UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE BAURU

ISABELLA IMAKAWA DE ARAÚJO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS DE PARTICULAS DE BAMBU COM ADIÇÃO DE CASCA DE CAFÉ

Bauru
Julho - 2015

ISABELLA IMAKAWA DE ARAÚJO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS DE PARTICULAS DE BAMBU COM ADIÇÃO DE CASCA DE CAFÉ

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru, programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na área de Processos de Fabricação, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli
Coorientadora: Profª. Drª. Cristiane Inácio de Campos

Bauru
Julho - 2015

Araújo, Isabella Imakawa.
Caracterização físico-mecânica de painéis de partículas de bambu com adição de casca de café / Isabella Imakawa de Araújo, 2015
114 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ivaldo D. Valarelli

Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015

1. Aproveitamento de resíduo. 2. Propriedades físicas. 3. Propriedades mecânicas. 4. Chapa de partículas. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Mestre em Engenharia Mecânica.

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE BAURU
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ISABELLA IMAKAWA DE ARAUJO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 28 dias do mês de julho do ano de 2015, às 10:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/ Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. MARIA FÁTIMA DO NASCIMENTO do(a) Departamento de Engenharias de Estruturas / Escola de Engenharia de São Carlos-Usp, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ISABELLA IMAKAWA DE ARAUJO, intitulada "CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE BAMBU COM ADIÇÃO DE CASCA DE CAFÉ". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI

Profa. Dra. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE

Profa. Dra. MARIA FÁTIMA DO NASCIMENTO

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar e acima de tudo a Deus, que sempre foi minha maior força e razão para continuar adiante.

À minha mãe e ao meu tio/pai Valter. Obrigada por todo apoio e incentivo, até mesmo quando eu não acreditava em mim, vocês fizeram de tudo para mostrar que eu iria conseguir.

Aos meus irmãos Caio, Vitor e Pedro, meus maiores tesouros, obrigada por todo amor dedicado a mim. Se hoje sei o significado de amar incondicionalmente, devo isso a vocês. Tenho muito orgulho dos três! E também agradeço as minhas cunhadas Rafaella e Nathalia por cuidarem deles.

À minha família, avós, tios e primos, obrigada por todo apoio, por serem meu porto seguro.

À família Donnini pela amizade.

Aos meus amigos de longa data: Cristiane, Karina, Ana Clara, Tairine, Diego, Neto, Jaime, muito obrigada pelos conselhos. Amo vocês! E aos de não tão longa data assim, conquistados ao longo desses dois anos em que desenvolvo o mestrado, mas que são muito importantes também: Fernanda, Ana Cláudia, Sofia, Bruno, Felipe, João, Vinicius, Mayara, Vanessa, Diego, Elton, Elaine, Cheila e Paulo Miguel. Obrigada por fazerem dos meus dias ruins, bons; e dos bons, os melhores.

Ao meu namorado, Vinicius, por sempre estar do meu lado, me aguentando nos bons e maus momentos, obrigada pelos conselhos, pelas broncas, pela paciência, por todo carinho e amor, obrigada por tudo. Amo muito você!

Aos colegas de laboratório: Fernanda, Torrinha e Gabriel e ao meu orientador Ivaldo, pela ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

À técnica do laboratório de Anelasticidade e Biomateriais – Faculdade de Ciências, Thais P. Z. Marques pelo auxílio e captura das imagens do MEV.

À minha coorientadora Cristiane, por sempre me ajudar, na dissertação e na vida.

À UNESP pelo apoio a pesquisa.

À CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

A produção de produtos derivados de madeira e bambu vem crescendo nos últimos anos na busca de um aproveitamento mais racional dessas matérias-primas. Dentre esses produtos encontram-se os painéis de partículas que aliam sustentabilidade e racionalidade no uso desses materiais. Este trabalho tem por finalidade, o estudo da aplicação de matérias-primas alternativas na fabricação de painéis de partículas, utilizando resíduos do processamento industrial de casca de café e bambu. Os 20 painéis de partículas foram produzidos em três camadas, com partículas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e adição de partículas de casca de café na camada intermediária do painel, unidas por uma resina poliuretana à base de mamona. A caracterização físico-mecânica foi realizada baseando-se nas especificações das NBR 14810-3/2006, anulada e sua sucessora NBR 14810/2013. Foram avaliadas as propriedades físicas de absorção de água durante 24 horas, inchamento em espessura durante 24 horas, densidade e teor de umidade. As propriedades mecânicas avaliadas foram: tração perpendicular, flexão estática para determinação do módulo de ruptura e módulo de elasticidade e arrancamento de parafuso de topo e superfície. Os painéis também foram avaliados microscopicamente, através de um Microscópio Eletrônico de Varredura. Com esse trabalho concluiu-se que o painel de partículas confeccionado com adição de 10%, 20% e 30% de casca de café pode ser comercialmente utilizado, quando forem de uso interno, não estrutural e em condições secas. Todas as propriedades com requisitos mínimos indicados pela norma brasileira NBR 14.810/2013 foram atendidas.

Palavras Chave: aproveitamento de resíduo, propriedades físicas, propriedades mecânicas, chapa de partículas.

ABSTRACT

Production of wood products and bamboo has been growing in recent years in search of a more rational use of these raw materials. Among these products are panels particles that combine sustainability and rational use of these materials. This paper aims at the study of the application of alternative raw materials in the manufacture of particle, using waste from industrial processing of coffee husk and bamboo. The twenty panels of particles were produced in three layers with bamboo species *Dendrocalamus giganteus* and adding particles of coffee hulls in the middle layer of the panel, joined by a polyurethane-based resin castor. Physico-mechanical characterization was performed based on the specifications of NBR 14810-3/2006, canceled and its successor NBR 14810/2013. The physical properties of water absorption were evaluated for 24 hours, thickness swelling for 24 hours, density and moisture content. The mechanical properties were perpendicular traction, bending to determine the modulus of rupture and modulus of elasticity and the top screw pullout and surface. The panels were also evaluated microscopically using a Scanning Electron Microscope. With this work it was concluded that the panel made with the panel of particles plus 10%, 20 % and 30% coffee pods can be used commercially, as are internal use, non-structural and dry conditions. All properties with minimum requirements established by the Brazilian NBR 14,810/2013 were met.

Keywords: utilization of waste, physical properties, mechanical properties, particleboard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa. 16
Figura 2: Áreas de distribuição das espécies de bambu. Fonte: Silva, 2005. 19
Figura 3: Bambu gigante. Fonte: Fonseca, 2011. 20
Figura 4: Tipos de rizomas. Fonte: NMBA (2004) apud Silva (2005). 21
Figura 5: Partes do colmo de bambu. Fonte: Janssen (1988) apud Regly (2012). 22
Figura 6: Custo de produção de alguns painéis (Adaptado de MENDES, 2000). 26
Figura 7: Plantação de café (Oliver Blanco, 2012). 29
Figura 8: Participação percentual da produção de café por Estado na safra de 2014 (Adaptado de CONAB, 2014). 30
Figura 9: Estrutura do grão de café (BRUM, 2007). 31
Figura 10: Disposição das partículas nos diferentes tipos de painéis (IWAKIRI *et al.*, 2005 - Adaptado). 33
Figura 11: Processo de produção de painéis de partículas aglomeradas (IWAKIRI *et al.*, 2005). 34
Figura 12: Pré-prensa (MALONEY, 1993). 37
Figura 13: Produção, importação, exportação, consumo interno e capacidade nominal de 2005 à 2012 (Adaptado de ABIPA, 2014). 40
Figura 14: Países que mais consomem MDP per capita no ano de 2012 em m³ a cada 1000 habitantes. (Adaptado de ABIPA, 2014) 40
Figura 15: Concentração da produção de painéis na região Sul e Sudeste (ABIPA, 2014). 41
Figura 16: Desenho esquemático para comparação entre microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura (DEDAVID, GOMES, MACHADO, 2007). 42
Figura 17: Painel de OSB de Pinus taeda visto do MEV com 500 x de aumento, onde A) mostra traqueídes rompidos e B) deposição de resina (Adaptado de Zegarra, 2011). 42
Figura 18: Peças residuais de bambu gigante. 44
Figura 19: Casca de café utilizada na produção das chapas. 45
Figura 20: Adesivo poliuretano à base de mamona. 45
Figura 21: Triturador de Galhos da marca CID. 46
Figura 22: Partículas retiradas do Triturador de galhos. 47
Figura 23: Picador Marconi utilizado na redução das partículas. 47

Figura 24: Agitador elétrico Bertel. 48
Figura 25: Partículas retidas na peneira de 9 mesh. 48
Figura 26: Partículas retidas na peneira de 16 mesh. 49
Figura 27: Partículas retidas na peneira de 35 mesh. 50
Figura 28: Partículas retidas na peneira de 60 mesh. 50
Figura 29: Partículas embaladas separadamente em camada externa e interna. 52
Figura 30: Painel de três camadas sendo confeccionado. 53
Figura 31: Pré prensa laboratorial. 53
Figura 32: Prensagem do painel. 54
Figura 33: Esquema de corte dos corpos de prova. 54
Figura 34: Dispositivo que mantém os corpos de prova submersos durante o ensaio de inchamento em espessura e absorção de água. 55
Figura 35: Câmara climática Marconi. 56
Figura 36: Ponto de intersecção das diagonais do corpo de prova de inchamento em espessura. 57
Figura 37: Balança semi analítica marca Marte. 58
Figura 38: Estufa com termostato marca AD. 61
Figura 39: Dessecador da marca Arsec utilizado para a determinação do teor de umidade. 61
Figura 40: Máquina universal de ensaios mecânicos. 63
Figura 41: Adesivo utilizado na colagem dos corpos de prova nos blocos de tração. 64
Figura 42: Blocos de tração utilizados no ensaio. 64
Figura 43: Dispositivo para prender os blocos de tração. 64
Figura 44: Ponto de medição do corpo de prova. 65
Figura 45: Apoios metálicos e cutelo da máquina universal de ensaios. 67
Figura 46: Medição dos corpos de prova. 67
Figura 47: Parafuso utilizado no ensaio. 69
Figura 48: Esquema de ensaio para arranque de superfície. 70
Figura 49: Esquema de ensaio para arranque de topo. 71
Figura 50: Microscópio Eletrônico de Varredura. 72
Figura 51: Corpos de prova utilizados no MEV. 72
Figura 52: Os oito corpos de prova utilizados no ensaio de MEV. 73
Figura 53: Corpos de prova colados no pino. 73
Figura 54: Corpos de prova no suporte. 74
Figura 55: Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Densidade. 76

Figura 56: Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Teor de umidade. 77
Figura 57: Médias e desvios padrões do ensaio de Inchamento em espessura durante 24 horas. 78
Figura 58: Médias e desvios padrões do ensaio de Absorção de água durante 24 horas. 79
Figura 59: Médias e desvios padrões do ensaio de MOR para Flexão estática. 82
Figura 60: Médias e desvios padrões do ensaio de MOE para Flexão estática. 83
Figura 61: Médias e desvios padrões do ensaio de Tração perpendicular. 84
Figura 62: Médias e desvios padrões do ensaio de Arrancamento de parafuso de topo. 85
Figura 63: Médias e desvios padrões do ensaio de Arrancamento de parafuso de superfície. . 86
Figura 64: Fotomicroscopia com 50 x de aumento de A) um painel composto por 100% bambu; B) painel composto por 90% bambu e 10% de casca de café; C) painel com 80% de bambu e 20% de casca de café; e D) painel com 70% de bambu e 30% de casca de café. 87
Figura 65: Fotomicroscopia com 150x de aumento de A) um painel composto por 100% bambu; B) painel composto por 90% bambu e 10% de casca de café; C) painel com 80% de bambu e 20% de casca de café; e D) painel com 70% de bambu e 30% de casca de café. 88
Figura 66: Ensaio de Flexão para o Traço 1. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 99
Figura 67: Ensaio de Flexão para o Traço 2. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 100
Figura 68: Ensaio de Flexão para o Traço 3. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 101
Figura 69: Ensaio de Flexão para o Traço 4. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 102
Figura 70: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 1. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 103
Figura 71: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 2. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 104
Figura 72: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 3. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 105
Figura 73: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 4. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 106

Figura 74: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 1. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 107
Figura 75: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 2. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 108
Figura 76: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 3. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 109
Figura 77: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 4. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva. 110
Figura 78: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 1. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva..... 111
Figura 79: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 2. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva..... 112
Figura 80: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 3. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva..... 113
Figura 81: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 4. Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva..... 114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Massa de casca de café e de partículas de bambu, em gramas, utilizadas em cada traço. 51
Tabela 2: Valores médios e desvios padrões dos ensaios físicos realizados para cada tipo de painel. 75
Tabela 3: Valores médios e desvios padrões dos ensaios mecânicos realizados para cada tipo de painel. 80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MOR - Módulo de Ruptura
MOE - Módulo de Elasticidade
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR - Normas Brasileiras
MDP - *Medium Density Particleboard*
OSB - *Oriented Strandboard*
HDF - *High Density Fiberboard*
MDF - *Medium Density Fiberboard*
LVL - *Lamineted Veneer Lumber*
MLC - Madeira Laminada Colada
ABIPA - Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ANSI - *American National Standard Institute*
CCB - Borato de cobre cromatado
UF - Uréia-formaldeído
FF - Fenol-formaldeído
MF - Melanina-formaldeído
PVA - Acetato de Polivinila
MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14
2. OBJETIVOS 18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
3.1. Matéria-prima 19
3.1.1. Bambu 19
3.1.2. Adesivo 23
3.1.3. Resíduos 27
3.1.4. Café 28
3.2. Painéis 31
3.2.1. Chapas de partículas aglomeradas e MDP 33
3.2.2. Processo de produção industrial de painéis de partículas aglomeradas 34
3.2.3. Painéis fabricados com resíduos 38
3.3. Tendências de mercado 39
3.5. Microscopia eletrônica de varredura aplicada em painéis 41
4. MATERIAIS E MÉTODOS 44
4.1. Materiais 44
4.2. Fabricação 46
4.3. Ensaios físicos 55
4.3.1. Inchamento em espessura 55
4.3.2. Absorção de água 57
4.3.3. Densidade 59
4.3.4. Teor de umidade 60
4.4. Ensaios mecânicos 62
4.4.1. Tração perpendicular 63
4.4.2. Flexão estática 66
4.4.3. Arrancamento de parafuso 69
4.5. Microscopia eletrônica de varredura 71
5. RESULTADOS 75
5.1. Ensaios físicos 75
5.1.1. Densidade 76
5.1.2. Teor de umidade 77
5.1.3. Inchamento em espessura 77

5.1.4. Absorção de água 79
5.2. Ensaios mecânicos 80
5.2.1. Flexão estática 81
5.2.2. Tração Perpendicular 83
5.2.3. Arrancamento de Parafuso 84
5.3. Microscopia Eletrônica de Varredura 86
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 89
REFERÊNCIAS 91
APÊNDICE - RESULTADOS E GRÁFICOS OBTIDOS NOS ENSAIOS MECÂNICOS ... 98

1. INTRODUÇÃO

A agroindústria brasileira apresenta um elevado volume de resíduos gerados e, os mesmos apresentam-se como uma alternativa promissora para atender a demanda de matéria-prima para o segmento de painéis particulados. Diversos estudos indicaram a viabilidade de uso de materiais como: sabugo de milho, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, caule de bananeira, casca de coco, caule de mandioca, casca de mamona, bagaço de cana, casca de macadâmia entre outros, na produção de painéis particulados (OKINO *et al.*, 1997; ROWELL *et al.*, 2000; MENDES, 2008; MENDES *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2014).

Os painéis que melhor aproveitam a tora de madeira ou bambu são os de partículas ou fibras, pois exigem menor diâmetro da árvore. Em painéis desse tipo, mais de 90% do material é aproveitado.

O painel aglomerado começou a ser produzido no Brasil por volta do ano 1960 e foi muito questionado quanto às limitações técnicas de absorção de água e inchamento em espessura, bem como a usinabilidade nas bordas. Porém, foram realizadas muitas melhorias, como a incorporação de parafina na confecção do painel, reduzindo com isso a higroscopicidade do painel e fazendo com que o mesmo fosse muito utilizado na indústria moveleira (IWAKIRI *et al.*, 2005). Outra inovação para os painéis foi a diminuição do tamanho das partículas nas camadas externas, buscando melhorar a trabalhabilidade e o acabamento superficial do material, sem causar perdas nas suas propriedades físico-mecânicas. A partir dessas inovações surgiu no mercado um painel derivado do aglomerado passando a ser chamado de MDP (*Medium Density Particleboard*).

O uso do bambu como matéria prima para a produção de painéis particulados já vem ganhando espaço em pesquisas há vários anos e os resultados apresentaram-se sempre bastante promissores. Biswas *et al.* (2011) produziram painéis de partículas com resíduos (cavacos e maravalha) de duas espécies de Bambu, *Bambusa balcooa* e *Bambusa vulgaris*, com adesivo ureia-formaldeído. Os painéis produzidos com partículas provenientes de cavacos apresentaram propriedades físico-mecânicas superiores àqueles produzidos com partículas de maravalha, mostrando que a geometria da partícula possui grande influência nas propriedades dos painéis. É importante notar que segundo os autores todos os painéis produzidos apresentaram propriedades de acordo com as normas internacionais, podendo então ser utilizado para a produção de painéis de partículas de boa qualidade. Entretanto

ambas as espécies produziram painéis com baixa estabilidade dimensional, devendo ser utilizado apenas em ambientes internos livres de umidade. Valarelli *et al.* (2014) produziram chapas de partículas com bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e os resultados físicos e mecânicos atenderam as especificações normativas da ABNT NBR 14.810-2/2006.

Quanto ao uso da casca de café, estudos anteriores já avaliaram a adição desta matéria prima em painéis particulados e os resultados foram sempre satisfatórios. Mendes *et al.* (2010) produziram painéis com incorporação de 25, 50 e 75% de casca de café, em três teores da resina fenol-formaldeído (6, 9 e 12%). Os autores concluíram que a proporção de 25% de casca de café apresentou-se satisfatória tanto para resultados físicos como mecânicos e, o aumento na porcentagem de adesivo teve influência direta no desempenho dos mesmos. Bekalo e Reinhardt (2010) produziram painéis de partículas com casca de café e os resultados obtidos indicaram que a adição de até 50% de casca proporciona resultados satisfatórios de caracterização físico-mecânica indicando os painéis para uso geral em condições secas. Os autores ainda concluíram que a melhor utilização para os painéis produzidos com adição de casca refere-se a usos em que se necessita de bom isolamento acústico.

De acordo com IBGE (2012) a safra nacional de café estimada para 2012 foi de 50,9 milhões de sacas de 60 kg do grão, que corresponde a 3.054.285 toneladas. E desse total, de 45% a 55% tornam-se resíduo.

Além disso, dentre os materiais lignocelulósicos citados anteriormente, destaca-se que a casca de café apresenta a queima mais poluente, tornando-se um problema ambiental. Portanto, o uso de tais resíduos na produção de painéis particulados surge como uma proposta sustentável e viável economicamente, dependendo da resina utilizada.

A produção de painéis utilizando resíduos contribui para atender a demanda desse produto, além de agregar valor a um material que seria descartado ou subutilizado na queima para geração de energia, podendo contribuir com o meio ambiente, utilizando seus recursos de forma mais adequada e sustentável.

O adesivo escolhido para confecção desse painel foi a resina poliuretana à base de mamona, que tem a vantagem de ser oriunda de um recurso natural e renovável e não agredir o meio ambiente.

Com base no exposto observa-se a viabilidade de uso de bambu e casca de café como matérias-primas na produção de painéis particulados. O presente estudo avaliou as propriedades físicas de painéis de particulas compostos por partículas de bambu na camada externa e adição de bambu e casca de café na camada interna de painéis de partículas em quatro diferentes porcentagens.

1.1. Abordagem para o desenvolvimento do trabalho

Esse trabalho experimental foi desenvolvido conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

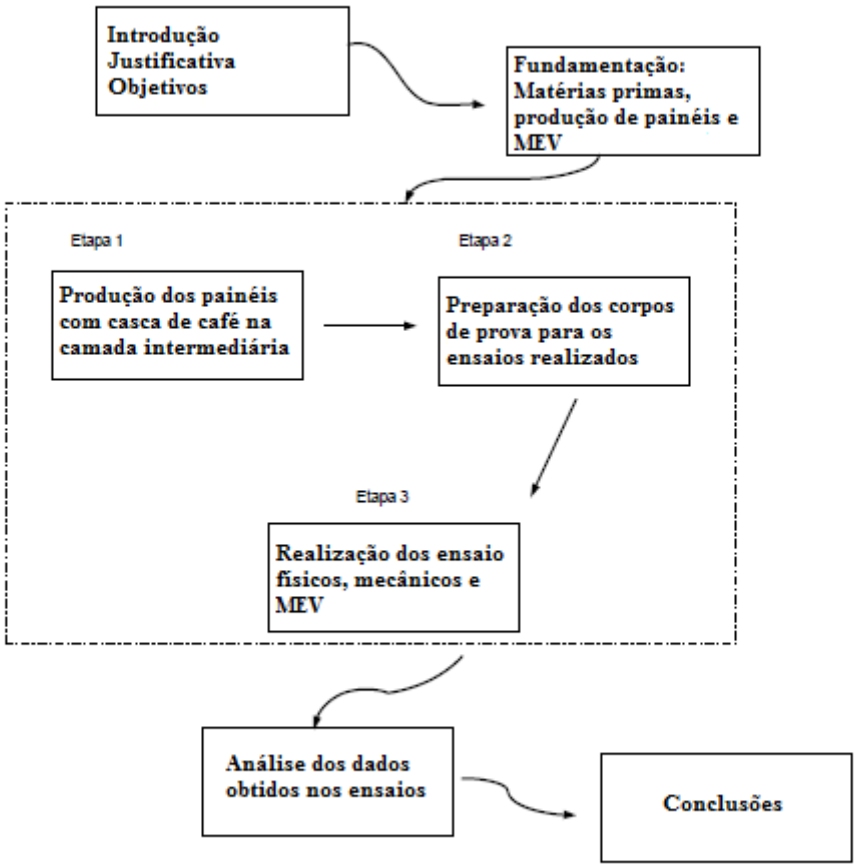


Figura 1: Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 1 apresentou-se a Introdução e justificativas da realização dessa pesquisa.

No Capítulo 2, os objetivos específicos e o principal desse trabalho foram apresentados.

No capítulo 3 demonstrou-se a revisão bibliográfica das matérias primas utilizadas, como o bambu, o adesivo à base de mamona, a casca de café, também foram apresentados a

produção industrial de painéis de partículas, tendências de mercado e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

O capítulo 4 trata do desenvolvimento do trabalho, descrição dos materiais e métodos utilizados. Na primeira etapa, os painéis de partículas de bambu, composto de três camadas são produzidos com adição de 10%, 20% e 30% de casca de café na camada intermediária, depois foram retirados os corpos de prova para realização dos ensaios para caracterização desse painel e então os ensaios físicos, mecânicos e de microscopia eletrônica de varredura foram realizados.

No Capítulo 5 foram realizadas as discussões, análise estatística dos resultados obtidos e comparação com outros autores e normas vigentes.

E no Capítulo 6 foram apresentadas as conclusões obtidas a partir desse trabalho experimental, evidenciando a possibilidade da utilização desse painel comercialmente.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar física e mecanicamente um painel de partículas de três camadas confeccionado com resíduos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e casca de café, oriundas do processo de seu beneficiamento.

Os objetivos específicos foram:

- Produzir os painéis de partículas em três camadas com adição de 0%, 10%, 20% e 30% em massa de partículas de casca de café na camada interna.

- Caracterizar os painéis de acordo com suas propriedades físicas e mecânicas a partir da norma brasileira ABNT NBR 14.810-2/2013.

- Analisar estatisticamente os resultados obtidos a partir de um software gratuito para análises estatísticas e criação de gráficos, chamado R.

- Analisar os resultados obtidos com normas vigentes e estudados anteriores encontrados na literatura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi dividida em subitens que melhor explicitam o tema do trabalho servindo de embasamento teórico para o desenvolvimento do presente estudo.

3.1. Matéria-prima

Utilizou-se como principais matérias-primas: o bambu, o adesivo poliuretano a base de óleo de mamona e o resíduo agroindustrial do processamento do café. Tais matérias-primas destacam-se por serem de origem natural o que vem de encontro a uma tendência do segmento industrial que busca por novos materiais sustentáveis.

3.1.1. Bambu

Os bambus são da família *Gramineae*, subfamília *Bambusoideae*, tem cerca de 50 gêneros e 1300 espécies distribuídas nas regiões dos trópicos a áreas temperadas do planeta (Figura 2) (HIDALGO, 2003).

