

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ANDRESSA ALGAYER DA SILVA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA (MARAVALHA) DE
PINUS E BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR PARA PRODUÇÃO DE
CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2013

ANDRESSA ALGAYER DA SILVA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA (MARAVALHA) DE
PINUS E BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR PARA PRODUÇÃO DE
CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. MSc. Bruno de Oliveira Freitas

Co-orientadora: MSc. Cynthia Algayer da Silva

LONDRINA

2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **DEUS** por todas as conquistas.

Aos meus PAIS, **Nilson Luiz da Silva** e **Marcia Amaral Algayer da Silva**, por todo o carinho, preocupação, amor e dedicação. Muito obrigada, de coração, por tudo! Por todo esforço financeiro para me sustentar durante todos esses anos fora da minha cidade em Fênix – PR. Vocês são fundamentais em minha vida.

A minhas IRMÃS **Kelly Algayer da Silva Domingues** e **Cynthia Algayer da Silva**, que mesmo longe sempre se preocuparam comigo. Auxiliaram, me ajudaram, e, sem dúvida tornaram minha vida mais feliz! Agradeço a Deus por terem vocês como minhas irmãs e amigas.

Ao meu NAMORADO, amigo e companheiro **Joshua Pimpão Moretti** por todo o amor, paciência e dedicação. Por todo o tempo que passamos juntos durante estes 5 anos de universidade e pelo os que virão.

Ao meu futuro SOGRO, **Reginaldo Senegalha Moretti**, pela colaboração para a produção dos moldes.

Aos meus FAMILIARES, pelos momentos bons e também pelos difíceis.

Aos meus poucos AMIGOS, pelos momentos de descontração e companheirismo.

A todos os PROFESSORES, todo o meu respeito, pois foi pelo o conhecimento transmitido que alcancei meus objetivos.

Ao meu ORIENTADOR, Prof MSc **Bruno Freitas**, pelo apoio e conhecimento transmitido.

Á minha Co-orientadora, MSc **Cynthia Algayer da Silva**, pela ajuda e dedicação fornecida.

A Cia do Pinus, em Londrina – PR, pela doação da matéria prima de Pinus.

A Usina Santa Terezinha, em Maringá – PR, pela doação da matéria-prima de bagaço de cana.

A Madeireira Ibiporã pela permissão de utilização dos equipamentos.

Ao Professor Coordenador de Engenharia de Materiais da UTFPR, campus Londrina, **Fabiano Moreno Peres**, pela colaboração e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

SILVA, Andressa Algayer da. **Aproveitamento de resíduos de madeira (maravalha) de pinus e bagaço de cana de açúcar para produção de chapas de madeira aglomerado**. 2013. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

RESUMO

O meio ambiente vem sendo utilizado como fonte de matéria prima para o setor agroindustrial, e os resíduos que sobram do processo produtivo acabam sendo descartados em locais como “área de despejo” ou aterros. Um dos resíduos que vem sendo pouco utilizado são as sobras das indústrias madeireiras. Outro resíduo gerado em grandes quantidades é o bagaço da cana de açúcar proveniente das usinas de álcool e açúcar no Brasil. A principal forma de utilização deste resíduo é a queima para geração de energia para as caldeiras, mas nem todo o resíduo gerado é aproveitado. Neste contexto, uma das maneiras de reaproveitamento destes resíduos é a confecção de chapas de madeira aglomerada. Por isso o principal objetivo deste trabalho foi estudar as diferentes proporções de incorporação das fibras do bagaço de cana e maravalhas de pinus na produção de chapas aglomeradas de madeira como uma alternativa de disposição ambientalmente adequada para ambos resíduos. O experimento foi composto por cinco tratamentos em triplicata, utilizando um delineamento inteiramente casualizado totalizando 15 painéis variando a incorporação em T1=100% e 0%, T2= 75% e 25%, T3= 50% e 50%, T4= 25% e 75% e T5= 0% e 100% de maravalha e bagaço de cana respectivamente. A quantidade de resina foi de 12% e a densidade inicial de 0,7 g/cm³. Foi realizada uma caracterização das partículas, como granulometria, teor de umidade e microscopia eletrônica por varredura (MEV). Os painéis foram avaliados quanto as características físicas, como a densidade, teor de umidade, inchamento em espessura após 2 e 24 horas e absorção de água após 2 e 24h. Para as características mecânicas como flexão estática, foi avaliado o melhor tratamento, ou seja, aquele que obteve a maior densidade, o tratamento 4. A avaliação do painel foi de acordo com a ABNT NBR 14810-2 (2006). Os valores médios de densidade do painel variou de 338 à 447 Kg/m³ classificando-se como de baixa densidade. Os valores médios de umidade foram de 14,7 à 15,46%, e não se enquadraram nos limites estipulados pela norma de 8 %. Em relação ao inchamento em espessura após 2 horas os tratamentos 1, 4 e 5 se enquadraram nas normas e após 24 horas de imersão os menores valores encontrados foram para o tratamento 1 e 3. O menor valor para absorção de água após 2 horas foi para o tratamento 5 e o maior foi para o tratamento 2 e após 24 horas o menor foi para o tratamento 5 e o maior para o tratamento 3. No que se refere à análise mecânica, foi escolhido entre os cinco tratamentos, aquele que obteve melhor densidade para realizar o ensaio que foi o tratamento 4, contudo, o valor de modulo de ruptura não se enquadraram na norma, porém valores semelhantes foram encontrados na literatura. O valor encontrado para o modulo de elasticidade foi de 897 MPa.

Palavras-chave: Bagaço de cana de açúcar. Maravalha. Chapas de madeira aglomerado.

SILVA, Andressa Algayer da. **Utilization of pinus waste wood (wood shavings) and sugar cane bagasse for production of sheet of chipboard.** 2013. 75 f. Monograph (Degree in Environmental Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

ABSTRACT

The environment has been used as a source of raw materials for the agro-industrial sector, and the waste left over from the production process are eventually discarded in places like "dumping ground" or landfills. A waste that has been little used is the remains of the timber industries. Other waste generated in large quantities is bagasse of sugar from the sugar and alcohol plants in Brazil. The main usage of this waste is burned to generate energy for boilers, but not all of the waste generated is passed. In this context, one of the ways to reuse these wastes is the manufacture of chipboard sheets. Therefore the main objective of this work was to study the incorporation of different proportions of fibers of bagasse and pine shavings in the production of bonded wood plates as an environmentally suitable alternative for both waste disposals. The experiment consisted of five treatments in triplicate, using a completely randomized design totaling 15 panels ranging incorporation into T1 = 100 % and 0 % , T2 = 75 % and 25 % , T3 = 50 % and 50 % , T4 = 25 % and T5 = 75 % and 0 % and 100 % wood shavings and sugar cane bagasse respectively. The amount of resin was 12% and the initial density of 0.7 g/cm³. A characterization of the particles was performed as particle size, moisture content and by scanning electron microscopy (SEM). The panels were evaluated for physical characteristics such as density, moisture content, thickness swelling after 2 and 24 hours and water absorption after 2 and 24h. For the mechanical properties as bending, was rated the best treatment, the one that got the highest density, treatment 4. The panel's assessment was according to ABNT NBR 14810-2 (2006). The average density values ranged from pane 338 to 447 kg/m³ being classified as a low density. The average moisture values were 14.7 to 15.46 %, and did not fit within the limits stipulated by 8% norm. Regarding the thickness swelling after 2 hours the treatments 1, 4 and 5 can be classified into rules and after 24 hours of immersion lower values were found for the treatment 1 and 3. The lowest value for water absorption after 2 hours was treatment 5 and largest was for treatment 2 and after 24 hours the lowest was treatment 5 and higher in treatment 3. As regards the mechanical analysis, was chosen among five treatment groups who had the best density for performing the test was that the treatment 4, however, the value of the modulus of rupture did not meet the standard, but similar values were found in the literature. The value found for the modulus of elasticity was 897 MPa.

Keywords: Bagasse of sugar cane. Wood shaving. Sheet of chipboard.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bagaço da Cana de Açúcar – Usina Santa Terezinha, Maringá-PR	15
Figura 2: Fluxograma do processo de fabricação do painel aglomerado de madeira. 18	
Figura 3: Painéis de Madeira Aglomerada - MDP	19
Figura 4: Fluxograma das atividades a serem executadas.	23
Figura 5: a) Coleta do material e b) Fibras de bagaço de cana de açúcar.....	24
Figura 6: a) Plaina para o processamento de madeira; b) Pallets de madeira e c) Sobras de maravalhas do processamento da madeira.	25
Figura 7: a) Maravalha ensacada; b) Peneira no interior do triturador; c) Triturador; e d) Maravalha antes e depois de triturar.....	26
Figura 8: a) Fita dupla face com as partículas de maravalha e bagaço de cana; b) Partículas jateadas a ouro, c) Equipamento utilizado para metalização das fibras e d) Equipamento utilizado para análise.....	27
Figura 9: a) Molde de metal; b) Espessura do molde de metal; c) Papel alumínio sobre o molde de metal; e d) Molde de madeira.	30
Figura 10: a) Bagaço de cana e maravalha, resina com catalisador e emulsão de parafina; b) Adição da resina com catalisador e emulsão de parafina às partículas e c) mistura manual.....	36
Figura 11: a) Molde de madeira sobre o molde de metal; b) distribuição da mistura dentro do molde; c) pré prensagem do colchão de partículas e d) partículas sem o molde de madeira antes de ir para a prensa.	37
Figura 12: a) Molde de metal sobre o colchão de partículas; b) Prensa da marca SIRMAS; c) chapas já prensadas à quente e d) chapas já prensadas, aguardando chegar à temperatura ambiente.	38
Figura 13: Máquina universal de ensaio.....	39
Figura 14: Corpo de prova do tratamento 4 após o ensaio.	40
Figura 15: Curva granulométrica das partículas de bagaço de cana de açúcar.....	41
Figura 16: Curva Granulométrica das partículas de maravalha	42
Figura 17: Aparecimento de bolhas no painel.	454
Figura 18: Fotomicrografias obtidas por MEV do resíduo de bagaço de cana de açúcar. a) 40 x b) 100 x c) 300 x d) 1000 x.....	45
Figura 19: Fotomicrografias obtida por MEV do resíduo de maravalha. a) 40 x b) 100 x c) 300 x d) 1000x.....	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Análises a serem realizadas com os resíduos antes da produção das chapas de madeira aglomerada.	26
Tabela 2: Tratamentos em função das diferentes porcentagens de bagaço da cana de açúcar e madeira.....	29
Tabela 3: Partes do painel considerando 12 partes de resina.....	31
Tabela 4: Composição dos painéis com resina de ureia formaldeído.	35
Tabela 5: Dimensões e quantidade de amostras dos corpos de prova para ensaio de avaliação dos painéis de madeira aglomerada.	39
Tabela 6: Granulometria do bagaço de cana de açúcar em termos de peso (g) e % de massa retida.....	42
Tabela 7: Granulometria da maravalha de Pinus sp em termos de peso (g) e % de massa retida.....	43
Tabela 8: Média da densidade, teor de umidade, inchamento em espessura e absorção de água.....	47
Tabela 9: Valores de MOR e MOE (MPa)	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	13
3.2	CANA DE AÇÚCAR	14
3.3	MADEIRA.....	15
3.4	AGLOMERADO DE MADEIRA	16
3.5	ADESIVOS E ADITIVOS QUÍMICOS.....	19
3.6	ESTUDOS ANTERIORES	21
4	METODOLOGIA	23
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	23
5.1.1	Bagaço da cana de açúcar	23
5.1.2	Maravalha	24
4.2	CHARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	26
5.2.1	Teste de microscopia eletrônica de varredura.....	27
5.2.2	Determinação da umidade natural.....	28
5.2.3	Granulometria.....	28
4.3	PRODUÇÃO DAS CHAPAS DE AGLOMERADOS.....	29
4.3.1	Confecção dos Moldes	29
4.3.2	Cálculos dos componentes dos painéis.....	30
4.3.2.1	Preparação da resina de ureia formaldeído e emulsão de parafina	32
4.3.3	Confecção das chapas de madeira aglomerada de Pinus com incorporação de bagaço de cana de açúcar.....	36
4.3.4	Análises físico-mecânicas	38
5	RESULTADOS	41
5.1	ANÁLISES FÍSICAS DAS PARTÍCULAS DE MARAVALHA E DE BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR	41
5.1.1	Análise Granulométrica	41
5.1.2	Teor de Umidade	43

5.2	ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DAS PARTÍCULAS DE MARAVALHA E DE BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR	44
5.2.1	Microscopia Eletrônica por Varredura.....	44
5.3	ANÁLISE DOS PAINÉIS DE MADEIRA ALGOMERADO.....	46
5.3.1	Análises Físicas	46
5.3.2	Análises Mecânicas.....	50
6	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	APÊNDICE A	58

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente vem sendo utilizado como fonte de matéria prima para desenvolvimento do setor agroindustrial e seus resíduos e os produtos que não são usados no processo produtivo são descartados em locais de “área de despejo”. Estes resíduos quando descartados de forma adequados aliados a algum tratamento e/ou tecnologia, o próprio meio ambiente consegue depura-lo em um período determinado de tempo. Caso contrário, a degradação pode levar muitos anos até mesmo séculos, ou deixar de ocorrer por falta de mecanismos do meio ambiente (FIORELLI et al, 2011).

