como ciclo de prensagem, onde ocorre a consolidação do material no qual são definidas, em grande parte, as propriedades finais do produto (FPL, 1999; OLMOS, 1992).

Figura 3.4. Prensa hidráulica a quente modelo PHH 80T Marca PHS.

A Figura 3.5 apresenta o processo de prensagem individual de cada painel de partículas e exemplos dos vários traços dos painéis de partículas desenvolvidos na pesquisa.

(a) (b)

Figura 3.5. Prensagem individual do painel de partículas (a) e vários traços de painéis de partículas desenvolvidos nas pesquisas (b).

### 3.1.9 Métodos de ensaio

Os ensaios para avaliação do teor de umidade, densidade, inchamento durante 24 horas, resistência à tração perpendicular, resistência à flexão estática e módulo de elasticidade foram realizados por intermédio de corpos de prova confeccionados segundo a NBR 14810-2:2013. Para a realização destes ensaios utilizou-se a máquina universal de ensaios da marca EMIC, com capacidade de 300 kN.

## 3.2 RESULTADOS OBTIDOS

### 3.2.1 Pesquisa I — Painéis de partículas de Eucaliptos e Bambu

Nas tabelas 3.5 a 3.10 são apresentados os valores obtidos nos ensaios realizados nos painéis de partículas compostos por 50% de madeira Eucaliptos e 50% de madeira Bambu, com consumos diferentes do adesivo uréia-formaldeído e do adesivo Sikabond de 8%, 10% e 12%.

Tabela 3.5. Resultados do Traço 1 ($T_1$) com 8% de URÉIA-FORMALDEÍDO.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,8 | 9,0 | 8,3 | 8,7 | 9,2 | 8,5 | 7,9 | 8,1 | 8,4 | 8,6 | 8,6 |
| Densidade (kg/m³) | 653 | 658 | 651 | 615 | 674 | 651 | 662 | 597 | 639 | 680 | 648 |
| Inchamento 24 horas (%) | 33,4 | 32,8 | 34,1 | 30,2 | 30,3 | 30,7 | 28,9 | 34,8 | 34,2 | 35,5 | 32,5 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,15 | 0,38 | 0,78 | 0,47 | 0,94 | 1,23 | 0,66 | 0,78 | 0,64 | 0,24 | 0,63 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 10 | 12 | 8 | 8 | 11 | 10 | 13 | 9 | 10 | 12 | 10 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1254 | 1397 | 1598 | 1206 | 1542 | 1247 | 1634 | 1658 | 1502 | 1954 | 1499 |

Tabela 3.6. Resultados do Traço 2 ($T_2$) com 10% de URÉIA-FORMALDEÍDO.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,7 | 7,9 | 9,0 | 8,3 | 7,9 | 8,1 | 8,2 | 8,6 | 8,0 | 9,0 | 8,4 |
| Densidade (kg/m³) | 701 | 723 | 659 | 666 | 651 | 668 | 654 | 678 | 691 | 681 | 677 |
| Inchamento 24 horas (%) | 25,8 | 18,9 | 36,5 | 34,8 | 33,6 | 34,3 | 35,9 | 34,6 | 31,1 | 30,3 | 31,6 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,78 | 0,41 | 0,38 | 0,33 | 0,26 | 0,54 | 0,64 | 1,14 | 1,26 | 0,74 | 0,65 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 8 | 15 | 9 | 11 | 10 | 9 | 13 | 8 | 13 | 12 | 11 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1654 | 1708 | 1914 | 1567 | 1721 | 1467 | 1348 | 1902 | 1794 | 1659 | 1673 |

Tabela 3.7. Resultados do Traço 3 ($T_3$) com 12% de URÉIA-FORMALDEÍDO.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,3 | 8,2 | 8,0 | 7,9 | 8,1 | 9,3 | 8,8 | 8,6 | 9,2 | 8,3 | 8,5 |
| Densidade (kg/m³) | 659 | 764 | 654 | 749 | 666 | 687 | 712 | 623 | 701 | 701 | 692 |
| Inchamento 24 horas (%) | 33,2 | 38,9 | 36,7 | 32,1 | 29,4 | 28,9 | 32,6 | 30,6 | 29,2 | 33,3 | 32,5 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,54 | 1,26 | 0,89 | 1,06 | 0,38 | 0,37 | 0,61 | 0,49 | 0,57 | 0,78 | 0,70 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 16 | 8 | 17 | 10 | 12 | 9 | 13 | 10 | 14 | 13 | 12 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1722 | 2135 | 1857 | 1542 | 2298 | 1624 | 2498 | 1654 | 1578 | 1425 | 1833 |

Tabela 3.8. Resultados do Traço 4 ($T_4$) com 8% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,6 | 8,7 | 9,1 | 8,6 | 8,7 | 8,8 | 9,0 | 9,0 | 8,8 | 8,8 | 8,8 |
| Densidade (kg/m³) | 661 | 652 | 567 | 624 | 615 | 634 | 675 | 652 | 648 | 669 | 640 |
| Inchamento 24 horas (%) | 31,1 | 31,8 | 30,6 | 32,1 | 31,7 | 25,3 | 29,3 | 34,5 | 33 | 32,8 | 31,2 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,21 | 0,27 | 1,78 | 2,05 | 0,40 | 0,33 | 1,89 | 2,32 | 0,56 | 0,37 | 1,02 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 9 | 12 | 7 | 6 | 11 | 8 | 14 | 13 | 11 | 8 | 10 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1170 | 1035 | 1353 | 1754 | 1481 | 1524 | 1674 | 1277 | 1272 | 1623 | 1416 |

Tabela 3.9. Resultados do Traço 5 ($T_5$) com 10% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,6 | 8,3 | 8,6 | 8,8 | 8,5 | 8,6 | 8,2 | 8,5 |
| Densidade (kg/m³) | 693 | 634 | 635 | 638 | 671 | 732 | 634 | 691 | 667 | 669 | 666 |
| Inchamento 24 horas (%) | 33,2 | 31,7 | 27,6 | 32,7 | 30,6 | 32,1 | 35,5 | 34,3 | 31,6 | 25,7 | 31,5 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 2,01 | 0,33 | 0,45 | 1,89 | 1,57 | 0,98 | 0,83 | 0,68 | 0,78 | 1,02 | 1,05 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 13 | 15 | 18 | 10 | 13 | 8 | 11 | 12 | 9 | 12 | 12 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1857 | 1990 | 1648 | 1467 | 1480 | 1593 | 2234 | 2258 | 1974 | 1605 | 1811 |

Tabela 3.10. Resultados do Traço 6 ($T_6$) com 12% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 9,0 | 9,3 | 8,9 | 8,8 | 9,1 | 8,5 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,0 | 8,6 |
| Densidade (kg/m³) | 721 | 653 | 748 | 716 | 622 | 654 | 701 | 689 | 681 | 711 | 690 |
| Inchamento 24 horas (%) | 34,0 | 37,9 | 34,9 | 29,7 | 36,2 | 28,9 | 32,6 | 37,1 | 30,4 | 33,5 | 33,5 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 2,05 | 0,53 | 0,39 | 0,44 | 2,36 | 1,40 | 0,36 | 2,37 | 2,06 | 2,37 | 1,43 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 15 | 18 | 12 | 8 | 13 | 18 | 19 | 13 | 10 | 8 | 13,4 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2245 | 1864 | 1964 | 1635 | 1857 | 1964 | 1649 | 1452 | 1358 | 2354 | 1834 |

### 3.2.2 Pesquisa II — Painéis de Partículas de Cedrinho e Bambu

Nas tabelas 3.11 a 3.17 são apresentados os valores obtidos nos ensaios realizados, nos painéis de partículas compostos por madeira Cedrinho e Bambu, em porcentagens diferentes indicadas nas Tabelas, com 12% de adesivo uréia-formaldeído (UF):

Tabela 3.11. Resultados do Traço 7 ($T_7$) com 12% de UF (0% Cedrinho e 100% Bambu)

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 6,7 | 7,6 | 7,6 | 6,5 | 6,1 | 5,7 | 6,2 | 6,0 | 5,6 | 5,8 | 6,4 |
| Densidade (kg/m³) | 798 | 784 | 773 | 690 | 751 | 733 | 711 | 759 | 753 | 735 | 749 |
| Inchamento 24 horas (%) | 8,0 | 8,8 | 13,3 | 11,3 | 14,0 | 15,7 | 11,8 | 14,8 | 9,8 | 13,6 | 12,1 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,18 | 0,22 | 0,63 | 0,61 | 0,41 | 0,15 | 0,46 | 0,12 | 0,31 | 0,14 | 0,32 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 9 | 8 | 12 | 12 | 9 | 12 | 10 | 8 | 13 | 10 | 10 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2269 | 1874 | 2742 | 2390 | 2268 | 3023 | 2169 | 1628 | 2995 | 2457 | 2381 |

Tabela 3.12. Resultados do Traço 8 ($T_8$) com 12% de UF (25% Cedrinho e 75% Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 6,0 | 5,9 | 6,5 | 5,3 | 5,7 | 5,6 | 5,1 | 5,5 | 5,5 | 5,7 | 5,7 |
| Densidade (kg/m³) | 711 | 684 | 604 | 693 | 709 | 709 | 782 | 727 | 695 | 754 | 707 |
| Inchamento 24 horas (%) | 15,0 | 15,4 | 16,8 | 14,7 | 13,4 | 14,8 | 15,3 | 15,9 | 14,5 | 11,9 | 14,8 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,06 | 0,09 | 0,18 | 0,18 | 0,16 | 0,11 | 0,24 | 0,16 | 0,15 | 0,19 | 0,15 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 9 | 8 | 10 | 14 | 11 | 12 | 11 | 13 | 11 | 10 | 11 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2236 | 1620 | 2207 | 3063 | 2667 | 2778 | 2845 | 2968 | 2314 | 2102 | 2480 |

Tabela 3.13. Resultados do Traço 9 ($T_9$) com 12% de UF (40% Cedrinho e 60% Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,7 | 7,7 | 8,4 | 7,1 | 6,7 | 7,4 | 6,9 | 6,6 | 5,8 | 6,1 | 7,1 |
| Densidade (kg/m³) | 723 | 721 | 686 | 755 | 727 | 714 | 709 | 709 | 750 | 724 | 722 |
| Inchamento 24 horas (%) | 13,3 | 9,4 | 13,6 | 11,1 | 9,4 | 15,4 | 14,9 | 16,7 | 10,9 | 12,4 | 12,7 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,14 | 0,12 | 0,1 | 0,18 | 0,04 | 0,09 | 0,13 | 0,18 | 0,18 | 0,15 | 0,13 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 8 | 11 | 9 | 10 | 8 | 9 | 13 | 11 | 9 | 10 | 10 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1680 | 2284 | 2073 | 2527 | 1966 | 2093 | 2618 | 2656 | 1721 | 2112 | 2173 |

Tabela 3.14. Resultados do Traço 10 ($T_{10}$) com 12% de UF (50% Cedrinho e 50% Bambu)

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,8 | 8,3 | 7,7 | 6,5 | 6,3 | 6,1 | 7,4 | 7,2 | 7,3 | 6,8 | 7,2 |
| Densidade (kg/m³) | 775 | 764 | 718 | 788 | 765 | 770 | 709 | 683 | 684 | 756 | 741 |
| Inchamento 24 horas (%) | 12,9 | 12,8 | 9,4 | 10,2 | 11,9 | 13,4 | 14,7 | 14,8 | 13,6 | 11,7 | 12,5 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,20 | 0,16 | 0,27 | 0,18 | 0,14 | 0,06 | 0,12 | 0,09 | 0,37 | 0,29 | 0,19 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 9 | 10 | 7 | 13 | 8 | 10 | 7 | 6 | 8 | 7 | 8 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1799 | 2118 | 1589 | 2619 | 1675 | 2016 | 1497 | 1279 | 1605 | 1478 | 1768 |

Tabela 3.15. Resultados do Traço 11 ($T_{11}$) com 12% de UF (60% Cedrinho e 40% Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 9,2 | 8,0 | 8,5 | 8,3 | 8,4 | 7,4 | 6,5 | 6,1 | 5,9 | 6,6 | 7,5 |
| Densidade (kg/m³) | 610 | 788 | 653 | 803 | 748 | 761 | 741 | 802 | 799 | 759 | 746 |
| Inchamento 24 horas (%) | 8,4 | 13,2 | 11,3 | 12,3 | 13,6 | 12,9 | 8,8 | 13,7 | 19,0 | 14,8 | 12,8 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,23 | 0,34 | 0,39 | 0,35 | 0,29 | 0,18 | 0,21 | 0,38 | 0,28 | 0,28 | 0,29 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 12 | 7 | 8 | 12 | 9 | 10 | 8 | 9 | 13 | 14 | 10 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2169 | 1736 | 1919 | 2285 | 1691 | 2068 | 1769 | 1821 | 2298 | 2495 | 2025 |

Tabela 3.16. Resultados do Traço 12 ($T_{12}$) com 12% de UF (75% Cedrinho e 25% Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 7,8 | 8,1 | 7,5 | 7,6 | 8,4 | 7,0 | 7,0 | 6,8 | 6,6 | 7,2 | 7,4 |
| Densidade (kg/m³) | 739 | 769 | 752 | 729 | 760 | 812 | 734 | 679 | 749 | 764 | 749 |
| Inchamento 24 horas (%) | 13,2 | 12,4 | 11,2 | 12,4 | 7,8 | 12,3 | 12,3 | 12,2 | 13,1 | 15,0 | 12,2 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,21 | 0,30 | 0,42 | 0,26 | 0,33 | 0,23 | 0,26 | 0,39 | 0,26 | 0,21 | 0,29 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 12 | 9 | 11 | 10 | 10 | 12 | 12 | 15 | 14 | 10 | 11 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2031 | 1843 | 2263 | 2120 | 1905 | 2402 | 2499 | 2737 | 2559 | 1915 | 2227 |

Tabela 3.17. Resultados do Traço 13 ($T_{13}$) com 12% de UF (100% Cedrinho e 0% Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 6,3 | 7,2 | 6,3 | 7,4 | 6,2 | 6,8 | 7,9 | 6,7 | 7,5 | 6,0 | 6,8 |
| Densidade (kg/m³) | 788 | 668 | 777 | 738 | 679 | 756 | 753 | 742 | 667 | 779 | 735 |
| Inchamento 24 horas (%) | 15,6 | 12,9 | 13,4 | 13,5 | 16,9 | 15,2 | 16,1 | 15,1 | 12,7 | 13,9 | 14,5 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,14 | 0,22 | 0,37 | 0,35 | 0,20 | 0,19 | 0,22 | 0,17 | 0,44 | 0,39 | 0,27 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 11 | 8 | 8 | 9 | 11 | 11 | 7 | 10 | 14 | 10 | 10 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2090 | 1534 | 1569 | 1720 | 2035 | 1923 | 1401 | 2125 | 2414 | 1917 | 1873 |

### 3.2.3 Pesquisa III — Painéis de partículas de Bambu

Nas tabelas 3.18 a 3.22 são apresentados os valores obtidos nos ensaios realizados, nos painéis de partículas compostos por Bambu com diferentes distribuições de cavacos, com consumo de 12% do adesivo Sikabond, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.18. Resultados do Traço 14 ($T_{14}$) com 12% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 13,6 | 13,1 | 12,8 | 13,6 | 7,7 | 7,7 | 7,4 | 8,5 | 7,7 | 9,9 | 10,2 |
| Densidade (kg/m³) | 750 | 794 | 792 | 825 | 855 | 834 | 812 | 822 | 774 | 796 | 805 |
| Inchamento 24 horas (%) | 15,2 | 19,4 | 18,2 | 18,5 | 20,2 | 22,7 | 16,0 | 16,0 | 12,1 | 20,0 | 17,8 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,28 | 0,45 | 0,63 | 0,61 | 0,71 | 0,28 | 0,46 | 0,12 | 0,31 | 0,24 | 0,41 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 9 | 9 | 11 | 13 | 11 | 9 | 8 | 14 | 14 | 17 | 12 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1857 | 2211 | 2744 | 3033 | 3153 | 2517 | 2110 | 2918 | 3238 | 3345 | 2713 |