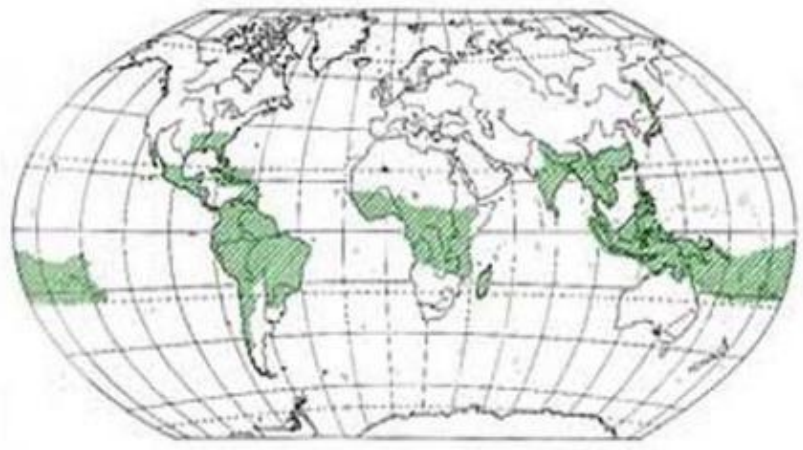


Figura 2: Áreas de distribuição das espécies de bambu.

Fonte: Silva, 2005.

Dentre essas espécies, temos a *Dendrocalamus giganteus*, conhecido como bambu gigante (Figura 3), que apresenta grande espessura do colmo e um dos maiores diâmetros, podendo chegar a 160 mm na região da base. Sua densidade pode variar de 0,5 a 0,9 g/cm³, seu teor de umidade varia de 66 a 75% para amostras com nós e sua retração é maior nos colmos localizados em alturas menores (SALAMON, 2009).



Figura 3: Bambu gigante.
Fonte: Fonseca, 2011.

O aumento populacional e a busca das sociedades por melhores condições de vida, podem afetar de forma negativa sobre vários recursos naturais, aproximando-os da escassez, por isso atualmente há um aumento na demanda por novos produtos provenientes de recursos renováveis e de ciclo de crescimento rápido (SALAMON, 2009).

O bambu é um material renovável e de crescimento rápido, utiliza baixa energia na sua produção. Após três anos de ter brotado do solo apresenta resistência mecânica superior a qualquer espécie do reino vegetal em relação a sua massa específica (POLUCHA, 2006).

Segundo Yiping *et al.* (2010), o bambu é um excelente sequestrador de carbono por apresentar crescimento rápido, podendo ser utilizado em reflorestamentos e futuramente ser empregado como matéria-prima em diversas aplicações.

A planta bambu é muito versátil, porém se analisarmos todo seu potencial, principalmente suas propriedades mecânicas, vemos que ainda é subutilizada como matéria prima (SALAMON, 2009).

Para Pereira e Beraldo (2007) os bambuzais trazem benefícios para a comunidade, auxiliando no controle da erosão, do assoreamento, na recuperação de gás carbônico da atmosfera. E de acordo com as suas aplicações, pode ser utilizado na cogeração de energia elétrica para usinas de açúcar, na produção de celulose e papel, na confecção de móveis e artesanatos, na construção civil urbana e rural e como alimento através do broto.

Além de tudo isso, o bambu não necessita de replantio continuamente, pois o seu ciclo de replantio chega a ser cinco vezes mais longo do que de algumas madeiras de reflorestamento como o pinus e o eucalipto (SALAMON, 2009). É uma das plantas que mais sequestram carbono e tem propriedades mecânicas que podem ser comparadas com outras madeiras, plásticos, cerâmicas e metais (YU, 2007).

Yu (2007) diz que sua forma irregular, estrutura não homogênea e variação de propriedades, fazem com que o bambu, no contexto industrial, não seja tão utilizado, pois estes fatores atrapalham o seu processamento com maquinário automático.

Morfologia

O bambu é constituído de três estruturas básicas: colmos, rizomas e raízes.

De acordo com Silva (2005), os rizomas são como caules subterrâneos cheios de nós e entrenós, que se desenvolvem paralelamente ao solo, não podem ser confundidos com as raízes. Existem três tipos de bambus quanto ao tipo de rizoma: os que formam touceiras (simpodiais), os semi-entouceirantes (anfipodiais) e os alastrantes (monopodiais) (Figura 4).

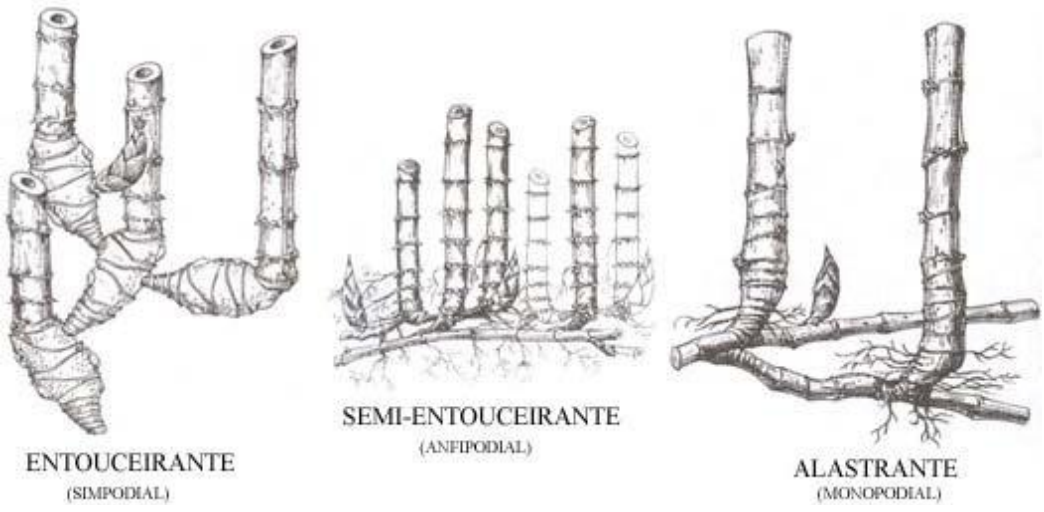


Figura 4: Tipos de rizomas.

Fonte: NMBA (2004) apud Silva (2005).

Os bambus entouceirantes são principalmente representados pelos gêneros: *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua*. A maioria desses bambus tem seu desenvolvimento melhorado em climas tropicais, estes rizomas são sólidos e suas raízes se encontram na parte inferior (SILVA, 2005).

Já os rizomas do tipo alastrante são mais resistentes ao frio, o seu centro de origem principal é a China e o seu representante mais dominante é do gênero *Phyllostachys*. Esses bambus são muitíssimo invasores, requerendo então, cuidados especiais no seu cultivo para que não invada outras áreas previamente definidas. Esses bambus podem ser isolados por barreiras como mantas plásticas, estradas ou cursos d'água. E os rizomas do tipo semi-entouceirante tem as características dos dois tipos anteriores (SILVA, 2005).

As raízes dos bambus partem dos rizomas, tem a função de extrair água e nutrientes do solo. E os colmos que são originados de uma gema ativa de um rizoma. Os colmos não possuem crescimento radial, por isso o colmo com o diâmetro máximo é o primeiro, o da base, e com o seu crescimento em direção ao ápice vai acontecendo o afunilamento do diâmetro, dando uma forma cônica ao bambu (SILVA, 2005).

O colmo é o responsável pela parte estrutural do bambu, de acordo com Janssen (1988) apud Regly (2012) é composto de cavidade, diafragma, nó, ramo, internó e parede (Figura 5).

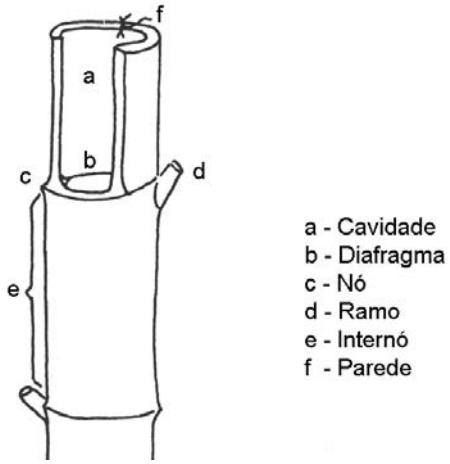


Figura 5: Partes do colmo de bambu.

Fonte: Janssen (1988) apud Regly (2012).

Novos materiais

Além de seus usos mais comuns como: móveis, pisos, carvão, alimento, papel, artesanato e outros, os bambus vêm sendo testados com outros materiais e formando materiais inovadores.

Um novo material desenvolvido, foi o bambu laminado colado, utilizando bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus* tratados com o preservante CCB (borato de cobre cromatado), quando testados mecanicamente nos ensaios de flexão, compressão e cisalhamento na linha de cola, obtiveram resistência adequada para uso estrutural (PAES *et al.*, 2009).

Vários materiais têm sido testados juntamente com o bambu na esperança de se utilizar as matérias primas que temos disponíveis de uma maneira mais sustentável, um exemplo disso é um compósito feito com bambu da espécie *Phyllostachys edulis* e polietileno de alta densidade (LI *et al.*, 2013).

Ostapiv (2011) testou a resistência mecânica de um material compósito feito de madeira de eucalipto e lâmina de bambu. A utilização das lâminas de bambu funcionaram como reforço, tornando o painel mais elástico e confiável ao uso.

3.1.2. Adesivo

O adesivo tem como função distribuir cargas entre os componentes que serão unidos, portanto aumentam a resistência de produtos derivados da madeira (FRIHART; HUNT, 2010).

Na colagem existem basicamente três passos, o primeiro passo é a preparação da superfície para garantir uma melhor interação entre o adesivo e a base. No segundo passo é necessário formar uma interação molecular entre o adesivo e a superfície do substrato. E o terceiro passo é a cura do adesivo que compreende a secagem e solidificação (FRIHART, 2012).

Frihart e Hunt (2012) disseram que há três fatores que influenciavam na colagem. O primeiro é a superfície da madeira que precisa ser lisa, livre de irregularidades como fibras soltas ou marcas de usinagem, as condições das superfícies são muito importantes, pois na

colagem ocorre a união de duas superfícies. O segundo é a densidade e porosidade do material, lignocelulósicos de alta densidade apresentam um maior grau de dificuldade na colagem, pois detêm de parede celular com maior espessura e lumen menor, o que dificulta a penetração do adesivo; com relação a porosidade, materiais mais porosos têm menor resistência a penetração do adesivo, o que leva a ter uma colagem de maior resistência. E o terceiro fator é a umidade do material que afeta na penetração e escoamento do adesivo, o valor ideal está na faixa de 6 a 14 %.

Os adesivos utilizados para a confecção de painéis podem ser classificados em função de sua origem: adesivos naturais e sintéticos. Nesse segundo grupo ainda existe uma subdivisão de adesivos termoplásticos e termoendurecedores (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Adesivos termoplásticos

São adesivos que amolecem na presença de calor e endurecem ao se resfriar. Esses adesivos tem como base o cloreto polivinílico e poliacetato de vinila. O adesivo termoplástico mais utilizado no segmento de móveis, colagem de lâminas e junções de painéis é o PVA (poliacetato de vinila) (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Adesivos termoendurecedores

São adesivos que possuem a capacidade de se solidificar através de algum procedimento químico, podendo ser ativado por calor ou catalisadores. Esses adesivos são representados, principalmente, por resinas à base de formaldeído (IWAKIRI *et al.*, 2005). Irle (2012) diz que os adesivos mais utilizados na produção de painéis de partículas são: ureia-formaldeído, seguido de melamina-formaldeído e de fenol-formaldeído.

- Ureia-formaldeído (UF):

É o adesivo mais utilizado na produção de painéis de partículas aglomeradas, seu emprego é mais restrito a painéis para uso em ambientes internos e tem como vantagens um menor custo, facilidade no manuseio, cura rápida e são incolores, não conferindo coloração desfavorável ao painel (IWAKIRI *et al.*, 2005). Além desses pontos positivos, também tem a vantagem de não ser inflamável. Porém, sua colagem não é resistente a água. Sua cura ocorre em meios ácidos, essa acidez pode ser conseguida através da utilização de catalisadores como sulfato de amônia ou cloreto de amônia, ou também por meio da acidez natural da madeira (FRIHART, 2012). A temperatura de cura desse adesivo no centro do painel é de 100 ºC e

para que essa temperatura seja atingida, as bordas devem ter temperatura de 160 ºC a 190 ºC, para resinas ureia E -1, mais atuais.

- Fenol-formaldeído (FF):

É um adesivo classificado como de uso externo, possui coloração marrom avermelhada. É utilizado na produção de painéis estruturais que requerem alta resistência à umidade, como por exemplo, o OSB e o "waferboard". Tem a desvantagem de ter um custo superior ao do UF (IWAKIRI *et al.*, 2005). Possui ótima durabilidade por apresentar boa adesão, alta resistência e estabilidade (FRIHART, 2012). A temperatura necessária para que ocorra a cura desse adesivo no centro do painel é de 121 ºC a 160 ºC, para isso as bordas devem estar a aproximadamente 200 ºC (MALONEY, 1993).

- Melamina-formaldeído (MF):

Possui boa resistência à agua, portanto é mais utilizada na produção de painéis compensados e de uso exterior (FRIHART, 2012). Apresenta coloração branca leitosa, seu custo é maior do que UF e FF. O MF é mais resistente a agua quando comparada com o adesivo UF e apresenta a cura mais rápida quando comparada com o FF (IWAKIRI, 2005). Segundo Maloney (1993), pode ser utilizada juntamente com UF em uma proporção de até 20 %, pois aumenta sua resistência a água.

Na produção de painéis de partículas, o adesivo representa o maior custo envolvido no processo, portanto deve ser utilizado de forma otimizada, sem deixar de lado as propriedades requeridas e a finalidade em que o painel se destina (IWAKIRI *et al.*, 2005). Segundo Mendes *et al.* (2000) no processo produtivo de alguns painéis, o custo com adesivos pode superar 40% de todo custo envolvido no processo, como no caso do MDF (Figura 6).

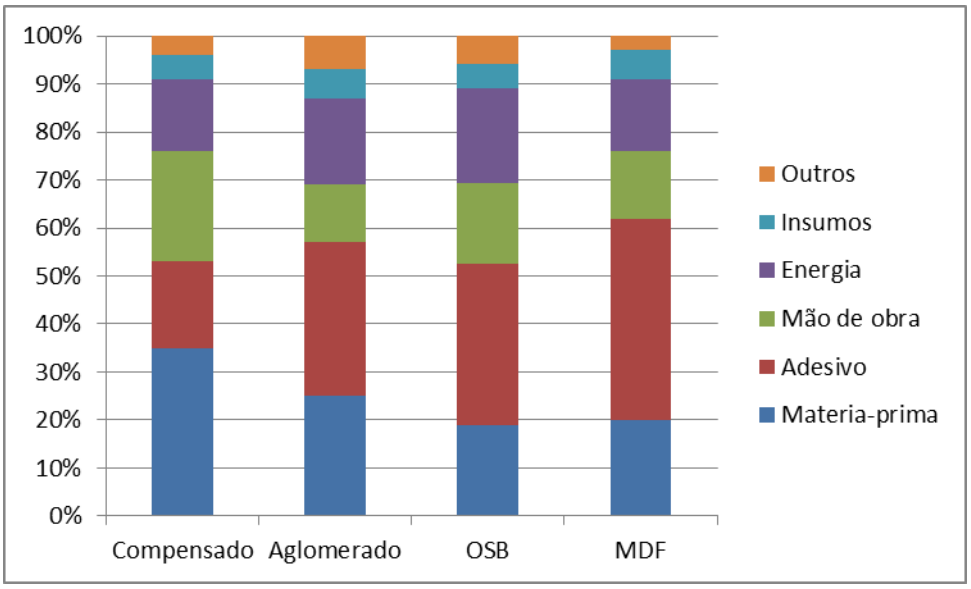


Figura 6: Custo de produção de alguns painéis (Adaptado de MENDES, 2000).

Aditivos químicos

São produtos químicos que quando incorporados no adesivo e então nas partículas do painel, tem a função de melhorar algumas propriedades específicas do painel. Alguns deles são: catalisador ou endurecedor, retardantes de fogo, produtos preservantes e emulsão de parafina, essa em especial tem como função diminuir a higroscopicidade das partículas de madeira/bambu e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Adesivo poliuretano à base de mamona

Estão sendo testados outros adesivos, sendo um deles, a resina poliuretana. Dentre os adesivos alternativos que estão sendo testados, pode-se destacar o adesivo à base de mamona. É proveniente do óleo extraído da planta mamona (*Ricinus communis*), a qual é facilmente encontrada na maioria das regiões do Brasil. A competitividade desse adesivo em relação a outros existentes está no fato de ser originário de matéria-prima natural e renovável, apresentar boas propriedades mecânicas, ter preços razoáveis e por não ser agressivo ao homem ou ao meio ambiente (DIAS, 2005).

O adesivo utilizado nesse trabalho é um termoendurecedor, produzido a partir do óleo de mamona, que quando sintetizado, produz polióis e pré-polímeros e quando ambos são misturados formam um poliuretano. Essa mistura leva a reação de polimerização da mistura (DIAS, 2005).

Bertolini (2011) diz que esse adesivo vem sendo muito utilizado, principalmente em pesquisas nos derivados de madeira, painéis, obtendo resultados satisfatórios.

Dias (2005) analisou física e mecanicamente painéis compensados de *Eucalyptus saligna* e aglomerados de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophilla* e *Pinus elliottii* fabricados com o adesivo poliuretano à base de mamona, obteve resultados compatíveis com as normas.

Bertolini (2011), em seu estudo, analisou a viabilidade de produção de painéis de partículas confeccionados com resíduo tratado com CCB de *Pinus sp* e adesivo poliuretano à base de mamona. Foi feita a caracterização dos painéis física e mecanicamente segundo NBR 14810 (2006) e ASTM G155 (1999). Os resultados obtidos foram, em alguns casos, 50% superiores quando comparados a norma brasileira, evidenciando a possibilidade da utilização desse adesivo.

3.1.3. Resíduos

Pode ser considerado resíduo todo material descartado durante a produção e consumo, que não apresenta valor agregado, e pode causar impactos negativos ao meio ambiente se manejado de maneira inadequada (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 1985).

Resíduo sólido é todo material proveniente de atividades humanas em sociedade, podendo estar no estado sólido ou semi-sólido, como por exemplo os líquidos que não podem ser tratados como efluentes (BRASIL, 2006).

Resíduo agroindustrial é todo resíduo originado do beneficiamento de produtos agropecuários. Tais materiais possuem alta instabilidade na sua geração e tem uma grande variação de tamanhos, tipo e forma, de acordo com a matéria-prima utilizada, como exemplo tem-se a casca de café, casca de milho, resíduos de curtumes, de indústrias de papel e celulose, do processamento mecânico da madeira, entre outros.

A América Latina produz mais de 500 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais, sendo o Brasil produtor de mais da metade desse resíduo (SOUZA, 2008).

Alguns resíduos agroindustriais são fontes de materiais lignocelulósicos, que podem servir de matéria-prima na fabricação de diversos produtos, como papel e celulose, painéis

aglomerados, MDF, compósitos, pellets, entre outros. E por isso, vários estudos têm sido feitos como solução para utilização desses resíduos.

Souza (2008) defende o aproveitamento de resíduos e subprodutos agropecuários, em seu estudo, resíduos como bagaço de cana de açúcar, palhas e casca de arroz são utilizados na alimentação de ruminantes.

Segundo Ferreira *et al.* (2014), a adição de casca de noz de macadâmia em 30% diminui as propriedades físicas e mecânicas de um painel produzido com *Eucalyptus saligna* e 10% de adesivo ureia-formaldeído. Porém, menores porcentagens de casca de noz de macadâmia apresentaram resultados mais satisfatórios.

Os resíduos de café apresentam grande potencial quando aplicados na preparação de vários produtos, como enzimas, substratos na produção de cogumelos, substâncias de aromas, etc (PANDEY *et al.*, 2000). Ribeiro Filho *et al.* (2000) observaram que é viável a substituição de milho desintegrado com palha e sabugo pela casca de café em até 30% na alimentação de novilhos mestiços Holandês-Zebu na fase de recria.

3.1.4. Café

A planta de café (Figura 7) pertencente à família Rubiaceae, gênero *Coffea*. Existem mais de 100 espécies de café, dentre essas, as espécies *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café conilon) que representam quase todo o café produzido e comercializado no mundo inteiro. No Brasil, mais de 75,1% é derivada do café arábia e o restante do café conilon (CONAB, 2014).



Figura 7: Plantação de café (Oliver Blanco, 2012).

Segundo a Conab (2014), a área total plantada de café no Brasil totaliza 2.221.816,2 hectares. Em Minas Gerais se encontra a maior área plantada, com 1.204.208 hectares, equivalente a 54,2% da área cultivada de café no país. Seguido de Espírito Santo com 486.583 hectares (Figura 8).

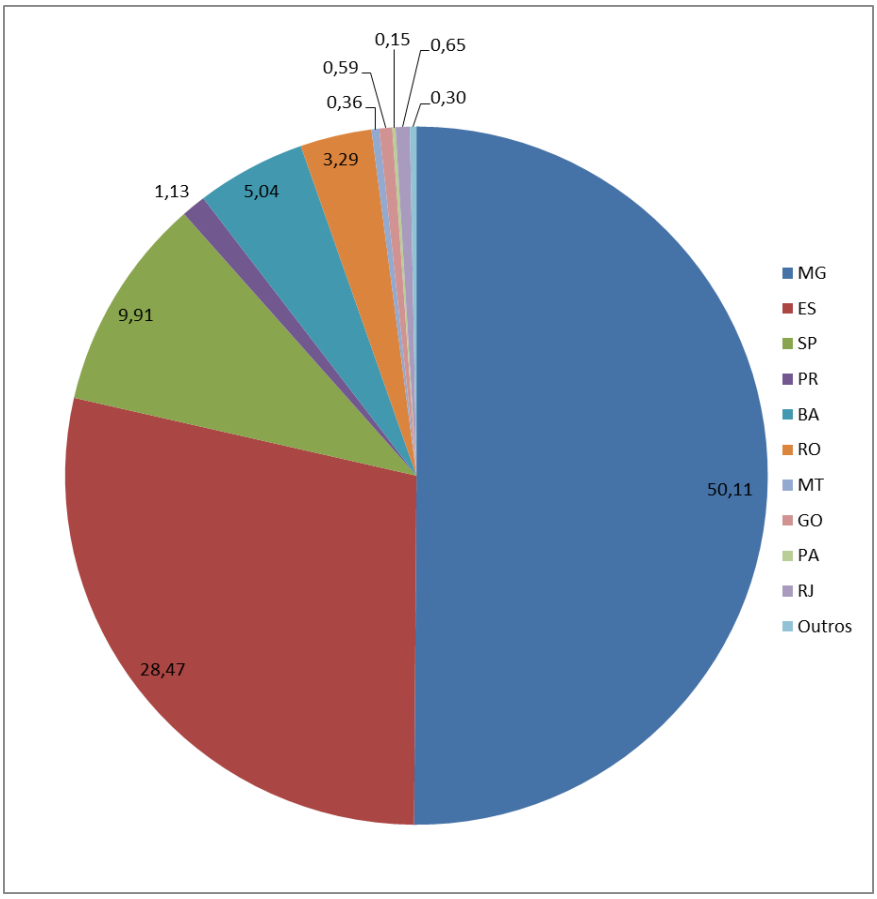


Figura 8: Participação percentual da produção de café por Estado na safra de 2014 (Adaptado de CONAB, 2014).

De acordo com Brum (2007), o café é um dos produtos mais importantes do mundo, ficando atrás em dólares comercializados apenas do petróleo, com aproximadamente 10 bilhões de dólares em exportações. Além de ser a segunda bebida mais consumida no mundo, ficando atrás somente da água.

Segundo Soccol (2000), o café é um dos produtos mais importantes mundialmente, onde centenas de milhões de pessoas o consomem, mais de 1,5 bilhões de xícaras de café são bebidas todos os dias, possui 20 milhões de usos e são produzidas anualmente 100 milhões de sacas de 60 kg em 70 países tropicais.

A casca de café utilizada neste trabalho é considerada um resíduo agroindustrial de larga escala, pois o Brasil é o maior produtor de café do mundo, com produção anual em torno de 50 milhões de sacas e considerando que a casca equivale a 50% desse material seco (BAGGIO, 2006).

O resíduo gerado no beneficiamento do café é composto por: casca, polpa, pergaminho e película prateada (Matielo, 1991 apud Brum, 2007). Na Figura 9 é apresentada a estrutura de um grão de café da espécie arábica.



Figura 9: Estrutura do grão de café (BRUM, 2007).

De acordo com Matielo, 1991 apud Brum, 2007, a despolpa do café pode ser feita de duas maneiras, que geram resíduos diferentes. Na despolpa seca, os frutos são integralmente secos e têm-se como resíduos: a casca, o pergaminho e a polpa; este resíduo é geralmente chamado apenas de casca e representa, aproximadamente, 50% do peso do fruto colhido. Já na despolpa úmida, na primeira fase é retirada a casca e a polpa, e esse resíduo gerado é chamado apenas de polpa; após esse procedimento, o grão e o pergaminho são colocados para secar, e na segunda fase, o pergaminho é retirado do grão. Segundo Soccol (2000), esse subproduto não tem uma utilização, pois tem alta concentração de componentes tóxicos.