Atualmente tem-se dado enfoque maior em relação às questões ambientais, à gestão adequada dos resíduos bem como ao reúso dos mesmos. Segundo Mota (2006) o reaproveitamento dos resíduos surge como uma alternativa, pois esta prática traz benefícios ambientais, diminuindo a utilização de recursos naturais além de reduzir a poluição causada pela destinação final.

Neste contexto de reaproveitamento, um resíduo que vem sendo pouco utilizado e é gerado em grandes quantidades, são as sobras provenientes das indústrias madeireiras no Brasil (BRITO et al, 2005). Segundo Hillig, et al (2006), o excesso de sobras ocorre em determinadas regiões onde a oferta de matéria-prima é muito grande, contribuindo para o reduzido aproveitamento. Uma das alternativas de reaproveitamento é a confecção de painéis aglomerado de madeira, podendo desta forma, agregar valor ao que antes era desperdiçado.

Outro resíduo que possui grande geração no Brasil e que vem sendo pouco explorado é o bagaço da cana de açúcar (BASTTINELLI et al. 2008). Um estudo que foi realizado por Purohit e Michaelowa (2007) apontou que o Brasil obteve o primeiro lugar em geração de bagaço de cana de açúcar seguido por Índia, China e outros. Grande parte deste resíduo é queimado pelas próprias usinas sucroalcooleiras para geração de energia, porém 28% do que são gerados por elas não são aproveitados (SILVA; GARCIA e SILVA, 2010).

Devido a grande problemática gerada pelo acúmulo destes dois resíduos em aterros e, até mesmo, em lixões, surge a necessidade de buscar alternativas para reaproveitar o bagaço da cana de açúcar e os resíduos gerados em indústrias madeireiras. O reaproveitamento de ambos resíduos é muito importante para a

adequada gestão dos resíduos sólidos, representando um ganho não só ambiental com o aumento da vida útil dos aterros, além do ganho econômico com a exploração comercial destes aglomerados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo estudar diferentes proporções de incorporação do bagaço da cana de açúcar e maravalha com aplicação de 12 % de resina, para produção de painel de madeira aglomerado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o bagaço da cana de açúcar e a maravalha quanto às características física e de superfície.
- Avaliar a incorporação de diferentes porcentagens de bagaço de cana e maravalha, com 12% de resina de ureia formaldeído.
- Avaliar as chapas de madeira aglomerada segundo a norma ABNT NBR 14810 – 3:2006 em relação às características físicas, mecânica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas quando são em grandes quantidades e dispostos indevidamente, tornam-se uma preocupação devido ao impacto negativo gerado sobre o meio ambiente. O manejo inadequado dos resíduos sólidos contribui de maneira intensa para o agravamento dos problemas ambientais e constitui uma atividade potencialmente poluidora do ar, solo e das águas superficiais e subterrâneas (GUERRA, 2005).

A Política Nacional do Meio Ambiente – Lei 12.305, de 2 de Agosto de 2010, define gestão Integrada de resíduos sólidos como sendo:

“[...] conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.”

Além desta definição, ainda é abordado a questão da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, que segundo esta lei, deve ser observada a seguinte ordem prioritária: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A reciclagem de resíduos industriais para a confecção de chapas de madeira aglomerada é vantajosa não apenas para a economia com a geração de um subproduto mais também para o meio ambiente, pois reduz o consumo de matéria prima, além de poder vir a diminuir a disposição inadequada e a quantidade destinada à aterros.

3.2 CANA DE AÇÚCAR

No Brasil, a cana de açúcar foi introduzida no estado de São Paulo no ano de 1522 e atualmente o país assume a posição de maior produtor mundial, sendo que as principais regiões em destaque de plantio são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, com produção de etanol e açúcar atendendo o mercado interno e externo (ÚNICA, 2008 *apud* HAMERSKI, 2009, p17).

Segundo a CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2013), o Brasil continua em processo de expansão da cultura da cana de açúcar na safra de 2013/2014, sendo previsto um acréscimo da área, com cerca de 408 mil hectares, ou seja, 4,8% em relação à safra de 2012/2013. Além disto, a produtividade está estimada em 73.520 kg/ha, sendo que a maior safra no período de 2012/2013 foi de 69.407kg/ha.

O crescimento da utilização deste insumo pode ser explicado pela variedade de produtos que a cana de açúcar, como matéria-prima, pode oferecer. Dentre os principais são destacados por Carvalho (2012, p.14), a produção de açúcar como alimento, o etanol como combustível e por fim com o bagaço pode-se obter eletricidade através da queima.

A composição química do bagaço da cana de açúcar depende de diversos fatores, entre eles, a espécie da cana de açúcar, o tipo de solo, a técnica de colheita e até o manuseio (SILVA; GOMES; ALSINA, 2007). Estudos realizados por Canilha et al (2007), mostraram que o bagaço da cana de açúcar in natura é composto por cerca de: 47% de celulose, 27,5% de hemicelulose, 26% de lignina e 1,5% dos demais componentes como cinzas. Andreoli (2008), afirma que para cada tonelada de cana de açúcar, são gerados 250 kg de bagaço, sendo este com 50% de umidade, ou seja, restam apenas 125 kg de matéria seca. A Figura 1 mostra o bagaço da cana de açúcar após o processo de moagem.



Figura 1: Bagaço da Cana de Açúcar – Usina Santa Terezinha, Maringá-PR

Devido à grande produção e principalmente às propriedades química e física do bagaço, existem estudos que apontam algumas destinações como: produção de ração animal, na indústria química, na fabricação de papel e papelão, na própria produção de etanol utilizando o bagaço e a palha, na produção de biomassa microbiana, na construção civil como material agregado, e em aglomerado de madeiras (SILVA, 2010, p.15 - 16).

Carvalho (2012, p.15) destaca que o principal motivo de utilizar o bagaço da cana de açúcar para a produção de chapas de aglomerado é a possibilidade de substituição de madeiras provenientes de florestas plantadas.

Freire *et al* (2011) afirma que existem poucos estudos que apontam um comparativo entre painéis aglomerados comerciais de bagaço de cana de açúcar e de madeira e que tais estudos seriam interessante para dar suporte e informação, quanto à qualidade das chapas aglomeradas de bagaço de cana, aos potenciais produtores brasileiros.

3.3 MADEIRA

Um dos materiais mais antigos utilizados pelos seres humanos em construções é a madeira. Esta matéria-prima é natural e renovável e quando utilizada de maneira consciente e correta, torna-se sustentável e de múltiplos usos. Porém devido a falta de conscientização, as madeiras nativas vêm sendo utilizada de

maneira equivocada e sua preservação necessita ser direcionada de modo racional para que se torne matéria prima perene (ALMEIDA, 2011).

O grande crescimento populacional aliado ao consumo indiscriminado dos recursos naturais teve como consequência a escassez da matéria-prima utilizada nas industriais madeireiras (COLLI, 2007).

A destinação final adequada dos resíduos provenientes do processamento da madeira é necessária, pois mesmo que haja a decomposição biológica deste material, o acúmulo deste em um determinado local podem ocasionar sérios impactos ambientais (Fagundes, 2003).

Iwakiri (2005) aponta que o processamento para a redução do volume das árvores retiradas das florestas, geram muitos tipos de partículas de madeira, com formas e tamanhos diferentes, possibilitando a geração de novos produtos, através do reaproveitamento, como por exemplo, os painéis aglomerados de madeira.

3.4 AGLOMERADO DE MADEIRA

O desenvolvimento de painéis de madeira aglomerado aconteceu na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial, devido à falta de madeira de boa qualidade para a produção de painéis de compensado. Assim, utilizaram resíduos madeireiros como fonte de matéria-prima para a produção de aglomerados de madeira para suprir a demanda local da época (IWAKIRI, et al. 2005a).

A norma da Associação Brasileira de Norma Técnica - ABNT NBR 14810-1:2006, define chapa de madeira aglomerado como sendo:

“Chapa de madeira aglomerada ou chapa de partículas de madeira é um produto em forma de painel, variando de 3mm à 50mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomerada com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob ação de pressão e calor. A geometria das partículas, e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para fabricar produtos adequados aos usos finais específicos, podendo ser adicionado durante o processo de fabricação aditivos para promover painéis de características especiais.”

A produção de chapas de madeira aglomerada vem aumentando muito nos últimos anos, quando comparado a outros produtos à base de madeira. Isto é

consequência da multiplicidade dos produtos e suas diversas aplicações. Além disto, as propriedades do produto finalizado possuem uma grande variação em função do processo de produção, da matéria-prima usada e dos aditivos (BRITO et al., 2004)

Devido ao grande número de indústrias de madeira no Brasil, este tipo de resíduo é gerado em bastante quantidade, porém é pouco reaproveitado, sendo sua principal destinação para geração de energia. Dentre os tipos de resíduos, dois são mais significativos, sendo as maravalhas e as cascas de madeira. As maravalhas podem ser utilizadas isoladamente ou combinado com outros materiais para a produção de chapas aglomerado de madeira, pois apresenta boas características para esta finalidade (BRITO, 1995).

Segundo Melo (2009), os painéis de madeira aglomerados podem ser produzidos com qualquer material lignocelulósico que lhes atribua alta resistência mecânica e massa específica pré-estabelecida. A matéria-prima utilizada para fabricação deste material são espécies principalmente de reflorestamento, sendo destacado o *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* e em menor grau algumas espécies de *Eucalyptus* (SILVA, 2004).

Kelly (1977) *apud* Brito (2005) cita muitas variáveis que podem interferir no processo de fabricação da chapa de madeira aglomerada, destacando-se a densidade da madeira, densidade da chapa, geometria e teor de umidade das partículas, porcentagem de resina aplicada, e ciclo de prensagem.

De acordo com Iwariki (2005) a produção de painéis de madeira aglomerado engloba as seguintes etapas:

- Geração das Partículas – Serão definidos elementos dimensionais como comprimento, largura e espessura das partículas. Nesta etapa, dois fatores podem interferir: a umidade e a presença de cascas.
- Secagem das Partículas – O teor de umidade das partículas influencia em muitos aspectos como a cura da resina, tempo de prensagem e pressão necessária para uma boa consolidação do colchão de partículas. Logo num processo industrial as partículas devem ser secas a um teor de umidade de aproximadamente 3%.
- Classificação das Partículas – Neste processo são separadas as impurezas e os “finos”, sobrando apenas as dimensões aceitáveis para o processo.

- Aplicação do Adesivo – São destacados dois fatores importantes na aplicação do adesivo: a quantidade de adesivo a ser aplicado (6 à 12%) e a Homogeneidade quanto à distribuição.
- Formação do Colchão – Ocorre em função da densidade e da espessura da chapa. Há a distribuição das partículas com o adesivo em quantidades que foram determinadas anteriormente.
- Prensagem dos Painéis – Nesta etapa ocorre uma pré-prensagem com o intuito de reduzir a altura do colchão formado pelas partículas e adesivo, melhorando sua consistência. Após, é realizada a prensagem a quente que tem por objetivo a cura da resina, densificação e consolidação do colchão até a espessura desejada para o painel. Os parâmetros destacados neste ciclo são: pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem.