Tabela 3.19. Resultados do Traço 15 ($T_{15}$) com 12% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 7,5 | 7,0 | 7,4 | 7,7 | 9,4 | 7,3 | 7,4 | 8,9 | 7,6 | 7,4 | 7,8 |
| Densidade (kg/m³) | 720 | 786 | 836 | 820 | 858 | 813 | 826 | 791 | 797 | 743 | 799 |
| Inchamento 24 horas (%) | 11,6 | 6,2 | 10,7 | 12,4 | 10,8 | 8,7 | 10,0 | 10,7 | 8,4 | 11,5 | 10,1 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,45 | 0,38 | 0,74 | 0,81 | 0,17 | 0,19 | 0,89 | 0,74 | 0,64 | 0,13 | 0,51 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 8 | 7 | 17 | 19 | 18 | 14 | 16 | 16 | 13 | 15 | 14 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2229 | 1910 | 3197 | 3576 | 3294 | 3070 | 3014 | 2789 | 2710 | 2779 | 2857 |

Tabela 3.20. Resultados do Traço 16 ($T_{16}$) com 12% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 8,8 | 9,0 | 8,5 | 8,7 | 8,3 | 8,4 | 9,5 | 9,0 | 7,8 | 7,7 | 8,6 |
| Densidade (kg/m³) | 675 | 703 | 765 | 811 | 849 | 822 | 747 | 825 | 725 | 771 | 769 |
| Inchamento 24 horas (%) | 30,5 | 28,3 | 23,3 | 29,9 | 31,0 | 10,1 | 16,4 | 15,2 | 31,1 | 35,5 | 25,1 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,67 | 0,84 | 0,51 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,54 | 0,49 | 0,61 | 0,74 | 0,49 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 6 | 7 | 14 | 15 | 15 | 16 | 18 | 17 | 17 | 19 | 14 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1259 | 1370 | 2827 | 2814 | 2693 | 2816 | 3478 | 3076 | 3124 | 3186 | 2664 |

Tabela 3.21. Resultados do Traço 17 ($T_{17}$) com 12% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 10,1 | 10,1 | 9,7 | 10,2 | 9,8 | 9,8 | 9,7 | 9,6 | 9,9 | 9,9 | 9,9 |
| Densidade (kg/m³) | 827 | 819 | 838 | 785 | 795 | 778 | 825 | 818 | 785 | 781 | 805 |
| Inchamento 24 horas (%) | 16,6 | 14,9 | 13,3 | 13,3 | 13,1 | 14,3 | 11,5 | 21,9 | 21,4 | 21,9 | 16,2 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,48 | 0,57 | 0,86 | 0,64 | 0,81 | 0,79 | 0,15 | 0,18 | 0,49 | 0,21 | 0,52 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 9 | 7 | 13 | 10 | 12 | 13 | 14 | 14 | 17 | 16 | 13 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1757 | 1638 | 2530 | 2176 | 2574 | 2606 | 2853 | 3028 | 3119 | 2909 | 2519 |

Tabela 3.22. Resultados do Traço 18 ($T_{18}$) com 12% de SIKABOND.

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 7,8 | 7,5 | 8,7 | 8,1 | 8,4 | 7,7 | 7,5 | 7,6 | 8,6 | 7,8 | 8,0 |
| Densidade (kg/m³) | 789 | 784 | 863 | 699 | 631 | 795 | 657 | 763 | 705 | 755 | 744 |
| Inchamento 24 horas (%) | 23,7 | 25,5 | 17,8 | 22,2 | 26,1 | 28,0 | 28,8 | 31,4 | 20,9 | 19,7 | 24,4 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,52 | 0,61 | 0,39 | 0,49 | 0,83 | 0,76 | 0,33 | 0,16 | 0,25 | 0,48 | 0,48 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 10 | 10 | 8 | 6 | 7 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1492 | 1652 | 1669 | 1813 | 1864 | 1953 | 2234 | 2520 | 2316 | 1916 | 1943 |

### 3.2.4 Pesquisa IV — Painéis de partículas com ajustes de parâmetros

Nas tabelas 3.23 a 3.28 são apresentados os valores obtidos para os painéis de partículas com ajustes de parâmetros. Os detalhes dos traços podem ser observados na Tabela 3.4.

Tabela 3.23. Resultados do Traço 19 ($T_{19}$) com 10% de MAMONA (50% Eucaliptos e 50% Bambu)

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 5,6 | 5,1 | 5,2 | 6,0 | 4,9 | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 5,1 | 5,0 | 5,4 |
| Densidade (kg/m³) | 739 | 715 | 764 | 749 | 712 | 689 | 749 | 727 | 729 | 736 | 731 |
| Inchamento 24 horas (%) | 17,1 | 17,7 | 19,7 | 23,4 | 22,9 | 24,3 | 18,1 | 17,4 | 19,6 | 17,4 | 19,8 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,69 | 1,34 | 1,89 | 1,15 | 1,07 | 0,92 | 0,74 | 0,56 | 0,78 | 1,24 | 1,04 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 15 | 19 | 17 | 12 | 18 | 9 | 19 | 8 | 16 | 15 | 15 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2130 | 2964 | 2015 | 1678 | 1896 | 2346 | 1895 | 1788 | 2049 | 2345 | 2111 |

Tabela 3.24. Resultados do Traço 20 ($T_{20}$) com 10% de MAMONA (75% Cedrinho e 25% Bambu)

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 6,3 | 5,8 | 5,6 | 5,2 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 5,2 | 4,8 | 5,1 | 5,6 |
| Densidade (kg/m³) | 694 | 721 | 726 | 756 | 742 | 771 | 752 | 689 | 702 | 697 | 725 |
| Inchamento 24 horas (%) | 14,1 | 12,9 | 12,5 | 11,3 | 12,1 | 10,6 | 14,9 | 13,6 | 14,7 | 12,8 | 13,0 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,67 | 0,62 | 0,38 | 0,28 | 0,47 | 0,31 | 0,29 | 0,89 | 0,92 | 0,34 | 0,52 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 14 | 9 | 14 | 13 | 12 | 10 | 14 | 9 | 11 | 14 | 12 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1789 | 1864 | 2664 | 2419 | 1456 | 2159 | 1964 | 1687 | 1805 | 1906 | 1971 |

Tabela 3.25. Resultados do Traço 21 ($T_{21}$) com 10% de MAMONA (75% Cedrinho e 25% Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 5,0 | 5,6 | 5,3 | 6,2 | 4,9 | 5,1 | 6,3 | 6,2 | 6,4 | 5,7 | 5,7 |
| Densidade (kg/m³) | 706 | 728 | 678 | 695 | 760 | 751 | 745 | 735 | 765 | 765 | 733 |
| Inchamento 24 horas (%) | 14,1 | 12,7 | 10,4 | 14,6 | 15,1 | 10,2 | 12,2 | 16,9 | 19,4 | 10,7 | 13,6 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 1,06 | 0,87 | 1,15 | 1,32 | 0,94 | 0,43 | 0,64 | 0,51 | 0,79 | 0,88 | 0,86 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 16 | 9 | 7 | 15 | 18 | 13 | 16 | 14 | 10 | 11 | 13 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2086 | 2759 | 2064 | 1657 | 1842 | 1763 | 2225 | 2518 | 1984 | 1875 | 2077 |

Tabela 3.26. Resultados do Traço 22 ($T_{22}$) com 10% de URÉIA-FORMALDEÍDO (Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 4,7 | 4,9 | 5,0 | 5,2 | 5,4 | 5,3 | 4,8 | 5,2 |
| Densidade (kg/m³) | 689 | 712 | 699 | 705 | 715 | 734 | 766 | 718 | 734 | 659 | 713 |
| Inchamento 24 horas (%) | 19,2 | 21,3 | 18,1 | 24,5 | 23,8 | 22,7 | 20,8 | 18,9 | 19,3 | 17,6 | 20,6 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,34 | 0,53 | 0,12 | 0,19 | 0,36 | 0,34 | 0,51 | 0,34 | 0,29 | 0,42 | 0,34 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 8 | 10 | 11 | 7 | 9 | 9 | 13 | 14 | 12 | 9 | 10 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1284 | 1654 | 1467 | 1832 | 1826 | 1784 | 1906 | 1875 | 1935 | 1967 | 1753 |

Tabela 3.27. Resultados do Traço 23 ($T_{23}$) com 10% de SIKABOND (Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 4,8 | 5,6 | 5,7 | 5,1 | 5,6 | 5,4 | 5,5 | 5,7 | 5,1 | 4,9 | 5,3 |
| Densidade (kg/m³) | 726 | 770 | 736 | 711 | 764 | 622 | 654 | 741 | 763 | 761 | 725 |
| Inchamento 24 horas (%) | 12,6 | 18,0 | 12,8 | 13,7 | 9,4 | 12,3 | 13,7 | 9,8 | 12,4 | 13,4 | 12,8 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,38 | 0,27 | 0,71 | 0,37 | 0,24 | 0,18 | 0,72 | 0,61 | 0,39 | 0,19 | 0,41 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 17 | 14 | 9 | 8 | 16 | 13 | 17 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 1986 | 1754 | 1752 | 1693 | 1789 | 2105 | 2653 | 1964 | 1894 | 1756 | 1935 |

Tabela 3.28. Resultados do Traço 24 ($T_{24}$) com 10% de MAMONA (Bambu).

| E N S A I O S | Repetições | | | | | | | | | | Média |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | $Y_4$ | $Y_5$ | $Y_6$ | $Y_7$ | $Y_8$ | $Y_9$ | $Y_{10}$ | $Y_m$ |
| Umidade (%) | 5,1 | 5,0 | 4,9 | 5,4 | 5,2 | 5,6 | 6,1 | 5,8 | 5,2 | 5,1 | 5,3 |
| Densidade (kg/m³) | 764 | 735 | 697 | 724 | 771 | 689 | 702 | 736 | 764 | 759 | 734 |
| Inchamento 24 horas (%) | 10,9 | 12,7 | 11,3 | 13,7 | 13,4 | 10,1 | 12,7 | 9,8 | 9,3 | 10,1 | 11,4 |
| Tração Perpendicular (N/mm²) | 0,83 | 0,79 | 1,05 | 0,94 | 0,78 | 0,67 | 0,73 | 0,71 | 0,62 | 0,89 | 0,80 |
| Flexão Estática (N/mm²) | 18 | 14 | 15 | 9 | 14 | 17 | 18 | 14 | 15 | 10 | 14 |
| Módulo de elasticidade (N/mm²) | 2156 | 2964 | 1837 | 1726 | 2793 | 2015 | 1763 | 1637 | 1492 | 2172 | 2056 |

### 3.2.5 Resumo dos resultados das pesquisas I, II, III e IV

O resumo dos resultados médios para os ensaios físicos e mecânicos, dos **1.440 (Um mil quatrocentos e quarenta) corpos de prova** ensaiados, são apresentados na Tabela 3.29.

Tabela 3.29 Resumo dos resultados médios para os ensaios físicos e mecânicos.

| | | | NBR 14810-2 (2013) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Anexo F | Anexo G | Anexo L | Anexo J | Anexo K (N/mm²) | |
| TRAÇOS | Adesivo | (%) | Umidade | Densidade | Inchamento | Tração Perpendicular | Flexão estática | |
| | | | (%) [5 a 13] | (kg/m³) [551 a 750] | 24h (%) [18] | (N/mm²) [0,40] | MOR [11] | MOE [1800] |
| $T_1$ | UF | 8 | 8,6 | 648 | 32,5 | 0,63 | 10 | 1499 |
| $T_2$ | UF | 10 | 8,4 | 677 | 31,6 | 0,65 | 11 | 1673 |
| $T_3$ | UF | 12 | 8,5 | 692 | 32,5 | 0,70 | 12 | 1833 |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | 8,8 | 640 | 31,2 | 1,02 | 10 | 1416 |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | 8,5 | 666 | 31,5 | 1,05 | 12 | 1811 |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | 8,6 | 690 | 33,5 | 1,43 | 13 | 1834 |
| $T_7$ | UF | 12 | 6,4 | 749 | 12,1 | 0,32 | 10 | 2381 |
| $T_8$ | UF | 12 | 5,7 | 707 | 14,8 | 0,15 | 11 | 2480 |
| $T_9$ | UF | 12 | 7,1 | 722 | 12,7 | 0,13 | 10 | 2173 |
| $T_{10}$ | UF | 12 | 7,2 | 741 | 12,5 | 0,19 | 8 | 1768 |
| $T_{11}$ | UF | 12 | 7,5 | 746 | 12,8 | 0,29 | 10 | 2025 |
| $T_{12}$ | UF | 12 | 7,4 | 749 | 12,2 | 0,29 | 11 | 2227 |
| $T_{13}$ | UF | 12 | 6,8 | 735 | 14,5 | 0,27 | 10 | 1873 |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | 10,2 | 805 | 17,8 | 0,41 | 12 | 2713 |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | 7,8 | 799 | 10,1 | 0,51 | 14 | 2857 |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | 8,6 | 769 | 25,1 | 0,49 | 14 | 2664 |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | 9,9 | 805 | 16,2 | 0,52 | 13 | 2519 |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | 8,0 | 744 | 24,4 | 0,48 | 7 | 1943 |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | 5,4 | 731 | 19,8 | 1,14 | 15 | 2111 |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | 5,6 | 725 | 13,0 | 0,52 | 12 | 1971 |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | 5,7 | 733 | 13,6 | 0,86 | 13 | 2077 |
| $T_{22}$ | UF | 10 | 5,2 | 713 | 20,6 | 0,34 | 10 | 1753 |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | 5,3 | 725 | 12,8 | 0,41 | 12 | 1935 |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | 5,3 | 734 | 11,4 | 0,80 | 14 | 2056 |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

### 3.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com o objetivo deste trabalho, deseja-se avaliar se as diferenças entre as médias de Umidade (%), Densidade (kg/m³), Inchamento durante 24 horas (%), Tração Perpendicular (N/mm²), Flexão Estática MOR (N/mm²), Flexão Estática MOE (N/mm²) são significativas ou não. Consequentemente, se $\mu_1$, $\mu_2$, $\mu_3$, ... $\mu_{24}$, são as médias de vinte a quatro (24) populações amostradas para cada ensaio, deseja-se testar a hipótese nula em que todas as médias são iguais em cada ensaio, ou seja:

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \ldots = \mu_{24}$$

Contra a hipótese alternativa de que as médias não são todas iguais. As condições para aplicação de testes paramétricos exigem a verificação simultânea das seguintes condições: (1) Teste de Normalidade e (2) Teste da Homogeneidade das variâncias.

Considera-se que são vinte e quatro grupos de observações independentes, sendo os grupos independentes entre si. Cada grupo de observações procedeu de uma população com distribuição normal e a variância das 24 populações é a mesma (homogeneidade das variâncias). Para cada grupo de ensaios foi apresentada a localização relativa dos vinte e quatro traços através da construção de gráficos boxplots (ou diagrama de caixa) paralelos, seguidos do Teste de Normalidade. O valor de P (P-value) do Teste de Anderson-Darling (AD) é apresentado para cada grupo de ensaios. Não sendo constada distribuição normal para um grupo por apresentar P (P-valor) inferior a 0,05 faz-se necessário utilizar a transformada de Johnson sobre a resposta para o emprego da ANOVA segundo a estatística paramétrica. Para todas as respostas investigadas, foi-se constatada também a equivalência entre as variâncias, completado por validar o modelo da ANOVA.

Os resultados médios, intervalos de confiança (95%), desvio padrão, coeficientes de variação (%) são apresentados em Tabelas, em cada grupo de ensaios, em comparação as requisitos mínimos estabelecidos na norma NBR 14810-1 (2013) e NBR 14810-2 (2013).

### **3.3.1** Análise para Umidade

O gráfico 3.1 apresenta o Histograma de frequência e o gráfico boxplot (ou diagrama de caixa) para os resultados de Umidade (%) para todos os traços, avaliados no programa MINITAB14.