Estão sendo feitos estudos para utilização da casca de café como substrato para bioprocessos, compostagem, como enzimas, compostos aromáticos, ração animal incrementada de métodos biotecnológicos eficientes, entre outros (SOCCOL, 2000).

3.2. Painéis

Os painéis à base de madeira apresentam uma alternativa para a substituição da madeira em algumas aplicações por apresentarem uma estrutura mais homogênea e livre de defeitos, podendo assim apresentar melhores propriedades físico-mecânicas, estabilidade dimensional e resistência à biodeterioração, além de uso mais sustentável da matéria-prima e redução de defeitos naturalmente encontrados na madeira.

Os painéis são estruturas fabricadas com madeiras ou outros materiais lignocelulósicos, em forma de lâminas, partículas ou fibras, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com o uso de resinas. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos, principalmente devido ao encarecimento da madeira maciça (MATTOS *et al.*, 2008).

De acordo com Youngquist (1999), os painéis podem ser divididos em 3 classes que são:

1) Painéis de Lâminas:
    - Painel compensado - *Plywood*: pode ser definido por um painel de lâminas perpendiculares, cruzadas entre si, defasadas em um ângulo de 90º umas das outras;
    - Painel de lâminas paralelas – *Lamineted Veneer Lumber*: também conhecido como LVL, é um painel composto por lâminas orientadas em um mesmo sentido.
    - Além desses dois representantes, há também os mais recentes: MLC, Madeira Laminada Colada; e o CLT, *Cross Laminet Timber*, que é um painel de madeira maciça cruzada, muito utilizados para fins estruturais.
2) Painéis de Fibras:
    - Chapa dura – *Hardboard*: são painéis formados por fibras de alta densidade, com espessura fina e homogênea, produzidas da mistura das fibras com adesivo e prensagem a quente;
    - Painel de fibra de média densidade – *Medium Density Fiberboard*: mais conhecido como MDF, são painéis homogêneos, estáveis, superfície plana e lisa, garantindo boa trabalhabilidade, possuem densidade em torno de 500 e 800 kgf/m³.
    - Tem-se também o painel de fibra de baixa densidade, utilizado para conforto térmico e acústico.
3) Painéis de Partículas:
    - Aglomerado - *Particleboard*: é formado por pequenas partículas, unidas por adesivo e prensadas a quente;
    - Painel de partículas não orientadas – *Waferboard*: são formadas por partículas dispostas aleatoriamente, formando uma camada homogênea, tem a vantagem de ter um processo de fabricação simples e possuem desvantagem no que diz respeito as propriedades mecânicas, quando comparada ao OSB;

- Painel de partículas orientadas – *Oriented Strand Board*: mais conhecido como OSB, esse painel é composto por chapas de partículas orientadas, longas, largas e finas, unidas por adesivo e prensadas a quente, são fabricadas sempre em número ímpar de camadas, sendo uma disposta perpendicular à outra.

O painel aglomerado, tema dessa pesquisa, será melhor explicitado no item 3.2.1.

3.2.1. Chapas de partículas aglomeradas e MDP

Segundo Iwakiri *et al.* (2000), o painel de partículas aglomerado, é produzido com partículas de madeira ou outros materiais lignocelulósicos, com a incorporação de um adesivo e consolidados através de calor e pressão.

Através do seu processo de fabricação em três camadas, esse painel apresenta algumas vantagens, em relação a madeira serrada, tais como: eliminação dos efeitos de anisotropia, possibilita a eliminação de fatores que reduzem a resistência como nós e lenhos juvenil e adulto, permite o controle de propriedades físicas e mecânicas através da mudança de parâmetros do processo, como adesivo, geometria de partículas e grau de densificação, menor exigência quanto a matéria-prima, esta podendo ser de menor diâmetro do fuste, menor custo de armazenamento, entre outros (IWAKIRI *et al.*, 2005).

O painel conhecido como MDP (*Medium Density Particleboard*), tem quase a mesma definição do painel de aglomerado homogêneo, com a diferença de que nas camadas externas as partículas de madeira são menores, proporcionando um melhor acabamento superficial e melhor trabalhabilidade e, na camada interna as partículas são de maior dimensionamento. A Figura 10 demonstra essa diferença entre painéis aglomerados e o MDP, de três camadas. O MDP pode ser considerado uma evolução do aglomerado.



Figura 10: Disposição das partículas nos diferentes tipos de painéis (IWAKIRI *et al.*, 2005 - Adaptado).

3.2.2. Processo de produção industrial de painéis de partículas aglomeradas

O processo de produção desse painel é demonstrado na Figura 11 e será melhor explicado nos itens apresentados a seguir.

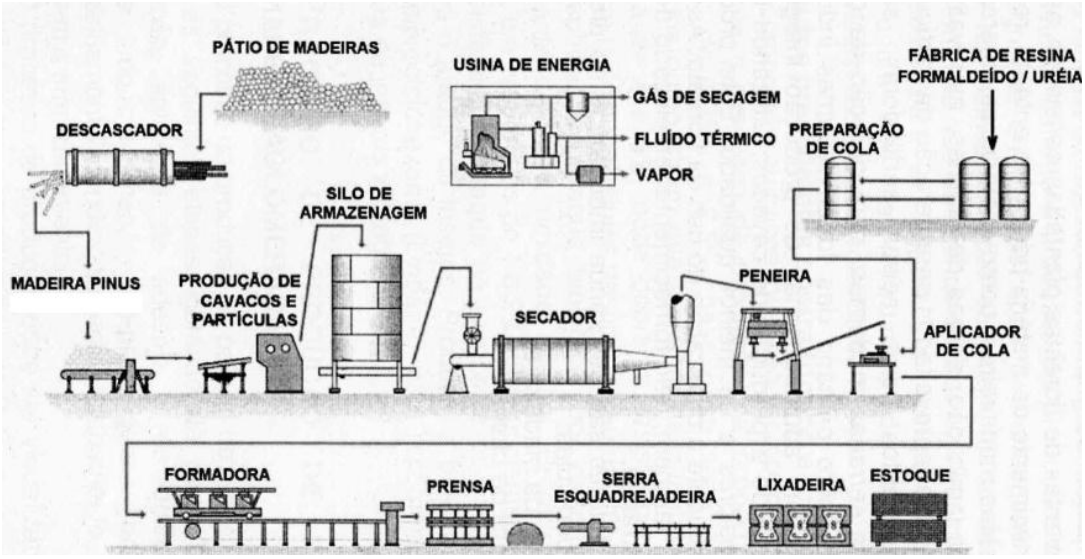


Figura 11: Processo de produção de painéis de partículas aglomeradas (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Geração das partículas

As toras são a principal base de fornecimento de matéria-prima na produção de painéis. No entanto, outros resíduos de outras indústrias madeireiras, podem ser aproveitados nessa etapa, bem como outros materiais lignocelulósicos, como o bambu.

A umidade da madeira e a presença de casca são importantes nessa etapa do processo. Valores de umidade abaixo de 35% dificultam o controle da geometria das partículas, gerando uma quantidade maior de partículas finas, maior consumo de energia e desgaste nos picadores. Já em umidades muito elevadas pode ocorrer o esmagamento da madeira. A faixa adequada de umidade está entre 35 e 50%. Antes da geração das partículas, é feito o descascamento da tora (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Só então é realizada a geração das partículas, que pode ser dividida em duas etapas, a redução primária da matéria-prima através de picadores que transformam as toras em cavacos, e a redução secundária é feita através de moinhos de martelo, transformando os cavacos em partículas menores (IRLE *et al.*, 2012).

Secagem das partículas

Após a geração das partículas, as mesmas devem ser secas até um teor de umidade entre 2% e 8%. Os secadores mais utilizados para realização desse processo são o de tambor rotativo de uma passagem e o de três passagens (IRLE *et al.*, 2012).

A determinação do teor de umidade das partículas é de grande importância na melhoria das propriedades do painel. O teor de umidade influencia diretamente na cura da resina, no tempo de prensagem e na pressão necessária para consolidação do painel até a espessura final desejada (BARROS FILHO, 2009).

Classificação das partículas

Após a secagem, as partículas são classificadas através de peneiras ou em função de seu peso, e essa classificação é feita para que os finos e as partículas muito grandes sejam removidos. As partículas maiores são destinadas para a camada interna do painel, e as menores para as camadas externas (IWAKIRI *et al.*, 2005).

De acordo com Irle *et al.* (2012), algumas indústrias fazem o processo de secagem depois da classificação, para que não haja a necessidade de secar partículas que não serão utilizadas no processo, o que gera uma economia de energia, outro fator importante é o favorecimento do controle das variáveis da secagem, pois todas as partículas tem a mesma dimensão. Porém, a grande maioria das indústrias fazem a secagem antes da classificação .

Aplicação do adesivo

O adesivo representa um alto custo na produção do painel, podendo chegar até 35% do valor do mesmo. Por isso, o uso do adesivo é sempre feito de forma otimizada. Em um painel geralmente são utilizados de 6 a 12%, em relação ao peso seco das partículas (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Quando os painéis são homogêneos, a aplicação do adesivo sobre as partículas é realizada no mesmo aplicador, porém se os painéis forem multicamadas, a aplicação do adesivo é realizada separadamente para partículas da camada interna e das camadas externas do painel, em dois aplicadores distintos (IWAKIRI *et al.*, 2005).

.

Formação do colchão

Esse é o processo de deposição das partículas combinadas com adesivo sobre uma esteira móvel, em quantidade pré-determinada em função da densidade e espessura do painel. No equipamento formador do colchão há um reservatório onde é dosado o material que vai para o sistema de distribuição sobre a esteira móvel (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Nessa fase da produção, as partículas devem ser depositadas uniformemente em relação ao comprimento e largura do painel, na quantidade necessária, para então se atingir a densidade pré-determinada do painel. Podem ser encontrados dois tipos de formadoras do colchão, a descontínua e a contínua, sendo que a contínua é a mais comumente utilizada nas indústrias modernas (IRLE *et al.*, 2012).

Dias (2005) diz que esta etapa é particularmente importante, pois uma chapa mal formada apresentará grande variação nas suas propriedades devido à diferença de densidade ao longo do painel.

Pré-prensagem do painel

Após a formação do colchão, o painel passa pela pré-prensagem que tem como objetivo reduzir a altura do colchão, melhorar a sua consistência e facilitar o carregamento até a prensa quente (IWAKIRI *et al.*, 2005).

A pré-prensa é um equipamento que consiste na aplicação de pressão através de uma esteira perfurada, fazendo com que o ar seja expulso, facilitando assim a prensagem e evitando alguns defeitos. A pré-prensa é controlada através da abertura de pistões que modificam a pressão aplicada, a pré-prensa pode ser visualizada na Figura 12 (MALONEY, 1993).

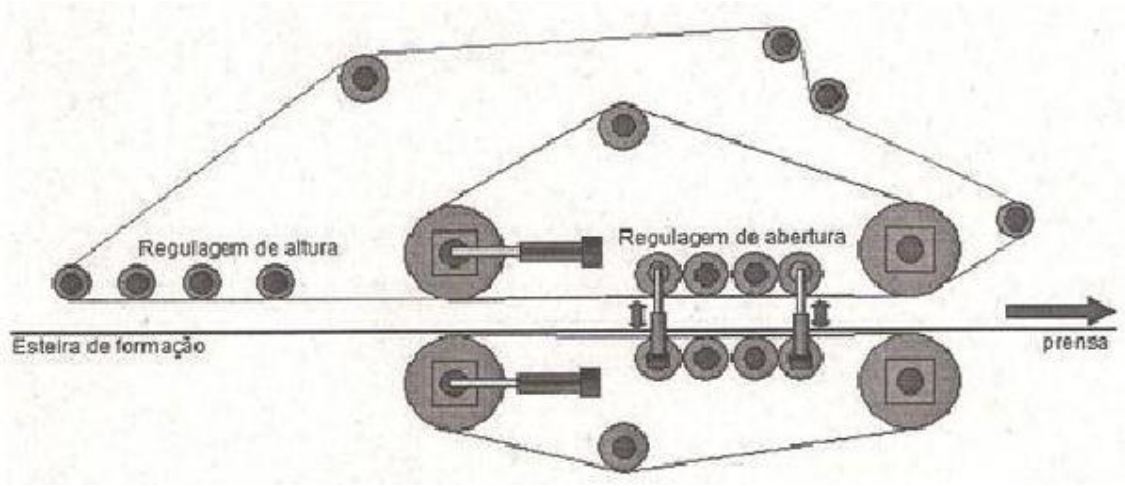


Figura 12: Pré-prensa (MALONEY, 1993).

Prensagem do painel

Essa etapa tem como objetivo a cura da resina, a classificação e consolidação do colchão até a espessura final do painel. Os parâmetros do ciclo de prensagem de acordo com Iwakiri *et al.* (2005) são pressão, temperatura de prensagem, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem.

Segundo Iwakiri *et al.* (2005), a pressão aplicada pode variar na faixa de 12 a 40 kgf/cm², em função do grau de densificação do material. Já a temperatura de prensagem é definida de acordo com a temperatura necessária para a cura do adesivo, por exemplo, para o adesivo ureia-formaldeído a temperatura é de aproximadamente 180 °C, podendo chegar a 200 °C para os adesivos mais recentes, já para o adesivo fenol-formaldeído é de 200 a 220 °C. O tempo de fechamento da prensa é o momento inicial do contato dos pratos quentes da prensa com a superfície do colchão até atingir a espessura final do painel e está relacionado com a formação do gradiente vertical de densidade do painel. Por fim, o tempo de prensagem, que é o tempo transcorrido a partir do momento do início do fechamento dos pratos, passando pela fase do painel chegar a sua espessura final, até a abertura dos pratos da prensa. Sendo que o tempo de prensagem deve ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura necessária para a cura do adesivo.

Acabamento do painel

Os painéis são resfriados e acondicionados após a saída da prensa ainda quentes para permitir a continuidade do processo de cura da resina iniciado durante a prensagem a quente. Após isso, é feito o processo de esquadrejamento e lixamento dos painéis que tem como objetivo eliminar quaisquer irregularidades na superfície do mesmo. Após o lixamento, as chapas são classificadas, pré-cortadas nas dimensões convencionais e armazenadas adequadamente (DIAS, 2005).

3.2.3. Painéis fabricados com resíduos

Ferreira (2013) fabricou painéis de partículas de densidade superior a 0,8 g/cm³ de *Eucalyptus saligna* e casca de macadâmia, obteve resultados de teor de umidade variando de 9,43% a 9,58%. Percebeu-se que o painel, nas porcentagens estudadas, de 30%, 60% e 100%, não possui boa resistência mecânica e estabilidade dimensional. Os valores obtidos para inchamento em espessura durante 24 horas para os painéis de 0%, 30%, 60% e 100% de casca de macadâmia foram: 4,67%, 7,23%, 8,49% e 10,88%, respectivamente; os valores de absorção de água variaram de 10,39% a 14,1%. Para os ensaios mecânicos, obteve valores decaindo conforme o aumento da casca de macadâmia, para adesão interna, os valores variavam de 1,67 MPa a 0,69 MPa; para MOE, os valores obtidos foram de 4163,78 MPa a 60,11 MPa; e para MOR, foram de 14,16 MPa a 1,83 MPa. Por isso, não pode ser utilizado em solicitações que necessitam de alta resistência mecânica, por exemplo, para a produção de móveis. No entanto, por apresentar um aspecto bonito, quando comparados a painéis produzidos somente com as partículas de eucalipto, poderia ser utilizado como painel decorativo.

Bertolini (2011) utilizou resíduos de pinus sp tratado com CCB e produziu painéis particulados com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os resultados obtidos na maioria dos testes realizados apresentaram desempenho satisfatório quando comparados as indicações de documentos normativos vigentes, para resistência mecânica no MOE obteve valores variando de 2304 MPa a 2911 MPa; para MOR, valores de 24 MPa a 29 MPa; arrancamento de parafuso de superfície com médias variando de 1342 N a 1608 N; já para arrancamento de parafuso de topo, os valores variaram de 2413 N a 2604 N; e tração

perpendicular com valores variando de 1,22 MPa a 1,71 MPa. Sendo assim, verificou-se a viabilidade de uso de resíduos de madeira para a fabricação de painéis particulados sem comprometimento do desempenho dos mesmos.

Painéis de partículas de madeira fabricados com resíduo de maravalha e cavaco de *Pinus elliottii* Engelm foram produzidos por Dacosta *et al.* (2005), foi utilizado o adesivo ureia-formaldeído nas proporções de 4%, 8% e 12% do peso seco das partículas. Os valores médios de MOR oscilaram entre 5 MPa e 9,7 MPa, os de MOE entre 523 MPa e 1184 MPa, para tração perpendicular variaram de 0,09 MPa a 0,2 MPa e arrancamento de parafuso de superfície, variando de 4,6 N a 7,6 N. Apenas os painéis confeccionados com 100% de maravalha, 12% de teor de adesivo e 0,6 g/cm³ de densidade do resíduo obtiveram todos os resultados satisfatórios quando comparados às normas de comercialização.

Calegari *et al.* (2007), produziu painéis de partículas de bambu e madeira com 10% de adesivo ureia-formaldeído. Para o ensaio de inchamento em espessura durante 24 horas, obteve valores variando de 18% a 45%; para absorção de água durante 24 horas, obteve valores de 63% a 74%; para arrancamento de parafuso de topo, valores de 255 N a 392 N. Nenhum dos painéis produzidos satisfez os padrões de qualidade estabelecidos pelas normas A208.1 (1987) e DIN 68761 (1971).

3.3. Tendências de mercado

De acordo com ABIPA (2014), estão previstos novos investimentos na instalação de novas unidades de fábricas de painéis, que irão aumentar a capacidade instalada atual.

Em 2005, a capacidade nominal instalada no Brasil era de 2800 m³, em 2012 esse número subiu para 4790 m³ de painéis MDP, tal crescimento também pode ser observado para o consumo interno e a produção (Figura 13). Os países que mais consomem MDP no mundo são: Polônia, Alemanha e Itália (Figura 14).

MDP (m)³					
Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo Interno	Capacidade Nominal Instalada
2005	2.048.957	78.400	25.750	2.101.607	2.800,000
2006	2.198.216	64.700	76.670	2.186.246	2.900,000
2007	2.557.141	28.080	37.390	2.547.831	3.085,000
2008	2.617.066	42.520	26.640	2.632.946	3.265,000
2009	2.488.915	36.271	25.761	2.499.425	4.020,000
2010	3.017.902	15.388	16.235	3.017.055	4.544,000
2011	3.069.718	1.470	23.993	3.047.195	4.790,000
2012	3.260.646	2.699	30.612	3.232.733	4.790,000

Figura 13: Produção, importação, exportação, consumo interno e capacidade nominal de 2005 à 2012 (Adaptado de ABIPA, 2014).

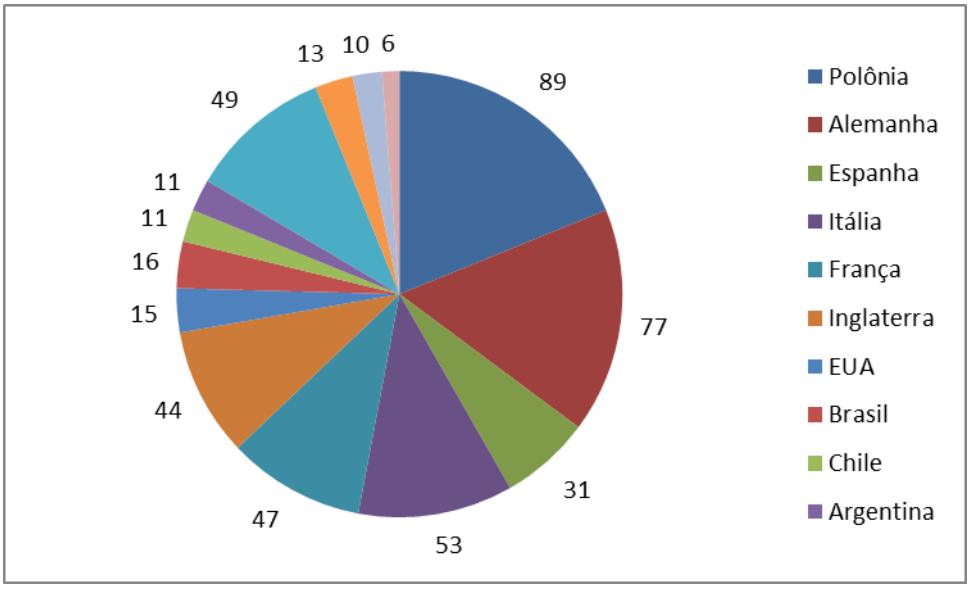


Figura 14: Países que mais consomem MDP per capita no ano de 2012 em m³ a cada 1000 habitantes. (Adaptado de ABIPA, 2014)

A produção de painéis MDP é concentrada no Sudeste/Sul do país (Figura 15). O Brasil está entre os países mais desenvolvidos do mundo na produção de painéis, com fábricas de última geração e novas tecnologias (ABIPA, 2014).

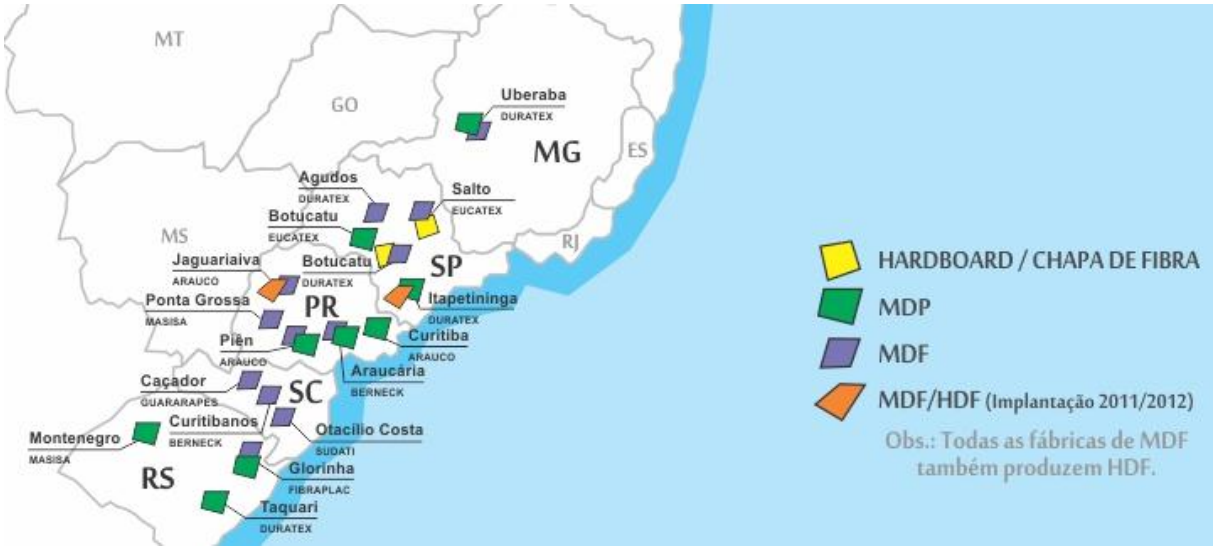


Figura 15: Concentração da produção de painéis na região Sul e Sudeste (ABIPA, 2014).

3.5. Microscopia eletrônica de varredura aplicada em painéis

O princípio básico de qualquer microscópio é mostrar claramente o que for muito pequeno para ser visto a olho nu. Um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) emprega um feixe de elétrons ao invés dos fótons utilizados em um microscópio óptico convencional (Figura 16), solucionando o problema de resolução, associado à fonte de luz branca (DEDAVID, GOMES, MACHADO, 2007).

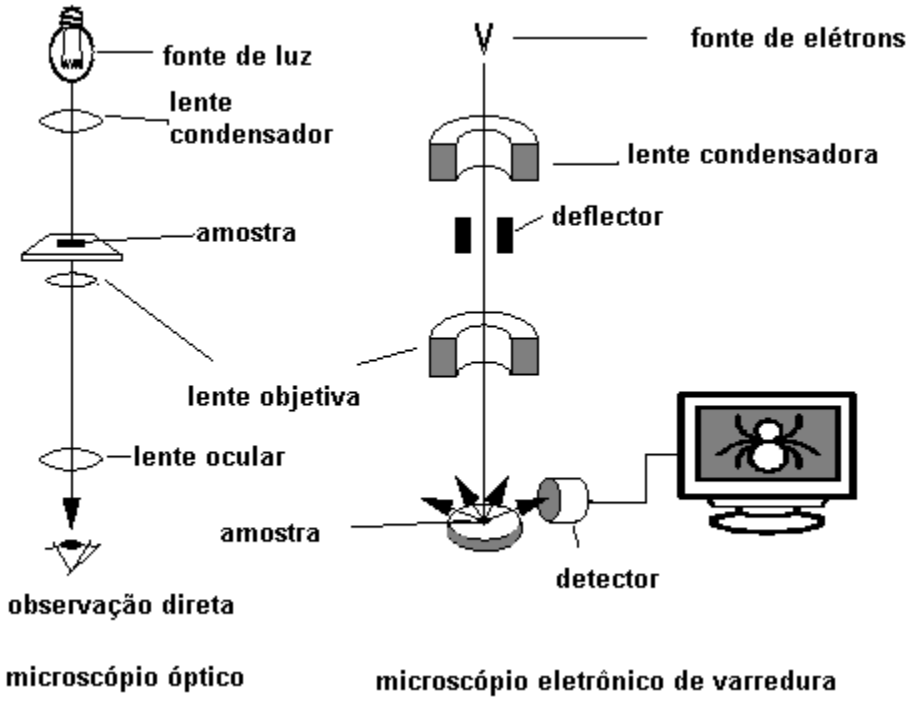


Figura 16: Desenho esquemático para comparação entre microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura (DEDAVID, GOMES, MACHADO, 2007).