A Figura 2 a seguir descreve as etapas do processo para a produção da chapa aglomerada de madeira.

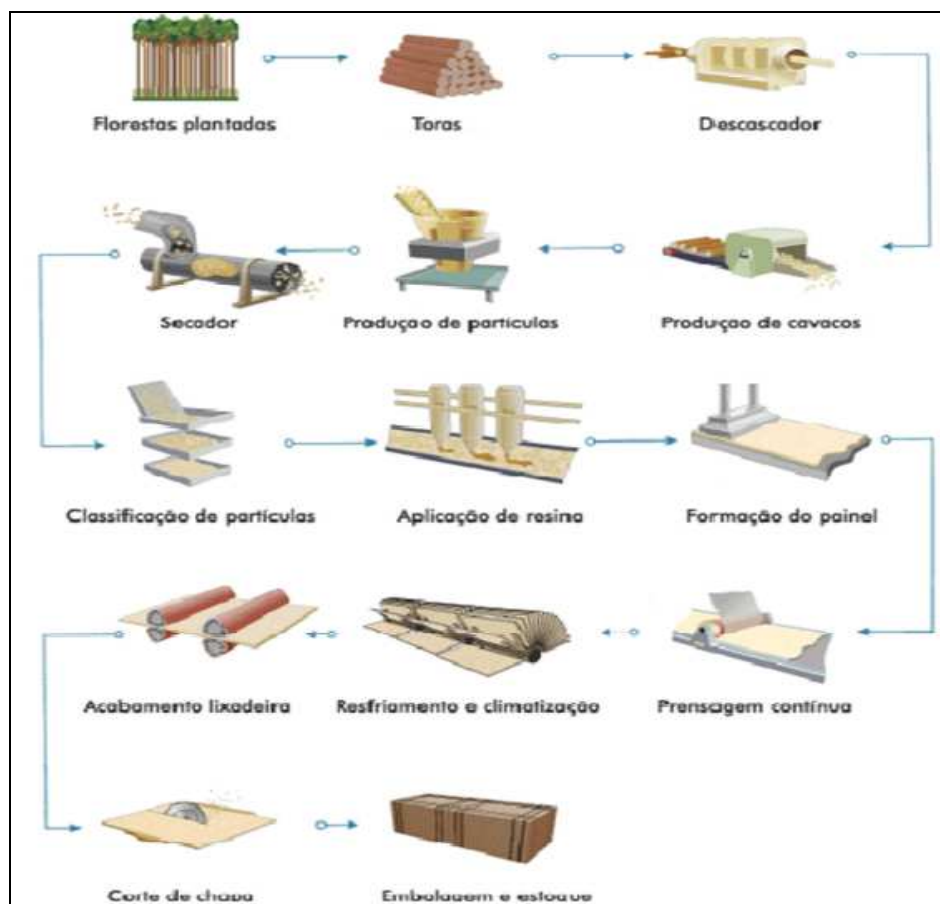


Figura 2: Fluxograma do processo de fabricação do painel aglomerado de madeira.
Fonte: PIERRE, 2010.

O MDP – *Medium Density Particleboard* – é o tipo de aglomerado mais consumido mundialmente, sendo seu principal uso para fabricação de móveis, tampos de mesas, laterais e portas de armários, divisórias, laterais de estantes e, consumido em menor escala, na construção civil (BIAZUS, HORA e LEITE, 2010). A Figura 3 ilustra o MDP.



Figura 3: Painéis de Madeira Aglomerada - MDP
Fonte: Móveis casa verde, 2011.

Os resíduos provenientes do beneficiamento da madeira utilizados para produção de painéis de madeira aglomerada além de sofrer uma agregação de valor, poderão ainda ajudar a suprir a demanda das indústrias de painéis, possibilitando ainda uma redução nos custos de produção, tornando este setor industrial mais competitivo no cenário econômico (MENDES, 2012).

3.5 ADESIVOS E ADITIVOS QUÍMICOS

As resinas naturais próprias da madeira não são suficientes para aderir às fibras do painel aglomerado (BERNARDI, 2006). Então, uma das variáveis importantes no processo produtivo da chapa de madeira aglomerada é a aplicação da resina. Segundo Iwakiri (2005) deve-se otimizar a quantidade de adesivo a ser

aplicado pois é a matéria prima de maior custo na produção das chapas aglomerada. Este mesmo autor destaca três principais tipos de adesivos:

- Ureia Formaldeído (UF) – Possui baixo custo, facilidade de manuseio, cura rápida, e é incolor não ocasionando tingimento à superfície do painel. É o adesivo mais utilizado no processo de produção de aglomerados que se destinam a usos internos.
- Fenol Formaldeído – Usados para produção de aglomerados estruturais como o painel de estrutura orientada (em inglês Oriented Strand Board) “OSB” e “waferboard”, pois necessitam de alta resistência. É utilizado com menor frequência.
- Melamina – Formaldeído – Devido ao elevado custo, este adesivo pode ser utilizado em conjunto com a ureia formaldeído nas porcentagens entre 10 a 40%. Esta mistura confere às chapas maior resistência à água.

A norma técnica brasileira da ABNT NBR 14810-1:2006 define adesivo ou também chamado de resina como sendo “substância utilizada com o objetivo de aderir partículas de madeira em uma chapa de madeira aglomerada. Pode ser orgânico ou inorgânico.”.

A aplicação da resina de UF tem bom desempenho em diferentes temperaturas (160 a 200°C), quantidades de catalisador, tempo de prensagem, e capacidade de tamponamento da madeira (BERNARDI, 2006).

Além dos adesivos são adicionados aditivos químicos durante a fabricação dos aglomerados para melhorar algumas propriedades dos painéis. Dentre os aditivos Iwakiri (2005) destaca:

- Catalisador – São produtos como cloreto de amônia e sulfato de amônia. Possui ação endurecedora quando misturados com a uréia formaldeído.
- Emulsão de parafina – Utilizado na proporção de até 1% baseado no peso do sólido resinoso. Tem a função de reduzir a absorção de água e aumentar a estabilidade dimensional dos painéis.
- Retardantes de fogo – São compostos químicos como fosfato de amônia, ácido bórico, sulfato de amônia e bromato de amônia. São

adicionados às chapas durante o processo de produção ou através de impregnação nos painéis depois da prensagem.

- Produtos preservantes contra fungos e insetos – São compostos químicos a base de piretróide hexaclorociclohexano, por exemplo, utilizados no processo produtivo dos painéis, em proporções que variam entre 0,25 a 2,5% com base no peso seco das partículas.

Com relação à resina, a ureia formaldeído é a mais utilizada, em grande escala, pelas indústrias de painéis de madeira aglomerada por ter baixo custo. Este diferencial em relação às outras resinas acaba limitando seu uso apenas para áreas internas, pois possui baixa resistência à umidade (MARRA, 1992 *apud* IWARIKI, 2005a).

3.6 ESTUDOS ANTERIORES

Freire et al (2011) estudou as propriedades físicas das chapas de madeira aglomerada comerciais produzidas com bagaço de cana de açúcar e madeira de Eucalipto sp. Neste estudo foram realizados testes de absorção de água e inchamento em espessura para comparação entre os materiais estudados e em relação a absorção foram estudados dois tipos: total e a superficial / lateral. O autor concluiu que o aglomerado de bagaço de cana apresentou maiores valores de absorção de água lateral e o de madeira os valores foram maiores para absorção total após 2 horas, porém igualou-se à absorção superficial após 24 horas.

Mendes et al (2012) avaliou o efeito da incorporação do bagaço de cana, tipo e teor de adesivos em painéis aglomerados de madeira em relação as propriedades físico-mecânicas. Foram avaliadas três porcentagens de incorporação do bagaço de cana em madeira de pinus (25%, 50% e 75%), variando dois tipos de adesivos (fenol-formaldeído (FF) e ureia formaldeído (UF)) e três teores de adesivos (6, 9 e 12%). Em termos de porcentagens de incorporação, foi verificada a diminuição da qualidade do painel à medida que aumentava a associação do bagaço de cana. Para os tipos de adesivos o UF se mostrou estatisticamente igual ou superior ao FF. E com relação ao teores de adesivos o teor de 12 % foi estatisticamente superior ao de 6% e igual ou superior ao de 9%.

Em seu estudo Mendes et al (2010), realizou a incorporação de bagaço de cana em madeira de Eucalipto nas porcentagens de 25%, 50% e 75%, utilizando resina de ureia formaldeído (UF) e fenol formaldeído (FF) a 6%, 9% e 12%. O autor concluiu que o adesivo de UF mostrou-se estatisticamente igual ou superior a FF em quase todas as propriedades avaliada. Além disto, o melhor tratamento, segundo o autor, foi o de 12% de resina com 75% de incorporação de bagaço de cana pois foi o que atendeu os valores estipulados pela norma CS 236-66, com exceção do modulo de elasticidade. Apesar disto, o autor afirma que os painéis com 6% de UF e 75% de bagaço de cana também atenderam a norma, com exceção do modulo de elasticidade, sendo esta a alternativa mais economicamente viável.

4 METODOLOGIA

O fluxograma representado na Figura 4 ilustra os procedimentos que foram realizados para a produção da chapa aglomerada de madeira.

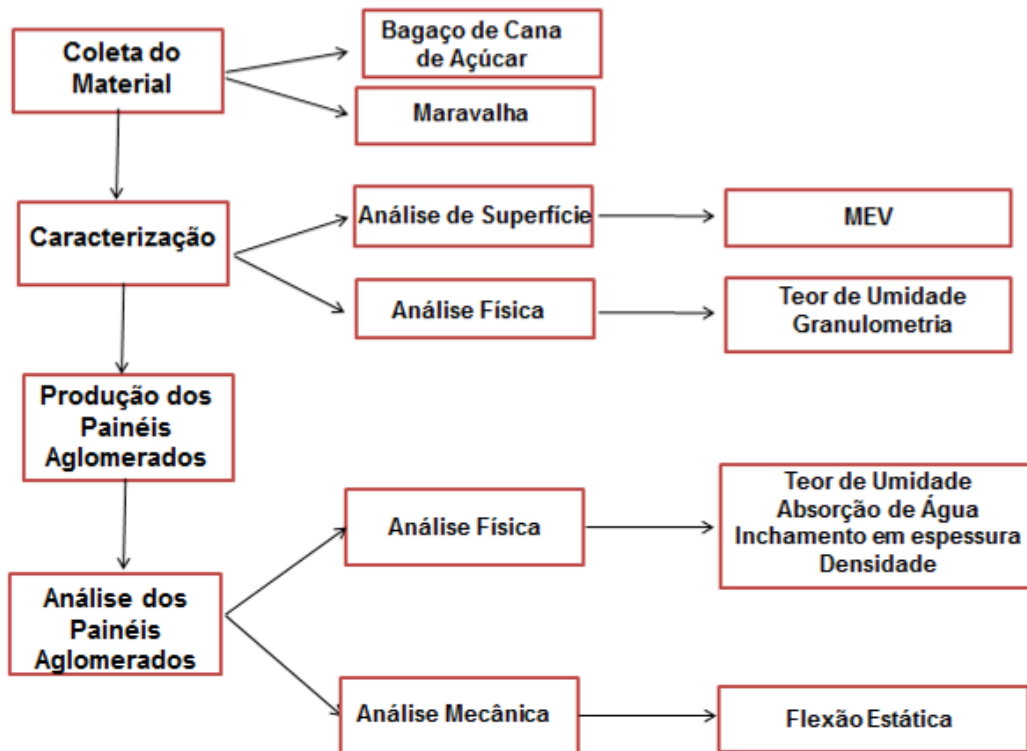


Figura 4: Fluxograma das atividades a serem executadas.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

5.1.1 Bagaço da cana de açúcar

O Bagaço da cana de açúcar foi doado pela Usina Santa Terezinha na cidade de Maringá-PR. Foram coletados 50 Kg manualmente e o material foi ensacado em sacos plásticos para facilitar o transporte até a cidade de Londrina-PR. As fibras foram deixadas ao sol, espalhadas em lonas, para que fosse reduzido o teor de umidade. Não houve a necessidade de realizar a trituração deste resíduo, pois devido

ao processo de moagem do bagaço de cana da usina, o resíduo coletado já apresentava o tamanho desejado. Para retirar parte do pó proveniente do processo de moagem, o resíduo foi peneirado com uma peneira comum. Após, o pó do bagaço de cana de açúcar foi descartado e as partículas maiores foram ensacadas e guardadas até seu uso. A Figura 5 mostra a coleta do material e as fibras do bagaço de cana.