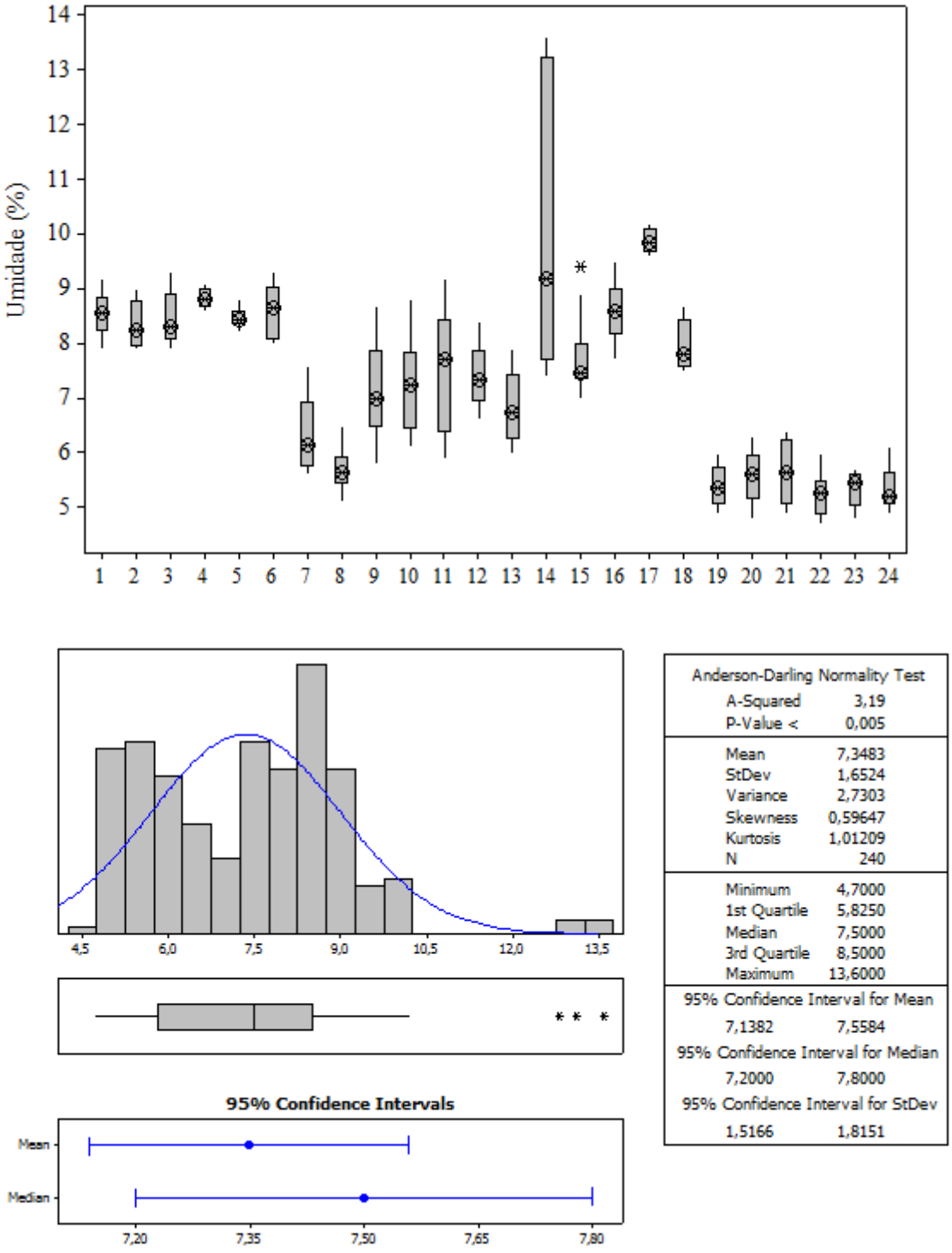


Gráfico 3.1. Boxplot e Histograma dos resultados de Umidade (%).

Para análise de variância (ANOVA) fazem-se os pressupostos que ambas as amostras são extraídas a partir de populações independentes, que podem ser descritas por uma distribuição normal (MONTGOMERY, 2005). Para tanto, utilizou-se o teste de normalidade de Anderson-Darling, não sendo constada distribuição normal para Umidade, por apresentar P-valor inferior a 0,05. Para o emprego da ANOVA segundo a estatística paramétrica, foi-se utilizada a transformada de Johnson sobre a resposta Umidade (Gráfico 3.2). Para todas as respostas investigadas, foi-se constatada também a equivalência entre as variâncias, completado por validar o modelo da ANOVA. O Gráfico 4.3 ilustra a normalidade para a Umidade (teste de Anderson-Darling).

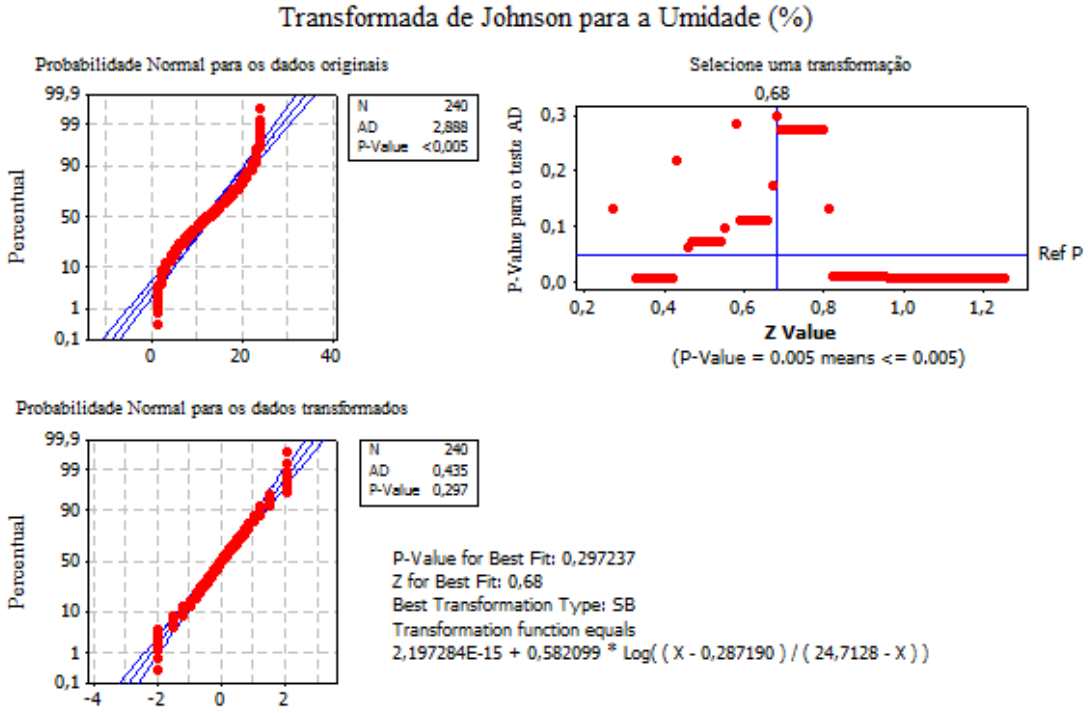


Gráfico 3.2. Transformada de Johnson para a Umidade.

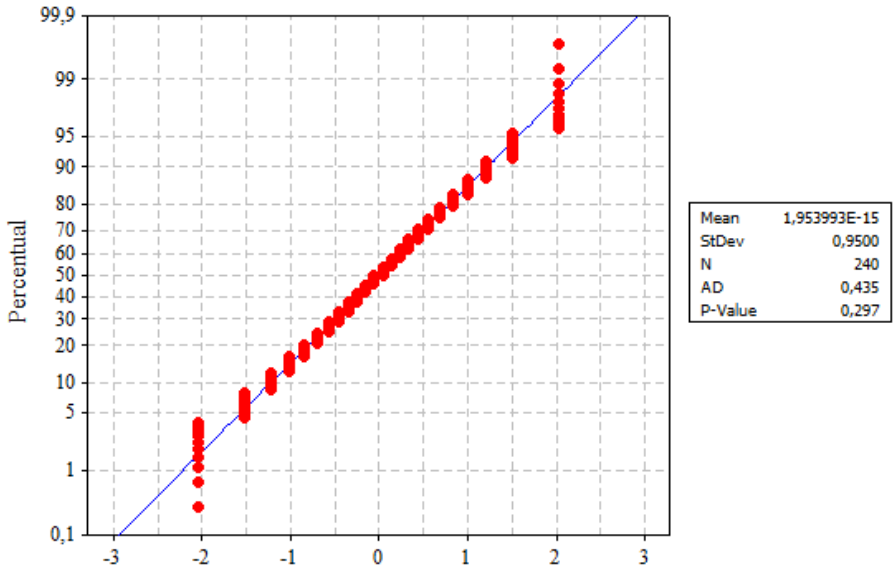


Gráfico 3.3. Normalidade dos dados transformados da Umidade (P-valor: 0,297).

A Tabela 3.30 apresenta os resultados médios para o ensaio de Umidade (%) conforme Anexo F, intervalo de confiança (95%), desvio padrão, coeficiente de variação (%), e a comparação dos resultados conforme a norma NBR 14810-2 (2013), Tabela 1 – Requisitos gerais, p.2.

Tabela 3.30 Comparação dos resultados para o ensaio de Umidade (%).

| TRAÇOS | Adesivo | (%) | NBR 14810-2 (2013) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Umidade | Intervalo de Confiança (95%) | | Desvio | Coeficiente | Anexo F |
| | | | | limite inferior | limite superior | Padrão | Variação | (5 a13) |
| | | | (%) | (%) | (%) | | (%) | (%) |
| $T_1$ | UF | 8 | 8,6 | 8,3 | 8,8 | 0,40 | 4,7 | Sim |
| $T_2$ | UF | 10 | 8,4 | 8,1 | 8,6 | 0,43 | 5,1 | Sim |
| $T_3$ | UF | 12 | 8,5 | 8,2 | 8,8 | 0,49 | 5,8 | Sim |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | 8,8 | 8,7 | 8,9 | 0,17 | 1,9 | Sim |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | 8,5 | 8,4 | 8,6 | 0,18 | 2,1 | Sim |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | 8,6 | 8,3 | 8,9 | 0,48 | 5,7 | Sim |
| $T_7$ | UF | 12 | 6,4 | 5,9 | 6,8 | 0,74 | 11,6 | Sim |
| $T_8$ | UF | 12 | 5,7 | 5,5 | 5,9 | 0,38 | 6,7 | Sim |
| $T_9$ | UF | 12 | 7,1 | 6,6 | 7,7 | 0,92 | 12,9 | Sim |
| $T_{10}$ | UF | 12 | 7,2 | 6,7 | 7,8 | 0,85 | 11,8 | Sim |
| $T_{11}$ | UF | 12 | 7,5 | 6,8 | 8,2 | 1,15 | 15,4 | Sim |
| $T_{12}$ | UF | 12 | 7,4 | 7,0 | 7,7 | 0,57 | 7,8 | Sim |
| $T_{13}$ | UF | 12 | 6,8 | 6,4 | 7,2 | 0,64 | 9,4 | Sim |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | 10,2 | 8,5 | 11,9 | 2,75 | 26,9 | Sim |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | 7,8 | 7,3 | 8,2 | 0,76 | 9,9 | Sim |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | 8,6 | 8,2 | 8,9 | 0,55 | 6,5 | Sim |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | 9,9 | 9,8 | 10,0 | 0,20 | 2,0 | Sim |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | 8,0 | 7,7 | 8,3 | 0,45 | 5,7 | Sim |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | 5,4 | 5,2 | 5,6 | 0,39 | 7,3 | Sim |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | 5,6 | 5,3 | 5,9 | 0,48 | 8,6 | Sim |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | 5,7 | 5,3 | 6,0 | 0,58 | 10,2 | Sim |
| $T_{22}$ | UF | 10 | 5,2 | 5,0 | 5,5 | 0,41 | 7,8 | Sim |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | 5,3 | 5,1 | 5,5 | 0,34 | 6,3 | Sim |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | 5,3 | 5,1 | 5,6 | 0,38 | 7,2 | Sim |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

Nos traços **$T_1$ a $T_6$** (pesquisa I) os painéis de partículas constituídos por 50% de partículas de Eucaliptos e 50% de partículas de Bambu, colados com os adesivos Uréia-formaldeído e Sikabond, nas porcentagens de 8, 10 e 12%, apresentaram pequena variação do teor de umidade quando comparados entre si. A inserção progressiva de adesivo não evidenciou um decréscimo acentuado no teor de

umidade, para os adesivos Uréia-formaldeído e Sikabond. O traço **$T_{19}$** (pesquisa IV) foi produzido a partir do **Traço $T_5$** (pesquisa I) com aplicação de 10% do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Com o aumento da densidade do traço $T_{19}$ para 731 kg/m³ (Tabela 3.31), ou seja, próximo ao limite máximo de 750 kg/m³, o uso de um adesivo de melhor desempenho estrutural foi possível reduzir o consumo de adesivo e o teor de umidade dos painéis de partículas.

De acordo com os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 14810:2013-2, p.2, o teor de umidade médio não pode ser inferior a 5% nem superior a 11%, o que fora atendido por todos os painéis de partícula confeccionados. Nos traços com ajustes de parâmetros, $T_{19}$ a $T_{24}$, reduziu-se a dispersão dos dados, conforme se observa no gráfico 3.1.

### **3.3.2** Análise para Densidade

O gráfico 3.4 apresenta o Histograma de frequência e o gráfico Boxplot (ou diagrama de caixa) para os resultados de Densidade (kg/m³) para todos os traços, avaliados no programa MINITAB14.

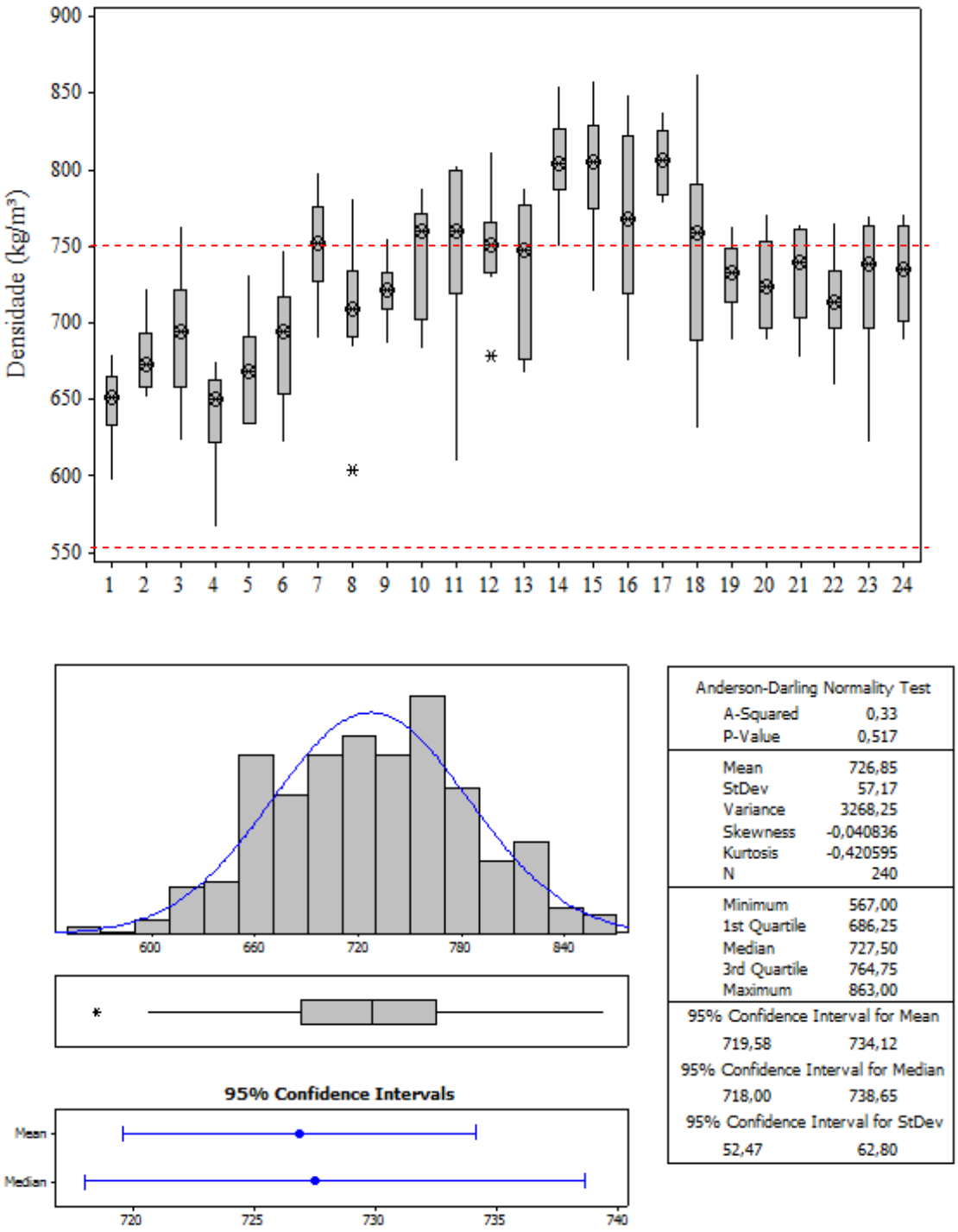


Gráfico 3.4. Boxplot e Histograma dos resultados de Densidade (kg/m³).

Para análise de variância (ANOVA) utilizou-se o teste de normalidade de Anderson-Darling, sendo constada distribuição normal para Densidade, por apresentar P-valor superior a 0,05 (Gráfico 3.5). Para todas as respostas investigadas, foi-se constatada também a equivalência entre as variâncias, completado por validar o modelo da ANOVA. O Gráfico 3.6 dos resíduos versus valor estimado mostra o indicativo da variância constante para Densidade.