O MEV convencional possui uma coluna óptico-eletrônica adaptada a uma câmara com porta-amostras, sistema eletrônico, detectores e sistema de vácuo; e pode fornecer informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos em uma amostra (DEDAVID, GOMES, MACHADO, 2007).

Zegarra (2011) utilizou o MEV em painéis de OSB de *Pinus taeda*, coletando imagens em várias ampliações dos componentes celulares, resina aplicada e estrutura interna dos painéis. As Figuras 17 A) e B) mostraram paredes celulares rompidas, resina presente na face de ruptura do painel no ensaio de ligação interna.

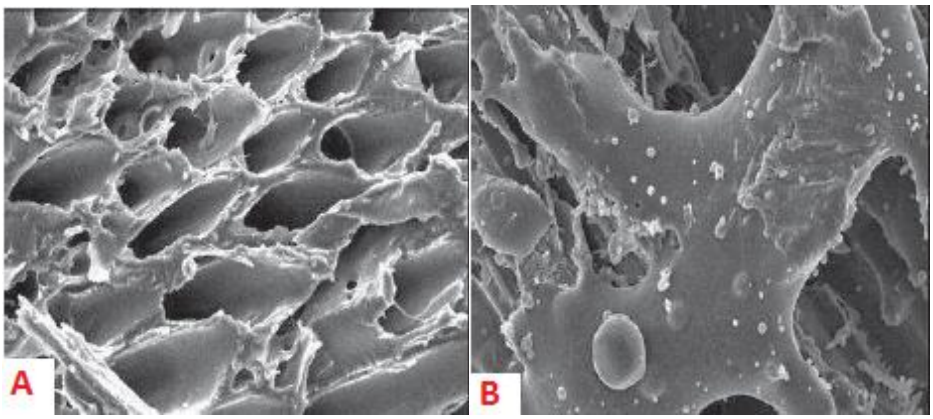


Figura 17: Painel de OSB de Pinus taeda visto do MEV com 500 x de aumento, onde A) mostra traqueídes rompidos e B) deposição de resina (Adaptado de Zegarra, 2011).

Bertolini (2011) realizou o ensaio de microscopia eletrônica de varredura para analisar a morfologia das partículas e das superfícies de fratura de corpos de prova do ensaio de flexão estática e verificou algumas fibras rompidas provavelmente durante o processo de produção do painel, regiões em que o adesivo utilizado foi uniformemente aplicado e o arrancamento de uma fibra na superfície de fratura do ensaio realizado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados na realização desse trabalho estão descritos e melhor explicitados nos itens a seguir, também estão mencionados os ensaios realizados e a aparelhagem utilizada na caracterização físico-mecânica das chapas de partículas MDP.

4.1. Materiais

Os materiais utilizados na realização dessa pesquisa foram: resíduos do processamento de bambu gigante com a presença de nós e casca, com densidade de 0,88 g/cm³, provenientes do Laboratório de Experimentação em Bambu, pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica - FEB - UNESP - Campus de Bauru (Figura 18), casca de café com densidade média de 0,46 g/cm³, provenientes da região de Torrinha-SP (Figura 19) e adesivo poliuretano à base de mamona (Figura 20), bi-componente, teor de sólidos de 100%, onde um dos componentes é um poliol derivado de óleo vegetal, com densidade de 1,2 g/cm³, e o outro componente é o isocianato polifuncional, com densidade de 1,24 g/cm³, adquirido na empresa Plural Indústria Química.



Figura 18: Peças residuais de bambu gigante.



Figura 19: Casca de café utilizada na produção das chapas.



Figura 20: Adesivo poliuretano à base de mamona.

A fabricação e classificação físico-mecânica dos painéis desenvolvidos foram feitas com base na norma brasileira para painéis de madeira aglomerada – ABNT NBR 14.810/2013, no Laboratório de Processamento da Madeira pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica da FEB - UNESP - Campus de Bauru. As caracterizações físicas e mecânicas foram realizadas no Laboratório de Construção Civil - DEC - FEB - UNESP -

Campus de Bauru e no Laboratório de Propriedades dos Materiais - EIM - UNESP - Campus de Itapeva.

4.2. Fabricação

Na confecção dos painéis de partículas de três camadas, os resíduos de bambu foram reduzidos de tamanho primeiramente em um Triturador de Galhos da marca CID, modelo 50 SL (Figura 21). As partículas retiradas desse processo (Figura 22) foram levadas a um Picador da marca Marconi, modelo MA680/3 (Figura 23) onde foram picadas novamente em partículas menores que foram classificadas em um Agitador Elétrico da marca Bertel (Figura 24). Nesse processo foram utilizadas cinco peneiras montadas na seguinte ordem: 5 mesh, 9 mesh, 16 mesh, 35 mesh e 60 mesh e bandeja de fundo.



Figura 21: Triturador de Galhos da marca CID.



Figura 22: Partículas retiradas do Triturador de galhos.



Figura 23: Picador Marconi utilizado na redução das partículas.



Figura 24: Agitador elétrico Bertel.

As partículas que ficaram retidas na primeira peneira de 5 mesh, com abertura de 4 mm, eram partículas maiores e não foram utilizadas na confecção dos painéis, optou-se por repica-las para poderem ser utilizadas em outros painéis.

As partículas que passaram na peneira de malha 5 mesh e ficaram retidas na peneira de malha 9 mesh, com abertura de 2 mm, (Figura 25) foram utilizadas na camada interna (CI), na proporção de 50% do peso total de partículas de bambu destinadas a esta camada. As porcentagens de cada traço podem ser vistas na Tabela 1.



Figura 25: Partículas retidas na peneira de 9 mesh.

As partículas que passaram na peneira de malha 9 mesh e ficaram retidas na de malha 16 mesh, com abertura de 1 mm, (Figura 26) também foram utilizadas na camada interna, na proporção de 50% do peso total de partículas de bambu utilizadas nessa camada, a sua quantidade variou de acordo com cada traço.



Figura 26: Partículas retidas na peneira de 16 mesh.

As partículas que passaram na peneira de malha 16 mesh e ficaram retidas na de malha 35 mesh, com abertura de 0,42 mm, (Figura 27) foram utilizadas na camada externa, na proporção de 70% do peso total de partículas de bambu utilizado nessa camada, que corresponde ao valor de 302,68 g.



Figura 27: Partículas retidas na peneira de 35 mesh.

As partículas que passaram na peneira de malha 35 mesh e ficaram retidas na de malha 60 mesh, com abertura de 0,25 mm, (Figura 28) também foram utilizadas na camada externa, na proporção de 30% do peso total de partículas de bambu destinadas a esta camada, ou seja, 129,72 g.



Figura 28: Partículas retidas na peneira de 60 mesh.

E por fim, as partículas que passaram na peneira de malha 60 mesh foram descartadas, pois eram muito finas e inadequadas para a fabricação dos painéis, pois quanto menores as partículas, mais adesivo elas consomem, encarecendo o painel.

O painel produzido, composto por três camadas foi formado da seguinte maneira: camadas externas compostas somente por partículas de bambu com granulometrias de 35 e 60 mesh. E camada interna composta por partículas de bambu com granulometrias de 9 e 16 mesh e casca de café.

Foi feito o cálculo do peso das partículas com base no tamanho da forma (32 mm x 38 mm), espessura do painel de 12,7 mm e a sua densidade alvo, que a principio foi de 0,7 g/cm³. A porcentagem utilizada em cada camada do painel foi de 40% para as camadas externas e 60% para a camada interna, pois na camada interna têm-se partículas maiores, que conferem maior resistência ao painel.

A primeira camada, a externa inferior, com correspondente a 20% do peso total das partículas utilizadas, 216,2 g de bambu; a segunda, camada interna, com 60% do peso total das partículas, 648,6 g de material; e por fim, a terceira porção de material, camada externa superior, com os 20% de material restante, ou seja, 216,2 g.

Foram realizados quatro traços diferentes desse painel, variando a porcentagem de casca de café na camada interna do mesmo. O primeiro traço avaliado era composto por 100% de bambu, o segundo traço por 10% de casca de café e 90% de partículas de bambu, o terceiro traço por 20% de casca de café e 80% de bambu e o quarto traço com 30% de casca de café e 70% de partículas de bambu. Na Tabela 1 são apresentados os quatro traços com as respectivas quantidades de material utilizado em cada painel.

Tabela 1: Massa de casca de café e de partículas de bambu, em gramas, utilizadas em cada traço.

Traços	% café	Casca de café CI (g)	Bambu CI (g)	Bambu CE (g)	Massa total (g)
1	0	0	648,6	432,4	1081
2	10	64,86	583,74	432,4	1081
3	20	129,72	518,88	432,4	1081
4	30	194,58	454,02	432,4	1081

As partículas foram previamente separadas em embalagens para camada externa e interna (Figura 29), onde a quantidade total de bambu na camada externa foi dividida em duas partes de 216,2 g cada uma, o que facilitou a produção dos painéis.



Figura 29: Partículas embaladas separadamente em camada externa e interna.

A quantidade de adesivo utilizada foi de 10% com base no peso seco das partículas. Na proporção de uma parte de pré-polímero para uma e meia partes de poliol. Para camada interna, a quantidade total de adesivo foi de 64,86 g, sendo 25,94 g de pré-polímero e 38,92 g de poliol. Para as camadas externas, a quantidade total utilizada em cada camada foi de 21,62 g, sendo 8,65 g de pré-polímero e 12,97 g de poliol.

As partículas e o adesivo foram misturados manualmente, pois ficou constatado que dessa forma, o adesivo aderia melhor nas partículas. Logo em seguida, foram acomodados em uma fôrma de madeira com dimensões de 32 cm x 38 cm, nas três camadas já especificadas antes (Figura 30). O colchão foi colocado sobre uma chapa de aço inox e filme de celofane, e então pré-prensado na pré-prensa laboratorial (Figura 31) para diminuir a sua espessura inicial, e depois prensada em uma prensa com pratos aquecidos (Figura 32), com um limitador de espessura de 12,7 mm, a uma temperatura de 90 ºC, pelo tempo de 10 minutos e pressão de 190 Bar, lida no manômetro da prensa. A pressão do manômetro equivale a força aplicada pelo pistão da prensa em toda a área do painel, tão pressão a equivale aproximadamente 45 bar, ou ainda 4,5 MPa e também 45 kgf/cm².



Figura 30: Painel de três camadas sendo confeccionado.



Figura 31: Pré prensa laboratorial.



Figura 32: Prensagem do painel.

Após esses processos, os 20 painéis foram acondicionados por um período de 72 horas para resfriamento e término da cura do adesivo. Após esse período, foram retirados os corpos de prova para realização dos ensaios físicos e mecânicos (Figura 33).

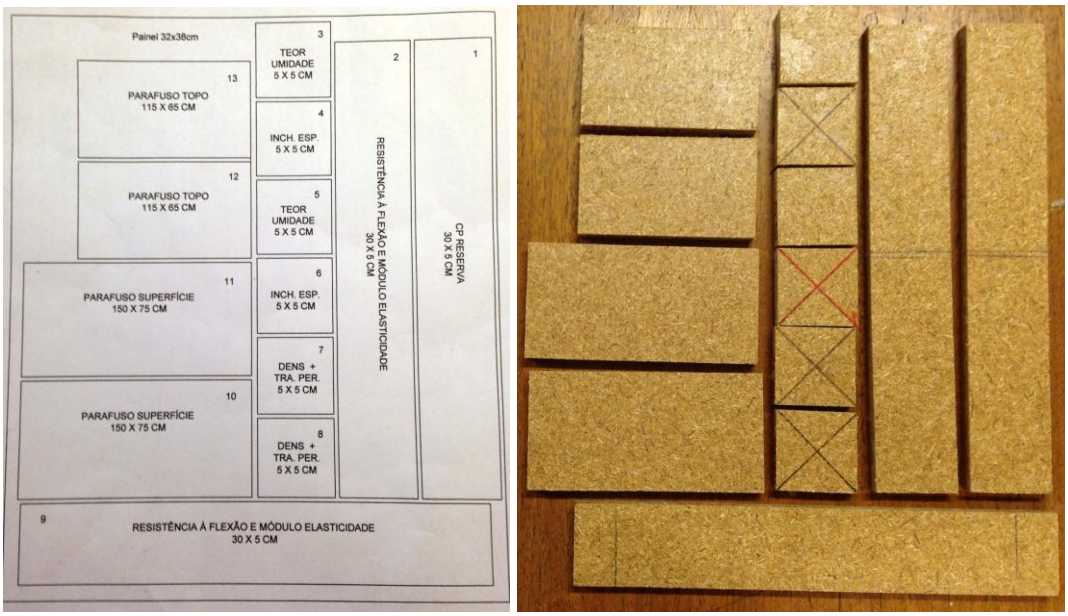


Figura 33: Esquema de corte dos corpos de prova.

4.3. Ensaios físicos

Os ensaios físicos realizados foram: inchamento em espessura durante 24 horas, absorção de água durante 24 horas, densidade e teor de umidade. Todos os ensaios realizados foram baseados nas especificações das normas brasileiras para painéis de partículas de média densidade, NBR 14.810-2/2013 e NBR 14.810-3/2006.

4.3.1. Inchamento em espessura

A seguir estão descritos os equipamentos necessários, a preparação dos corpos de prova, o procedimento do ensaio e os cálculos para determinação do inchamento em espessura durante o período de 24 horas, de acordo com a NBR 14810/2013.

Equipamentos:

Os aparelhos utilizados para determinar o inchamento em espessura foram: micrômetro Mitutoyo, abertura 0-25mm com resolução de 0,001 mm, recipiente com água a uma temperatura de 20°C ± 1 °C, dispositivo para manter os corpos de prova submersos (Figura 34) e câmara climática de fabricação Marconi, modelo MA 835/UR (Figura 35).

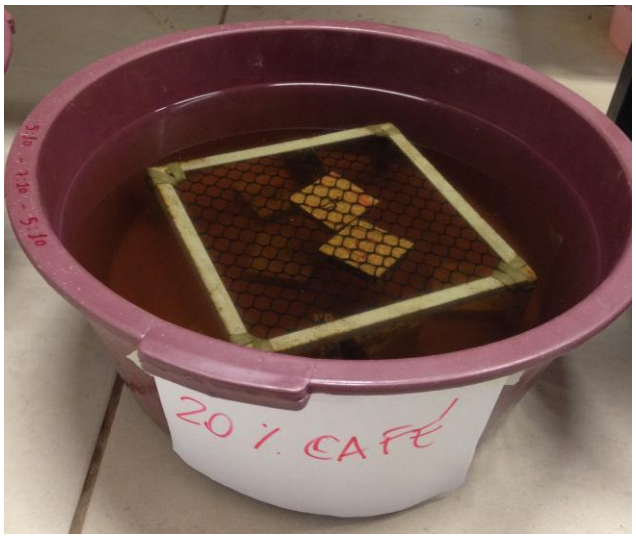


Figura 34: Dispositivo que mantém os corpos de prova submersos durante o ensaio de inchamento em espessura e absorção de água.



Figura 35: Câmara climática Marconi.

Corpos de prova:

Foram utilizados 10 corpos de prova para cada traço, sendo dois de cada painel, totalizando 40 corpos de prova, medindo 50 x 50 mm, estabilizados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio de 65% ± 5 % e temperatura de 20°C ± 3 °C.

Procedimento:

A primeira medição da espessura dos corpos de prova foi realizada antes de serem imersos em água, a medição foi feita no ponto de intersecção das diagonais de cada corpo de prova (Figura 36).

No recipiente de ensaio, foi colocado água até que o corpo de prova ficasse 25 mm abaixo da linha d'água na temperatura especificada acima.

Após 24 h ± 36 min, os corpos de prova foram retirados e removidos o excesso de água com papel absorvente. Em seguida aferiu-se novamente a espessura no centro do corpo de prova, obtendo-se o valor do inchamento em espessura em cada corpo de prova.



Figura 36: Ponto de intersecção das diagonais do corpo de prova de inchamento em espessura.

Cálculos:

Para o cálculo de inchamento da espessura do corpo-de-prova, utilizou-se a Equação 1.

$$I = \frac{E1-E0}{E0}.100 \quad (1)$$

Onde:

I é o inchamento em espessura do corpo-de-prova (%);

E1 é a espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado (mm);

E0 é a espessura do corpo-de-prova antes da imersão (mm).

4.3.2. Absorção de água

Estão descritos neste item: os equipamentos necessários, a preparação dos corpos de prova, o procedimento do ensaio e os cálculos para determinação da absorção de água durante 24 horas.

Este ensaio não é especificado na NBR 14.810/2013, porém auxilia na análise das propriedades físicas dos painéis, portanto neste ensaio utilizou-se as especificações da NBR 14.810/2006.

Equipamentos:

Os aparelhos utilizados para determinar a absorção de água foram: balança semi-analítica marca Marte, modelo BL3200H com resolução de 0,01 g (Figura 37), recipiente com água a uma temperatura de 20°C ± 1°C, dispositivo para manter os corpos de prova submersos e câmara climática.

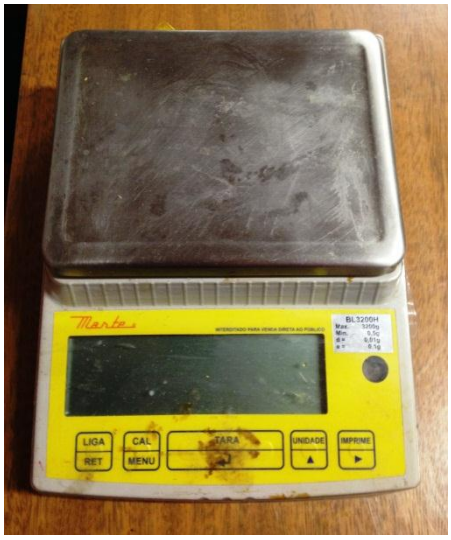


Figura 37: Balança semi analítica marca Marte.

Corpos de prova:

Foram utilizados 10 corpos de prova para cada traço, sendo dois de cada painel, totalizando 40 corpos de prova, medindo 50 x 50 mm, estabilizados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio de 65% ± 5 % e temperatura de 20°C ± 3 °C.

Procedimentos:

A primeira aferição da massa dos corpos de prova foi realizada antes da imersão em água.

O recipiente de água foi preenchido até que o corpo de prova ficasse 25 mm abaixo da superfície e com a água na temperatura de 20 °C.

Após 24 h ± 36 min, os corpos de prova foram retirados e removidos o excesso de água com papel absorvente. E então nova pesagem foi realizada nos corpos de prova.

Cálculos:

O cálculo da absorção de água durante 24 horas foi obtido por meio da Equação 2.

$$A = \frac{M1-M0}{M0}.100 \quad (2)$$

Onde:

A é a absorção de água em porcentagem (%);

M1 é a massa do corpo de prova após a imersão, em gramas (g);

M0 é a massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas (g).

4.3.3. Densidade

A seguir estão descritos os equipamentos necessários, a preparação dos corpos de prova, o procedimento do ensaio e os cálculos para determinação da densidade de acordo com a NBR 14810/2013.

Equipamentos:

Os equipamentos utilizados foram: paquímetro Mitutoyo com resolução de 0,01 mm, balança com resolução de 0,01 g e câmara climática.

Corpos de prova:

Foram utilizados 10 corpos de prova de cada traço, sendo dois de cada painel, totalizando 40 corpos de prova, medindo 50 x 50 mm, estabilizados em câmara climática de fabricação Marconi e modelo MA 835/UR até atingir a umidade de equilíbrio de 65% ± 5% e temperatura de 20°C ± 3 °C.

Procedimentos:

Primeiramente, foi determinada a massa dos corpos de prova através de uma balança semi-analítica de fabricação Marte. E logo em seguida, foram medidas as dimensões dos corpos de prova com utilização do paquímetro, marca Mitutoyo.

A medição da espessura foi feita na intersecção das diagonais, da mesma forma que foi realizada no ensaio de inchamento em espessura, no ponto central do corpo de prova.

Cálculos:

O cálculo da densidade de um corpo-de-prova foi realizado através das Equações 3 e 4.

$$D = \frac{M}{V} . 10^6 \quad (3)$$

Sendo:

$$V = L.C.E \quad (4)$$

Onde:

D é a densidade do corpo de prova (kg/m³);

M é a massa do corpo de prova (g);

V é o volume do corpo de prova (mm³);

L é a largura do corpo de prova (mm);

C é o comprimento do corpo de prova (mm);

E é a espessura do corpo de prova (mm).

4.3.4. Teor de umidade

A seguir estão descritos os equipamentos necessários, a preparação dos corpos de prova, o procedimento do ensaio e os cálculos para determinação do teor de umidade de acordo com a NBR 14810/2013.

Equipamentos:

Os equipamentos utilizados foram: balança semi-analítica com resolução de 0,01 g, estufa marca AD, modelo 480es (Figura 38) e dessecador marca Arsec (Figura 39).



Figura 38: Estufa com termostato marca AD.



Figura 39: Dessecador da marca Arsec.

Corpos de prova:

Foram utilizados 10 corpos de prova medindo 50 x 50 mm para cada traço, sendo dois de cada painel, totalizando 40 corpos de prova.

Procedimento:

Foi determinada a massa úmida dos corpos de prova, individualmente, e em seguida, os corpos de prova foram levados para uma estufa com temperatura de 103°C ± 2 ºC, até que os mesmos obtivessem massa constante. É considerada massa constante quando forem feitas

duas pesagens do corpo de prova, em um intervalo mínimo de 6 h, e essa diferença das massas não for maior que 0,1%.

Com a massa constante, os corpos de prova foram retirados da estufa e esfriados no dessecador. Após terem sido esfriados, foi determinada a massa dos corpos de prova, individualmente.

Cálculos:

Foi calculada a porcentagem do teor de umidade através da Equação (5).

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} . 100 \quad (5)$$

Onde:

U é o teor de umidade do corpo de prova, expresso em porcentagem (%);

Mu é a massa úmida do corpo de prova, expressa em gramas (g);

Ms é a massa seca do corpo de prova, expressa em gramas (g).

4.4. Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos realizados para avaliação da resistência dos painéis foram: tração perpendicular, flexão estática para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) e arrancamento de parafuso de topo e de superfície.

Os ensaios mecânicos realizados nesse trabalho foram desenvolvidos na máquina universal de ensaio da marca EMIC com capacidade de carga de 30 toneladas (Figura 40), no Laboratório de Propriedades dos Materiais da UNESP – Campus de Itapeva.



Figura 40: Máquina universal de ensaios mecânicos.

4.4.1. Tração perpendicular

A seguir estão descritos os equipamentos necessários, a preparação dos corpos de prova, o procedimento do ensaio e os cálculos para determinação da tração perpendicular às faces de acordo com a NBR 14810/2013.

Equipamentos:

Os materiais utilizados na realização desse ensaio foram: lixa e adesivo marca Almasuper para a preparação das amostras (Figura 41).

Os equipamentos utilizados foram paquímetro digital com resolução de 0,01 mm da marca Mitutoyo, dez pares de blocos de madeira, denominados blocos de tração, para cada traço ensaiado, conforme apresentado na Figura 42, dispositivo para prender os blocos de tração (Figura 43) e a máquina universal de ensaios com controle de velocidade.



Figura 41: Adesivo utilizado na colagem dos corpos de prova nos blocos de tração.



Figura 42: Blocos de tração utilizados no ensaio.

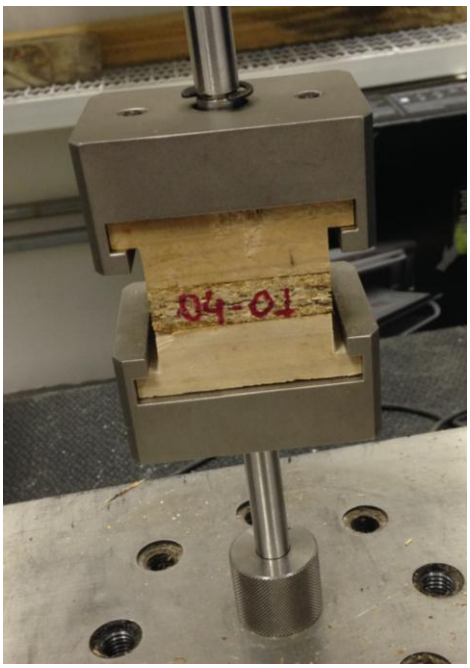


Figura 43: Dispositivo para prender os blocos de tração.