Figura 5: a) Coleta do material e b) Fibras de bagaço de cana de açúcar.

5.1.2 Maravalha

A coleta do resíduo de madeira (maravalha) foi realizada na empresa Cia do Pinus localizada na cidade de Londrina-PR, que produzem caixas e pallets de madeira. A maravalha é proveniente do processo de beneficiamento da madeira de Pinus, as ripas de madeira são passadas por uma plaina para o “desengrosso” do material, gerando assim o resíduo de maravalha.



Figura 6: a) Plaina para o processamento de madeira; b) Pallets de madeira e c) Sobras de maravalhas do processamento da madeira.

As maravalhas foram coletadas em sacos plásticos para facilitar o transporte até o local onde ocorreu a trituração, foram coletados um total de 50 Kg de maravalha, Figura 6. Após coleta a maravalha passou por um processo de trituração, para reduzir o tamanho das partículas, o triturador utilizado possui uma peneira no interior (Figura 7), permitindo que as partículas fiquem com os tamanhos padronizados. Após triturar a maravalha, o resíduo foi deixado ao sol sobre as lonas, até reduzir o teor de umidade inicial, depois ensacadas novamente para posterior uso.



Figura 7: a) Maravalha ensacada; b) Peneira no interior do triturador; c) Triturador; e d) Maravalha antes e depois de triturar.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.

Após as etapas de preparação das partículas de madeira (maravalha) e do bagaço da cana de açúcar descritos anteriormente, foi realizada a caracterização destes materiais com análises físicas e de superfície.

A Tabela 1 indica qual metodologia será utilizada para caracterização dos resíduos.

Tabela 1: Análises a serem realizadas com os resíduos antes da produção das chapas de madeira aglomerada.

Tipo de análise	Quais análises	Equipamento/Norma
Análise de Superfície	MEV	Equipamento Superscan SS – 550 marca Shimadzu.
Análises Físicas	Teor de Umidade	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER 213, 1994.
	Granulometria	NBR 7181/1984.

5.2.1 Teste de microscopia eletrônica de varredura

Para analisar a morfologia dos resíduos de bagaço de cana de açúcar e da maravalha de pinus, foram realizadas as análises da imagem por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Na análise de superfície (MEV), uma pequena quantidade da amostra é colada, com o auxílio de uma fita dupla face, em um suporte de alumínio, em seguida é realizada uma metalização com ouro, que é um material condutivo. Para a realização das fotomicrografias da maravalha e do bagaço de cana foi utilizado o equipamento Superscan SS-550 da marca Shimadzu pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM).

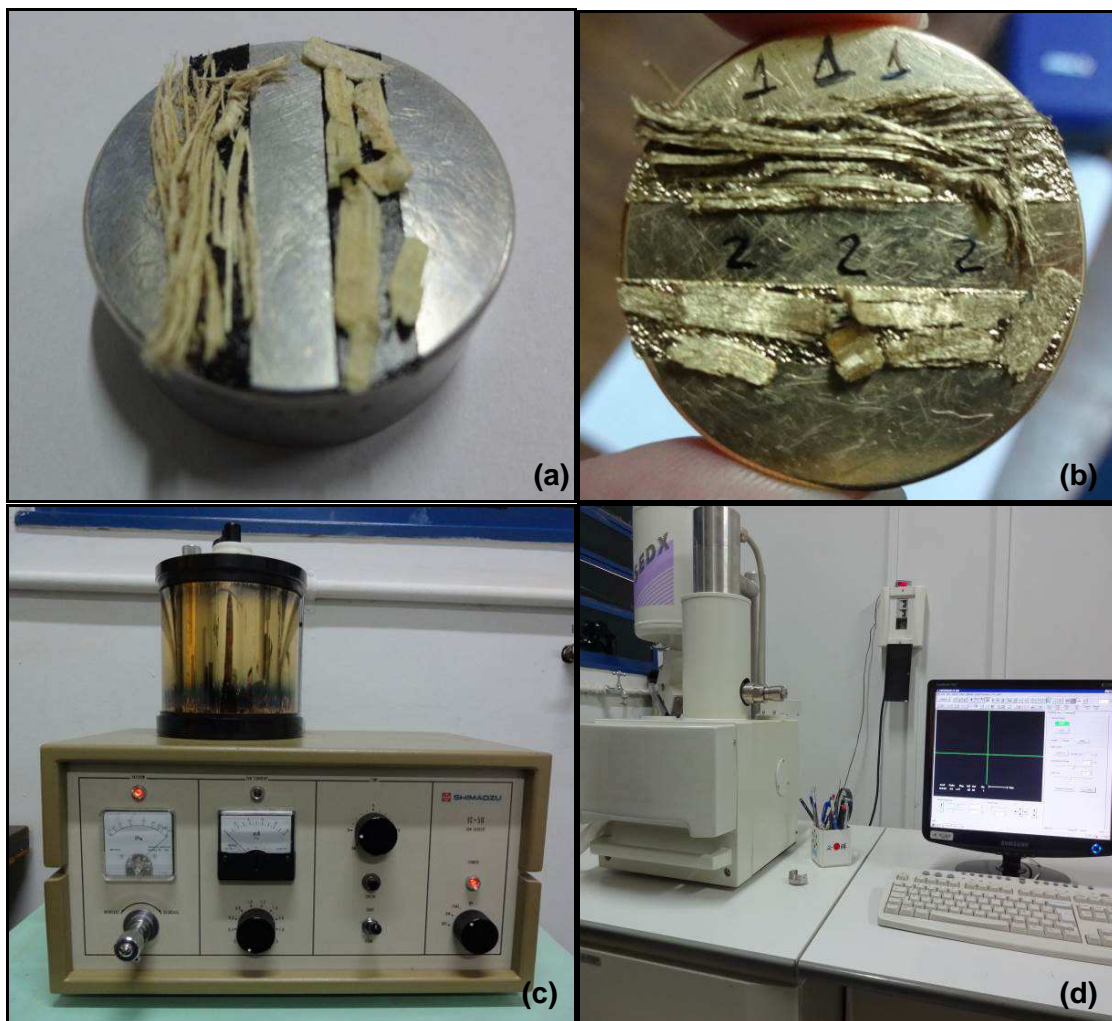


Figura 8: a) Fita dupla face com as partículas de maravalha e bagaço de cana; b) Partículas jateadas a ouro, c) Equipamento utilizado para metalização das fibras e d) Equipamento utilizado para análise.

5.2.2 Determinação da umidade natural

Para a realização deste teste utilizou-se a Norma DNER 213/94, a qual descreve o método a ser adotado para determinação do teor de umidade em solos. Sendo assim o procedimento foi adaptado e realizado como o descrito abaixo:

A análise foi realizada em triplicada, logo os cadinhos limpos foram deixados em estufa por 24 h para que ficassem secos, e em seguida deixados em dessecador para esfriar e então os pesos foram anotados. Em seguida, pesou-se 7 gramas da amostra úmida, para o bagaço de cana de açúcar e 10 gramas para a maravalha, e foram anotados os valores em gramas dos conjuntos considerado como massa bruta úmida (m_{bu}). Os recipientes com as amostras úmidas foram deixados em estufa por 24 horas em temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e então colocados em dessecador para esfriar, e em seguida foram pesados como massa bruta seca (m_{bs}) em gramas.

O teor de umidade foi calculado como segue a equação 1.

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

h = Teor de umidade em %

m_{bu} = Massa bruta úmida correspondente à massa do recipiente mais a amostra do material úmido, em gramas;

m_{bs} = Massa bruta seca correspondente à amostra do recipiente mais a amostra do material seco, em gramas;

m = Massa do recipiente, em gramas.

5.2.3 Granulometria

A determinação da granulometria foi seguida segundo a NBR 7181:1984. Para esta análise, primeiramente foi realizado o método do quarteamento e então

pesados 70g de amostra de bagaço de cana de açúcar e de maravalha. O equipamento utilizado foi da marca BERTEL, com um agitador de peneiras para análise granulométrica eletromagnética. Ao final do tempo de 5 minutos de vibração, as frações das amostras que ficaram retidas nas peneiras foram recolhidas e pesadas separadamente em balança semi-analítica.

4.3 PRODUÇÃO DAS CHAPAS DE AGLOMERADOS

O experimento foi composto por cinco tratamentos em triplicata, utilizando um delineamento inteiramente casualizado totalizando 15 painéis, onde foram analisadas diferentes porcentagens de incorporação do bagaço da cana de açúcar na maravalha (Tabela 3). A porcentagem da resina de ureia formaldeído foi fixada em 12% bem como a densidade do painel aglomerado em $0,7 \text{ g/cm}^3$ baseados em estudos anteriores (MENDES, 2012 e IWAKIRI, 2005).

Tabela 2: Tratamentos em função das diferentes porcentagens de bagaço da cana de açúcar e madeira.

Tratamentos	Densidade do painel (g/cm^3)	Bagaço de Cana de Açúcar (%)	Madeira (%)	Teor de resina (%)
T1	0,7	0	100	12
T2	0,7	25	75	12
T3	0,7	50	50	12
T4	0,7	75	25	12
T5	0,7	100	0	12

4.3.1 Confeção dos Moldes

Para a produção das chapas de aglomerados foram confeccionados três moldes quadrados de $55 \times 55 \times 1,5$ (cm) de metal, e um molde de madeira quadrado vazado de dimensões $55 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$ para dar suporte ao colchão de partículas. Também foi feito uma chapa de madeira usada no interior dos moldes para a pré-prensagem do colchão de partículas com a finalidade de evitar perdas durante o

transporte até a prensa, Figura 9. E por fim, uma chapa de metal de dimensões maiores foi colocada sobre o colchão de partículas, já pré-prensado, para ser levado até a prensa a quente.

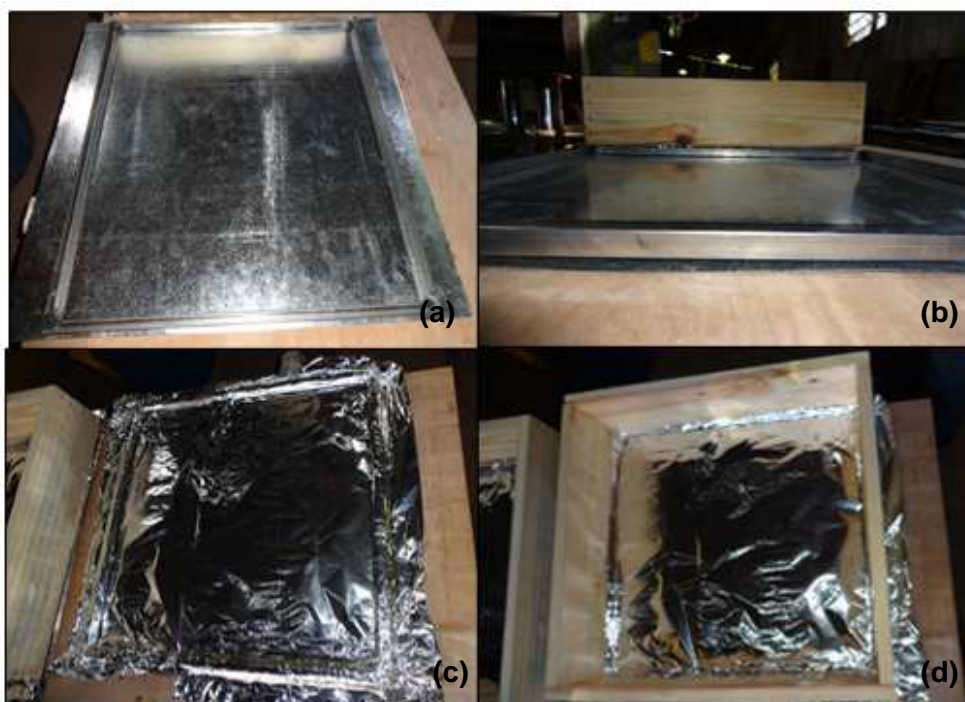


Figura 9: a) Molde de metal; b) Espessura do molde de metal; c) Papel alumínio sobre o molde de metal; e d) Molde de madeira.