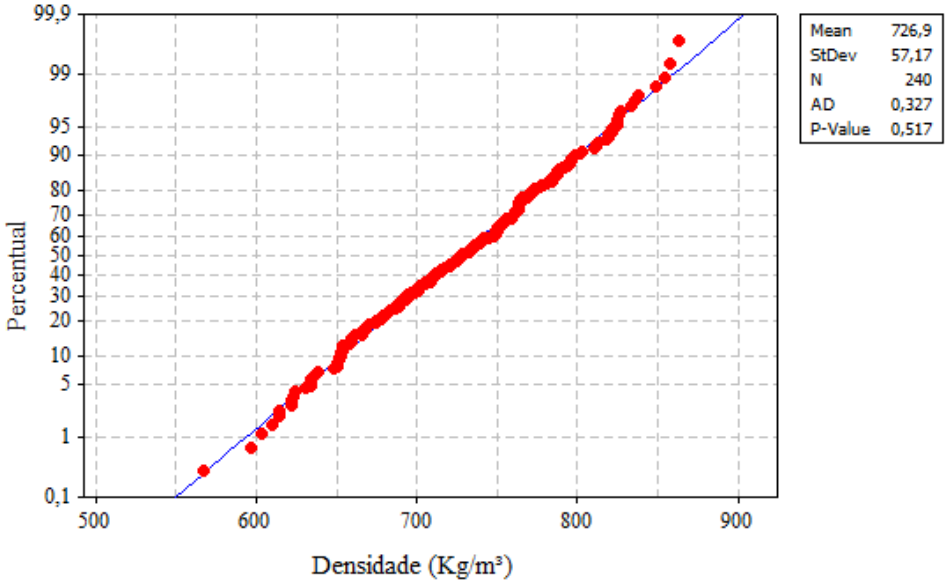


Gráfico 3.5. Probabilidade Normal para Densidade (kg/m³).

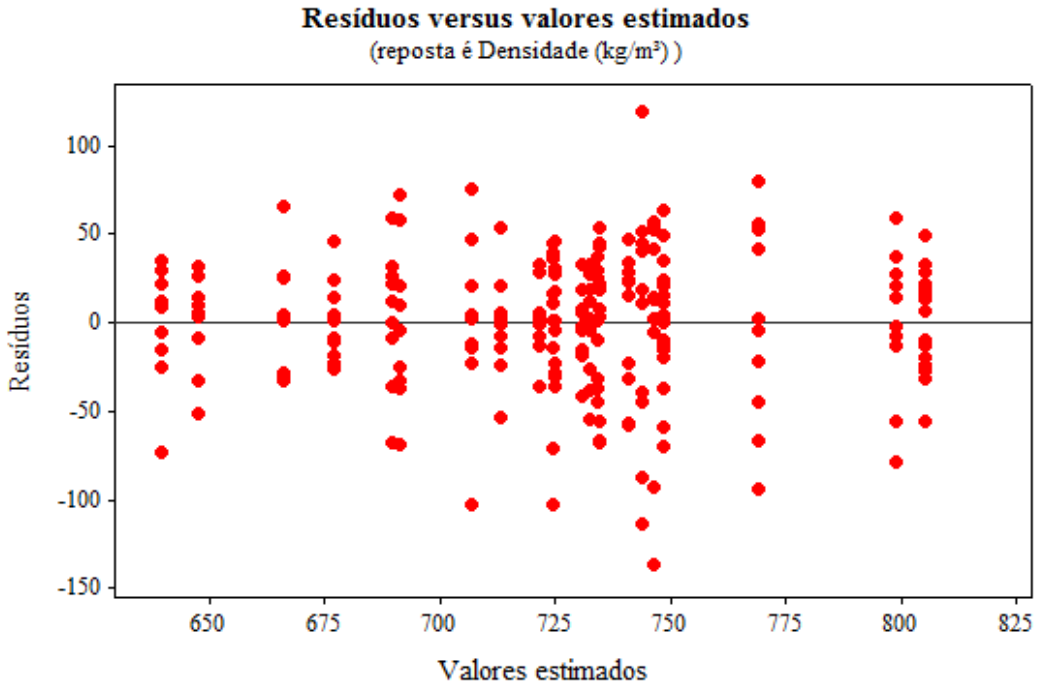


Gráfico 3.6. Resíduos versus valores estimados, Densidade (kg/m³).

A Tabela 3.31 apresenta os resultados médios para o ensaio de Densidade (kg/m³) conforme Anexo G, intervalo de confiança (95%), desvio padrão, coeficiente de variação (%) e a comparação dos resultados conforme da norma NBR 14810-1 (2013), item 2.28, p.3.

Tabela 3.31 Comparação dos resultados para os ensaios de Densidade (kg/m³).

| TRAÇOS | Adesivo | (%) | NBR 14810-2 (2013) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Densidade | Intervalo de Confiança (95%) | | Desvio | Coeficiente | Anexo G |
| | | | | limite inferior | limite superior | Padrão | Variação | Kg/m³ |
| | | | (kg/m³) | (%) | (%) | | (%) | (551 a 750) |
| $T_1$ | UF | 8 | 648 | 632 | 664 | 25 | 3,9 | Sim |
| $T_2$ | UF | 10 | 677 | 663 | 691 | 23 | 3,4 | Sim |
| $T_3$ | UF | 12 | 692 | 665 | 719 | 43 | 6,3 | Sim |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | 640 | 620 | 659 | 32 | 5,0 | Sim |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | 666 | 646 | 687 | 33 | 4,9 | Sim |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | 690 | 666 | 713 | 38 | 5,5 | Sim |
| $T_7$ | UF | 12 | 749 | 728 | 769 | 33 | 4,4 | Sim |
| $T_8$ | UF | 12 | 707 | 678 | 736 | 47 | 6,6 | Sim |
| $T_9$ | UF | 12 | 722 | 709 | 734 | 20 | 2,8 | Sim |
| $T_{10}$ | UF | 12 | 741 | 717 | 765 | 39 | 5,3 | Sim |
| $T_{11}$ | UF | 12 | 746 | 706 | 787 | 65 | 8,8 | Sim |
| $T_{12}$ | UF | 12 | 749 | 728 | 770 | 34 | 4,5 | Sim |
| $T_{13}$ | UF | 12 | 735 | 706 | 764 | 47 | 6,3 | Sim |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | 805 | 786 | 824 | 31 | 3,8 | Não |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | 799 | 773 | 825 | 42 | 5,2 | Não |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | 769 | 734 | 805 | 57 | 7,5 | Não |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | 805 | 791 | 819 | 22 | 2,8 | Não |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | 744 | 700 | 788 | 71 | 9,5 | Sim |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | 731 | 717 | 744 | 22 | 3,0 | Sim |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | 725 | 707 | 743 | 29 | 4,0 | Sim |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | 733 | 714 | 752 | 31 | 4,2 | Sim |
| $T_{22}$ | UF | 10 | 713 | 695 | 731 | 29 | 4,0 | Sim |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | 725 | 694 | 756 | 50 | 6,9 | Sim |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | 734 | 715 | 753 | 30 | 4,1 | Sim |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

De acordo com os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 14810:2013-1, item 2.28, p.3, os painéis de partículas devem apresentar densidade compreendida

entre 551 kg/m³ e 750 kg/m³, o que fora atendido para maioria dos painéis de partícula confeccionados, exceto os traços $T_{14}$ a $T_{17}$, sendo classificados como de alta densidade de acordo com as normas ANSI A208.1 e CS 236-66. Este parâmetro foi ajustado nos traços com ajustes de parâmetros, $T_{19}$ a $T_{24}$, conforme se observa no gráfico 3.2.

### **3.3.3** Análise para Inchamento em 24 horas

O gráfico 3.7 apresenta o Histograma de frequência e o gráfico Boxplot (ou diagrama de caixa) para os resultados de Inchamento (%) em 24 horas para todos os traços, avaliados no programa MINITAB14.

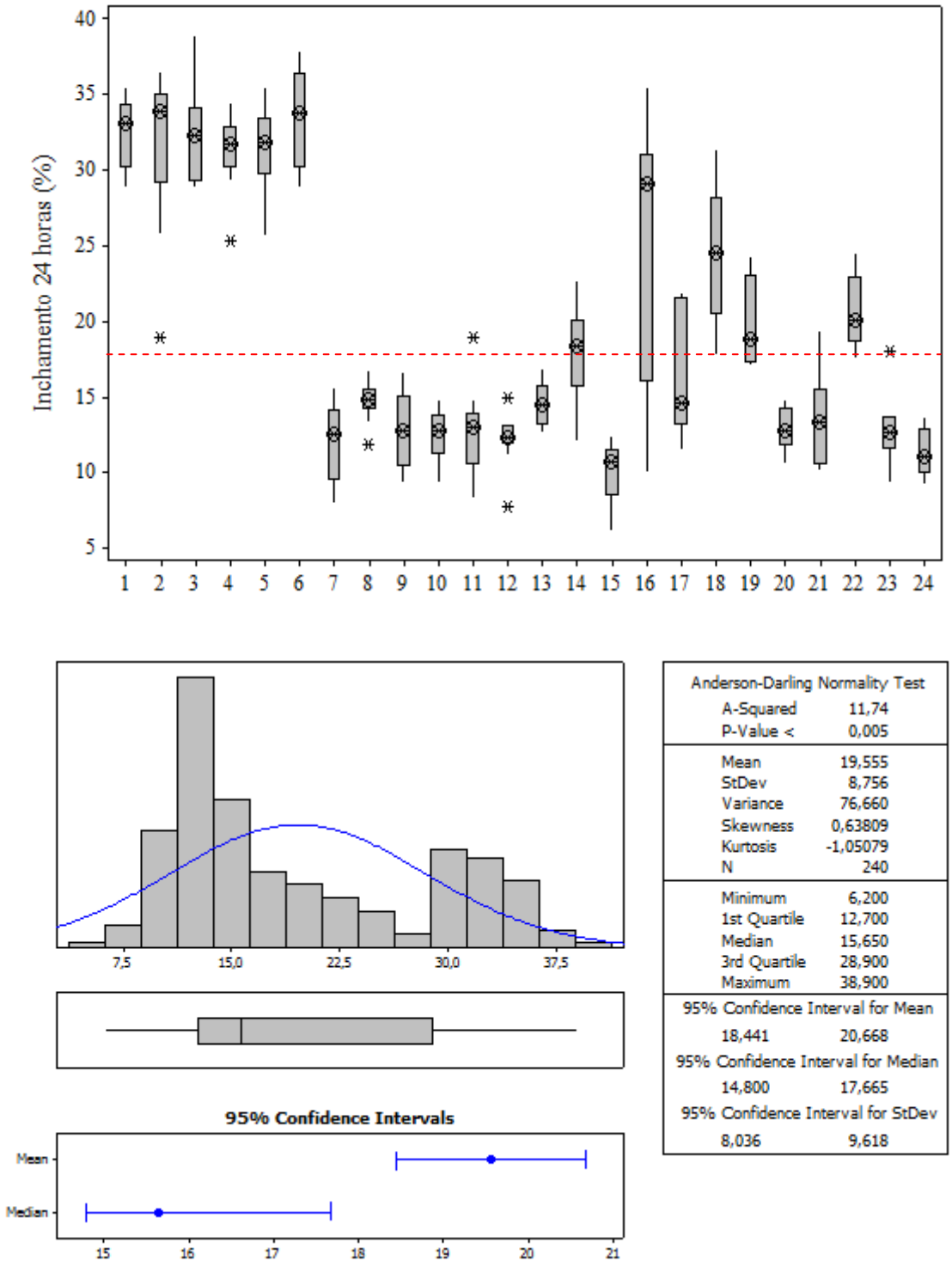


Gráfico 3.7. Boxplot e Histograma dos resultados de Inchamento 24h (%).

Para análise de variância (ANOVA) utilizou-se o teste de normalidade de Anderson-Darling, não sendo constada distribuição normal para Inchamento durante 24 horas por apresentar P-valor inferior a 0,05. Para o emprego da ANOVA segundo a estatística paramétrica, foi-se utilizada a transformada de Johnson sobre a resposta Inchamento durante 24 horas (Gráfico 3.8) para os traços $T_7$ a $T_{24}$ pelo relevo dos valores obtidos. Para todas as respostas investigadas, foi-se constatada também a equivalência entre as variâncias, completado por validar o modelo da ANOVA. O Gráfico 3.9 ilustra a normalidade para o Inchamento durante 24 horas (teste de Anderson-Darling).

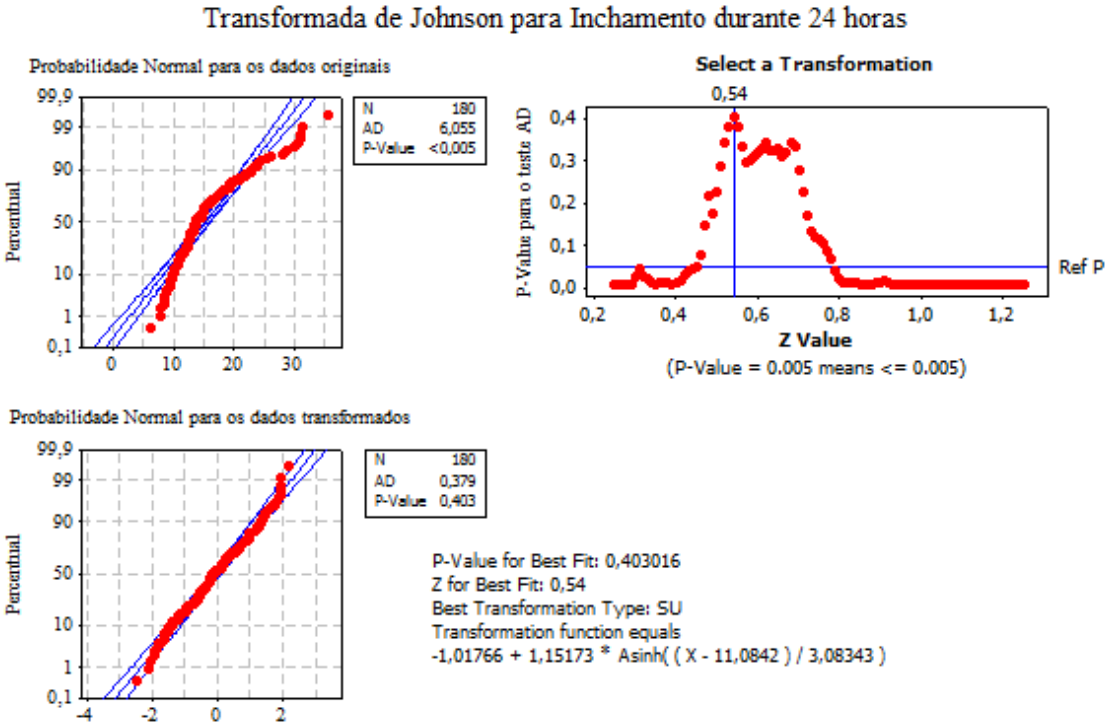


Gráfico 3.8. Transformada de Johnson para Inchamento durante 24 horas ($T_7$ a $T_{24}$)

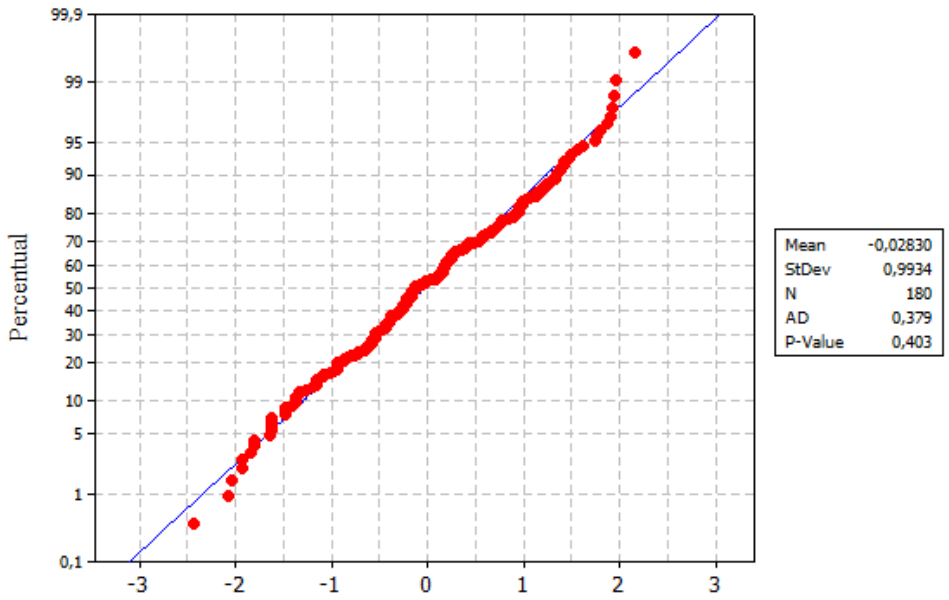


Gráfico 3.9. Normalidade dos dados transformados, $T_7$ a $T_{24}$, para Inchamento 24 h (P-valor: 0,403)

A Tabela 3.32 apresenta os resultados médios para o ensaio de Inchamento 24 horas (%) conforme Anexo L, intervalo de confiança (95%), desvio padrão, coeficiente de variação (%) e a comparação dos resultados conforme da norma NBR 14810-2 (2013), Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3.