Corpos de prova:

Foram ensaiados 10 corpos de prova para cada traço, com dimensões de 50 mm x 50 mm, sendo dois de cada painel, totalizando 40 corpos de prova. Os corpos de prova foram estabilizados em câmara climática até atingir a umidade de equilíbrio, com umidade relativa de 65% ± 5% e temperatura de 20ºC ± 3ºC.

Procedimento:

As superfícies dos corpos de prova foram lixadas homogeneamente, e com um paquímetro foram medidas as dimensões B1 e B2 (Figura 44).

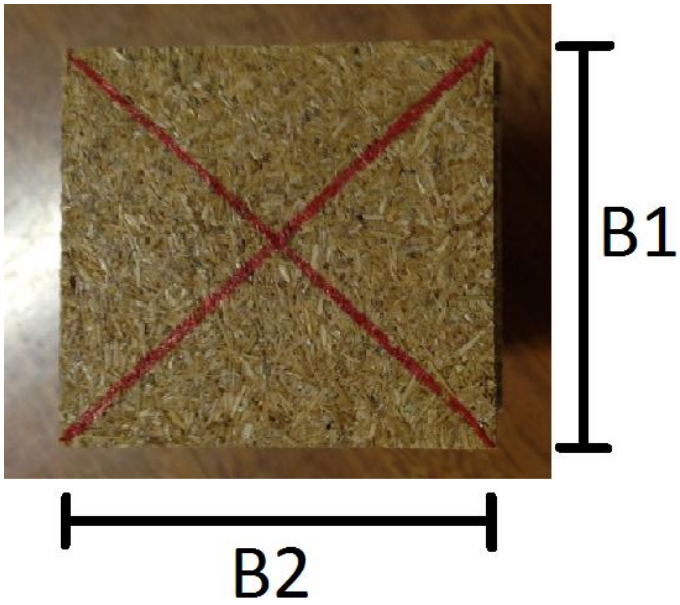


Figura 44: Ponto de medição do corpo de prova.

Os corpos de prova foram então colados com o adesivo Almasuper nos blocos de tração, formando o conjunto bloco de tração-corpo de prova-bloco de tração.

A máquina universal de ensaios foi preparada para que a ruptura do corpo de prova ocorresse entre 60s ± 30s após o início do ensaio, conforme especificação normativa. Fixou-se as garras (dispositivo para prender os blocos de tração) na máquina universal de ensaios e, então, as mesmas foram encaixadas no conjunto bloco de tração-corpo de prova-bloco de tração.

Cálculo:

A resistência à tração perpendicular do corpo de prova foi calculada através das Equações (6) e (7).

$$TP = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Sendo:

$$S = B1.B2 \quad (7)$$

Onde:

TP é a resistência à tração perpendicular, expressa em Newtons por milímetro quadrado (N/mm²);

P é a carga da ruptura, expressa em Newtons (N);

S é a área superficial do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm²);

B1 e *B2* são as dimensões do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

4.4.2. Flexão estática

A seguir estão descritos os equipamentos necessários, a preparação dos corpos de prova, o procedimento do ensaio e os cálculos para determinação da resistência à flexão estática e módulo de elasticidade de acordo com a NBR 14810/2013.

Equipamentos:

Os equipamentos utilizados nesse ensaio foram: paquímetro digital com resolução de 0,01 mm da marca Mitutoyo, micrômetro com resolução de 0,001 mm da marca Mitutoyo, câmara climática, máquina universal de ensaios com controle de velocidade e capacidade de carga de 30 toneladas, apoios metálicos e cutelo com diâmetro de 30 mm ± 5 mm (Figura 45).

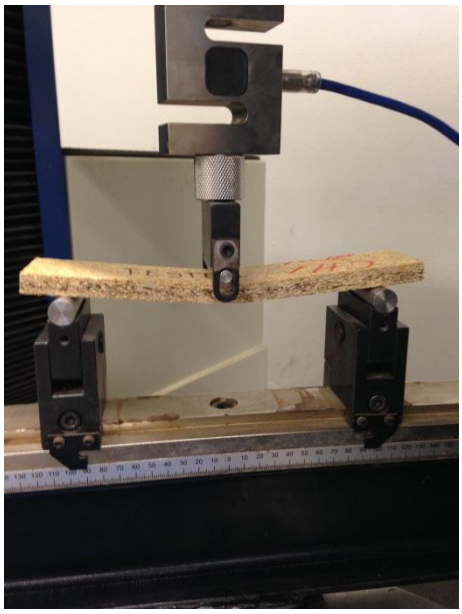


Figura 45: Apoios metálicos e cutelo da máquina universal de ensaios.

Corpos de prova:

Foram utilizados 10 corpos de prova para cada traço, medindo 300 mm x 50 mm. Cinco corpos de prova foram retirados na direção transversal e os outros cinco na direção longitudinal do painel.

Os corpos de prova foram climatizados em câmara climática até atingirem 65% ± 5% de umidade relativa do ar e 20ºC ± 3ºC.

Procedimento:

Mediu-se a espessura dos corpos de prova no ponto de intersecção das diagonais com o auxílio do micrômetro. E a largura (B) com o paquímetro (Figura 46).



Figura 46: Medição dos corpos de prova.

Depois de realizadas as medições das dimensões, os corpos de prova foram colocados um a um nos apoios da máquina de ensaio.

Zerou-se o indicador de carga da máquina universal de ensaios e então foi acionada com velocidade constante, para que a ruptura acontecesse no intervalo indicado anteriormente.

Cálculo:

O módulo de resistência à flexão estática do corpo de prova foi calculado utilizando-se a Equação (8).

$$MOR = \frac{1{,}5.(P.D)}{B.(E)^2} \quad (8)$$

Onde:

MOR é o módulo de resistência à flexão estática, expresso em Newtons por milímetro quadrado (N/mm²);

P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas, expressa em Newtons (N);

D é a distância entre apoios do aparelho, expressa em milímetros (mm);

B é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

E é a espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

O cálculo do módulo de elasticidade foi feito através da Equação (9).

$$MOE = \frac{P1.D^3}{d.4.B.E^3} \quad (9)$$

Onde:

MOE é o módulo de elasticidade, expresso em Newtons por milímetro quadrado (N/mm²);

P1 é a carga do limite proporcional lida no indicador de cargas, expressa em Newtons (N);

D é a distância entre apoios do aparelho, expressa em milímetros (mm);

d é a deflexão, correspondente à carga *P1*, expressa em milímetros (mm);

B é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

E é a espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

4.4.3. Arrancamento de parafuso

A seguir estão descritos os equipamentos necessários, a preparação dos corpos de prova e o procedimento do ensaio para determinação da resistência ao arranchamento de parafuso de acordo com a NBR 14810/2006, onde a dimensão dos corpos de prova é diferente das dimensões da norma que está em vigor, mas por não se ter o aparato que a norma atual, versão 2013 preconiza, então utilizou-se as especificações da norma acima citada.

Equipamentos:

Os equipamentos utilizados na execução desse ensaio são: máquina furadeira, máquina universal de ensaios, broca de 2,8 mm de diâmetro, parafuso (Figura 47) e acessórios que serão acoplados na máquina universal de ensaios (Figuras 48 e 49).

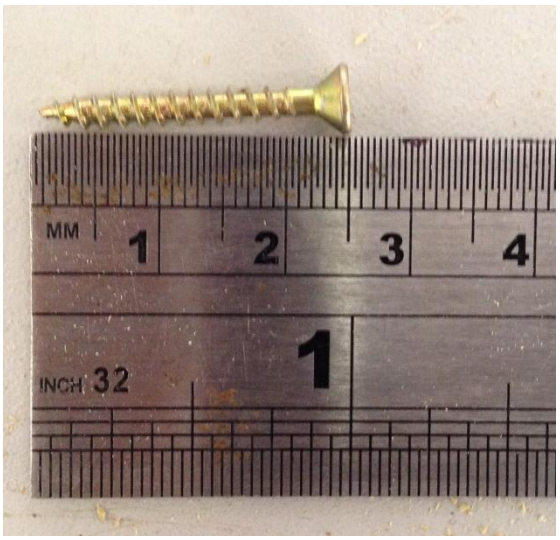


Figura 47: Parafuso utilizado no ensaio.

Corpos de prova:

Para realizar esse ensaio foram necessários 20 corpos de prova para cada traço, sendo dois de cada painel, 10 para o ensaio de arrancamento de parafuso na superfície com dimensões de 150 mm x 75 mm; e os outros 10 para o ensaio de arrancamento de parafuso no topo nas dimensões de 115 mm x 65 mm.

Procedimento:

Para o arrancamento de parafuso na superfície, os corpos de prova foram perfurados com a broca de 2,8 mm de diâmetro, a uma profundidade passante centrado na superfície do corpo de prova.

Para o arrancamento de topo, os corpos de prova foram perfurados novamente com a broca de 2,8 mm de diâmetro, a uma profundidade máxima de 17 mm centrados no topo dos corpos de prova.

O parafuso foi introduzido no corpo de prova e então o mesmo já com o parafuso foi acoplado no acessório da máquina universal de ensaios (Figuras 48 e 49).

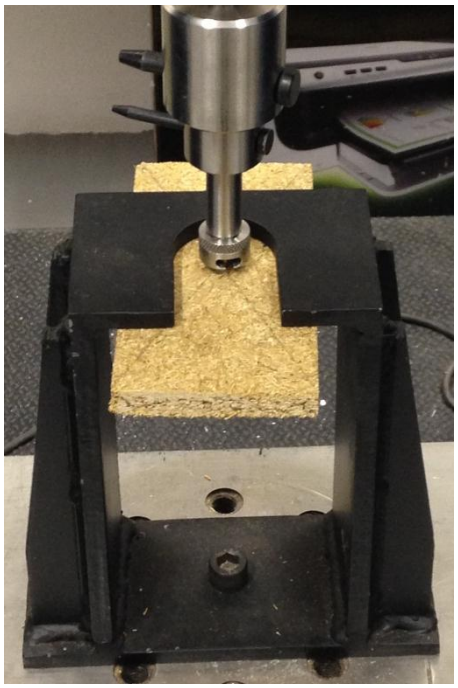


Figura 48: Esquema de ensaio para arranque de superfície.

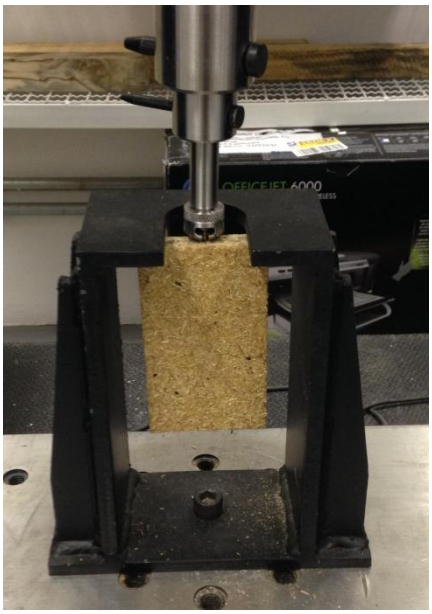


Figura 49: Esquema de ensaio para arranque de topo.

O indicador de cargas da máquina foi zerado e então ajustada a sua velocidade para 15 mm/min, segundo especificações da norma. A leitura obtida no indicador de cargas foi anotada e foi feita uma média dos valores obtidos.

4.5. Microscopia eletrônica de varredura

Foram realizadas as imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para os quatro traços estudados. O microscópio da marca Zeiss, modelo EVO LS15 (Figura 50) está localizado na Faculdade de Ciências da UNESP de Bauru.



Figura 50: Microscópio Eletrônico de Varredura.

Retirou-se dois corpos de prova de cada tipo de traço, onde no primeiro foi analisado a superfície interna do painel e o segundo a superfície da camada externa (Figura 51), totalizando então 8 corpos de prova (Figura 52).



Figura 51: Corpos de prova utilizados no MEV.



Figura 52: Os oito corpos de prova utilizados no ensaio de MEV.

Os corpos de prova de dimensão 10 mm x 10 mm foram colados, através de uma fita adesiva de carbono, em um pino de metal (Figura 53) e então acoplados no suporte que foi levado ao MEV (Figura 54).



Figura 53: Corpos de prova colados no pino.

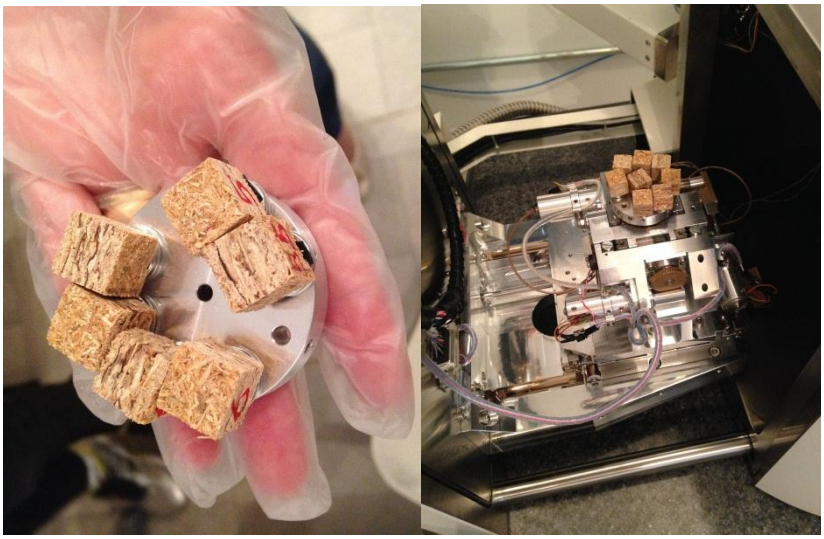


Figura 54: Corpos de prova no suporte.

Durante o experimento não houve necessidade de se fazer uma metalização com ouro, pois foi aplicada a função “modo ambiental” do MEV, que é utilizada para compósitos naturais, e com o uso do filtro obteve-se fotomicrografias nítidas e de boa qualidade.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios realizados estão apresentados nos subitens abaixo, subdivididos em ensaios físicos, mecânicos e análise da microscopia.

5.1. Ensaios físicos

Os ensaios físicos realizados foram para a determinação da densidade, teor de umidade, inchamento em espessura período de 24 horas e absorção de água período de 24 horas.

Foi realizada a análise estatística para cada um desses ensaios, composta de uma análise de variância a um nível de significância de 5% e teste Tukey também com nível de significância de 5%. Os valores médios e respectivos desvios padrões dos resultados obtidos nos ensaios físicos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios e desvios padrões dos ensaios físicos realizados para cada tipo de painel.

Traço	% café	Densidade (g/cm^3)	Teor de umidade (%)	Inchamento (%)	Absorção (%)
1	0	0,77 a[1] (0,01)[2]	9,44 a (0,22)	7,19 a (0,81)	29,95 a (3,98)
2	10	0,78 a (0,02)	9,44 a (0,20)	7,60 a (0,73)	35,06 a (3,94)
3	20	0,78 a (0,02)	9,41 a (0,19)	7,59 a (1,27)	35,24 a (5,90)
4	30	0,76 a (0,02)	10,97 b (0,33)	8,28 a (0,90)	34,92 a (3,80)

[1]Médias seguidas de letras iguais não apresentam diferença estatística (Tukey, α=0.05).
[2]Os valores entre parênteses apresentam o desvio padrão dos dados.

5.1.1. Densidade

No ensaio de densidade, não houve diferença significativa entre as médias dos painéis dos Traços 1, 2, 3 e 4, compostos com 0%, 10%, 20% e 30% de café. Todos os painéis apresentaram médias superiores à faixa de valores de 0,551 a 0,75 g/cm³, mencionada na NBR 14.810/2013, porém de acordo com a norma de 2006, a tolerância em relação a densidade média é de ± 7%, aceitando-se uma média de densidade com valores de até 0,802 g/cm³.

Por outro lado, de acordo com a norma comercial canadense CS 236/1966, o valor especificado para painéis de média densidade é de 0,6 a 0,8 g/cm³. E de acordo com a ANSI A208.1-1999, o valor especificado para painéis de partículas de média densidade é de 0,64 a 0,8 g/cm³. Portanto, para essas normas, os painéis se encaixam como de média densidade.

O gráfico das médias com o desvio padrão encontradas para esse ensaio é apresentado na Figura 55.

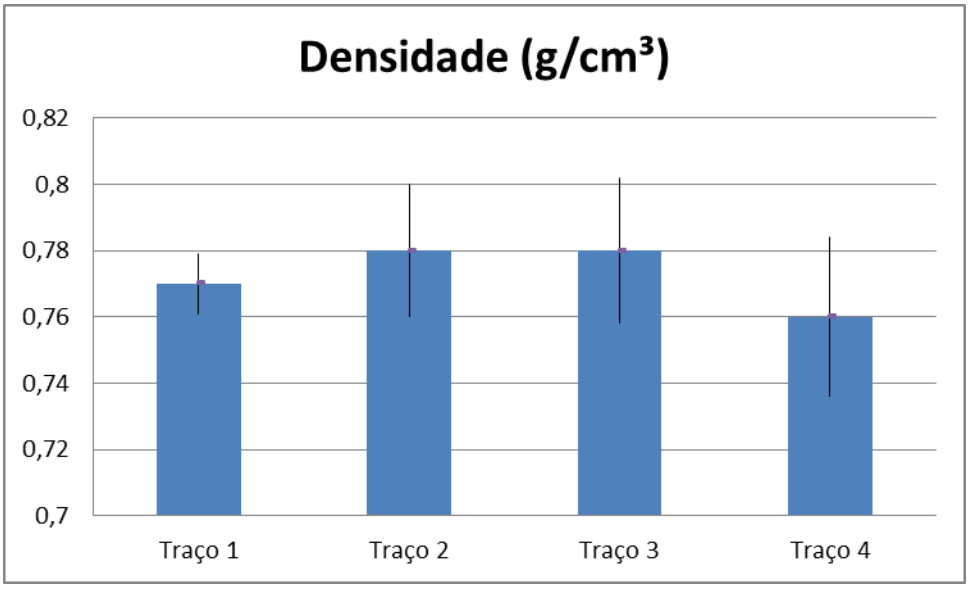


Figura 55: Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Densidade.

5.1.2. Teor de umidade

Nos resultados do ensaio de teor de umidade, houve diferença significativa apenas no painel de Traço 4, com 30% de café em relação aos outros. Mas todos os painéis apresentaram médias entre 5% e 13%, atendendo as especificações da NBR 14.810/2013.

E como o teor de umidade apresentado para os quatro traços atenderam a norma, pode-se concluir que tais valores não influenciaram os demais resultados, pois se encontram dentro dos limites normativos.

Ferreira (2013) produziu painéis particulados com materiais lignocelulósicos e obteve valores de teor de umidade próximos aos obtidos neste estudo.

O gráfico das médias e desvios padrões encontradas nesse ensaio é apresentado na Figura 56.

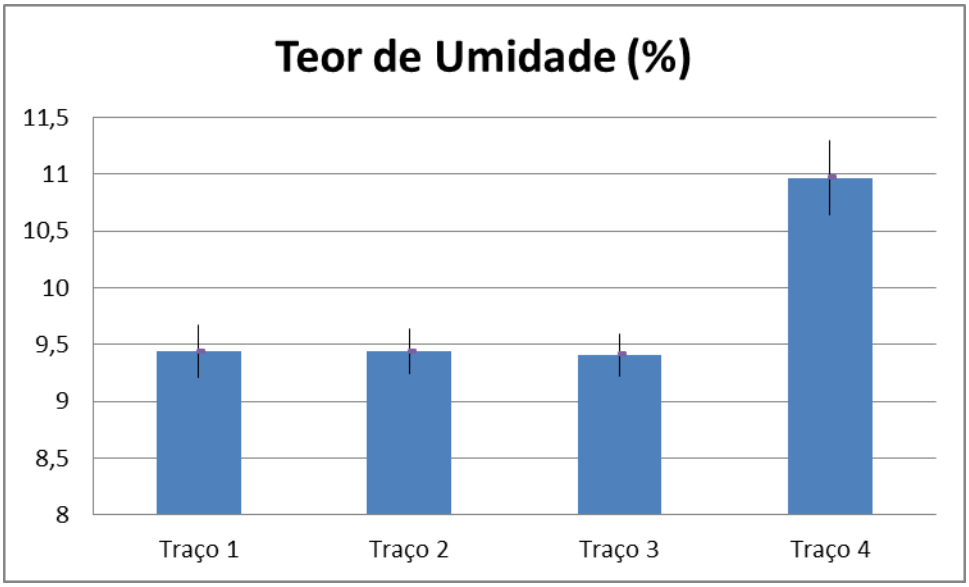


Figura 56: Médias e desvios padrões encontrados no ensaio de Teor de umidade.

5.1.3. Inchamento em espessura

No ensaio de inchamento em espessura durante 24 horas, nenhum dos painéis apresentou diferença significativa. E todos apresentaram valores abaixo dos 18%, especificado pela NBR 14.810/2013 para painéis não estruturais para uso interno em

condições secas. Visto que, também atendem a norma no caso mais crítico de painel, do tipo estrutural para uso em condições severas de carga e em ambientes úmidos, para esse caso o valor especificado pela norma é de 10%.

Calegari *et al.* (2007) produziu painéis de partículas de bambu e madeira, e 10% de adesivo ureia-formaldeído. Para o ensaio de inchamento em espessura durante 24 horas, o autor obteve valores variando de 18% a 45%.

O gráfico das médias e desvios padrões encontradas nesse ensaio é apresentado na Figura 57.

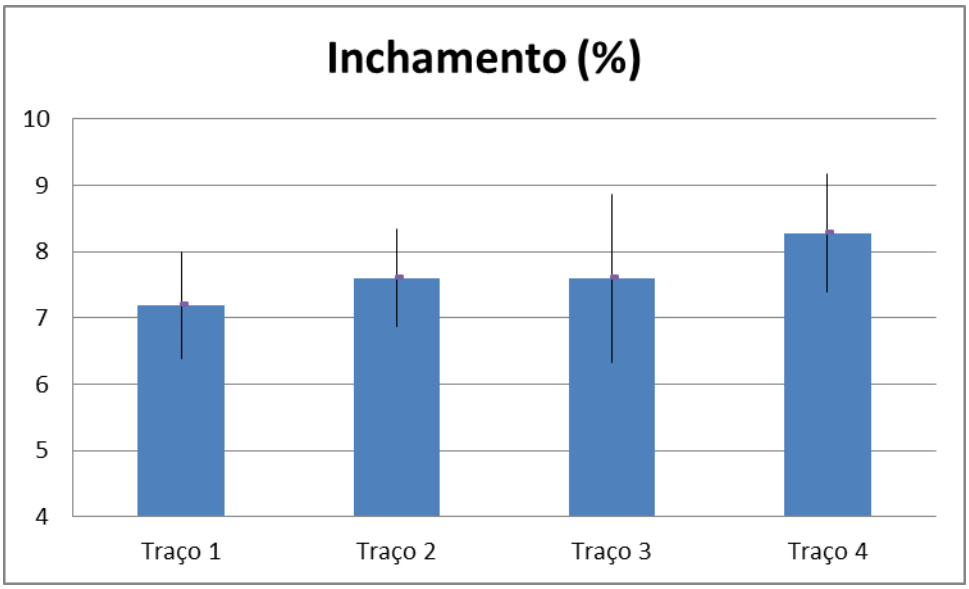


Figura 57: Médias e desvios padrões do ensaio de Inchamento em espessura durante 24 horas.

Na Figura 57 observa-se que a adição de casca de café proporcionou um aumento no inchamento em espessura do painel, e isso pode ser justificado devido à geometria das partículas e maior porosidade das partículas de café. Ferreira (2013) observou em seu estudo que a mudança na geometria das partículas proporcionou aumento no inchamento em espessura após imersão em água. Moslemi (1974) já havia indicado em seus estudos que a geometria, seja o comprimento ou a espessura das partículas, influenciam no inchamento do painel, isto porque apresentam uma redução na razão de esbeltez das partículas e isso proporciona menor área superficial de contato entre as mesmas, aumento a porosidade do painel.

5.1.4. Absorção de água

No ensaio de absorção durante 24 horas, não foi encontrada diferença significativa entre os valores. A NBR 14.810/2013 não apresenta valores para esse tipo de ensaio, portanto, os valores médios obtidos foram comparados com outros dois trabalhos, apresentando valores melhores que os encontrados na bibliografia. Lacombe e Sichiere (2014) obtiveram valores médios de 52,29% para absorção durante 24 horas em painéis de pinus. E Surdi et al. (2014) obtiveram para painéis feitos com resíduos de eucalipto um valor de 83,77%, para absorção 24 horas.