4.3.2 Cálculos dos componentes dos painéis

Foi necessário realizar os cálculos das quantidades de maravalha e bagaço de cana de açúcar bem como de resina e seus aditivos. A dimensão da chapa de madeira aglomerada pré-determinada foi baseada segundo a referência de Iwakiri (2005), no tamanho de 55 cm x 55 cm x 1,5 cm. Esta dimensão proposta é suficiente para se obter todos os corpos de prova para realizar todas as análises, sendo que 2,5 cm das bordas foi aparado por não serem uniformes evitando assim interferências no resultado final. Logo a composição de todos os componentes dos painéis foi calculada com base no peso seco das partículas (0% de umidade) e de acordo com o que se segue:

Dimensões do painel: 55 cm x 55 cm x 1,5 cm

Volume de partículas no painel: 4537,5 cm³

Massa total dos painéis:

$$m_t = \delta * V \quad (2)$$

Onde:

m_t = massa total do painel acabado (g)

δ = densidade do painel (g.cm⁻³)

V = volume (cm³)

Partes do painel pronto:

Tabela 3: Partes do painel considerando 12 partes de resina.

Partes de partículas	Partes de resina	Partes de parafina	Partes de umidade	Partes do painel pronto
100	12	1	12	125

Massa das partículas secas no painel:

$$m_s = m_t * \frac{100}{pp} \quad (3)$$

Onde:

m_s = massa das partículas seca (g)

m_t = massa total dos painéis acabados (g)

pp = partes do painel pronto

Massa das partículas no painel com umidade:

$$m_u = m_s * U_m \quad (4)$$

Onde:

m_u = massa das partículas úmidas (g)

m_s = massa das partículas secas(g)

U_m = teor de umidade + 1,0 = 1,12

4.3.2.1 Preparação da resina de ureia formaldeído e emulsão de parafina

A resina utilizada nos painéis foi à base de ureia formaldeído (UF), aplicada na proporção de 12% de sólidos e a emulsão de parafina foi aplicada na proporção de 1% de sólidos.

A resina utilizada foi na forma líquida, sendo necessários cálculos para estabelecer as quantidades certas de resina de UF. Neste caso, o teor de sólidos contido na resina, segundo as informações do fabricante encontram-se entre 66% e 68%, e para os cálculos foi considerado o valor de 66%. Já no caso da parafina o valor estabelecido no rótulo pelo fabricante foi de 51% de sólidos, que foi o valor utilizado para os cálculos.

A resina de UF foi preparada adicionando-se 3% do catalisador sulfato de amônia $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Foi necessário realizar a diluição em água do catalisador antes de adicionar a resina e considerou-se uma solução de concentração de 25% (WEBER, 2011).

Massa de sólidos da resina:

$$m_{sr} = m_t * \frac{\%r}{pp} \quad (5)$$

Onde:

m_{sr} = massa de sólidos da resina (g)

m_t = massa total dos painéis acabados (g)

$\%r$ = percentual de resina

pp = partes do painel pronto

Massa de resina líquida:

$$m_{rl} = m_{sr} * \frac{100}{TS} \quad (6)$$

Onde:

m_{rl} = massa de resina líquida (g)

m_{sr} = massa de sólidos na resina (g)

$\%r$ = percentual de resina

TS = Teor de sólidos contidos na resina (%)

Massa de sólidos na emulsão de parafina:

$$m_{sep} = m_t * \frac{\%ep}{pp} \quad (7)$$

Onde:

m_{sep} = massa de sólidos de emulsão de parafina (g)

m_t = massa total dos painéis acabados (g)

$\%ep$ = percentual de emulsão de parafina

pp = partes do painel pronto (g)

Massa de emulsão de parafina:

$$m_{ep} = m_{sep} * \frac{100}{T_{sep}} \quad (8)$$

Onde:

m_{ep} = massa de emulsão de parafina (g)

m_{sep} = massa de sólidos de emulsão de parafina (g)

T_{sep} = Teor de sólidos contidos na emulsão de parafina.

Massa de catalisador:

$$m_c = m_{sr} * \frac{\%c}{100} \quad (9)$$

Onde:

m_c = massa de catalisador sólidos (g)

m_{sr} = massa de sólidos na resina (g)

$\%c$ = percentual de catalisador

Massa de solução de catalisador:

$$m_{sc} = m_c * \frac{100}{25} \quad (10)$$

Onde:

m_{sc} = massa de solução de catalisador (g)

m_c = massa de catalisador sólidos (g)

Então, de acordo com os cálculos realizados determinou-se a composição das chapas de madeira aglomerada (Tabela 4). Os cálculos referentes à composição da chapa de madeira aglomerada encontram-se no Apêndice A.

Tabela 4: Composição dos painéis com resina de ureia formaldeído.

Tratam.	PAINEL				Resina UF									
	Volume (cm ³)	Massa do painel(g)	Massa das Partículas secas no painel (g)	Massa com 12% de umidade (g)	PARTÍCULAS			RESINA		IMPERMEABILIZANTE		CATALISADOR		
					BAGAÇO DE CANA (%)	MADEIRA (%)	Peso (g)	Sólidos (g) na Resina	Quantidade de resina na forma líquida (g)	Sólidos (g) na Parafina	Quantidade de Parafina na forma líquida (g)	Sólidos (g) de (NH ₄) ₂ SO ₄	Solução de Catalisador (g) (25%)	
T1	4538	3176	2541	2845,92	0	0,00	100,00	2845,92	304,92	462,00	25,41	49,82	9,15	36,59
T2	4538	3176	2541	2845,92	25	711,48	75,00	2134,44	304,92	462,00	25,41	49,82	9,15	36,59
T3	4538	3176	2541	2845,92	50	1422,96	50,00	1422,96	304,92	462,00	25,41	49,82	9,15	36,59
T4	4538	3176	2541	2845,92	75	2134,44	25,00	711,48	304,92	462,00	25,41	49,82	9,15	36,59
T5	4538	3176	2541	2845,92	100	2845,92	0,00	0,00	304,92	462,00	25,41	49,82	9,15	36,59

4.3.3 Confecção das chapas de madeira aglomerada de Pinus com incorporação de bagaço de cana de açúcar

Os resíduos de maravalha e bagaço de cana foram pesados e colocados em um recipiente, respeitando as proporções e pesos de acordo com os tratamentos propostos anteriormente, Tabela 4. A quantidade de resina foi pesada bem como a quantidade de catalisador sendo que este foi diluído em água e misturado à resina. A resina já com o catalisador junto com a emulsão de parafina foi adicionada à maravalha e ao bagaço de cana previamente distribuído em um recipiente e então misturado manualmente, conforme mostra a Figura 10.



Figura 10: a) Bagaço de cana e maravalha, resina com catalisador e emulsão de parafina; b) Adição da resina com catalisador e emulsão de parafina às partículas e c) mistura manual.

Esta mistura foi distribuída sobre o molde de metal formando um colchão de partículas. O molde de madeira foi colocado sobre o molde de metal e com a chapa

de madeira foi realizado uma pré prensagem desta mistura com o intuito de reduzir os espaços vazios entre as partículas e evitar perdas até ser levado à prensa, Figura 11.



Figura 11: a) Molde de madeira sobre o molde de metal; b) distribuição da mistura dentro do molde; c) pré prensagem do colchão de partículas e d) partículas sem o molde de madeira antes de ir para a prensa.

A prensagem foi realizada à quente em um equipamento da marca SIRMAS pertencente à empresa Madeireira Ibiporã localizada no município de Ibiporã-PR. Esta empresa colaborou com a permissão de uso desta prensa pra a realização deste trabalho.

Os painéis foram prensados à uma temperatura de 160°C (WEBER, 2011) e pressão de aproximadamente de 50 kgf/cm² por um tempo de 10 minutos, após a prensagem os painéis foram deixados à temperatura ambiente até alcançar a temperatura de equilíbrio, Figura 12.



Figura 12: a) Molde de metal sobre o colchão de partículas; b) Prensa da marca SIRMAS; c) chapas já prensadas à quente e d) chapas já prensadas, aguardando chegar à temperatura ambiente.

4.3.4 Análises físico-mecânicas

Os painéis foram cortados e analisados conforme estabelecido pela norma NBR 14810-3 (2006). Os tratamentos foram feitos em triplicata e para as análises foram retirados 6 amostras por painel, totalizando 18 unidades por tratamento respeitando portanto os padrões exigidos pela norma que são de 10 unidades por análise.

A Tabela 5 mostra as análises físico-mecânicas, o tamanho de cada corpo de prova, quantidade de amostra por painel e quantidade de amostra por tratamento, segundo os parâmetros exigidos pela norma.

Tabela 5: Dimensões e quantidade de amostras dos corpos de prova para ensaio de avaliação dos painéis de madeira aglomerada.

Avaliações físico-mecânicas	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Quantidade de amostras por painel	Quantidade de amostras por tratamento
Densidade	50	50	6	18
Teor de Umidade	50	50	6	18
Absorção de água	25	25	6	18
Inchamento em espessura	25	25	6	18
Flexão estática	250	50	6	18

Fonte: Adaptado da Norma Brasileira ABNT NBR 14810 – 3 (2006).

A análise mecânica de flexão estática foi realizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Londrina, no laboratório de engenharia de materiais. Foi utilizado a maquina universal de ensaios da marca SHIJIN, modelo WDW-100E. As Figuras 13 e 14 mostram respectivamente a maquina universal de ensaios e um dos corpos de prova após o ensaio de flexão.



Figura 13: Maquina universal de ensaio



Figura 14: Corpo de prova do tratamento 4 após o ensaio.

Para comparação dos resultados, foi realizado a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias, teste Tukey, com 95% de confiança, sendo significativo um p-valor $< 0,05$, para verificar as diferenças significativas das incorporações do resíduo nos parâmetros avaliados, por meio do programa estatístico STATSOFT STATISTICA versão 8.0.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISES FÍSICAS DAS PARTÍCULAS DE MARAVALHA E DE BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR

5.1.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica para as partículas de bagaço de cana de açúcar e para a maravalha foi realizada segundo a norma NBR 7181:1984. A Figura 15 apresenta a curva granulométrica para o bagaço de cana de açúcar, e a Tabela 6 as % retidas por peneira.