Tabela 3.32 Comparação dos resultados para o ensaio de Inchamento em 24 horas.

| TRAÇOS | Adesivo | (%) | NBR 14810-2 (2013) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Inchamento | Intervalo de Confiança (95%) | | Desvio | Coeficiente | Anexo L |
| | | | | limite inferior | limite superior | Padrão | Variação | % |
| | | | 24h (%) | (%) | (%) | | (%) | 18 |
| $T_1$ | UF | 8 | 32,5 | 31 | 34 | 2 | 7,0 | Não |
| $T_2$ | UF | 10 | 31,6 | 28 | 35 | 5 | 17,3 | Não |
| $T_3$ | UF | 12 | 32,5 | 30 | 35 | 3 | 10,1 | Não |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | 31,2 | 30 | 33 | 3 | 8,1 | Não |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | 31,5 | 30 | 33 | 3 | 9,3 | Não |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | 33,5 | 32 | 35 | 3 | 9,4 | Não |
| $T_7$ | UF | 12 | 12,1 | 10 | 14 | 3 | 21,7 | Sim |
| $T_8$ | UF | 12 | 14,8 | 14 | 16 | 1 | 9,2 | Sim |
| $T_9$ | UF | 12 | 12,7 | 11 | 14 | 3 | 19,8 | Sim |
| $T_{10}$ | UF | 12 | 12,5 | 11 | 14 | 2 | 14,0 | Sim |
| $T_{11}$ | UF | 12 | 12,8 | 11 | 15 | 3 | 23,7 | Sim |
| $T_{12}$ | UF | 12 | 12,2 | 11 | 13 | 2 | 15,0 | Sim |
| $T_{13}$ | UF | 12 | 14,5 | 14 | 15 | 1 | 10,0 | Sim |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | 17,8 | 16 | 20 | 3 | 17,1 | Sim |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | 10,1 | 9 | 11 | 2 | 18,3 | Sim |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | 25,1 | 20 | 30 | 8 | 33,6 | Não |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | 16,2 | 14 | 19 | 4 | 24,8 | Sim |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | 24,4 | 22 | 27 | 4 | 17,7 | Não |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | 19,8 | 18 | 21 | 3 | 14,0 | Não |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | 13,0 | 12 | 14 | 1 | 10,9 | Sim |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | 13,6 | 12 | 15 | 3 | 22,0 | Sim |
| $T_{22}$ | UF | 10 | 20,6 | 19 | 22 | 2 | 11,7 | Não |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | 12,8 | 11 | 14 | 2 | 18,4 | Sim |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | 11,4 | 10 | 12 | 2 | 14,1 | Sim |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

De acordo com os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 14810:2013-2, Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3, os painéis de partículas devem apresentar

inchamento durante 24h de no máximo 18 %, para painéis com espessura nominal de 6 mm a 13 mm, o que fora atendido para maioria dos painéis de partícula confeccionados, exceto os traços $T_1$ a $T_6$, $T_{16}$, $T_{18}$, $T_{19}$ e $T_{22}$. Observa-se no gráfico 3.7 uma mediana geral, para os 24 traços realizados, de 15,650 %.

### **3.3.4** Análise para Tração Perpendicular

O gráfico 4.10 apresenta o Histograma de frequência e o gráfico Boxplot (ou diagrama de caixa) para os resultados de Tração Perpendicular (N/mm²) para todos os traços, avaliados no programa MINITAB14.

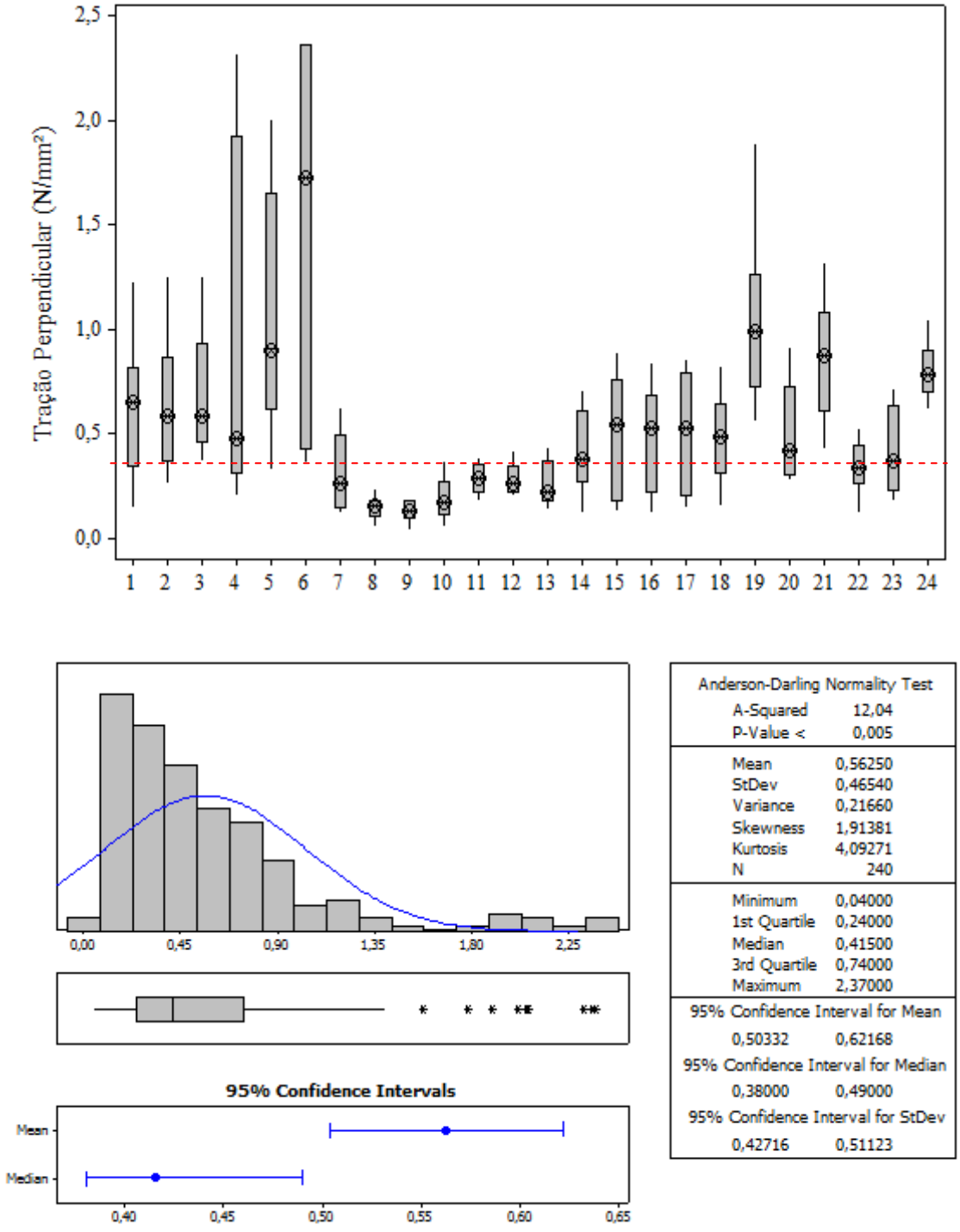


Gráfico 3.10. Boxplot e Histograma dos resultados de Tração Perpendicular (N/mm²).

Para análise de variância (ANOVA) utilizou-se o teste de normalidade de Anderson-Darling, não sendo constada distribuição normal para Tração Perpendicular por apresentar P-valor inferior a 0,05. Para o emprego da ANOVA segundo a estatística paramétrica, foi-se utilizada a transformada de Johnson sobre a resposta Tração Perpendicular (Gráfico 3.11). Para todas as respostas investigadas, foi-se constatada também a equivalência entre as variâncias, completado por validar o modelo da ANOVA. O Gráfico 3.12 ilustra a normalidade para os dados de Tração Perpendicular (teste de Anderson-Darling).

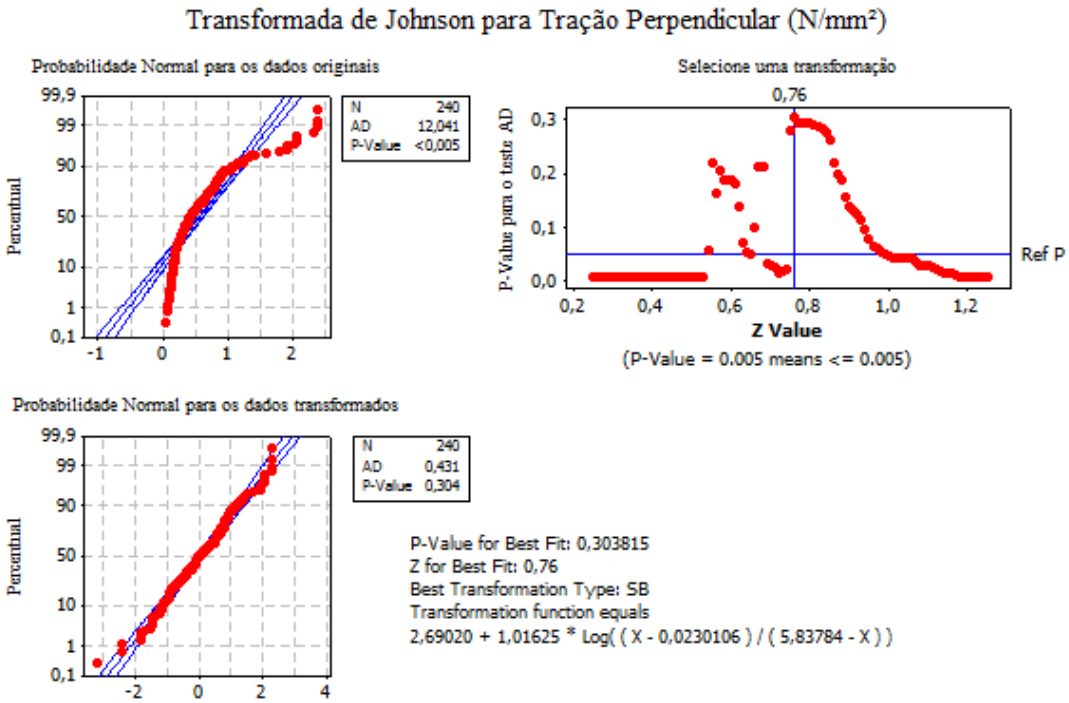


Gráfico 3.11. Transformada de Johnson para Tração Perpendicular.

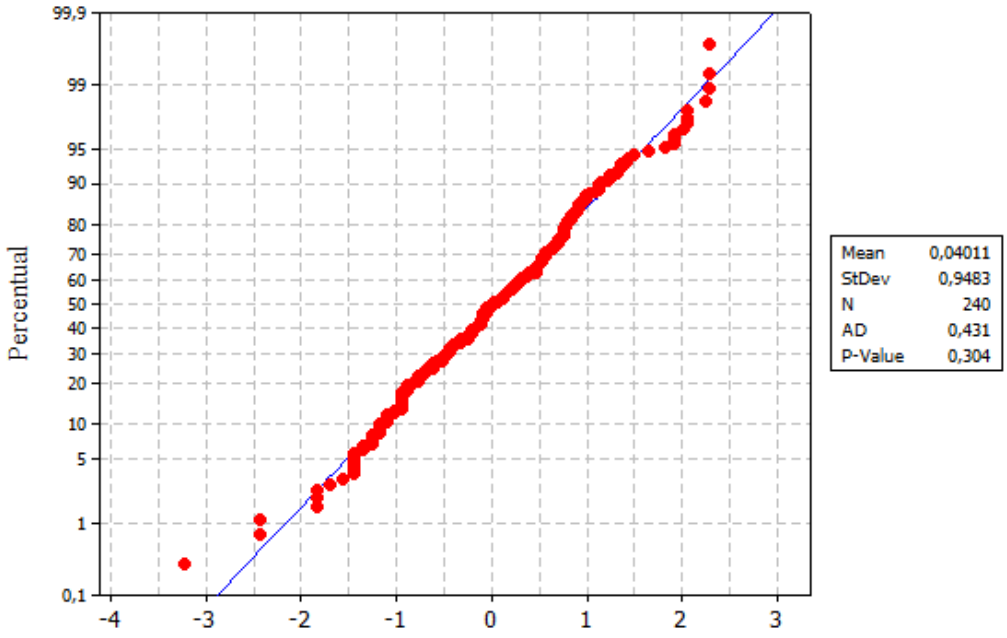


Gráfico 3.12. Normalidade dos dados transformados da Tração Perpendicular (P-valor: 0,304).

A Tabela 3.33 apresenta os resultados médios para o ensaio de Tração Perpendicular (N/mm²) conforme Anexo J, intervalo de confiança (95%), desvio padrão, coeficiente de variação (%) e a comparação dos resultados conforme da norma NBR 14810-2 (2013), Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3.

Tabela 3.33 Comparação dos resultados para os ensaios de Tração Perpendicular.

| TRAÇOS | Adesivo | (%) | NBR 14810-2 (2013) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Tração | Intervalo de Confiança (95%) | | Desvio | Coeficiente | Anexo J |
| | | | Perpendicular | limite inferior | limite superior | Padrão | Variação | (N/mm²) |
| | | | (N/mm²) | (%) | (%) | | (%) | [0,40] |
| $T_1$ | UF | 8 | 0,63 | 0,42 | 0,83 | 0,33 | 52,4 | Sim |
| $T_2$ | UF | 10 | 0,65 | 0,44 | 0,86 | 0,34 | 52,3 | Sim |
| $T_3$ | UF | 12 | 0,70 | 0,51 | 0,88 | 0,30 | 42,7 | Sim |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | 1,02 | 0,48 | 1,56 | 0,87 | 85,4 | Sim |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | 1,05 | 0,69 | 1,41 | 0,58 | 55,1 | Sim |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | 1,43 | 0,87 | 2,00 | 0,91 | 63,4 | Sim |
| $T_7$ | UF | 12 | 0,32 | 0,20 | 0,44 | 0,19 | 60,1 | Não |
| $T_8$ | UF | 12 | 0,15 | 0,12 | 0,18 | 0,05 | 34,6 | Não |
| $T_9$ | UF | 12 | 0,13 | 0,10 | 0,16 | 0,05 | 34,8 | Não |
| $T_{10}$ | UF | 12 | 0,19 | 0,13 | 0,25 | 0,10 | 51,4 | Não |
| $T_{11}$ | UF | 12 | 0,29 | 0,25 | 0,34 | 0,07 | 24,5 | Não |
| $T_{12}$ | UF | 12 | 0,29 | 0,24 | 0,33 | 0,07 | 25,3 | Não |
| $T_{13}$ | UF | 12 | 0,27 | 0,20 | 0,34 | 0,11 | 39,7 | Não |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | 0,41 | 0,29 | 0,53 | 0,19 | 47,5 | Sim |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | 0,51 | 0,34 | 0,69 | 0,29 | 55,8 | Sim |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | 0,49 | 0,34 | 0,64 | 0,24 | 49,1 | Sim |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | 0,52 | 0,35 | 0,68 | 0,27 | 51,5 | Sim |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | 0,48 | 0,35 | 0,61 | 0,21 | 44,0 | Sim |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | 1,14 | 0,79 | 1,28 | 0,39 | 37,9 | Sim |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | 0,52 | 0,37 | 0,67 | 0,24 | 47,3 | Sim |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | 0,86 | 0,69 | 1,03 | 0,28 | 32,5 | Sim |
| $T_{22}$ | UF | 10 | 0,34 | 0,27 | 0,42 | 0,13 | 36,9 | Não |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | 0,41 | 0,28 | 0,53 | 0,21 | 50,5 | Sim |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | 0,80 | 0,72 | 0,88 | 0,13 | 16,3 | Sim |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

De acordo com os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 14810:2013-2, Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3, os painéis de partículas devem apresentar

resistência à tração perpendicular de no mínimo 0,40 N/mm², para painéis com espessura nominal de 6 mm a 13 mm, o que fora atendido para maioria dos painéis de partícula confeccionados, exceto os traços $T_7$ a $T_{13}$, e $T_{22}$. Observa-se no gráfico 3.12 uma mediana e média geral, para os 24 traços realizados, respectivamente de 0,41500 N/mm² e 0,56250 N/mm².