O gráfico das médias e desvios padrões encontradas nesse ensaio se encontra na Figura 58.

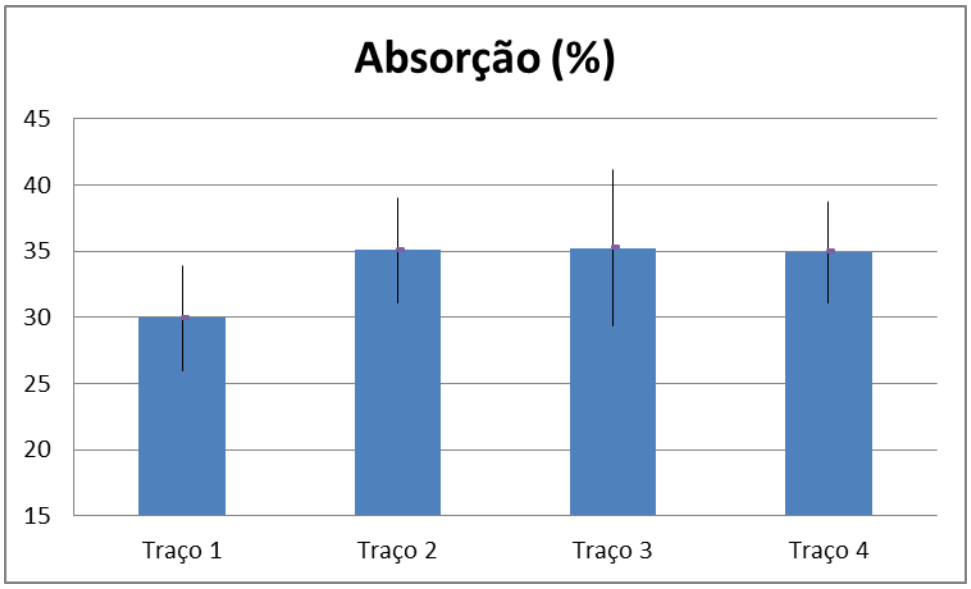


Figura 58: Médias e desvios padrões do ensaio de Absorção de água durante 24 horas.

Tanto inchamento como absorção de água são diretamente influenciados pela porosidade e espaços vazios encontrados nos painéis. Esses vazios são definidos especialmente pela geometria das partículas, que estão ligadas ao comprimento e espessura das mesmas, como já citado anteriormente em estudos realizados por Moslemi (1974). As partículas de casca de café por apresentarem variação geométrica em relação as partículas de bambu influenciaram no desempenho do painel em relação a absorção de água. Mas, comparado com estudos semelhantes os resultados obtidos neste estudo mostraram bastante satisfatórios.

Calegari *et al.* (2007) produziu painéis de partículas de bambu e madeira, e 10% de adesivo ureia-formaldeído. Para o ensaio de absorção de água durante 24 horas, o autor obteve valores variando de 63% a 74%.

5.2. Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos realizados foram os de flexão estática para cálculo de Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE), tração perpendicular, arrancamento de parafuso de topo e superfície.

Foi feita uma análise estatística para cada um desses ensaios, composta de uma análise de variância a um nível de significância de 5% e teste Tukey também com nível de significância de 5%, os valores médios dos ensaios são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores médios e desvios padrões dos ensaios mecânicos realizados para cada tipo de painel.

Traços	% Café	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Tração (MPa)	Arrancamento Par. Topo (N)	Arrancamento Par. Sup. (N)
1	0	17,12a[1]	2290,24a	1,57a	981,96a	983,25a
		(3,03)[2]	(535,45)	(0,21)	(129,35)	(366,03)
2	10	13,90b	2303,61a	1,19b	784,54b	992,91a
		(1,35)	(179,09)	(0,28)	(112,22)	(221,95)
3	20	13,62b	2162,79a	1,15b	779,41b	920,95a
		(2,63)	(333,07)	(0,10)	(207,49)	(153,88)
4	30	11,33b	1888,87a	0,89b	751,69b	800,01a
		(2,34)	(293,38)	(0,10)	(108,30)	(167,03)

[1]Médias seguidas de letras iguais não apresentam diferença estatística (Tukey, α=0.05).
[2]Os valores entre parênteses apresentam o desvio padrão dos dados.

5.2.1. Flexão estática

O ensaio de flexão estática é dividido em dois subitens, o de módulo de ruptura (MOR) e o de módulo de elasticidade (MOE).

Módulo de Ruptura (MOR):

A menor média encontrada em todos os traços foi de 11,33 MPa. A NBR 14.810/2013 tem como requisito mínimo, para painéis de 6 a 13 mm de espessura, um valor de 11 MPa, para painéis não estruturais de uso interno em condições secas. A norma comercial canadense CS 236/1966, especifica um valor de 11,2 MPa para painéis com aplicações internas. E de acordo com a ANSI A208.1-1999, o valor mínimo para painéis comerciais é de 11 MPa.

Com a análise estatística feita, dentre os quatro tipos de traços testados, apenas o primeiro, com 100% de partículas de bambu e 0% partículas de casca de café, obteve valor significativamente diferente dos demais. Porém, notou-se uma discreta diminuição dessa propriedade quanto mais se aumentava o teor de casca de café no painel.

Dacosta *et al.* (2005) analisou a qualidade de painéis de partículas fabricadas com resíduos de processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes porcentagens de adesivo, 4%, 8% e 12%, e para os ensaios de MOR, obteve resultados variando de 5 a 9,7 MPa.

Maciel *et al.* (2004) produziu painéis de partículas com *Pinus elliottii*, poliestireno e polietileno tereftalato, com ureia e fenol formaldeído, obteve valores máximos de MOR de 14,95 e 14,07 MPa, respectivamente.

Na Figura 59 são apresentados os valores das médias e desvios padrões do ensaio de Módulo de ruptura para flexão estática.

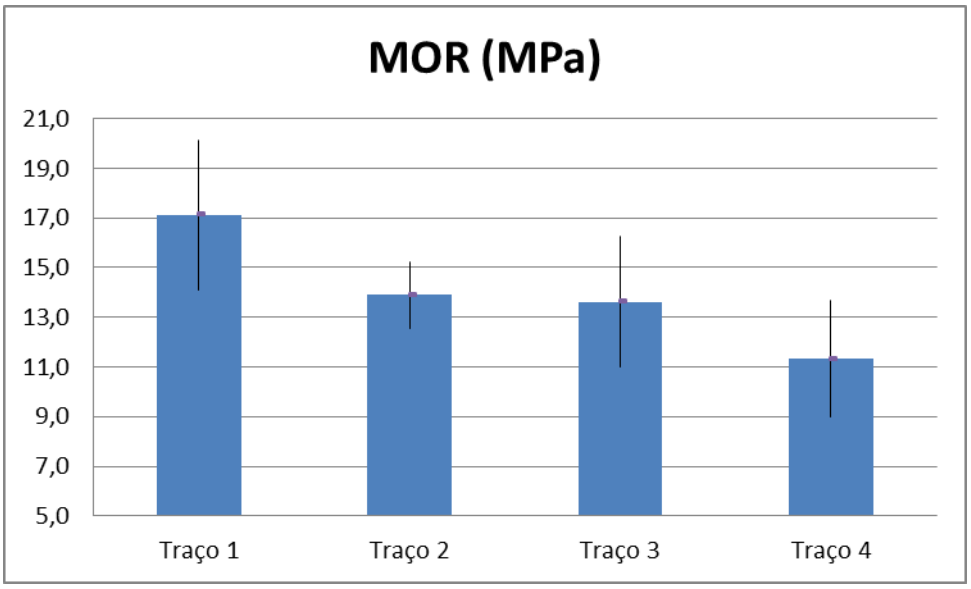


Figura 59: Médias e desvios padrões do ensaio de MOR para Flexão estática.

Módulo de Elasticidade (MOE):

A NBR 14.810/2013 especifica valores mínimos de 1800 MPa para painéis de uso não estrutural, interno e em condições secas. E de acordo com a ANSI A208.1-1999, o valor mínimo é de 1725 MPa. Todas as médias obtidas foram superiores a esses valores. Para a norma comercial canadense CS 236/1966, o valor especificado é de 2450 MPa, os painéis fabricados não atendem a essa norma.

A análise estatística demonstrou que apesar da diferença de valores encontrados nas médias, todos os traços são iguais estatisticamente.

A adição de materiais lignocelulósicos com geometria mais quadrada apresentam a tendência de diminuir as propriedades dos painéis devido a menor interação entre as mesmas. Ferreira (2013) apresentou considerável redução nos valores de MOE e MOR com a adição de casca de noz macadâmia ao painel.

Dacosta *et al.* (2005) analisou a qualidade de painéis de partículas fabricadas com resíduos de processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes porcentagens de adesivo, 4%, 8% e 12%, e para os ensaios de MOE, obteve resultados variando de 523 a 1184 MPa.

Maciel *et al.* (2004) produziu painéis de partículas com *Pinus elliottii*, poliestireno e polietileno tereftalato, com ureia e fenol formaldeído, obteve valores máximos de MOE de 3,03 e 2,84 GPa, respectivamente.

Na Figura 60 encontram-se os valores das médias e desvios padrões do ensaio de Módulo de elasticidade para flexão estática.

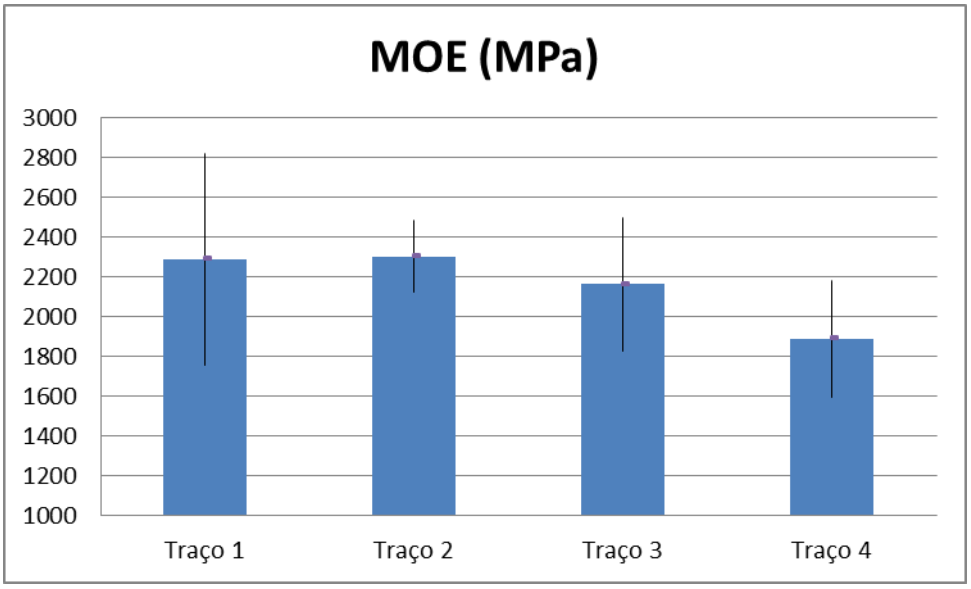


Figura 60: Médias e desvios padrões do ensaio de MOE para Flexão estática.

5.2.2. Tração Perpendicular

Esse ensaio obteve valores muito bons, quando comparados aos valores sugeridos pela NBR 14.810/2013, que recomenda que o valor mínimo para painéis estruturais de uso externo, em condições severas de carga e em ambientes úmidos, deve ser de 0,75 MPa para painéis com 10 a 13 mm de espessura. A norma comercial canadense CS 236/1966, especifica um valor de 0,49 MPa para painéis com aplicações internas. E de acordo com a ANSI A208.1-1999, o valor mínimo para painéis comerciais é de 0,40 MPa. Todos os painéis obtiveram valores superiores aos estabelecidos.

Observou-se que com o aumento da casca de café no painel, houve uma diminuição na propriedade de tração perpendicular. Analisando estatisticamente, apenas o painel do primeiro traço, com 1,57 MPa de média aritmética, obteve valor significativamente diferente dos demais, que foram inferiores.

Dacosta *et al.* (2005) analisou painéis de partículas fabricadas com resíduos de processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes porcentagens de adesivo

uréia-formaldeído, 4%, 8% e 12%, e para os ensaios de Tração Perpendicular, obteve resultados em torno de 0,2 MPa.

Maciel *et al.* (2004) produziu painéis de partículas com *Pinus elliottii*, poliestireno e polietileno tereftalato, com ureia e fenol formaldeído, obteve valores máximos de Tração Perpendicular de 0,67 e 0,61 MPa, respectivamente.

Na Figura 61 são encontrados os valores das médias e desvios padrões do ensaio de Tração Perpendicular.

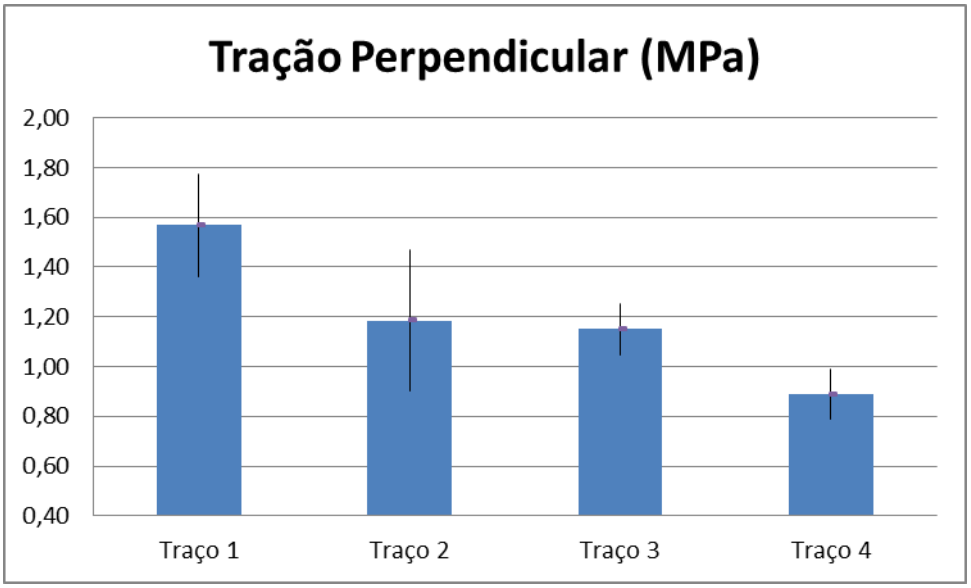


Figura 61: Médias e desvios padrões do ensaio de Tração perpendicular.

5.2.3. Arrancamento de Parafuso

Esse ensaio mecânico foi realizado de duas condições diferentes, conforme recomenda a NBR 14.810, ou seja, arrancamento de parafuso de topo e arrancamento de parafuso de superfície, e por isso estão assim divididos nos subitens a seguir.

Os ensaios foram feitos seguindo a especificação da NBR 14.810/2006, pois o aparato disponível da máquina de ensaios EMIC não estava adequado a realizar o ensaio prescrito pela versão nova da NBR.

Arrancamento de parafuso - topo:

A NBR 14.810/2013 não especifica valores para esse tipo de ensaio. A norma comercial canadense CS 236/1966, especifica um valor de 723,8 N para painéis com aplicações internas. Todos os traços atenderam as especificações dessa norma. Já para a norma ANSI A208.1-1999, o valor mínimo para painéis comerciais é de 800 N e apenas o traço 1, com 0% de casca de café atende as especificações dessa norma.

Calegari *et al.* (2007) produziu painéis de partículas de bambu e madeira, e 10% de adesivo ureia-formaldeído. Para o ensaio de arrancamento de parafuso, o autor obteve valores variando de 255 a 392 N.

Analisando os dados estatisticamente, apenas a média do primeiro traço foi diferente das demais, apresentando os maiores valores.

Na Figura 62 encontram-se os valores das médias e desvios padrões do ensaio de Arrancamento de parafuso de topo.

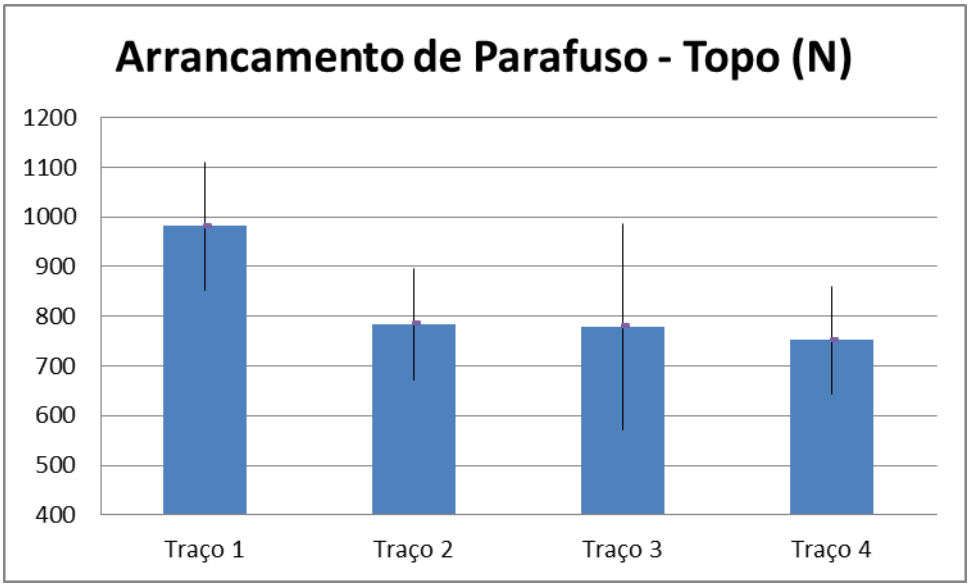


Figura 62: Médias e desvios padrões do ensaio de Arrancamento de parafuso de topo.

Arrancamento de parafuso - superfície:

Assim como para o teste de arrancamento de parafuso no topo, a norma brasileira NBR 14.810/2013 não especifica valores para arrancamento de superfície. A norma comercial canadense CS 236/1966, especifica um valor de 1020,6 N para painéis com aplicações internas, nenhum dos painéis produzidos atende a essa norma. E de acordo com a ANSI

A208.1-1999, o valor mínimo para painéis comerciais é de 900 N, apenas os painéis do quarto traço não atendem a essa norma.

Dacosta *et al.* (2005) fabricaram painéis de partículas de média densidade com resíduos de *Pinus elliottii*, o cavaco e a maravalha; utilizando diferentes proporções desses materiais e três porcentagens de adesivo uréia-formaldeído, 4%, 8% e 12%; e obtiveram valores variando de 4,6 a 7,6 N. Esses valores são inferiores aos encontrados nos quatro traços analisados no presente trabalho.

Na Figura 63 encontram-se os valores das médias e desvios padrões do ensaio de Arrancamento de parafuso de superfície.

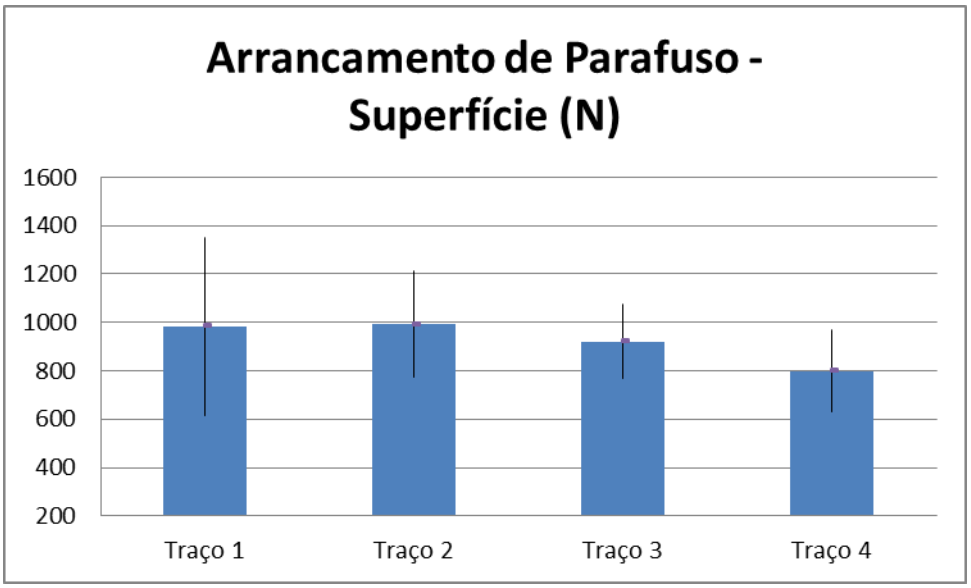


Figura 63: Médias e desvios padrões do ensaio de Arrancamento de parafuso de superfície.

5.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

Os melhores resultados da análise microscópica puderam ser observados nos corpos de prova que mostravam a camada interna do painel, pois os corpos de prova de superfície não tinham diferença significativa, já que todos foram fabricados da mesma forma.

As fotomicroscopias da camada interna indicaram uma maior interação das partículas quando se é aumentada a quantidade de casca de café em cada painel, percebendo-se poros menores e mais superficiais nas Figuras 64 e 65, onde há mais casca de café.

Embora a geometria das partículas não atenda a razão de esbeltez ideal, a redução dos poros minimizou esse efeito, resultando em valores satisfatórios quando comparados as normas. Lembrando que a análise dos poros feita por MEV é qualitativa.

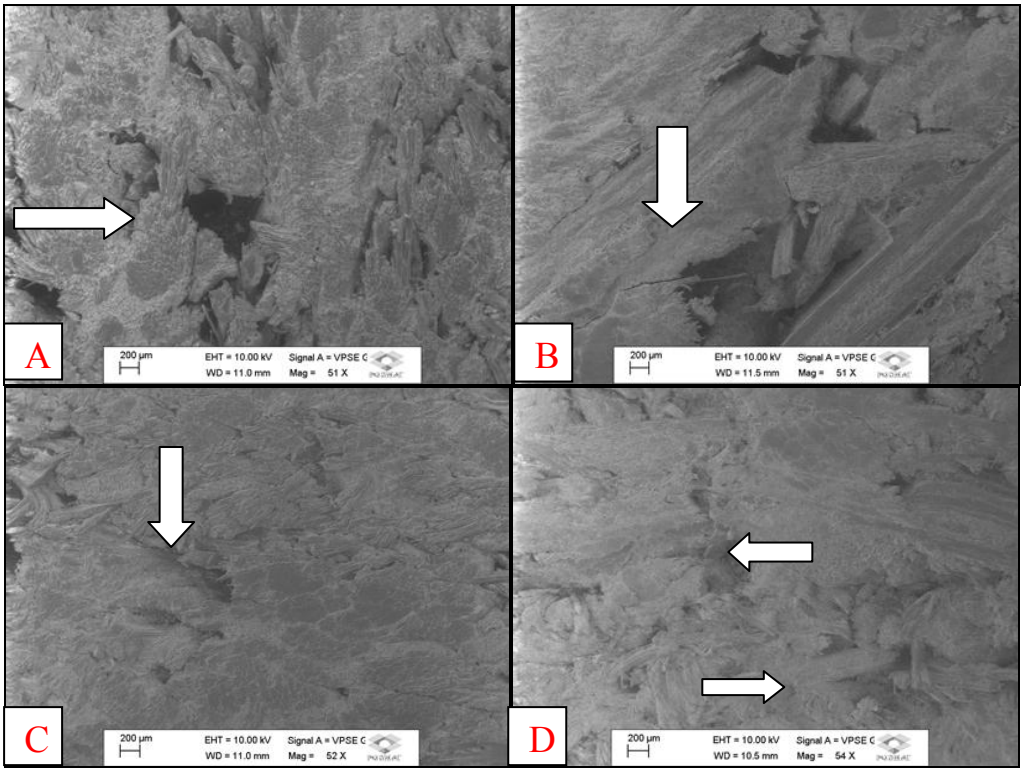


Figura 64: Fotomicroscopia com 50 x de aumento de A) um painel composto por 100% bambu; B) painel composto por 90% bambu e 10% de casca de café; C) painel com 80% de bambu e 20% de casca de café; e D) painel com 70% de bambu e 30% de casca de café.