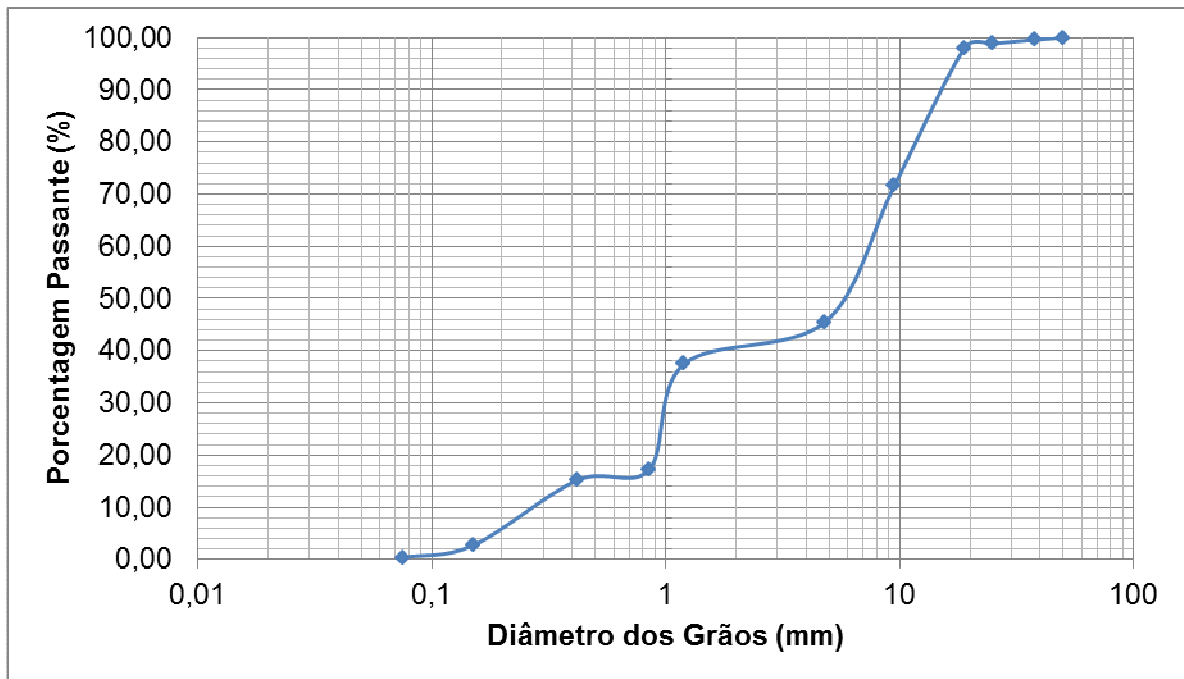


Figura 15: Curva granulométrica das partículas de bagaço de cana de açúcar

Tabela 6: Granulometria do bagaço de cana de açúcar em termos de massa (g) e % de massa retida

ABERTURA (mm)	Média Massa retida (g)	% Massa Retida
50	0,00	0,00
38	0,29	0,41
25	0,53	0,76
19	0,54	0,77
9,5	18,50	26,52
4,8	18,31	26,25
1,2	5,59	8,02
0,85	14,19	20,34
0,42	1,41	2,02
0,15	8,78	12,58
0,075	1,63	2,33

Como se pôde observar na Figura 16 e Tabela 6, a maior parte das partículas de bagaço de cana de açúcar encontraram-se na peneira de 9,5 mm e 4,75mm, correspondendo à 26,4% e 26,1% respectivamente.

Belini (2012) estudou a granulometria do bagaço de cana de açúcar para a produção de chapas aglomerada de madeira. Todo o material fibroso que passou pela peneira de 2,00 mm e ficou retido no coletor foi utilizado para a confecção das chapas. O autor aponta que a variação da densidade aparente na região interna dos painéis deve-se à granulometria dos fragmentos do bagaço de cana de açúcar.

Para a maravalha a curva granulométrica esta apresentada na Figura 16.

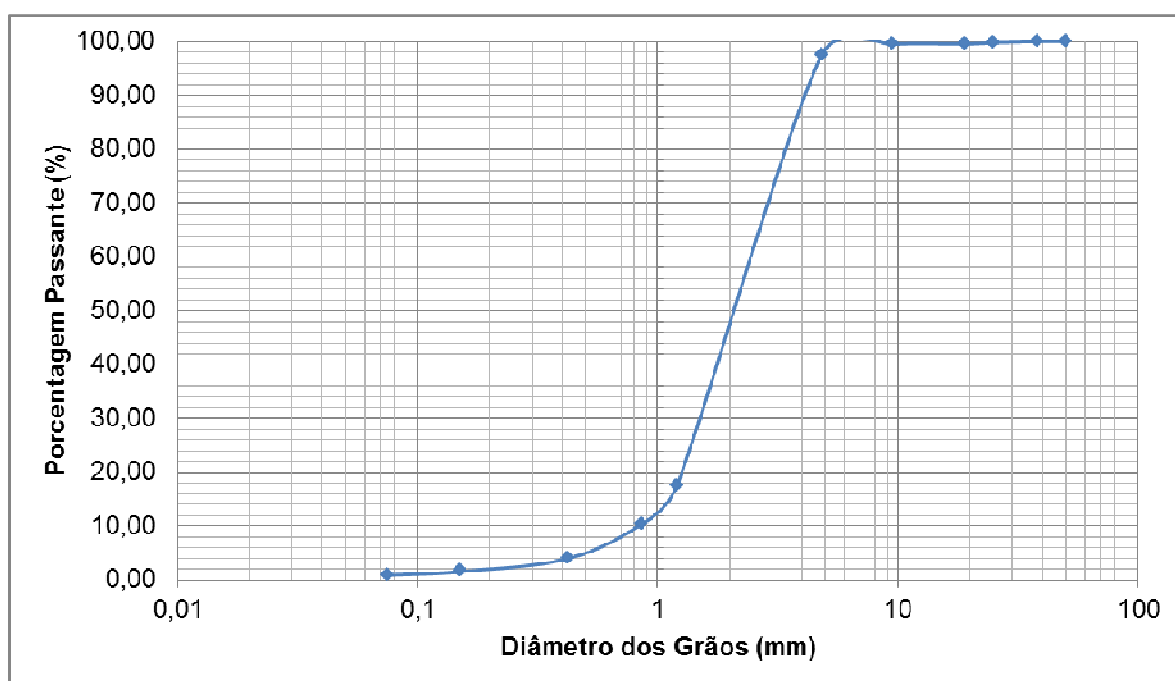


Figura 161: Curva Granulométrica das partículas de maravalha

Tabela 7: Granulometria da maravalha de Pinus sp em termos de massa (g) e % de massa retida

ABERTURA (mm)	Média Massa retida (g)	% Massa Retida
50	0,00	0,00
38	0,00	0,00
25	0,13	0,18
19	0,17	0,24
9,5	0,05	0,07
4,8	1,40	2,02
1,2	56,03	80,71
0,85	5,04	7,26
0,42	4,46	6,43
0,15	1,66	2,39
0,075	0,48	0,69

Neste caso, houve uma concentração de partículas na peneira de diâmetro 1,18mm correspondendo à aproximadamente 80% do total (Tabela 7).

Peixoto e Brito (2000), em seu trabalho estudou a influencia de diferentes granulometrias de maravalha de Pinus taeda para produção de chapa aglomerada de madeira. Segundo o autor, as chapas foram produzidas utilizando duas granulometrias, aquelas partículas que passaram na malha de 4,37mm e ficaram retidas em peneira de 0,61 mm e aquelas que passaram em peneira com diâmetro de 2,00 mm e ficaram retidas nas peneiras de 0,61mm. Os resultados obtidos indicaram que as chapas produzidas com partículas menores tiveram melhor ligação interna e as chapas confeccionadas com partículas maiores tiveram maior resistência a flexão estática.

5.1.2 Teor de Umidade

De acordo com a análise de umidade realizada verificou que os resíduos de maravalha e bagaço de cana apresentaram uma média de 10,86% e 10,48% respectivamente.

Belini (2012) afirma que em casos de umidade baixa no painel, não há água suficiente para ocorrer a condução de calor para as regiões mais internas do painel, interferindo na cura da resina, podendo ocasionar baixa densificação e deformidades na região central do perfil de densidade, sem liberação de vapor. E em casos de

umidade elevada, ocorre formação de bolhas com grande liberação de vapor e rompimento da superfície do painel.

Contudo, Bertolini (2011) em seu estudo utilizou a espécie de *Pinus taeda* para a produção de chapas de madeira aglomerada e encontrou uma umidade de 8,6% para as partículas. O autor afirma ter encontrado em outras literaturas que para a fabricação das chapas as partículas devem conter entre 3% e 6% de umidade. No entanto, em seu experimento as chapas não apresentaram defeitos como aparecimento de bolhas e explosões durante a prensagem.

Apesar da umidade das partículas terem resultado em uma porcentagem maior do que o recomendado pela literatura, durante a prensagem não ocorreu o aparecimento de bolhas e explosões. Isso pode ter ocorrido devido à temperatura elevada (160°C) utilizada para a prensagem do colchão de partículas.



Figura 17: Aparecimento de bolhas no painel
Fonte: SILVA (2013) – Qualificação, tese de doutorado.

5.2 ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DAS PARTÍCULAS DE MARAVALHA E DE BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR

5.2.1 Microscopia Eletrônica por Varredura

A Figura 18 representa as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura para o resíduo de bagaço de cana de açúcar.

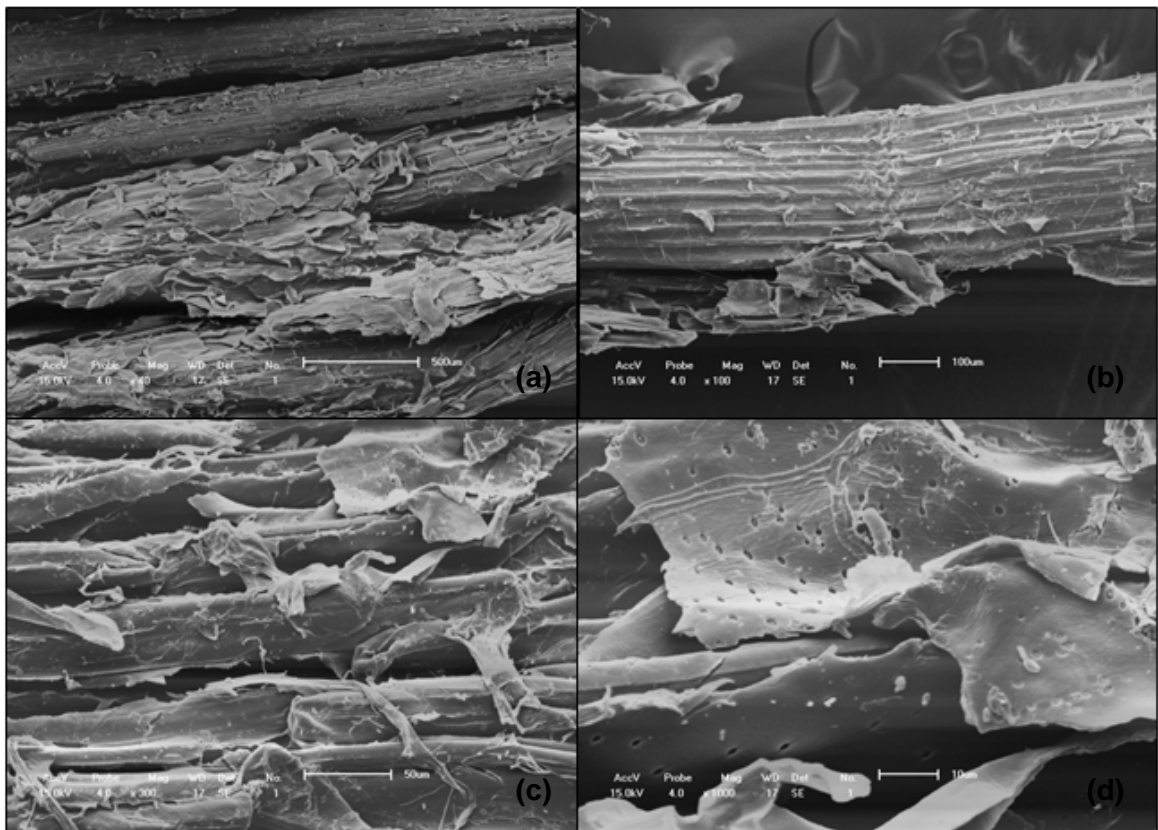


Figura 18: Fotomicrografias obtidas por MEV do resíduo de bagaço de cana de açúcar. a) 40 x b) 100 x c) 300 x d) 1000 x.

Com as imagens do bagaço de cana de açúcar foi possível visualizar a estrutura das fibras microscopicamente. Foi observado que as fibras possuem direcionamento longitudinal e listras paralelas indicadas principalmente nas ampliações de 40 x e 100 x. Além disto, o bagaço de cana de açúcar apresentou uma superfície irregular e porosa, podendo observar principalmente na amplitude de 300 x e 1000 x.

Cunha (2011) realizou o MEV para amostra de bagaço de cana de açúcar com ampliação de 3000 x e observou a presença de cristais de açúcar sobre a superfície do material, o que corresponde, segundo o autor, ao processo extrativo do material.