**3.3.5** Análise para Flexão estática (MOR).

O gráfico 3.13 apresenta o Histograma de frequência e o gráfico Boxplot (ou diagrama de caixa) para os resultados de Flexão estática — MOR (N/mm²) para todos os traços, avaliados no programa MINITAB14.

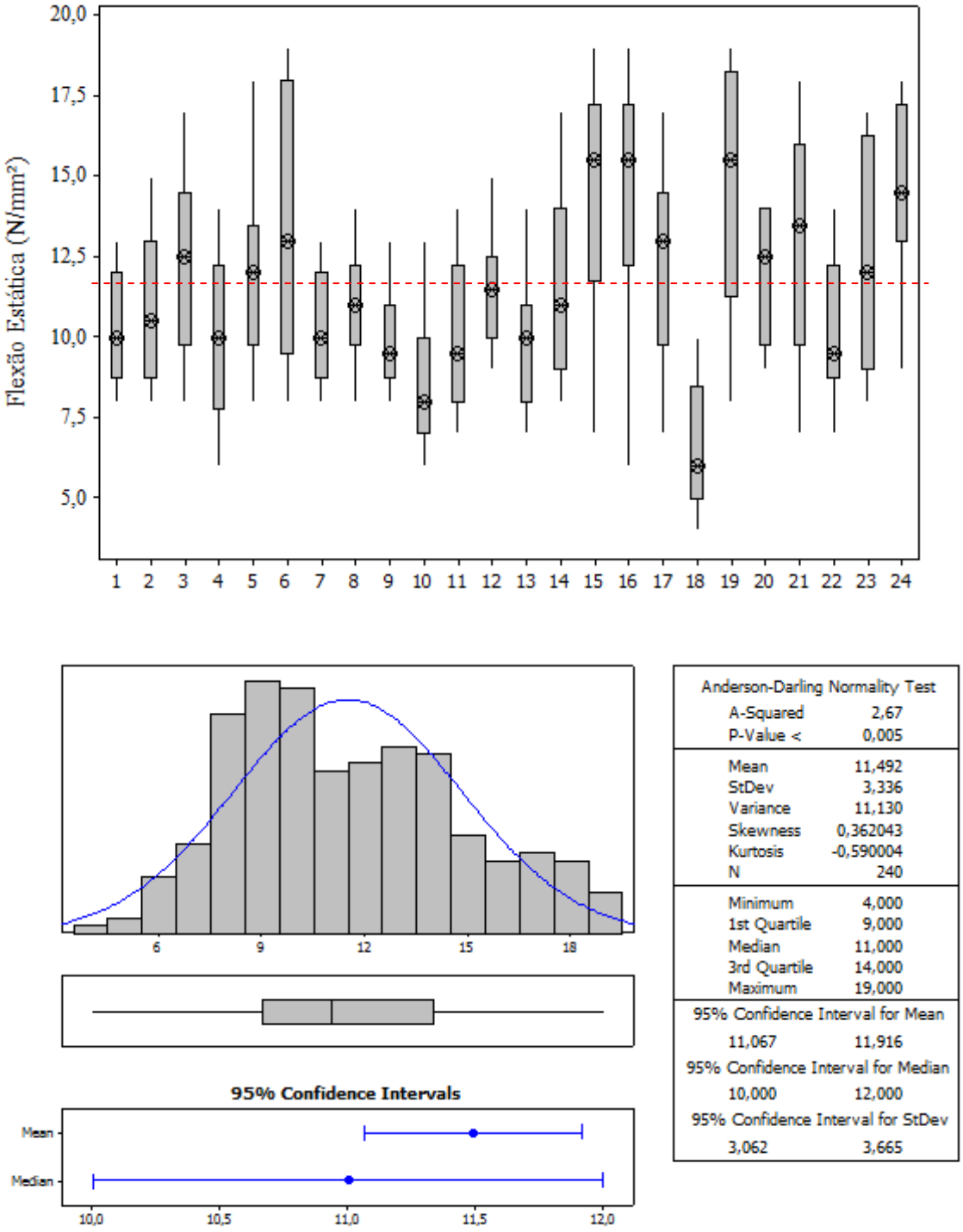


Gráfico 3.13. Boxplot e Histograma dos resultados de Flexão Estática (N/mm²).

Para análise de variância (ANOVA) utilizou-se o teste de normalidade de Anderson-Darling, não sendo constada distribuição normal para Flexão Estática - MOR por apresentar P-valor inferior a 0,05. Para o emprego da ANOVA segundo a estatística paramétrica, foi-se utilizada a transformada de Johnson sobre a resposta Flexão Estática - MOR (Gráfico 3.14). Para todas as respostas investigadas, foi-se constatada também a equivalência entre as variâncias, completado por validar o modelo da ANOVA. O Gráfico 3.15 ilustra a normalidade para os dados de Flexão Estática - MOR (teste de Anderson-Darling).

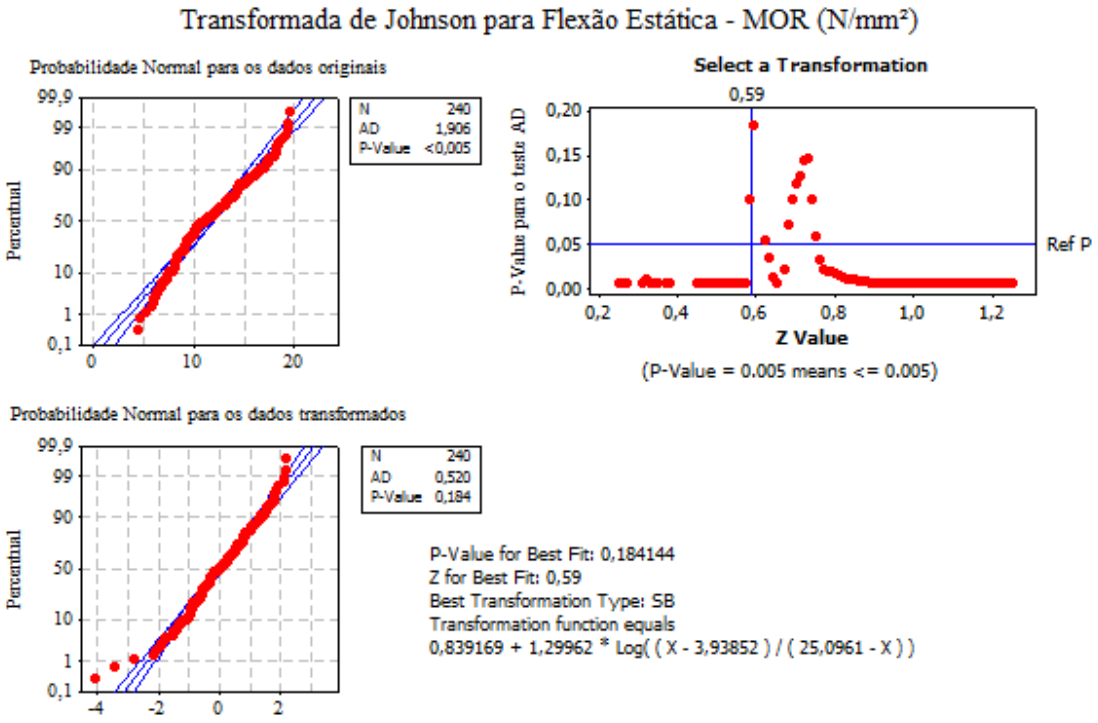


Gráfico 3.14. Transformada de Johnson para Flexão Estática – MOR (N/mm²).

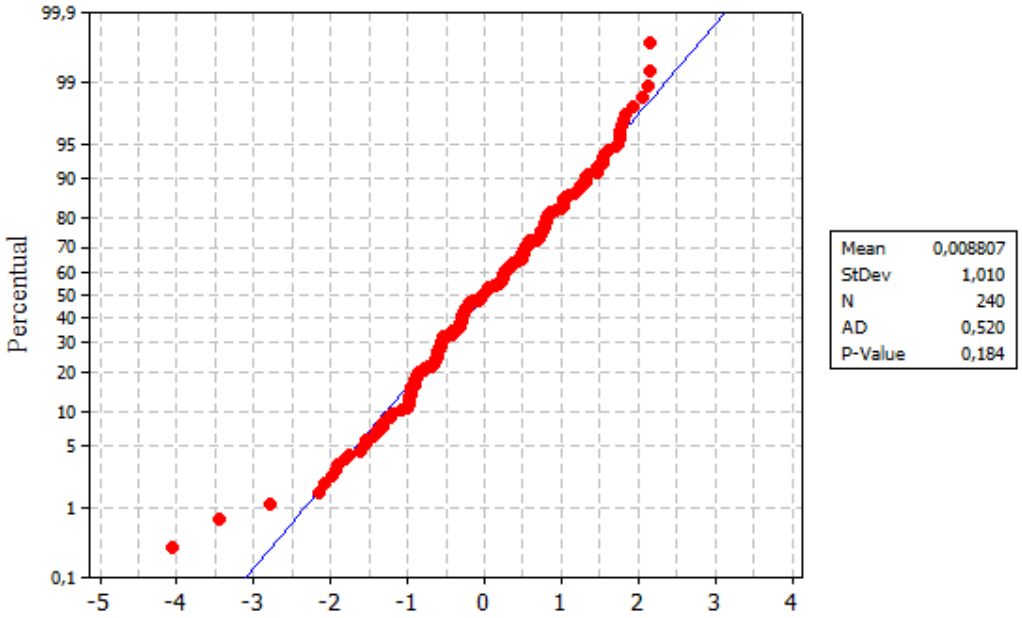


Gráfico 3.15. Normalidade dos dados transformados para Flexão Estática - MOR (P-valor: 0,184).

A Tabela 3.34 apresenta os resultados médios para o ensaio de Flexão estática (N/mm²), MOR, conforme Anexo k, intervalo de confiança (95%), desvio padrão, coeficiente de variação (%) e a comparação dos resultados conforme da norma NBR 14810-2 (2013), Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3.

Tabela 3.34 Comparação dos resultados para os ensaios Flexão Estática (MOR).

| TRAÇOS | Adesivo | (%) | NBR 14810-2 (2013) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Flexão Estática (N/mm²) | Intervalo de Confiança (95%) limite inferior (%) | Intervalo de Confiança (95%) limite superior (%) | Desvio Padrão | Coeficiente Variação (%) | Anexo k (N/mm²) [11] |
| $T_1$ | UF | 8 | 10 | 9 | 11 | 1,70 | 16,5 | Não |
| $T_2$ | UF | 10 | 11 | 9 | 12 | 2,39 | 22,2 | Sim |
| $T_3$ | UF | 12 | 12 | 10 | 14 | 2,97 | 24,4 | Sim |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | 10 | 8 | 12 | 2,72 | 27,5 | Não |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | 12 | 10 | 14 | 2,92 | 24,2 | Sim |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | 13 | 11 | 16 | 4,06 | 30,3 | Sim |
| $T_7$ | UF | 12 | 10 | 9 | 11 | 1,78 | 17,2 | Não |
| $T_8$ | UF | 12 | 11 | 10 | 12 | 1,95 | 17,9 | Sim |
| $T_9$ | UF | 12 | 10 | 9 | 11 | 1,42 | 14,6 | Não |
| $T_{10}$ | UF | 12 | 8 | 7 | 10 | 2,10 | 24,8 | Não |
| $T_{11}$ | UF | 12 | 10 | 9 | 12 | 2,21 | 21,5 | Não |
| $T_{12}$ | UF | 12 | 11 | 10 | 13 | 1,72 | 15,0 | Sim |
| $T_{13}$ | UF | 12 | 10 | 9 | 11 | 1,98 | 20,0 | Não |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | 12 | 10 | 13 | 2,84 | 24,6 | Sim |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | 14 | 12 | 17 | 3,97 | 27,7 | Sim |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | 14 | 12 | 17 | 4,32 | 30,2 | Sim |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | 13 | 11 | 15 | 3,09 | 24,5 | Sim |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | 7 | 5 | 8 | 1,97 | 29,4 | Não |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | 15 | 12 | 17 | 3,94 | 26,6 | Sim |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | 12 | 11 | 13 | 2,11 | 17,6 | Sim |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | 13 | 11 | 15 | 3,54 | 27,5 | Sim |
| $T_{22}$ | UF | 10 | 10 | 9 | 12 | 2,25 | 22,1 | Não |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | 12 | 10 | 15 | 3,47 | 28,0 | Sim |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | 14 | 13 | 16 | 3,03 | 21,0 | Sim |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

De acordo com os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 14810:2013-2, Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3, os painéis de partículas devem apresentar

resistência à flexão estática, MOR, de no mínimo 11 N/mm², para painéis com espessura nominal de 6 mm a 13 mm, o que fora atendido para maioria dos painéis de partícula confeccionados, exceto os traços $T_{1,}$ $T_4$, $T_7$, $T_9$ a $T_{11}$, $T_{13}$, $T_{18}$ e $T_{22}$. Observa-se no gráfico 3.13 uma mediana e média geral, para os 24 traços realizados, respectivamente de 11,000 N/mm² e 11,492 N/mm².

**3.3.6** Análise para o Módulo de elasticidade (MOE)

O gráfico 3.16 apresenta o Histograma de frequência e o gráfico Boxplot (ou diagrama de caixa) para os resultados de Flexão estática — Módulo de elasticidade (N/mm²) — MOE para todos os traços, avaliados no programa MINITAB14.

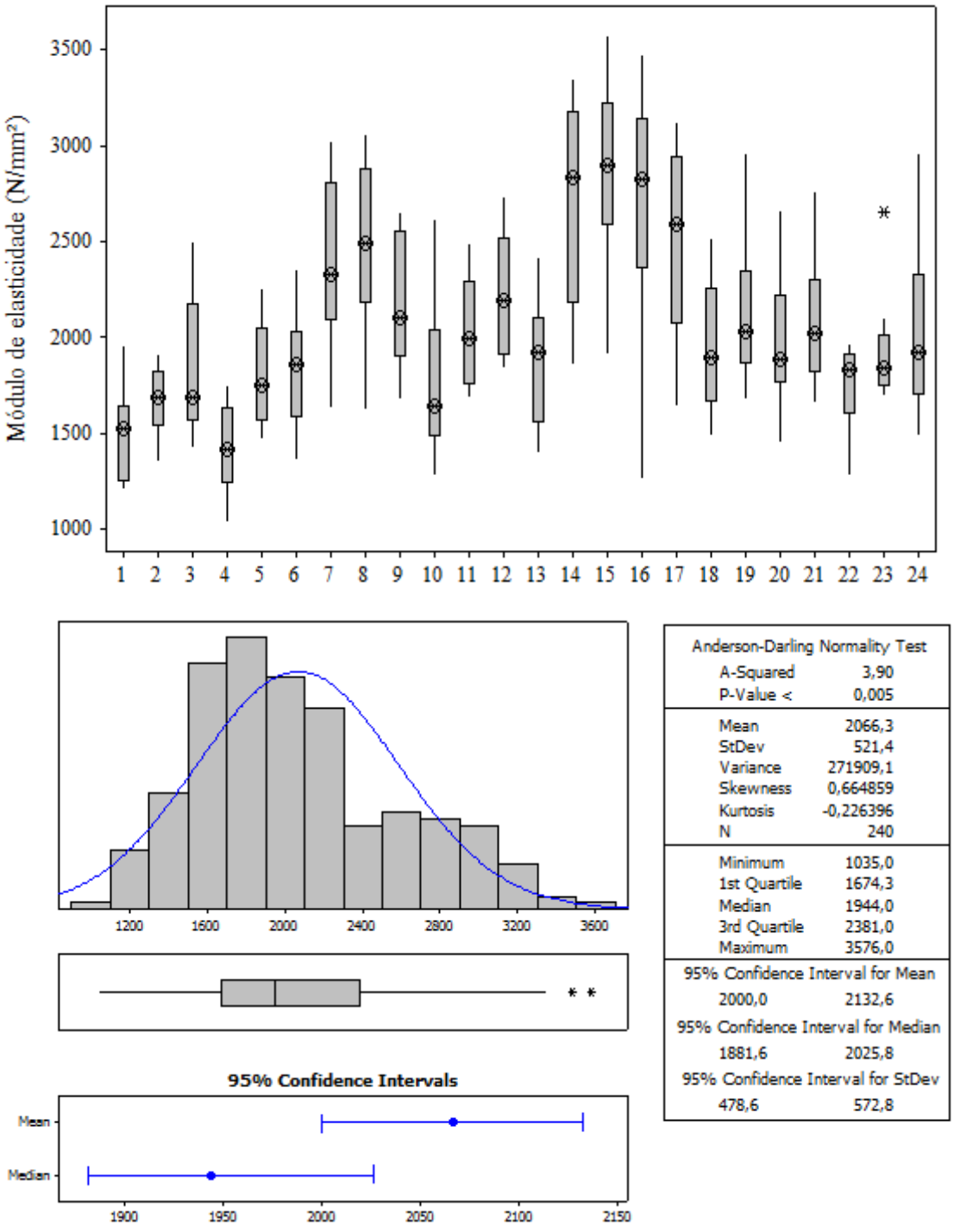


Gráfico 3.16. Boxplot e Histograma dos resultados de MOE (N/mm²).