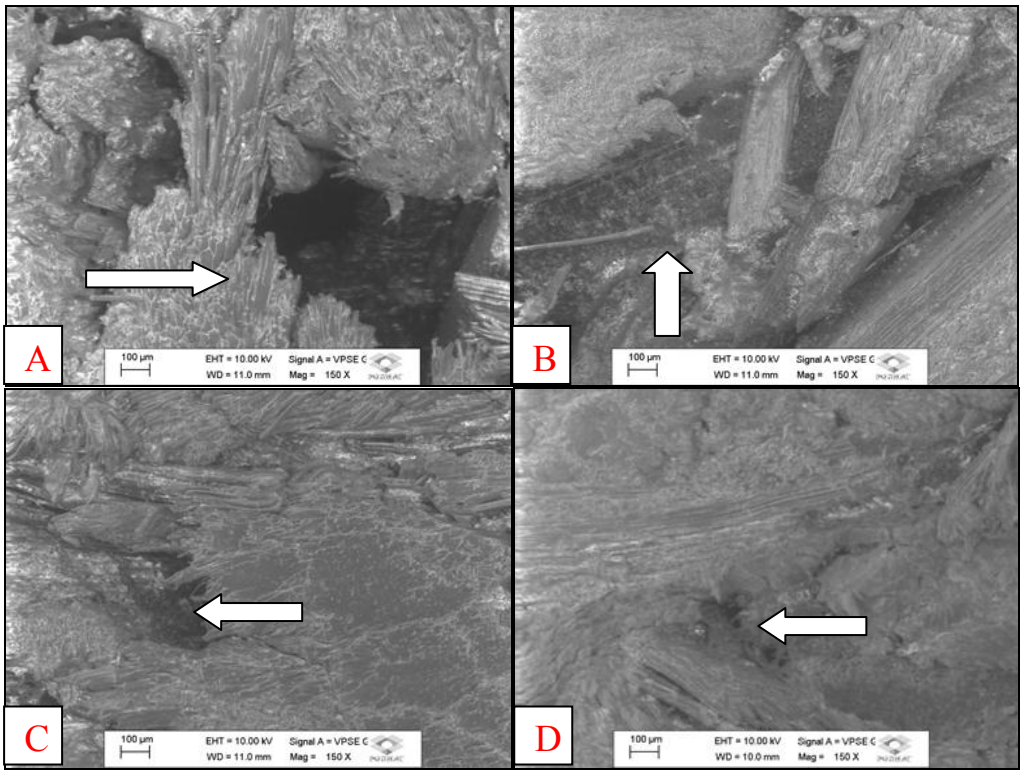


Figura 65: Fotomicroscopia com 150x de aumento de A) um painel composto por 100% bambu; B) painel composto por 90% bambu e 10% de casca de café; C) painel com 80% de bambu e 20% de casca de café; e D) painel com 70% de bambu e 30% de casca de café.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desse trabalho concluiu-se que o painel MDP confeccionado com bambu e adição de 10%, 20% e 30% de casca de café na camada interna pode ser comercialmente utilizado, quando para uso interno, não estrutural e em condições secas. Todas as propriedades com requisitos mínimos indicados pela norma brasileira NBR 14.810/2013 foram atendidas.

Para dois ensaios em particular, o de inchamento em espessura durante 24 horas e o de tração perpendicular, os resultados obtidos foram bastante elevados, poderiam até ser comparados a painéis do tipo estrutural para uso em condições severas de carga e em ambientes úmidos.

Levando-se em conta as propriedades físicas desse painel; densidade, inchamento em espessura e absorção de água durante 24 horas, não obtiveram diferença estatística entre os painéis. Somente o painel com 30% de casca de café, no ensaio de teor de umidade, obteve essa diferença.

A microscopia eletrônica de varredura demonstrou que com o aumento da proporção de casca de café, houve uma maior interação entre as partículas, isso pode ser explicado através dos ensaios físicos, que alcançaram valores iguais estatisticamente ao traço com 100% bambu, sendo que o esperado era de que houvesse a diminuição das propriedades com o aumento da casca de café.

Nos ensaios de resistência à flexão estática (MOR), tração perpendicular e arrancamento de parafuso de topo, os painéis do traço 1 alcançaram os maiores valores de média, se diferenciando estatisticamente dos painéis dos outros traços.

Para o ensaio de módulo de elasticidade da flexão estática e arrancamento de parafuso de superfície, todos os painéis apresentaram médias iguais estatisticamente.

Para os ensaios de arrancamento de parafuso de topo, para a norma comercial canadense CS 236/1966, todos os painéis atendem a norma. Já para a norma ANSI A208.1-1999, apenas o traço com 0% de casca de café atende as suas especificações.

Já os ensaios de arrancamento de parafuso de superfície, de acordo com a norma comercial canadense CS 236/1966, os painéis produzidos não atendem a essa norma. Por outro lado, de acordo com a ANSI A208.1-1999, apenas os painéis do quarto traço não atendem a norma, porém podem ser utilizados como painéis para conforto térmico e acústico

ou decorativos, por exemplo, na fabricação de lambris, ou de pequenos objetos, com o objetivo principal de aproveitar os resíduos.

Todos os ensaios realizados apresentaram valores compatíveis aos propostos pela norma brasileira NBR 14.810-2/2013. Comprovando que o aproveitamento de resíduos de café é viável, podendo utilizar essa matéria-prima de maneira mais racional e sustentável.

Futuras pesquisas podem ser realizadas utilizando-se outros tipos de adesivos, outras porcentagens de casca de café na camada interna e até externa.

REFERÊNCIAS

ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011 /ABRAF. – Brasília: 2012. 150 p. acessado em: www.abraflor.org.br/estatisticas.asp

AMERICAN NATIONAL STANDARD. ANSI A208.1-1999: Particleboard. Estados Unidos, 1999.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810: Chapa de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

BAGGIO, J. **Avaliação dos resíduos (casca e pó orgânico) de café (Coffea arabica L.) como provável fonte de substâncias bioativas**. 2006. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído.** 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais, Área de concentração análise e seleção de materiais) Universidade Federal Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

BEKALO, S.A.; REINHARDT, H.W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. **Materials and Structures**, v. 43, p. 1049-1060, 2010.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona.** 2011. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais, Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 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**, [S.l.], v. 31, n. 2, p. 84-87, mar. 2011.

BRASIL. Lei Estadual nº 12.300, de 15 de março de 2006.

BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais**. 2007. 138 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica). Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2007.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; SCARAVELLI, T. L.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Scchr.) em combinação com madeira. **Revista Cerne.** Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.

CETESB. **Resíduos sólidos industriais**. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1985. 182p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café. Safra 2014**. Terceiro Levantamento. Setembro/2014. <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 10 out. 2014.

COMMERCIAL STANDARD. CS 236/1966: mat formed wood particleboard. Canadá, 1966.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322. 2005

DEDAVID, B. A., GOMES, C. I., MACHADO, G. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras.** Porto Alegre. Edipucrs. 2007.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos/ Instituto de Física de São Carlos/ Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FERREIRA, B. S. Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptus saligna* com adição de casca de noz macadâmia. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNESP – Campus de Itapeva, Itapeva, 2013.

FERREIRA, B. S,; CAMPOS, C. I.; GONÇALVES, M. T. T. Use of macadamia nutshell in the production of *Eucalyptus salign* particleboards. **Advanced Materials Research** (on line) vol. 1025-1026, p. 246-250, 2014.

FONSECA, K. A. V. **Caracterização físico-mecânica das espécies de bambus *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia* para aplicação na indústria de móveis e pisos**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus Experimental de Itapeva, Itapeva - SP, 2011.

FRIHART, R. C. Wood Adhesion and Adhesives. In: ROWELL, M. R. **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Boca Raton: CRC Press, 2012.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials: Bond Formation and Performance. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook:** wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

HIDALGO, O. L. ***Bamboo: the gift of the God's***. In: O. L. Hidalgo, *Bamboo: the gift of the God's*. Bogotá, Colômbia: D'vinni Ltda. 2003.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro v.25 n.02 p.1-88 fev.2012

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Boca Raton: CRC Press, 2012. Cap. 10.

IWAKIRI. S. *et al.* Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de Eucalyptus saligna, Eucalyptus citriodora e Eucalyptus pilularis. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 251-256, 2000.

IWAKIRI, S.; KEINERTJR, S; ALBUQUERQUE, C.E.C; LATORRACA, J.V. DE F; MENDES,L..M.. **Painéis de madeira reconstituída**. 1ª ed. Curitiba-PR: Ajir Gráfica e Editora Ltda. 2005.

LACOMBE, J.E.A.; SICHIERI, E.. **A influência do EPS como adesivo nas características físicas e mecânicas em painéis aglomerados produzidos com resíduos de pinus e eucalipto**. In: XIV EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Natal/RN. Anais. Abril/2014.

LI, Y; DU, L; KAI, C; HUANG, R; WU, Q. Bamboo and high density polyethylene composite with heat-treated bamboo fiber: thermal decomposition properties. **BioResources** 8(1), p. 900-912. 2013.

MACIEL, A. S.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. Painéis de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* Engelm., poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). **Revista Árvore.** Viçosa – MG, v.28, n.2, p. 257-266, 2004.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard.** 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681p.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVEZ, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p.121-156, 2008. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2706.pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2014.

MENDES, R. F. **Utilização do bagaço de cana de alambique na produção de painéis aglomerados**. Monografia – Graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MENDES, R. F.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; SANTOS, R.C.; BUFALINO L. The adhesive effect on the properties of particleboard made from sugar cane generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32. n. 2, p. 209-218, 2009

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. V. 2, 245p.

OKINO, E. Y. A.; ANDAHUR, J. P. V.; Santana, M.A.E.; Souza, M.R. Resistència físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana de açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.52, p. 35-42, 1997.

PAES, J, B; OLIVEIRA, A, K, F; OLIVEIRA, E; LIMA, C, R. Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*). **Ciência Florestal**. V. 19, n. 1, p. 41-51, jan.-mar., 2009. Santa Maria

PANDEY, A. *et al.* Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. **Biochemical Engineering Journal,** v.6, p.153-162, 2000.

PEREIRA, MARCO A. R. e BERALDO, ANTONIO L. **Bambu de Corpo e Alma**. Ed. Canal 6, Bauru/SP, 2007.

POLUCHA, F. S. (2006). **Design para Sustentabilidade: Bambu Laminado e Vidro Reciclado na Produção de Móveis**. 7°Congresso Brasileiro de Pesquisa e desenvolvimento em Design, p. 9.

RIBEIRO FILHO, E. *et al.* Efeito da casca de café (*Coffea arabica*, L.) no desempenho de novilhos mestiços de Holandês-zebu na fase de recria. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v.24, n.1, p. 225-232, 2000.

REGLY, J. P. **Análise de usinagem de bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* na plaina dupla face visando a otimização do acabamento superficial.** 2012. 80f. Trabalho de Graduação – Universidade Estadual Paulista ¨Júlio de Mesquita Filho¨ - Campus Experimental de Itapeva. Itapeva, 2012.

ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWEL, J.S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, I.H.C. (Ed.) Natural polymers and agrofibers based composites. São Carlos. Embrapa Instrumentação Agropecuária, p. 115-134, 2000.

SALAMON, C. **Ensaios para viabilizar a laminação do bambu *Dendrocalamus giganteus* em operações de torneamento sem centros.** 2009. 113f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista ¨Júlio de Mesquita Filho¨ - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2009.

SILVA, R. M. C. O Bambu no Brasil e no mundo. Goiânia - Go, 2005. Disponível em: <http://www.institutoeu.com.br/arquivos/downloads/Bambu_no_Brasil_e_no_Mundo_56403.pdf>. Acesso em: 25 de março de 2015.

SOCCOL, C. R. **Resíduo de café um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado**. I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Poços de Calda. 2000.

SOUZA, O. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos agropecuários pelos ruminantes.** Ruralsoft. 2008. Acesso em: 12 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigos&artigo=4049&showaquisicao=true>

SURDI, P.G.; BORTOLETTO Jr., G.; CASTRO, V.R.; TOMASELLO Filho, M.; CANALE, A. Avaliação do desempenho de painéis de partículas confeccionados com resíduos de madeira de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla. In:XIV EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Natal/RN. Anais. Abril/2014.

VALARELLI, I.D.; BATTISTELLE, R.A.G.; BUENO, M.A.P.; BEZERRA, B.S.; CAMPOS, C.I.; ALVES, M.C.S. Physical and mechanical properties of particleboard bamboo waste bonded with urea formaldehyde and castor oil based adhesive. **Revista Matéria**. v.19, n. 01. Rio de Janeiro, 2014.

YIPING, L., *et al.* (2010). ***Bamboo and Climate Change Mitigation: Bamboo and Climate Change Mitigation: a comparative analysis of carbon sequestration.*** International Network for Bamboo and Rattan - INBAR. Beijing, China: INBAR.

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based composites and panel products. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Washington: Forest Products Society, 1999. 428p.

YU, X. **Bamboo: structure and culture.** Utilizing bamboo in the industrial context with reference to its structural and cultural dimensions. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. Phil.) im Fachbereich Kunst und Design der Universität Duisburg-Essen, 2007.

ZEGARRA, B. E.V. **Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* e feito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB.** 2011.

114p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

APÊNDICE - RESULTADOS E GRÁFICOS OBTIDOS NOS ENSAIOS MECÂNICOS

UNESP

Ensaio de flexão em chapas de madeira aglomerada NBR 14810-3

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **15/09/2014** Hora: **15:57:43** Trabalho nº **0287**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **flexão em madeira aglomerada nbr 14810-3**
Ident. Amostra: **>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>** Cliente: **Doutorado Bauru** Material: **MDP 100% bambu** Norma: **NBR 14810-3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Limite de Proporc. na fase final do ensaio (N)	Força Máxima (N)	d (mm)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
CP 1	21.93	128.15	434.06	1.63	2921.31	19.79
CP 2	22.48	67.91	409.04	1.61	1510.59	18.20
CP 3	21.84	58.01	382.00	1.63	1328.17	17.49
CP 4	21.96	96.35	305.60	1.63	2193.86	13.92
CP 5	21.63	105.05	314.39	1.64	2428.74	14.54
CP 6	22.11	100.53	294.10	1.62	2273.10	13.30
CP 7	21.41	126.78	490.17	1.65	2960.88	22.90
CP 8	22.00	117.16	425.94	1.63	2663.15	19.36
CP 9	21.87	99.95	331.29	1.63	2285.22	15.15
CP 10	22.40	104.71	369.83	1.61	2337.42	16.51
Número CPs	10	10	10	10	10	10
Média	21.96	100.5	375.6	1.627	2290	17.12
Desv.Padrão	0.3206	22.74	64.57	0.01217	532.4	3.029
Coef.Var.(%)	1.460	22.64	17.19	0.7483	23.25	17.70
Mínimo	21.41	58.01	294.1	1.606	1328	13.30
Máximo	22.48	128.1	490.2	1.647	2961	22.90

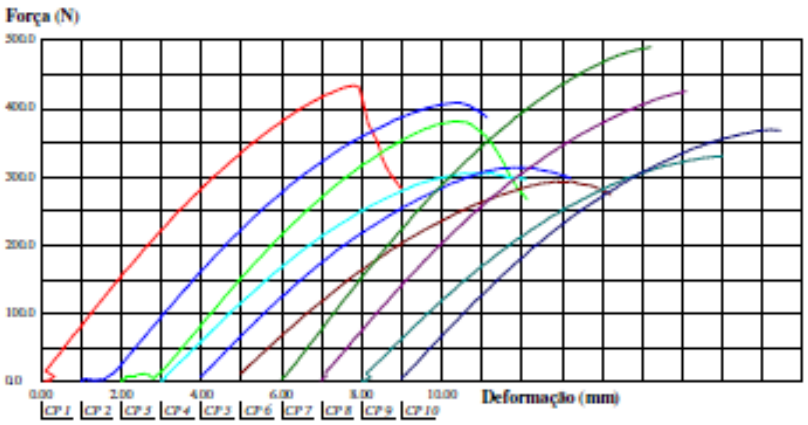


Figura 66: Ensaio de Flexão para o Traço 1.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP

Ensaio de flexão em chapas de madeira aglomerada NBR 14810-3

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **15/09/2014** Hora: **15:20:38** Trabalho nº **0286**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **flexão em madeira aglomerada nbr 14810-3**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Cliente: **Doutorado Bauru** Material: **MDP 10% café** Norma: **NBR 14810-3**

Corpo de Prova	Área	Limite de Proporc. na fase final do ensaio	Força Máxima	d	MOE	MOR
	(mm2)	(N)	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)
CP 1	21.40	95.52	268.41	1.65	2231.28	12.54
CP 2	22.18	107.92	353.60	1.62	2432.64	15.94
CP 3	21.66	102.35	292.75	1.64	2362.75	13.52
CP 4	22.09	109.41	263.68	1.62	2476.29	11.94
CP 5	21.55	105.36	334.67	1.64	2444.16	15.53
CP 6	22.45	106.35	305.60	1.61	2368.36	13.61
CP 7	22.54	109.39	351.57	1.61	2427.09	15.60
CP 8	22.61	86.48	298.16	1.61	1912.52	13.19
CP 9	22.27	93.63	304.25	1.61	2101.81	13.66
CP 10	21.66	98.74	292.08	1.63	2279.20	13.48
Número CPs	10	10	10	10	10	10
Média	22.04	101.5	306.5	1.624	2304	13.90
Desv.Padrão	0.4402	7.718	31.27	0.01531	179.1	1.349
Coef.Var.(%)	1.997	7.603	10.20	0.9426	7.774	9.706
Mínimo	21.40	86.48	263.7	1.606	1913	11.94
Máximo	22.61	109.4	353.6	1.648	2476	15.94

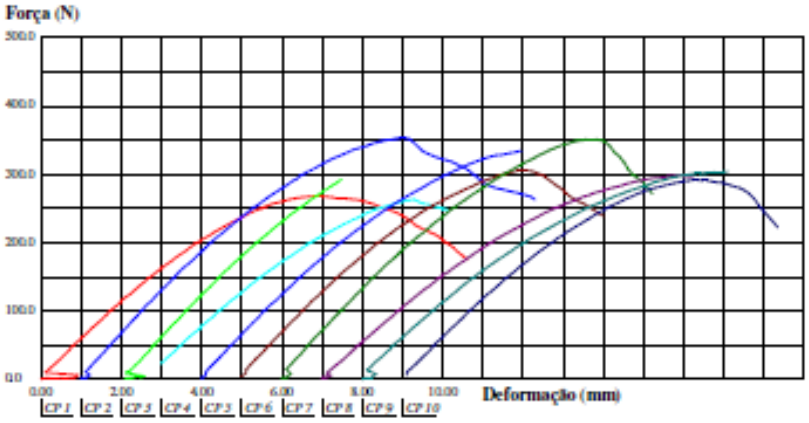


Figura 67: Ensaio de Flexão para o Traço 2.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP

Ensaio de flexão em chapas de madeira aglomerada NBR 14810-3

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **15/09/2014** Hora: **16:20:02** Trabalho nº **0288**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **flexão em madeira aglomerada nbr 14810-3**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Cliente: **Doutorado Bauru** Material: **MDP 20% café** Norma: **NBR 14810-3**

Corpo de Prova	Área	Limite de Proporc. na fase final do ensaio	Força Máxima	d	MOE	MOR
	(mm2)	(N)	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)
CP 1	21.00	87.26	303.57	1.66	2077.07	14.45
CP 2	21.73	98.00	295.46	1.63	2255.39	13.60
CP 3	21.35	80.33	225.82	1.65	1888.97	10.58
CP 4	22.14	82.09	256.92	1.61	1853.68	11.60
CP 5	21.95	115.04	363.07	1.63	2620.07	16.54
CP 6	22.19	93.92	289.37	1.62	2116.76	13.04
CP 7	21.62	119.40	408.37	1.64	2761.09	18.89
CP 8	22.14	91.71	282.61	1.62	2071.05	12.76
CP 9	21.61	99.01	309.65	1.64	2291.08	14.33
CP 10	22.75	77.39	237.31	1.60	1700.75	10.43
Número CPs	10	10	10	10	10	10
Média	21.85	94.42	297.2	1.629	2163	13.62
Desv.Padrão	0.4940	14.07	55.25	0.01838	333.1	2.626
Coef.Var.(%)	2.261	14.90	18.59	1.128	15.40	19.27
Mínimo	21.00	77.39	225.8	1.596	1701	10.43
Máximo	22.75	119.4	408.4	1.660	2761	18.89

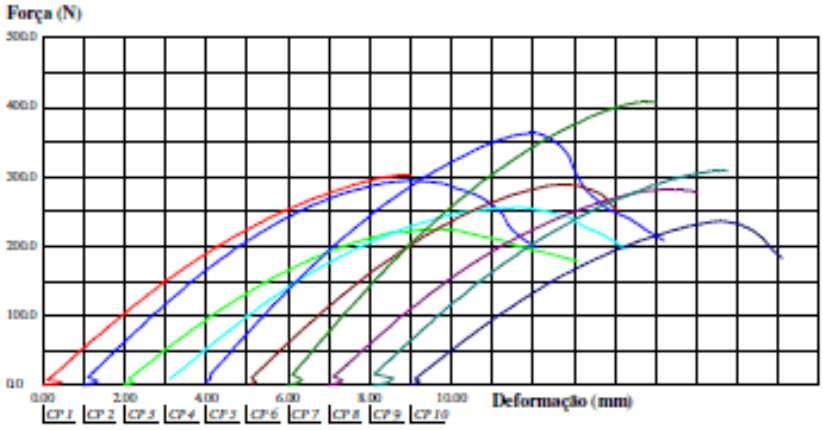


Figura 68: Ensaio de Flexão para o Traço 3.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP

Ensaio de flexão em chapas de madeira aglomerada NBR 14810-3

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **15/09/2014** Hora: **16:45:24** Trabalho nº **0289**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **flexão em madeira aglomerada nbr 14810-3**

Ident. Amostra: **>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>** Cliente: **Doutorado Bauru** Material: **MDP 30% café** Norma: **NBR 14810-3**

Corpo de Prova	Área	Limite de Proporc. na fase final do ensaio	Força Máxima	d	MOE	MOR
	(mm2)	(N)	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)
CP 1	21.29	86.74	271.79	1.65	2037.03	12.77
CP 2	21.46	67.97	180.52	1.65	1583.54	8.41
CP 3	21.34	102.95	316.42	1.65	2412.08	14.83
CP 4	21.62	76.53	246.78	1.64	1769.87	11.41
CP 5	21.28	85.26	267.74	1.65	2003.17	12.58
CP 6	21.61	63.76	174.43	1.64	1475.32	8.07
CP 7	21.66	90.07	271.79	1.64	2079.28	12.55
CP 8	21.75	76.29	198.10	1.63	1615.73	9.11
CP 9	21.46	91.85	294.10	1.64	2140.07	13.71
CP 10	21.72	77.01	214.32	1.63	1772.65	9.87
Número CPs	10	10	10	10	10	10
Média	21.52	81.24	243.6	1.642	1889	11.33
Desv.Padrão	0.1765	12.25	49.13	0.007303	293.4	2.338
Coef.Var.(%)	0.8202	15.08	20.17	0.4449	15.53	20.64
Mínimo	21.28	63.76	174.4	1.631	1475	8.073
Máximo	21.75	103.0	316.4	1.652	2412	14.83

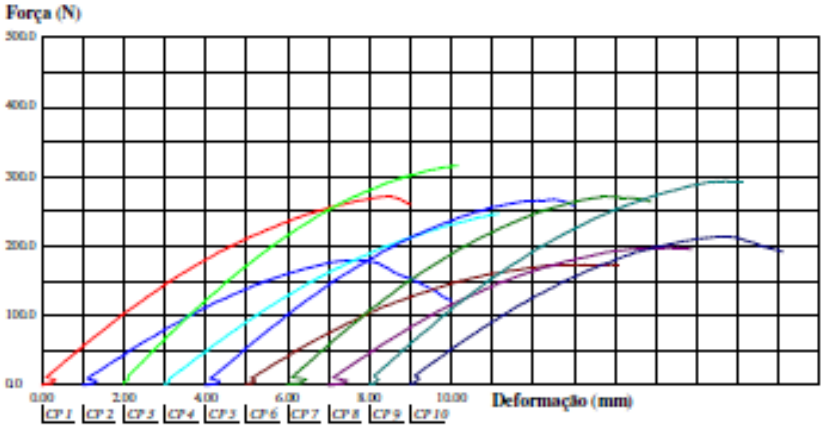


Figura 69: Ensaio de Flexão para o Traço 4.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL30000N Célula: Trd 26 Extensômetro: Trd 11 Data: 17/09/2014 Hora: 09:14:07 Trabalho nº: 0294
Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: adesão inferna norma 14810-3
Ident. Amostra: ESPÉCIE: MDP bambú PROCEDENCIA: Mestrado Bauru NORMA: 14810-3

Corpo de Prova	larg (mm)	comprimento (mm)	S (mm2)	Força @Força Max. (N)	T (MPa)
CP 1	50.55	50.17	2536.09	3675.43	1.45
CP 2	50.07	50.47	2527.03	4571.99	1.81
CP 3	50.12	50.57	2534.57	3388.96	1.34
CP 4	50.16	50.47	2531.58	3708.53	1.46
CP 5	50.23	50.48	2535.61	3822.04	1.51
CP 6	50.30	50.41	2535.62	4403.08	1.74
CP 7	50.36	50.43	2539.65	3727.45	1.47
CP 8	50.55	50.00	2527.50	4290.25	1.70
CP 9	50.18	50.58	2538.10	3270.72	1.29
CP 10	50.12	50.50	2531.06	4832.78	1.91
Número CPs	10	10	10	10	10
Média	50.26	50.41	2534	3969	1.567
Mediana	50.21	50.47	2535	3775	1.488
Desv.Padrão	0.1739	0.1828	4.256	522.7	0.2081
Coef.Var.(%)	0.3460	0.3627	0.1680	13.17	13.28
Mínimo	50.07	50.00	2527	3271	1.289
Máximo	50.55	50.58	2540	4833	1.909