A Figura 19 mostra as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura do resíduo de maravalha de *Pinus sp.*

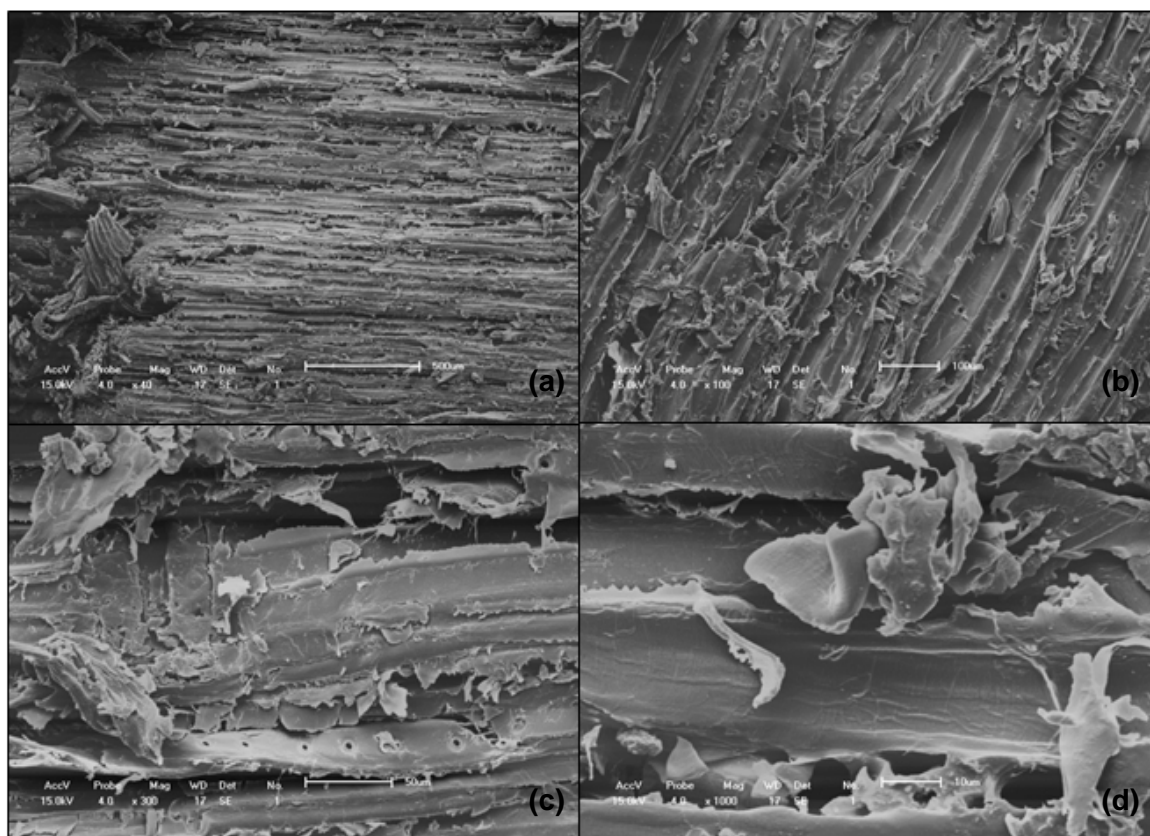


Figura19: Fotomicrografias obtida por MEV do resíduo de maravalha. a) 40 x b) 100 x c) 300 x d) 1000x.

Com as fotomicrografias foi possível notar que a maravalha possui um perfil completamente irregular. Na ampliação de 40 x em específico, pode-se perceber um rompimento das fibras ocasionado provavelmente pelo processamento da madeira. E na ampliação de 300 x nota-se a presença de poros na superfície.

5.3 ANÁLISE DOS PAINÉIS DE MADEIRA ALGOMERADO

5.3.1 Análises Físicas

As médias dos resultados das análises físicas do painel de madeira aglomerada referente à densidade, teor de umidade, inchamento em espessura (IE) após 2 horas e 24 horas e absorção de água (AA) após 2 horas e 24 horas, estão expressos na Tabela 8. Os resultados completos encontram-se no Apêndice C e D.

Tabela 8: Média da densidade, teor de umidade, inchamento em espessura e absorção de água.

Tratamento	Média da Densidade (kg/m ³)	Teor de umidade (%)	Inchamento em espessura (%) após 2 horas	Inchamento em espessura (%) após 24 horas	Absorção de água (%) após 2 horas	Absorção de água (%) após 2 horas
1	338,47 ^c	14,70 ^a	7,43 ^b	9,74 ^a	72,13 ^c	86,50 ^c
2	366,64 ^c	15,08 ^a	10,21 ^c	12,13 ^a	84,74 ^c	104,76 ^d
3	355,33 ^c	14,67 ^a	8,78 ^{bc}	10,93 ^a	77,84 ^c	110,96 ^d
4	447,42 ^a	15,46 ^a	6,61 ^{ab}	11,26 ^a	35,75 ^b	67,67 ^b
5	412,52 ^b	15,20 ^a	3,93 ^a	11,83 ^a	20,34 ^a	47,59 ^a

(1) Dentro de uma mesma coluna, as médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de nível de significância.

Com base nos dados da Tabela 8, verificou-se que os valores de densidade ficaram abaixo do valor pré-estabelecido de 0,7 g/cm³, ou seja, 700 Kg/cm³. O menor valor médio encontrado foi para o tratamento 1 o qual possui 100% de maravalha de Pinus sp com 338,47 Kg/m³, porém os tratamentos 1, 2 e 3 não diferem estatisticamente entre si. O maior valor médio encontrado foi para o tratamento 4 o qual possui 75% de bagaço de cana de açúcar e 25% de partículas de maravalha com 447,42Kg/m³, o que pode ser comprovado pela análise estatística aplicada.

Onde a letra **a** ao lado das médias sempre indica o melhor tratamento encontrado para cada variável estudada, e letras iguais indica que os tratamentos não diferem estatisticamente entre si.

Contudo nenhum tratamento encontrou-se na faixa pré-estabelecida pela norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2006), qual classifica um painel de madeira aglomerada como média densidade na faixa que compreende os valores de 551 Kg/m³ até 750 Kg/m³. Todos os tratamentos ficaram classificados como sendo de baixa densidade, podendo concluir que provavelmente ocorreu um erro durante a confecção dos painéis de madeira aglomerada.

Medes (2010) em seu estudo realizou três variações de bagaço de cana de açúcar em associação com partículas de madeira de eucalipto (75% e 25%, 50% e 50%, e 25% e 75%) com adição de 12% resina ureia formaldeído, densidade nominal de 0,70 g/cm³ e parafina a 1%, temperatura de prensagem à 160°C e pressão de 40 Kgf/cm² obteve valores de densidade 0,661 g/cm³, 0,664 g/cm³ e

0,650 g/cm³ respectivamente. O autor afirma que essa diminuição da densidade real comparada à densidade nominal pode ser atribuído às perdas de partículas durante o manuseio para aplicação do adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis.

Brito et al. (2004) avaliou chapas de madeira aglomerada utilizando fibra de coco em combinação com partículas de *Pinus elliottii*. O valor médio de densidade das chapas variou em relação ao valor pré-estabelecido de 0,70 g/cm³. O menor valor de densidade encontrado foi 0,58 g/cm³ para o tratamento 5 com 20% de incorporação de fibra de coco e 80% de madeira de pinus. O maior valor encontrado para a densidade foi de 0,73 g/cm³ para o tratamento 1 com 100% de partículas de pinus, ambos à 6% de resina. O autor afirma que esta variação na densidade ocorreu devido à dificuldade de homogeneização das fibras de coco com as partículas de madeira.

Em relação ao teor de umidade, a Norma 14810-2 de (2006) estabelece que a umidade presente em chapas de madeira aglomerada não deve ser menor que 5% e não deve ultrapassar 11%. De acordo com a Tabela 8, pode-se observar que nenhum tratamento se enquadrou nos parâmetros estabelecidos pela norma. O maior valor de teor de umidade obtido foi para o tratamento 4 com 15,46% e o menor valor obtido foi para o tratamento 1 com 14,70%, porém nenhum dos tratamentos diferiram estatisticamente entre si. Além disto, não houve relação proporcional dos valores de umidade com os valores de densidade encontrados.

O alto teor de umidade nos painéis pode ter ocorrido, devido a falta de um pré-tratamento adequado das partículas para diminuir o teor de umidade inicial. Autores recomendam reduzir o teor de umidade das partículas entre 3% e 6% em secadores. Porém devido à falta do equipamento, a redução de umidade foi realizada ao sol, em temperatura ambiente, o que ocasionou a não redução de umidade nesta faixa de 3% à 6%.

Melo (2009) avaliou a adição, em diferentes proporções, de casca de arroz em madeira de *Eucalyptus grandis* para produção de painel aglomerado de madeira, utilizando resina de ureia formaldeído à 12% e obteve valores de umidade variando entre 11,21 e 13,09%. Segundo o autor, vários fatores podem ter influenciado nesta variação, como a própria diferença de umidade das partículas ao saírem da estufa e também à pequenas parcelas de produtos aplicados (água, adesivo e parafina).

As porcentagens de inchamento em espessura (IE) encontram-se na Tabela 8. O menor valor encontrado para IE após 2 horas foi o tratamento 5 com 3,93% e o maior valor foi para o tratamento 2 com 10,32%, porém o tratamento 4 apresentou diferença estatística do tratamento 5. Após 24 horas observou que o maior valor de IE ocorreu para o tratamento 2 com 12,13% e o menor valor foi para o tratamento 1 com 9,74%, entretanto em relação a este parâmetro os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si.

A ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece valores de inchamento em espessura máximo, após duas horas de imersão, em 8%. Logo comparando os resultados obtidos com a norma pode-se verificar que os tratamentos 1, 4 e 5 se enquadram dentro do limite estabelecido. Esta norma não prevê limites de inchamento em espessura após 24 horas. Ainda pode-se observar que os tratamentos 4 e 5 com 75% de incorporação de bagaço de cana e 100% de bagaço de cana de açúcar respectivamente, tiveram maior densidade e o menor inchamento em espessura. sendo então os melhores tratamentos encontrados.

Segundo Brito (1995), este parâmetro pode ser afetado por muitas variáveis, destacando a espécie de madeira, granulometria das partículas, quantidade de resina aplicada, eficiência da aplicação da resina e condições de prensagem.

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos para absorção de água (AA), após 2 horas e após 24 horas de imersão. O menor valor de AA para imersão após 2 horas foi o tratamento 5 seguido do tratamento 4, conforme mostrado pela análise estatística na Tabela 8, e o maior valor foi para o tratamento 2, não diferindo estatisticamente dos tratamentos 1 e 3. Após 24 horas, o menor valor encontrado foi para o tratamento 5 e o maior valor foi para o tratamento 3.

A norma brasileira NBR 14810-2 não apresenta valores limites para este tipo de análise, porém através da Tabela 8, nota-se que para os tratamentos 4 e 5 que tiveram maior densidade, obtiveram, tanto para imersão após 2 horas quanto para 24 horas, os menores valores de absorção de água.

Souza (2012) estudou painéis produzidos a partir de Pinus de origem laboratorial e industrial, utilizando 9% de resina ureia formaldeído, 1% de parafina, 160°C, pressão à 4 MPa e ciclo de prensagem à 8 minutos, obteve para o Pinus industrial a media dos valores de 3,99% e 14,51 após 2 e 24 horas respectivamente e para Pinus laboratorial valores médios de inchamento em espessura após 2 horas de imersão de 7,74% e 29,29% após 24 horas. Em relação à absorção de água,

para imersão após 2 horas, o autor obteve a média de valor de 21,26% e após 24 horas 66,46% para o Pinus laboratorial. Para a espécie de Pinus industrial após 2 horas a média foi de 14,48% e após 24 horas 49,55%.

Barros Filho (2009) avaliou painéis de madeira aglomerado feitos com bagaço de cana provenientes de usina de álcool e açúcar (tratamento 3) e painéis feitos com 50% de bagaço de cana de açúcar de usina e 50 % de Pinus (tratamento 5), utilizando 9% de resina ureia formaldeído, 1% de parafina, temperatura a 180°C por um tempo de prensagem de 8 minutos. Os valores médios encontrados pelo autor para IE após 2 horas para o tratamento 3 foi de 7,03% e para o tratamento 5 foi de 26,5% e após 24 horas foi de 21,44% e 33,24% respectivamente. Em relação à absorção de água foram encontrados para o tratamento 3 após 2 horas 13,39% e para o tratamento 5, 88,46%. Após 24 horas foram encontrados valores médios de 98,76% e 201,68% respectivamente.