Para análise de variância (ANOVA) utilizou-se o teste de normalidade de Anderson-Darling, não sendo constada distribuição normal para Flexão Estática - MOE por apresentar P-valor inferior a 0,05. Para o emprego da ANOVA segundo a estatística paramétrica, foi-se utilizada a transformada de Johnson sobre a resposta Flexão Estática - MOE (Gráfico 3.17). Para todas as respostas investigadas, foi-se constatada também a equivalência entre as variâncias, completado por validar o modelo da ANOVA. O Gráfico 3.18 ilustra a normalidade para os dados de Flexão Estática - MOE (teste de Anderson-Darling).

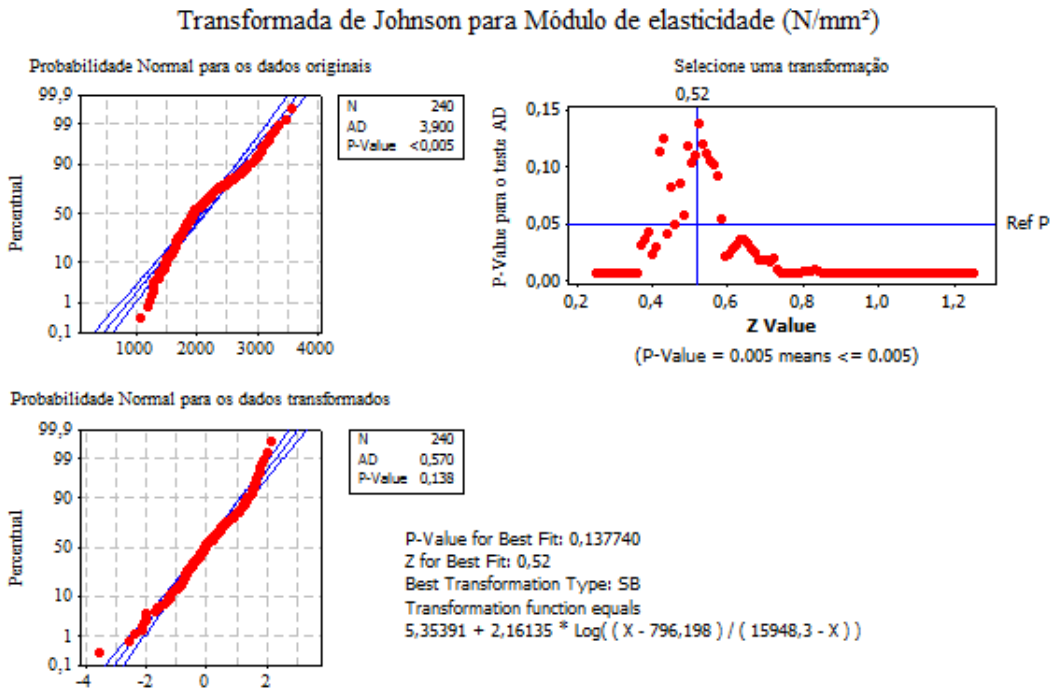


Gráfico 3.17. Transformada de Johnson para Módulo de Elasticidade.

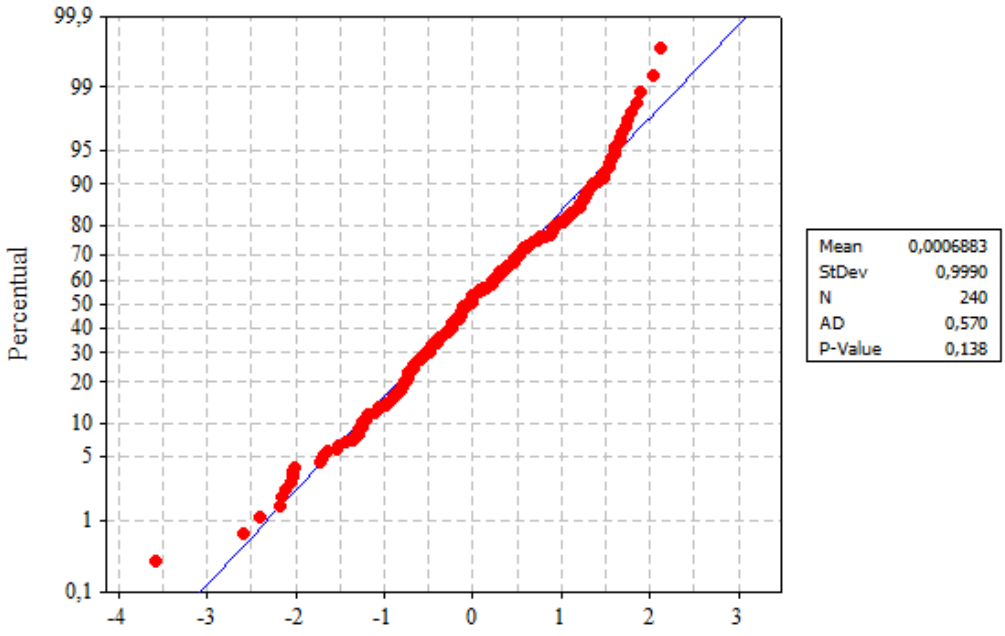


Gráfico 3.18. Normalidade dos dados transformados para Módulo de Elasticidade (P-valor: 0,138).

A Tabela 3.35 apresenta os resultados médios para o ensaio de Flexão estática — Módulo de elasticidade (N/mm²), MOE, conforme Anexo k, intervalo de confiança (95%), desvio padrão, coeficiente de variação (%) e a comparação dos resultados conforme da norma NBR 14810-2 (2013), Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3.

Tabela 3.35 Comparação dos resultados para os ensaios de Flexão Estática (MOE).

| TRAÇOS | Adesivo | (%) | NBR 14810-2 (2013) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Módulo de Elasticidade (N/mm²) | Intervalo de Confiança (95%) limite inferior (%) | Intervalo de Confiança (95%) limite superior (%) | Desvio Padrão | Coeficiente Variação (%) | Anexo k (N/mm²) [1800] |
| $T_1$ | UF | 8 | 1499 | 1356 | 1643 | 231,41 | 15,4 | Não |
| $T_2$ | UF | 10 | 1673 | 1562 | 1784 | 179,05 | 10,7 | Não |
| $T_3$ | UF | 12 | 1833 | 1611 | 2055 | 358,15 | 19,5 | Sim |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | 1416 | 1272 | 1561 | 233,15 | 16,5 | Não |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | 1811 | 1628 | 1994 | 295,12 | 16,3 | Sim |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | 1834 | 1636 | 2032 | 319,87 | 17,4 | Sim |
| $T_7$ | UF | 12 | 2381 | 2103 | 2660 | 449,85 | 18,9 | Sim |
| $T_8$ | UF | 12 | 2480 | 2197 | 2763 | 457,09 | 18,4 | Sim |
| $T_9$ | UF | 12 | 2173 | 1959 | 2388 | 346,17 | 15,9 | Sim |
| $T_{10}$ | UF | 12 | 1768 | 1525 | 2010 | 390,67 | 22,1 | Não |
| $T_{11}$ | UF | 12 | 2025 | 1852 | 2198 | 278,72 | 13,8 | Sim |
| $T_{12}$ | UF | 12 | 2227 | 2034 | 2421 | 311,82 | 14,0 | Sim |
| $T_{13}$ | UF | 12 | 1873 | 1678 | 2067 | 313,91 | 16,8 | Sim |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | 2713 | 2392 | 3033 | 516,43 | 19,0 | Sim |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | 2857 | 2549 | 3164 | 496,23 | 17,4 | Sim |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | 2664 | 2201 | 3128 | 748,01 | 28,1 | Sim |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | 2519 | 2201 | 2837 | 512,87 | 20,4 | Sim |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | 1943 | 1742 | 2144 | 323,86 | 16,7 | Sim |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | 2111 | 1881 | 2340 | 370,54 | 17,6 | Sim |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | 1971 | 1751 | 2192 | 355,68 | 18,0 | Sim |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | 2077 | 1864 | 2290 | 343,42 | 16,5 | Sim |
| $T_{22}$ | UF | 10 | 1753 | 1616 | 1890 | 221,44 | 12,6 | Não |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | 1935 | 1758 | 2111 | 284,35 | 14,7 | Sim |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | 2056 | 1754 | 2357 | 486,39 | 23,7 | Sim |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

De acordo com os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 14810:2013-2, Tabela 2, Painéis (Tipo P2), p.3, os painéis de partículas devem apresentar

resistência à flexão estática, Módulo de Elasticidade, de no mínimo 1800 N/mm², para painéis com espessura nominal de 6 mm a 13 mm, o que fora atendido para maioria dos painéis de partícula confeccionados, exceto os traços $T_{1,}$ $T_2$, $T_4$, $T_{10}$ e $T_{22}$. Observa-se no gráfico 3.16 uma mediana e média geral, para os 24 traços realizados, respectivamente de 1944,0 N/mm² e 2066,3 N/mm².

### 3.3.7 Resumo da análise das pesquisas I, II, III e IV (NBR 14810)

O resumo das análises dos ensaios físicos e mecânicos, dos 1.440 (um mil quatrocentos e quarenta) corpos de prova ensaiados, são apresentados na Tabela 3.36.

Tabela 3.36 Resumo das análises das pesquisas I, II, III e IV (ABNT NBR 14810).

| TRAÇOS | Adesivos | (%) | NBR 14810-1 e NBR 14810-2 (2013) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Anexo F | Anexo G | Anexo L | Anexo J | Anexo k | | ANÁLISE |
| | | | Umidade | Densidade | Inchamento | Tração Perpendicular | Flexão Estática MOR | MOE | |
| | | | (5 a13) (%) | Kg/m³ (551 a 750) | % 18 | (N/mm²) [0,40] | (N/mm²) [11] | (N/mm²) [1800] | |
| $T_1$ | UF | 8 | Sim | Sim | Não | Sim | Não | Não | lista de espera |
| $T_2$ | UF | 10 | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | Não | lista de espera |
| $T_3$ | UF | 12 | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_4$ | Sikabond | 8 | Sim | Sim | Não | Sim | Não | Não | lista de espera |
| $T_5$ | Sikabond | 10 | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_6$ | Sikabond | 12 | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_7$ | UF | 12 | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Sim | lista de espera |
| $T_8$ | UF | 12 | Sim | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_9$ | UF | 12 | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Sim | lista de espera |
| $T_{10}$ | UF | 12 | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Não | lista de espera |
| $T_{11}$ | UF | 12 | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Sim | lista de espera |
| $T_{12}$ | UF | 12 | Sim | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_{13}$ | UF | 12 | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Sim | lista de espera |
| $T_{14}$ | Sikabond | 12 | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_{15}$ | Sikabond | 12 | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_{16}$ | Sikabond | 12 | Sim | Não | Não | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_{17}$ | Sikabond | 12 | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_{18}$ | Sikabond | 12 | Sim | Sim | Não | Sim | Não | Sim | lista de espera |
| $T_{19}$ | Mamona | 10 | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | lista de espera |
| $T_{20}$ | Sikabond | 10 | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Aprovado |
| $T_{21}$ | Mamona | 10 | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Aprovado |
| $T_{22}$ | UF | 10 | Sim | Sim | Não | Não | Não | Não | lista de espera |
| $T_{23}$ | Sikabond | 10 | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Aprovado |
| $T_{24}$ | Mamona | 10 | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Aprovado |

* UF – Uréia-formaldeído; Mamona – Adesivo poliuretano á base de óleo de mamona.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Várias conclusões obtidas nesse trabalho foram comentadas no decorrer dos capítulos anteriores. A seguir, estão destacadas as principais:

O resumo das análises das pesquisas apresentado na Tabela 3.36 comparou os resultados obtidos com as recomendações da norma ABNT NBR 14.810-1 (2013) e NBR 14.810-2 (2013) e encontrou traços eficientes a uma determinada variável resposta e ineficientes simultaneamente a outra variável resposta. Assim como, encontrou traços eficientes para todas as variáveis respostas avaliadas nesta pesquisa, tais como: $T_{20}$, $T_{21}$, $T_{23}$ e $T_{24}$ apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Traços eficientes para todas as variáveis respostas.

| TRAÇOS | Porcentagens de cavacos (%) | | Adesivos | (%) |
|---|---|---|---|---|
| | Cedrinho | Bambu | | |
| $T_{20}$ | 75 | 25 | Sikabond | 10 |
| $T_{21}$ | 75 | 25 | Mamona | 10 |

| TRAÇOS | Dimensão dos cavacos de Bambu (mm) | | | | | | | Adesivos | (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4,75 | 4,00 | 3,35 | 2,80 | 2,00 | 0,84 | 0,42 | | |
| $T_{23}$ | 8 | 24 | 24 | 4 | 20 | 15 | 5 | Sikabond | 10 |
| $T_{24}$ | 8 | 24 | 24 | 4 | 20 | 15 | 5 | Mamona | 10 |

Destacam-se entre os Traços $T_{20}$, $T_{21}$, $T_{23}$ e $T_{24}$:

- A Umidade variou entre 5,3% a 5,7%, a norma recomenda um valor de 5% a 13%, isto indica um resultado de eficiência próximo ao valor mínimo recomendado;
- A densidade variou entre 725 kg/m³ a 734 kg/m³, a norma recomenda uma densidade entre 551 kg/m³ a 750 kg/m³, isto indica um resultado de eficiência próximo ao valor máximo recomendado por norma.
- O inchamento durante 24 horas variou entre 11,4 % a 13,6%, a norma recomenda um valor máximo de 18%.

- Na tração perpendicular os traços $T_{21}$ e $T_{24}$ colados com o adesivo de mamona apresentaram resultados superiores aos traços $T_{20}$ e $T_{23}$ colados com Sikabond e superiores aos valores recomendados pela norma.
- Na flexão estática (MOR) e no Módulo de Elasticidade (MOE) os traços $T_{21}$ e $T_{24}$ colados com o adesivo de mamona apresentaram resultados superiores aos traços $T_{20}$ e $T_{23}$ colados com Sikabond e superiores aos valores recomendados pela norma.

Para os traços em “lista de espera” onde as respostas foram eficientes a uma determinada propriedade e ineficientes simultaneamente a outra variável devem ser reavaliados em pesquisas futuras.

No desenvolvimento das pesquisas surgiram vários obstáculos, principalmente, com relação à infraestrutura necessária para sua continuidade, à exequibilidade da pesquisa exige um tempo mínimo para preparação dos painéis de partículas, corpos de prova e realização dos ensaios e não pode ser reduzido, isto serviu de aprendizado, e certamente nos próximos cronogramas de atividades, a quantidade proposta de ensaios para cada pesquisa será diminuída.

De acordo com a análise dos resultados, pode-se concluir que a fabricação dos painéis de partículas de Cedrinho e Bambu ou Bambu apresentaram resultados satisfatórios por atingir todos os parâmetros mínimos recomendados por norma. Esta avaliação realizada corroborou para compreensão dos processos de fabricação de produtos derivados de madeira e materiais lignocelulósicos, assim como, na avaliação das propriedades físicas e mecânicas. A pesquisa demonstrou potencial na geração de resultados expressivos em relação à caracterização de painéis de partículas em conformidade com os interesses nacionais no incentivo a pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

## 5. RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

Os traços em “lista de espera” devem ser reavaliados em relação aos resultados obtidos insatisfatórios referente a norma ABNT NBR 14.810-1 (2013) e NBR 14.810-2 (2013).

## 6. REFERÂNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Intervenções de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS . ASTM D1554. **Standard termilogy relating to wood-base fiber and particle panel materials**. Philadelphia, Pa. 1999.