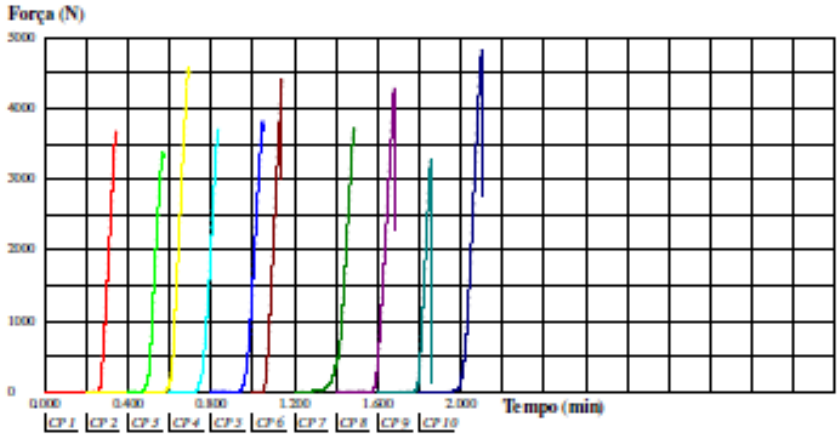


Figura 70: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 1.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL30000N Célula: Trd 26 Extensômetro: Trd 11 Data: 17/09/2014 Hora: 09:01:33 Trabalho nº: **0293**

Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: **adesão inferno norma 14810-3**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 10% café** PROCEDENCIA: **Mestrado Bauru** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	larg (mm)	comprimento (mm)	S (mm2)	Força @Força Máx. (N)	T (MPa)
CP 1	50.36	50.14	2525.05	3738.94	1.48
CP 2	50.55	49.92	2523.46	2946.42	1.17
CP 3	50.44	50.41	2542.68	3249.10	1.28
CP 4	50.23	50.28	2525.56	3711.23	1.47
CP 5	50.27	50.37	2532.10	2743.73	1.08
CP 6	50.55	50.17	2536.09	2774.81	1.09
CP 7	50.55	49.92	2523.46	2953.18	1.17
CP 8	50.54	50.41	2547.72	3542.33	1.39
CP 9	50.36	49.93	2514.47	3082.90	1.23
CP 10	50.51	49.96	2523.48	1229.65	0.49
Número CPs	10	10	10	10	10
Média	50.44	50.15	2529	2997	1.185
Mediana	50.47	50.15	2525	3018	1.198
Desv.Padrão	0.1233	0.2085	10.14	720.4	0.2842
Coef.Var.(%)	0.2445	0.4158	0.4011	24.03	23.99
Mínimo	50.23	49.92	2514	1230	0.4873
Máximo	50.55	50.41	2548	3739	1.481

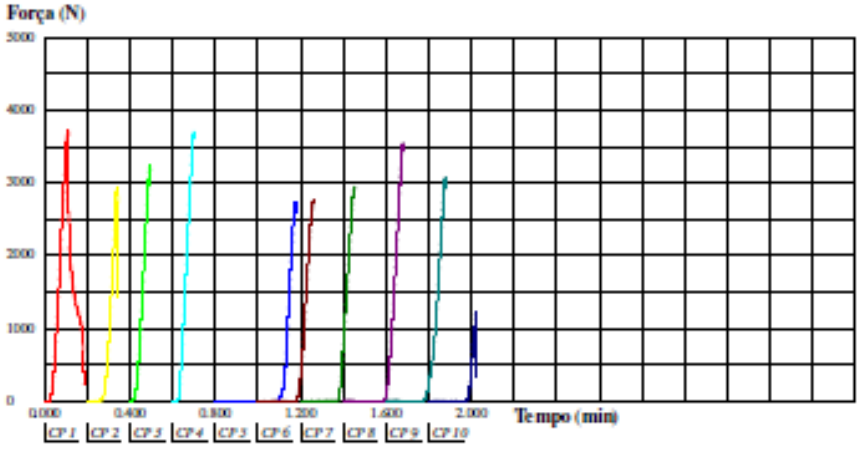


Figura 71: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 2.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **15/09/2014** Hora: **15:03:32** Trabalho nº **0284**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **adesão interna norma 14810-3**
Ident. Amostra: ESPÉCIE: **MDP 20 % cdé** PROCEDENCIA: **Mestrado Bauru** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	larg (mm)	comprimento (mm)	S (mm2)	Força @Força Max. (N)	T (MPa)
CP 1	49.99	50.12	2505.50	3032.90	1.21
CP 2	49.95	50.11	2502.99	2807.92	1.12
CP 3	50.27	50.18	2522.55	2806.57	1.11
CP 4	50.19	50.07	2513.01	2766.70	1.10
CP 5	50.19	50.26	2522.55	2911.29	1.15
CP 6	50.01	50.00	2500.50	2445.78	0.98
CP 7	50.27	50.09	2518.02	3334.23	1.32
CP 8	49.91	50.05	2498.00	3089.66	1.24
CP 9	50.30	50.30	2530.09	3125.46	1.24
CP 10	50.23	50.34	2528.58	2602.53	1.03
Número CPs	10	10	10	10	10
Média	50.13	50.15	2514	2892	1.150
Mediana	50.19	50.11	2516	2860	1.138
Desv.Padrão	0.1491	0.1138	11.86	263.0	0.1041
Coef.Var.(%)	0.2974	0.2269	0.4718	9.092	9.050
Mínimo	49.91	50.00	2498	2446	0.9781
Máximo	50.30	50.34	2530	3334	1.324

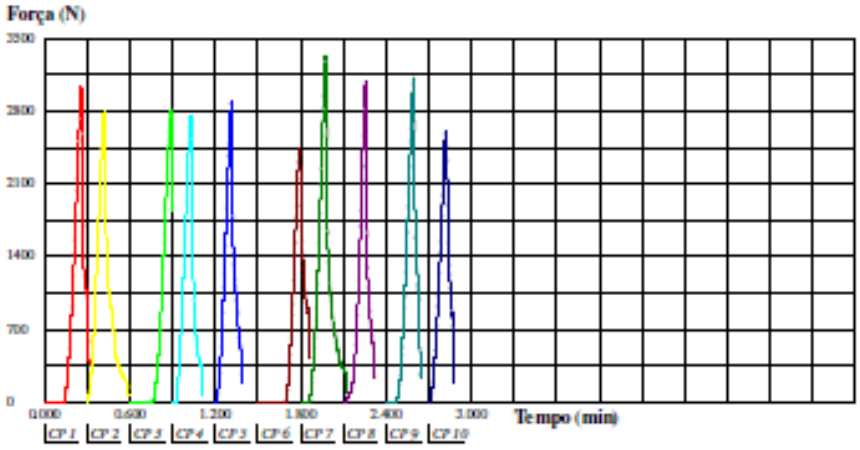


Figura 72: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 3.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **15/09/2014** Hora: **14:51:35** Trabalho nº: **0283**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **adesão inlerna norma 14810-3**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 30 % café** PROCEDENCIA: **Mestrado Bauru** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	larg (mm)	comprimento (mm)	S (mm2)	Força @Força Max. (N)	T (MPa)
CP 1	50.35	49.72	2503.40	2183.64	0.87
CP 2	50.32	49.89	2510.46	2222.15	0.89
CP 3	49.84	50.06	2494.99	2390.38	0.96
CP 4	49.99	50.19	2509.00	2560.51	1.00
CP 5	50.19	50.10	2514.52	2299.17	0.91
CP 6	50.20	50.13	2516.53	2052.56	0.82
CP 7	50.19	50.25	2522.05	1694.48	0.67
CP 8	50.19	50.27	2523.05	2061.35	0.82
CP 9	50.01	50.31	2516.00	2345.11	0.93
CP 10	50.23	50.17	2520.04	2580.91	1.02
Número CPs	10	10	10	10	10
Média	50.15	50.11	2513	2233	0.8887
Mediana	50.19	50.15	2515	2261	0.8998
Desv.Padrão	0.1577	0.1822	8.788	255.8	0.1028
CoefVar.(%)	0.3145	0.3636	0.3497	11.46	11.57
Mínimo	49.84	49.72	2495	1694	0.6719
Máximo	50.35	50.31	2523	2581	1.024

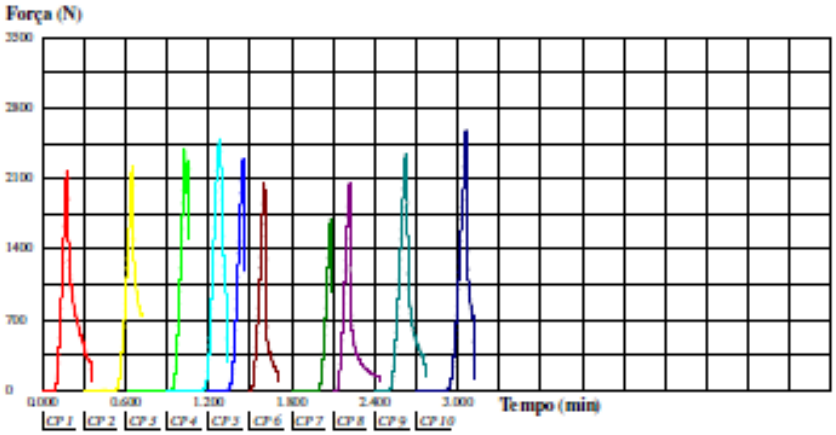


Figura 73: Ensaio de Tração Perpendicular para o Traço 4.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **18/09/2014** Hora: **09:16:07** Trabalho nº **0310**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**
Ident. Amostra: >>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 100% bambú superficie** PROCEDENCIA: **Mestrado Baúru** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	1414.77
CP 2	833.73
CP 3	946.56
CP 4	1119.52
CP 5	325.65
CP 6	947.91
CP 7	1255.32
CP 8	1271.54
CP 9	437.13
CP 10	1280.32
Número CPs	10
Média	983.2
Mediana	1034
Desv.Padrão	366.0
Coef.Var.(%)	37.23
Mínimo	325.7
Máximo	1415

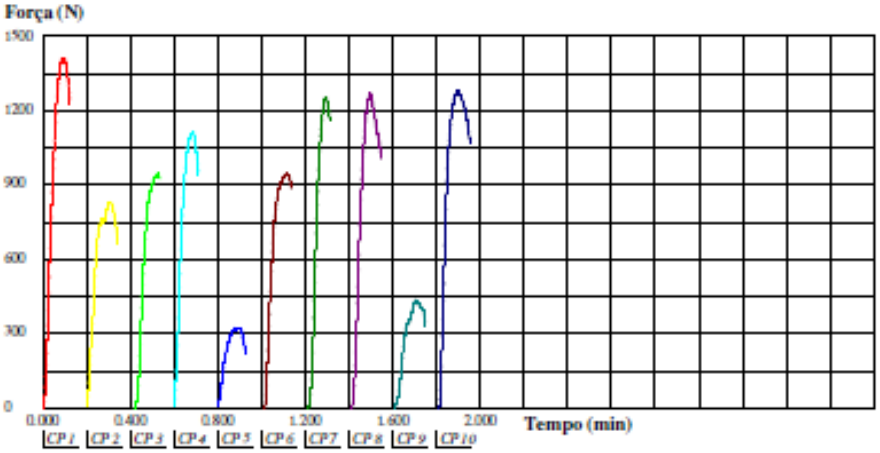


Figura 74: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 1.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **17/09/2014** Hora: **17:29:01** Trabalho nº **0303**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 10% café superfície** PROCEDENCIA: **Mestrado Baúru** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	669.55
CP 2	1313.42
CP 3	1010.07
CP 4	1251.27
CP 5	1080.33
CP 6	1043.85
CP 7	602.66
CP 8	1010.74
CP 9	1025.61
CP 10	921.56
Número CPs	10
Média	992.9
Mediana	1018
Desv.Padrão	221.9
Coef.Var.(%)	22.35
Mínimo	602.7
Máximo	1313

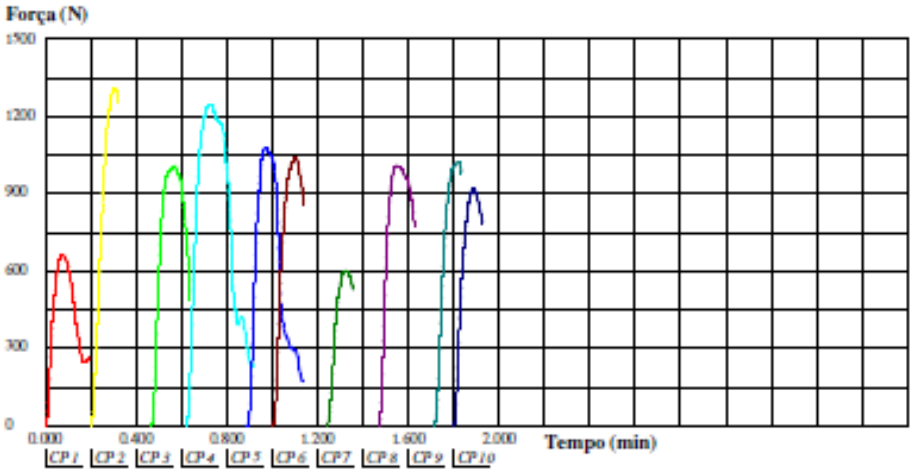


Figura 75: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 2.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **18/09/2014** Hora: **08:50:52** Trabalho nº **0306**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 20% café superfície** PROCEDENCIA: **Mestrado Bairu** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	953.99
CP 2	924.26
CP 3	1087.76
CP 4	944.53
CP 5	611.45
CP 6	835.08
CP 7	795.22
CP 8	992.50
CP 9	900.61
CP 10	1164.11
Número CPs	10
Média	921.0
Mediana	934.4
Desv.Padrão	153.9
Coef.Var.(%)	16.71
Mínimo	611.4
Máximo	1164

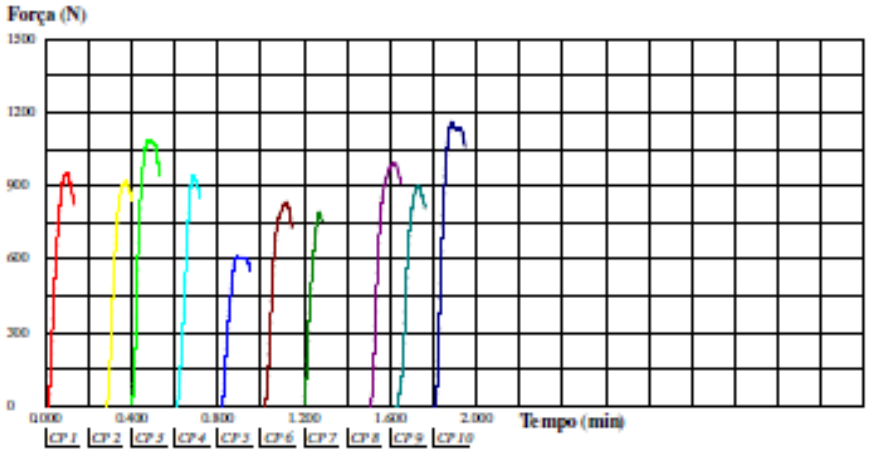


Figura 76: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 3.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **18/09/2014** Hora: **08:58:19** Trabalho nº **0307**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 30% café superfície** PROCEDENCIA: **Mestrado Bairu** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	**501.99**
CP 2	**1047.90**
CP 3	**686.44**
CP 4	**687.79**
CP 5	**804.00**
CP 6	**893.18**
CP 7	**824.94**
CP 8	**654.69**
CP 9	**941.15**
CP 10	**958.04**
Número CPs	**10**
Média	**800.0**
Mediana	**814.5**
Desv.Padrão	**167.0**
Coef.Var (%)	**20.88**
Mínimo	**502.0**
Máximo	**1048**

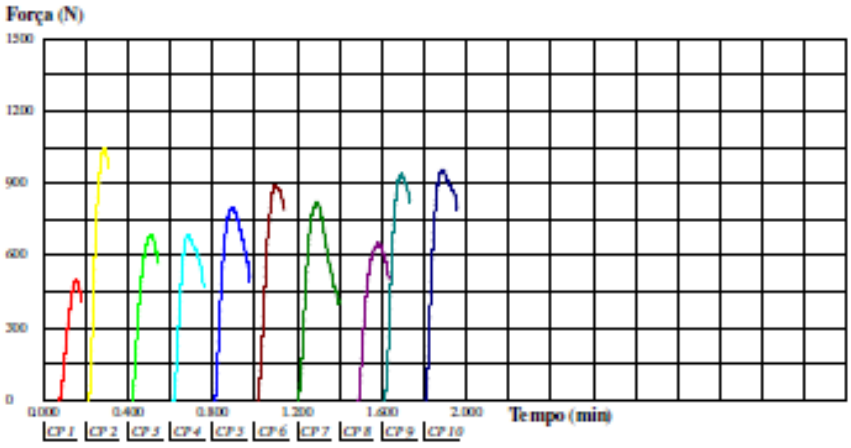


Figura 77: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Superfície para o Traço 4.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **18/09/2014** Hora: **09:10:20** Trabalho nº **0309**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 100% bambú topo** PROCEDENCIA: **Mestrado Bairu** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	831.70
CP 2	837.11
CP 3	983.72
CP 4	913.45
CP 5	1167.49
CP 6	1064.79
CP 7	844.54
CP 8	1186.41
CP 9	996.55
CP 10	993.85
Número CPs	10
Média	982.0
Mediana	988.8
Desv.Padrão	129.3
Coef.Var.(%)	13.17
Mínimo	831.7
Máximo	1186

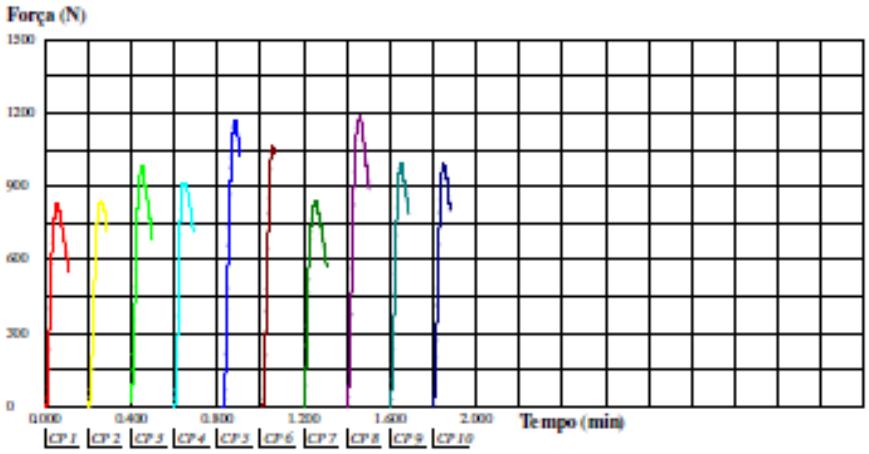


Figura 78: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 1.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **18/09/2014** Hora: **08:36:59** Trabalho nº **0304**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 10% café topo** PROCEDENCIA: **Mestrado Bairu** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	706.03
CP 2	651.31
CP 3	695.90
CP 4	807.38
CP 5	956.70
CP 6	599.28
CP 7	930.34
CP 8	957.37
CP 9	861.43
CP 10	879.67
Número CPs	10
Média	784.5
Mediana	832.0
Desv.Padrão	112.2
Coef.Var.(%)	14.30
Mínimo	599.3
Máximo	930.3

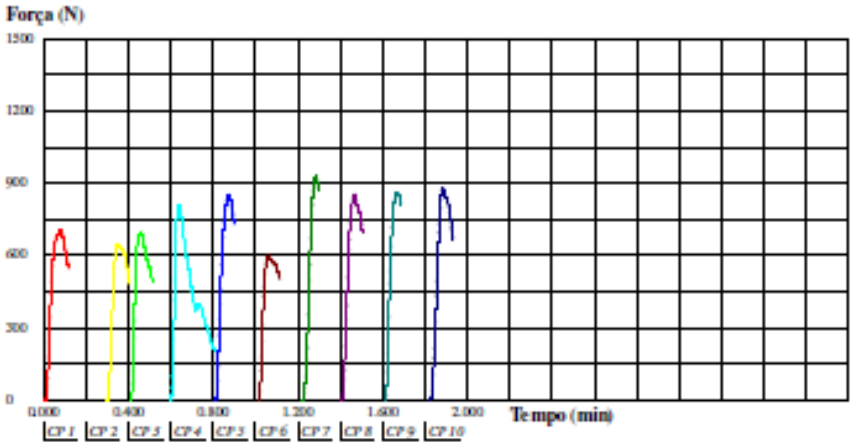


Figura 79: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 2.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **18/09/2014** Hora: **08:42:34** Trabalho nº: **0305**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>> ESPÉCIE: **MDP 20% café 4opo** PROCEDENCIA: **Mestrado Baúru** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	1066.14
CP 2	1039.12
CP 3	1047.23
CP 4	701.30
CP 5	590.50
CP 6	548.61
CP 7	655.36
CP 8	551.31
CP 9	758.73
CP 10	835.75
Número CPs	10
Média	779.4
Mediana	730.0
Desv.Padrão	207.5
Coef.Var.(%)	26.62
Mínimo	548.6
Máximo	1066

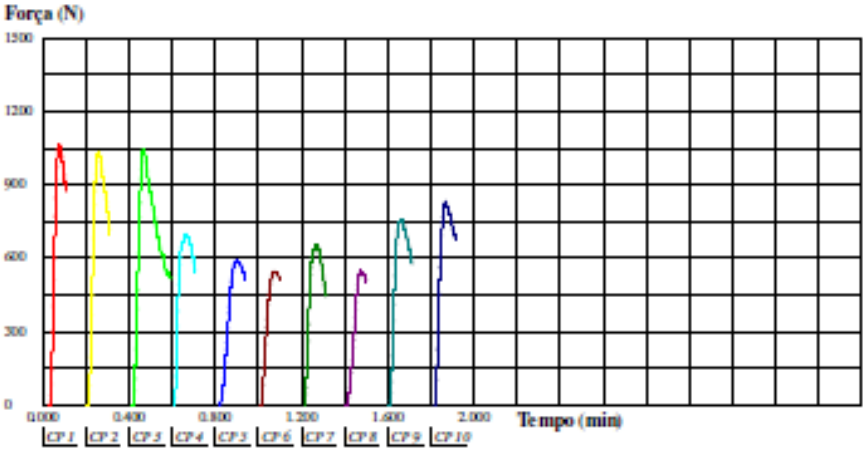


Figura 80: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 3.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 11** Data: **18/09/2014** Hora: **09:05:04** Trabalho nº: **0308**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **arrancamento de parafuso**
Ident. Amostra: ESPÉCIE: **MDP 30% café topo** PROCEDÊNCIA: **Mestrado Bauru** NORMA: **14810-3**

Corpo de Prova	Força @Força Max. (N)
CP 1	775.62
CP 2	922.23
CP 3	685.09
CP 4	675.63
CP 5	699.28
CP 6	717.52
CP 7	622.93
CP 8	662.79
CP 9	826.30
CP 10	929.67
Número CPs	10
Média	751.7
Mediana	708.4
Desv.Padrão	108.3
Coef.Var.(%)	14.40
Mínimo	622.9
Máximo	929.7

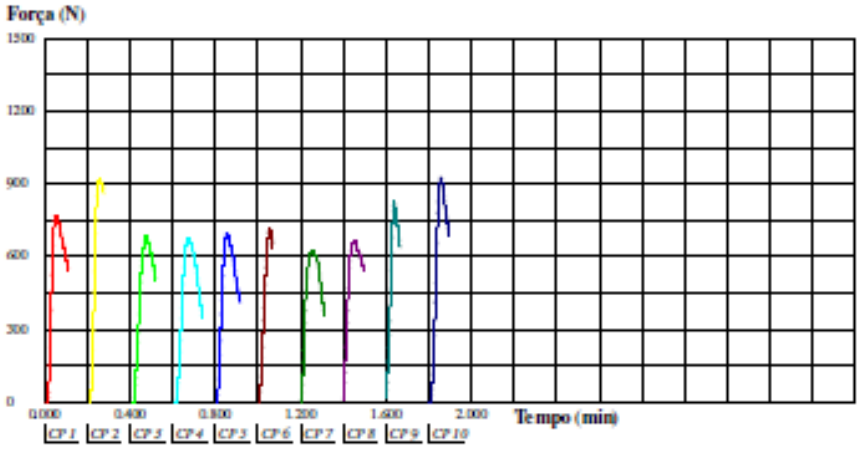


Figura 81: Ensaio de Arrancamento de Parafuso - Topo para o Traço 4.

Fonte: Laboratório de Propriedades dos Materiais – UNESP – Campus Itapeva.