ANASTÁCIO, A. F. **Proposta de uma sistemática para estrutura uma rede logística reversa de distribuição para o sistema de coleta, processamento e recuperação de resíduos da construção civil**: o caso do município de Curitiba. 2003. 124 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PAINÉIS DE MADEIRA, ABIPA, produtos e tecnologias. **Consumo mundial de aglomerado em 2004/2005***.* Disponível em: www.abipa.org.br. Acessado em: 14.dez.2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO, ABIMÓVEL. **Panorama do setor moveleiro no Brasil**: informações gerais. São Paulo, 17 p., 2006. Disponível em: <www.portalbmk.org.br/publicacoes/arquivos/1171655150.pdf>. Acesso em: 15.dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14810-1:2013 **Painéis de partículas de média densidade. Parte 1: Terminologia**. ABNT. Rio de Janeiro. 5p. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14810-2:2013 **Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. ABNT. Rio de Janeiro. 69p. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, ABRAF, Ano Base 2010, **Principais Indicadores Do Setor De Florestas Plantadas**. Disponível em: http://www.abraflor.org.br/, Acessado em 10/15/2015.

ASSOCIAÇÃO DE PROFISSIONAIS DE EDUCAÇÃO DO NORTE ALENTEJO, APENA. In: **O Uso da Logística Reversa para atender à Responsabilidade**

**Sócio-ambiental**: O Caso do Tratamento de Resíduos Sólidos em Organizações Madeireiras. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO, BNDES. **Mercado nacional de painéis de chapas de partículas**. Disponível em: www.bndes.gov.br. Acessado em: 14.dez.2015.

BATISTTELLE, R. A. G.; LAHR, F. A. R. **Emprego do bagaço da Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das Folhas Caulinares do Bambu da Espécie *Dendrocalamus giganteus* na Produção de Chapas de Partículas**. Revista Minerva, pp.297-305, 2009.

BETIM, L.; GUARNIERI, P.; RESENDE, L. M. M.; HATAKEYAMA, K. **A logística reversa agregando valor aos resíduos de madeira através de uma visão empreendedora**. In: 2º Encontro Paranaense de Empreendedorismo e Gestão Empresarial, Ponta Grossa – PR. Anais... Ponta Grossa, 2005.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. de C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, B. C. S.; SANTOS, R. D.; FONTES, A. L. **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Chapas de Madeira Aglomerada de Eucalipto, Paricá e Vassoura**. In: XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

BIAZUS, A, HORA, A. B, LEITE B. G. P, **Painéis de Madeira no Brasil**: Panorama e Perspectivas, BNDES Setorial 32: 49-90. 2008.

BISWAS, D, BOSE, S. K, HOSSAIN, M. M. **Physical and Mechanical Properties of Urea Formaldehyde-bonde Particleboard made from bamboo waste**, International journal of adhesion & adhesives n. 31, p.84-87, 2011.

BISWAS, D.; BOSE, S. K.; HOSSAIN, M. M. **Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded particleboard made from bamboo waste**. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2010.

BRITO, E. O.; PEIXOTO, G. L. **Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados**. Revista Floresta e Ambiente. Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 60-67, jan./dez. 2000.

BRITO, E. O.; SÁ-ROCHA, J. D.; VIDAURRE, G. B.; BATISTA, D. C.; PASSOS, P. R. A.; MARQUES, L. G. C. **Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de *Pinus***. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 1-6, 2004.

BRITO, E.O. e SILVA, G.C. **Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arborea Linn. Roxb*. e *Samanea saman (Jacq.) Merr.*** Floresta e Ambiente, V. 9, n.1,127p. - 134, jan./dez. 2002.

BRITO, E.O.; BATISTA, D.C.; VIADAURRE, G.B. e SAMPAIO L.C. **Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *elliottii engelm*. com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita F. MUELL***. Cerne, Lavras, v. 11, n. 4, p. 369-375, out./dez. 2005.

CALEGARI, L et al, **Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa Vulgaris schr*) em combinação com madeira**. Cerne,Lavras, v.13,n.1:57-63, 2007.

CASTRO, M. B. de; ABREU, R. de; MENDES, L. M.; SANTOS, R. C. dos. **Painéis Aglomerados de Candeia e Eucalipto**. In: **XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira**, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

CAVERSAN, A.L; PEREIRA, M. A. R. **Bambu x Sustenbilidade**: um panorama brasileiro. **Ebramem XII, LAVRAS/MG,** 25 a 28 de julho de 2010.

CHEN, G. H. Bamboo plywood: A new product of structural material with high strength properties. In: **Proceedings of the 2nd International Bamboo Workshop**, Hang Zhou, Republic of China, pp 337–338, 1985.

DACOSTA, L.P.E.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J.; SCHEIDER, P.R.; CALEGARI, L. **Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii Engelm***. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 4, 421-429 p., 2005.

DONAIRE, D. **Gestão Ambiental na Empresa**. São Paulo: Atlas, 1995.

FENG, W.Y., WANG, ZH.; GUO, W.J. **A study on chemical composition and fiber characteristics of two sympodial bamboos**. International Network for Bamboo and Rattan. Chinese academy of pulp and paper making. 2002.

FERREIRA, A. R.; JOÃO, D. de M.; SANTANNA, L. C. de C. **O uso da logística reversa para atender à responsabilidade sócio-ambienta**l: o caso do tratamento de resíduos sólidos em organizações madeireiras. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

FERREIRA, C, A; FREITAS, M; FERREIRA, M. **Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de Mogi-Guaçú (SP)**, IPEF n.18, p.106-117, jun.1979.

FREIRE. W. J, BERALDO A L, **Tecnológicas e materiais alternativos de construção,** capítulo 9, Bambu: Características e aplicações. Campinas: Ed Unicamp, 2003.

GANAPATHY, P.M et al, Bamboo panel boards – A state of the art review (1996). Disponível em: **Internacional Network for Bamboo and Rattan**. http://www.inbar.int/publication/pubdetail.asp?publicid=12&catecode, Acessado: 15/12/2015.

GARBINO, L. V. **Determinação de propriedade física do bambu *Dendrocalamus Giganteus***, Bauru, 2003. f 85. Tese de Mestrado em Engenharia Industrial,Unesp Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru.

GARBINO, L.V; PEREIRA, M. A. R; GONÇALVES, M. T. T. **Procedimento experimental para determinação de propriedades físicas do bambu**; EBRAMEM, IX, 2004.

GROSSER, D., LIESE, W.: **Verteilung der Leitbndel und Zellarten in Sproachsen verschedener Bambusarten**, **Holz Roh**–Werkstoff 32,. p.473-482. 1974.

GROSSER, D.; LIESE, W. **On the Anatomy of Asian Bamboo's, with Special Reference to their Vascular Bundles**. Wood Science and Technology, n. 5,p. 290- 312, 1971.

GUARNIERI, P. et al. **Obtendo competitividade através da logística reversa:** estudo de caso de uma madeireira. Journal of Technology Management & Inovation, v.1, 2006.

HASELEIN, C.R.; CALEGARI, L.; BARROS, M.V.; HACK,C.; HILLIG, E. PAULESKI, D.T.; POZZERA, F. **Resistência mecânica e à umidade de painéis**

**aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões**. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, pp.127-134, 2002.

HIGUCHI, H. **Biochemical studies of lignin formation**, III. Physiologia Plantarum v10, p.633-648, 1957.

HIZIROGLU, S.; et al. **Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels**. Forest Products Journal, v.55, n.12, pp.221-225, 2005.

IWAKIRI, S. et al. **Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn**. Ex R.Br. Revista vol.28 n.6. Viçosa Nov./Dec. 2004.

IWAKIRI, S.; COSTA, A.F.; KLITZKE, R.J.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R.; NIEFE, I. **Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii Engelm***. Com inclusão laminar, CERNE, V.5, N.2, 086-094 p., 1999.

IWAKIRI. S; CAPRARA. A. C; GUISANTES. F. P; GRANZONI. J. A; KRAMBECK. L. B. P; RIGATTO. P. A; **Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas**. Scientia Forestalis, n.68,p39-43,ago.2005.

KELLY, M.W. **A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory General Technical Report, FPL-10, 1977. Disponível em http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr10.pdf. Acessado: 27 Fevereiro 2013.

KOLLMAN, F.F.P., CÔTÉ, W.A. **Principles of Wood Science and Technology**. New York, Springer-Verlag, V.1, 1968.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Wood based materials. Properties of Particleboard. Nail-Holding and Screw-Holding Ability. p.523-529, New York.

KOLLMANN, F.P.T.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J.; **Principles of wood science and tecnology II**: wood based materials. 2. ed. Berlin; Springer-Verlag, 1975.

KOZAK, P. A., CORTEZ, A. M., SCHIRMER, W. N., CALDEIRA, M. V. W., BALBINOT, R. **Identificação, quantificação e classificação dos resíduos**

**sólidos de uma fábrica de móveis**. Revista Acadêmica, Ciência Agrár. Ambient., Curitiba, v. 6, n. 2, p. 203-212, abr./jun. 2008.

LEANDRO, F. **Logística Reversa**: percentual de ocupação dos palites na carga e os custos de retorno. **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais**, v.3, n.1, pp.17-25, 2006.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; BANG, A. P. **Flexural properties of bamboo reinforced southern fine OSB beams**. **Forest Prod Journal**, 47:74–78, 1997.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; PERALTA, P. N. **Physical and mechanical properties of strandboard made from moso bamboo**. Forest Prod Journal, 46(11/12):84–88, 1996.

LEITE, P. R. **Logística reversa***:* meio ambiente e competitividade. Prentice Hall, 2003.

MALANIT, P, BARBU, M.C, FRÜHWALD.A, **Physical and mechanical properties of oriented strand lumber made from an Asian bamboo (*Dendrocalamus asperBacker*)**. Eur. J. Wood Prod. N.69, P: 27–36, 2011.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dri process fiberboard manufacturing.** São Francisco: Miller Freeman, 10993. 681p, 1977.

MATOS, D. A.; AGUIAR, E. M.; ANTÔNIO, L. de Q. **Avaliação da Logística Reversa do Programa de Reciclagem da USP/São Carlos com o *Balanced Scorecard*.** Revista Minerva, pp.1-8, 2006.

MELO, R, R; MENEZZI, C,H,S. **Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados.** Silva Lusitana, Lisboa. Portugal, 18, p: 59 - 73, 2010.

MELO, R. R. de; et al. **Caracterização tecnológica de painéis aglomerados confeccionados com partículas de madeira e bambu**. In: XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

MELO, R. R.; et al. **Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. Ciência Florestal, Vol. 19, n. 4. P: 449-460, 2009.

MENDES, L. M et al, ***Eucalyptus Urophylla*** **stand wood utilization at two different ages for production of particleboard panels**. Cernes, Lavras, v.15, n.3 ,p: 288-294. 2009.

MIYAMOTO, K.; NAKAHARA, S.; SUZUKI, S. **Effect of particle shape on linear expansion of particleboard**. Journal of Wood Science, v.48, p.185-190, 2002.

MOLINA, J. C.; CARREIRA, M. R.; JUNIOR, C. C. **Análise do comportamento mecânico de perfis retangulares de madeira plástica** (*Wood Plastic Composite*). Revista Minerva, pp.47-57, 2007.

MORAIS, W. W. C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com Bambu, Pinus e Eucalipto**, 2011. 31-32 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Centro de Ciências Rurais – Universidade Federal de Santa Maria.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Southern: Illinois University Press, v.1, 1974.

NASCIMENTO, M.F, CPH, **Chapas de partículas homogêneas - madeiras de nordeste do Brasil.** São Carlos – SP. 2003. Dissertação de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, N. C. **Geração de resíduos sólidos em uma indústria de móveis de médio porte**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, 2009.

NISGOSKI, S.; et al. **Características do Bambu (*Dendrocalamus giganteus munro*) aos cinco anos de idade**. In: XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

NUGROHO, N.; ANDO, N. Development of structural composite products made from bamboo I: fundamental properties of bamboo zephyr board. **Journal Wood Science** 46:68–74, 2000.

NUGROHO, N.; ANDO, N. Development of structural composite products made from bamboo II: fundamental properties of laminated bamboo lumber. **Journal Wood Science** 47:237–242, 2001.

OLIVEIRA, A. A.; SILVA, J. T. M. **A logística reversa no processo de revalorização dos bens manufaturados**. Revista eletrônica de Administração, v.06, ed.07, n.02, 2005.

OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de Eucalipto para a construção civil**, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 1998.

OLMOS, M. A.C, **Equipamento e processo de fabricação de chapas aglomeradas a partir de resíduos de madeira**, São Carlos- SP. 1992. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PAES, J. B.; et al. **Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*)**. Ciência Florestal, v.19, n.1, pp.41-51, 2009.

PAPADOPOULOS, A. N; **Bamboo chips (*Bambusa vulgaris*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture**. Publicado em Holz Roch Werkst , n.62, p: 36-39.2004.

PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose**. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.2, pp.201-212, 2006.

PEIXOTO, G.L.; BRITO, E.O. **Avaliação da granulometria de partículas de Pinus taeda combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados**. Floresta e Ambiente, v. 7, n.1, 60 – 67p., jan./dez. 2000.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V. **Propriedades da madeira de *Cupressus lusitanica Mill*. Colombo: Embrapa Florestas**, 2003. 5 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 107).

PIASSI, L. M.; AGUIAR, E. M.; ANTONIO, L. de Q. **A logística reversa nos programas de redução de resíduos da USP e UFSCAR**. Revista Minerva, pp.59-65, 2007.

QISHENG, Z.; SHENXUE, J. **Bamboo based panels in China**. Bamboo Engineering Research Center, Nanjing Forestry University. Nanjing China, 2004.

RIVELA, B.; et. al. **Life cycle inventory of particleboard: a case study in the wood sector.** INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT. Universidad Santiago de Compostela, Sch Engn, Dept Chem Engn, Santiago de Compstela 15782, Spain, 2004.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going backwards:** reverse logistics trends and practices. Reno: Universidade de Nevada, 1999.

SAMPAIO, R. M.; VALARELLI, I. D.; SILVA, P. M. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de chapas de partículas aglomeradas de resíduos de bambu *Dendrocalamus giganteus* e folha caulinar**. In: XI Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Londrina, Paraná. Anais do XI EBRAMEM, 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, SBS. **Painéis aglomerados de Candeia e Eucalipto**. XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

STANGERLIN, D. M.; et al. **Resistência natural de painéis aglomerados bambu-madeira ao ataque de fungos apodrecedores**. In: XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R.R; GARLET,A. G.; GATTO, D. A. **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.

SUMARDI, I.; KOJIMA, Y.; SUZUKI, S. **Effects of strand length and layer structure on some properties of strandboard made from bamboo**. Journal Wood Science, Japan, 54:128–133, 2008.

SUMARDI, I.; ONO, K.; SUZUKI, S. **Effect of board density and layer structure on the mechanical properties of bamboo oriented strandboard**. Journal Wood Science, Japan, pp. 510-515, 2007.

TEREZO, R.F; TEREZO, E.F.M; SZÜCS, C.A; **Reflorestamento no Brasil**: sua história e seus aspectos econômicos – sociais. In: X Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira,. Anais do X EBRAMEM, 2006.

TONISSI, J. L. **Madeira e seus derivados na construção civil**. Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos, São Paulo, p.137, 1985.

VIEIRA, K. A; CARVALHO, M. R. O; VISNARDI, O. C; VALARELLI, I.D. **Avaliação do comportamento das chapas aglomeradas de Bambu e Pinus em relação ao teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura.** In: XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira. Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 25 a 28 de Julho, 2010.

VISNARDI, O. C.; VALARELLI, I. de D.; CARVALHO, M. R. de O.; TIBÚRCIO, U. F. de O. **Produção e avaliação física de chapas de partículas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.** In: XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. **Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden)**. Revista Árvore, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96,1992.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**, 2011. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WEN, T.; CHOU, W. **A study on the anatomy of the vascular bundles of bamboo from China**. In: Recent Research on Bamboo, Ed. Rao, A.N., Ohanarajan, G., Sastry, C.B. Proc. Intern. Workshop Hangzhou, P.R. China, 1985, Singapore p.230-243, 1987.

YANO. H. et al. **Effects of element size and orientation in the production of hight strength adhesive impregnated wood based materials**. Holzforrschung. Germany. v. 54. n. 4. p. 443-447, (2000).

ZHANG, H. J. A new structural panel composite: Bamboo-based waferboard. In: **Proceedings of the Utilization of Agricultural and Forestry Residues**, Nanjing, Republic of China, pp 204–209, 2001.