Analisando a Tabela 8, pode-se perceber que os valores médios de inchamento em espessura e absorção de água encontrados neste estudo foram inferiores ao encontrado na literatura, para imersão em água após 2 e 24 horas.

Portanto a análise estatística aplicada nas variáveis físicas apresentadas acima, mostra que o tratamento 4 foi o melhor tratamento encontrado, já que obteve o maior valor de densidade. No que se refere aos valores de teor de umidade e inchamento em espessura após 2 horas, que são os parâmetros físicos que a norma ABNT NBR 14.810-2 (2006) estabelece limites, o tratamento 5 foi o melhor tratamento encontrado para estes parâmetros, porém não difere estatisticamente do tratamento 4.

5.3.2 Análises Mecânicas

Os valores para módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) encontram-se na Tabela 9. Através da análise de densidade, foi escolhido o melhor tratamento, ou seja, aquele que obteve o valor mais próximo do estabelecido, para realizar as análises de MOR e MOE, sendo assim o tratamento 4 (75% de bagaço e 25% de madeira de Pinus).

Tabela 9: Valores de MOR e MOE (MPa)

MÓDULO DE RUPTURA E ELASTICIDADE		
TRATAMENTOS	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)
T41	2,1	-
T41	1,86	833,33
T41	1,56	600
T41	2,115	833,33
T42	1,71	869,57
T42	1,92	1166,67
T42	0,99	857,14
T42	2,19	800
T43	2,43	1190,48
T43	2,115	884,62
T43	1,905	1000
T43	1,605	833,33
Média	1,875	897,13

A ABNT NBR 14810-2 (2006) estipulou o limite mínimos de 16 MPa para o modulo de ruptura (MOR). De acordo com a Tabela 9, o valor médio encontrado para o tratamento 4 foi de 1,87 MPa, não atendendo o estabelecido pela norma. Provavelmente isto deve ter ocorrido devido à baixa densidade encontrada para o tratamento 4 no valor de 447,42 Kg/m³, ou seja, quanto maior a densidade do painel aglomerado de madeira maior a força necessária para acontecer a ruptura. O valor médio de MOE para o tratamento 4 foi de 897,13 MPa, porém não há valores limites trazidos pela norma 14810-2 (2006).

A classificação dos valores de densidade dos painéis aglomerado de madeira é muito importante, pois, este parâmetro possui uma relação estreita com os valores mínimos de modulo de elasticidade (MOE), modulo de ruptura (MOR), ligação interna (LI) e inchamento em espessura (IE) (FIORELLI, 2011).

Valores semelhantes foram encontrados por Colli (2010), que utilizou partículas de madeira de paricá e fibra de coco e variou a incorporação de fibra de coco em 0%, 10%, 20% e 30% encontrando valores médios de MOR a 2,38, 3,43, 3,99 e 4,46 MPa respectivamente.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados neste estudo verificou-se que os valores médios encontrados de densidade para os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5 não se enquadraram na faixa estabelecido pela ABNT NBR 14810-2 como sendo o de média densidade, classificando-se, portanto, como de baixa densidade. Para os valores médios de teor de umidade observou-se que todos os tratamentos ficaram acima do estabelecido pela norma que é 8%. No que se refere ao inchamento em espessura para imersão em água, os tratamentos 1, 4 e 5 foram os que se enquadraram no limite estabelecido pela norma de 8%.

Para a flexão estática realizada apenas para o tratamento 4, obteve-se uma média abaixo do valor estabelecido pela norma que é de 16 MPa. Isto pode ter ocorrido devido à porosidade presente tanto nas partículas de bagaço de cana quanto nas maravalhas, comprovadas através da análise por MEV.

Com isso pôde-se concluir que ainda é necessário o ajuste de parâmetros de confecção dos painéis de madeira aglomerada com a incorporação do resíduo de bagaço de cana. Um dos principais fatores que deve ser otimizado é o ajuste do teor de umidade inicial das partículas, bem como a distribuição da resina durante a mistura buscando deixar o painel o mais homogêneo possível, pois isso influencia a qualidade do painel formado.

Além disto, deve-se fazer um estudo para estimar quais os melhores parâmetros de prensagem, tais como temperatura, pressão e tempo de prensagem.

Portanto, para estudos futuros sugere-se que seja utilizado um equipamento apropriado para a secagem da matéria prima, para que possa atingir o teor de umidade desejado, bem como o uso de um misturador para homogeneizar a distribuição da resina nas partículas. Outra sugestão seria ampliar as variáveis do delineamento experimental como, por exemplo, o tempo e temperatura prensagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – NBR 14.810-1. **Chapas de madeira aglomerada. Parte 1: Terminologia.** Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – NBR 14.810-2. **Chapas de madeira aglomerada. Parte 2: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – NBR 14.810-3. **Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006.

ALMEIDA, JANE E. **Painéis de madeira aglomerado produzidos com serragem e poliestireno expandido.** 2011. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá-MT. 2011.

ANDREOLI, Claudinei. Convergência de agricultura e energia: produção de biomassa celulósica para biocombustíveis e eletricidade. Economia e Energia, Belo Horizonte, **Revista – Economia e Energia.** v 11, n. 66, 2008. Disponível em: <http://www.ecen.com/para_imprimir/eee66p.pdf>. Acesso em: 29 de julho de 2013.

BARROS FILHO, Roberto M. de. **Painéis aglomerado a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas ureia formaldeído e melamina formaldeído.** 2009. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais.-REDEMAT (UFOP – CETEC – UEMG). Ouro Preto, 2009.

BASTINELLI, Rosane A.G.; MARCILIO, Carolina.; LAHR, Francisco A.R. Emprego do bagaço da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. **Pesquisa e Tecnologia.** v. 5, p297-305. 2008.

BERNARDI, Renato. Reconstituição de chapas aglomerado. Centro Tecnológico do Mobiliário. **Dossiê Técnico.** Senai – RS. p-24. 2006.

BELINI, Ugo L. **Caracterização tecnológica de painéis de fibra da madeira de eucalipto, *Eucalyptus grandis*, e de partículas do bagaço do colmo de cana de açúcar, *Saccharum sp.*** 2012. 169f. Tese (Doutorado em Ciências). USP - Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba – SP. 2012.

BERTOLINI, Marília S. **Emprego de resíduo de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana a base de mamona.** 2012. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). USP - Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, 2011.

BIAZUS, André.; HORA, André B.; LEITE, Bruno G. P. Panorama de mercado: Painéis de Madeira. **BNDES Setorial.** v. 32, p. 49-90, 2010.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Institui a **Política nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, DF. 2010.

BRITO, Edvá O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus elliotti plantado no Sul do Brasil.** 1995. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.1995.

BRITO, Edvá O.; PEIXOTO, Gustavo L. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente.** v. 7, n.1, p.60 - 67, 2000.

BRITO, Edvá O. et al. **Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus.** Floresta e Ambiente, v.11, n.2, p.1-6, 2004.

BRITO, Edvá O. et al. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de Pinus elliottii Engelm com a adição das cascas de Eucalyptus pellita F. Muell. **Revista Cerne.** v. 11, n. 4, p. 369-375, 2005.

CARVALHO, Sylvia T. M. **Propriedades Térmicas do Painel Aglomerado de Bagaço de Cana de Açúcar (Saccharum officinarum L.).** 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). UFLN – Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG. 2012.

CANILHA, L.; CARVALHO, W.; ROCHA, G.J.M.; ALMEIDA E SILVA, J.B.; GIULIETTI, M. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar in natura, extraído com etanol ou ciclohexano/etanol. Bioquímica e biotecnologia. **Associação Brasileira de Química – ABQ-RN.** Natal –RN. 2007. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/11/11-570-713.htm>>. Acesso em: 29 de julho de 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Cana de açúcar. Safra de 2013/2014. Primeiro Levantamento - Abril 2013. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_29_31_boletim_cana_portugues_abril_2013_1o_lev.pdf>

CUNHA, Josilaine A. et al. Waste biomass to liquidis: Low temperature conversion of sugarcane bagasse to bio-oil. The effect of combined hydrolysis treatments. **Elsevier**. Biomass and Bioenergy. v 35. p.2106-2116, Barcelona. 2011.

BATTISTELLE, Rosane A.G.; MARCILIO Carolina; LAHR, Francisco A. R. Emprego do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. **Pesquisa e Tecnologia Minerva**. Bauru. p.297-305. 2008.

FAGUNDES, Hilton A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento da madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFRS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2003.

FIORELLI, Juliano. et al. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. **Acta Scientiarum**. Technology. v 33. p. 401-406, Maringá – PR. 2011.

FREIRE Cecília S. de. et al. Propriedades Físicas de Painéis Aglomerados Comerciais Confeccionados com Bagaço de Cana e Madeira. Departamento de Ciências Florestais – DCF, Universidade Federal de Lavras – UFLA. **Floresta e Ambiente**. p.178-185. 2011.

GUERRA, Ricardo C. **Caracterização e biodegradabilidade de lodo de estação de tratamento de água para descarte em aterro sanitário**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada). Rio Claro, 2005.

HAMERSKI, Fabiane. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar**. 2009. 142f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná. 2009.

HILLIG, Éverton.; SCHNEIDER, Vânia E.; WEBER, Cristiane.; TECCHIO, Ramon D. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de produção - ENEGEP**. Fortaleza, 2006.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Florestalis**. n. 68, p.39-43, ago. 2005a.

IWAKIRI, Setsuo. Painéis de madeira reconstituída. **FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná**. Curitiba, p.130-158. 2005.

MELO, Rafael R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MENDES. Rafael F. et al. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 22, n. 1, p. 161-170. 2012.

MENDES. Rafael F. et al. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Florestalis**. Piracicaba. v. 38, n. 86, p. 285-295. 2010.

MOTA, Suetônio. Introdução à engenharia ambiental. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES**, Rio de Janeiro, 4ª edição, p. 343, 2006.

MÓVEIS CASA VERDE. **Ache aqui a madeira certa para seus móveis**. Disponível em: < <http://moveiscasaverde.blogspot.com.br/2011/11/alguns-tipos-de-madeiras-para-seus.html>>. Acessado dia 15 de julho de 2013. 2011.

PIERRE, Fernanda C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros**. 2010. 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu – SP, 2010.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S. Utilização de bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos - REMAP**. Campina Grande, v.2, p. 27-32, 2007.

SILVA, Osmar G. **Produção de etanol com a utilização do bagaço da cana de açúcar**. 2010. 41f Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Tecnologia em Biocombustíveis. Faculdade de Tecnologia de Araçatuba. Araçatuba. 2010.

SILVA, Vanessa S.; GARCIA, Carla A.; SILVA, Clandio M. O destino do bagaço da cana de açúcar: um estudo a partir das agroindústrias sucroalcooleira do Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**. Curitiba, v.3, n.1, p. 59-76, jan.abr/2010.

SILVA, José R. S.; MATOSKI, Selma L. S.; LEONHADT, Gabriela.; CARON, José. Produção de chapas com diferentes espécies de *pinus*. **Revista da madeira**. ed.84. 2004. Acesso em 22 de março. Disponível em: <
http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=634&subject=Pain%C3%A9is&title=Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20chapas%20com%20diferentes%20esp%C3%A9cies%20de%20pinus>. Acesso em: março de 2012

SILVA, Cynthia A. **Incorporação de lodo de tratamento de água em painéis de madeira aglomerada**. 2013. 119f. Qualificação Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá – PR. 2013.

SOUZA, K. B.; ALMEIDA, K. N. S.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; GUIMARÃES NETO, R. M. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de Pinus de origem industrial e laboratorial. **Scientia Plena**. Bom Jesus, v.8, p. 1-5, 2012.

WEBER, Cristiane. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, mdf e mdp para produção de painéis aglomerados**. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba – PR. 2011.

APÊNDICE A

Densidade Fixa: $0,7 \text{ g/cm}^3$

Resina: 12%

Porcentagem de sólidos na resina segundo o fabricante: 66%

Emulsão de Parafina: 1%

Porcentagem de sólidos na emulsão de parafina segundo o fabricante: 51%

Cálculos:

1) Massa do painel:

$$m_t = \delta * V$$

Volume = $55 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$

Volume = $4537,5 \text{ cm}^3$

$$m_t = 0,7 \text{ g/cm}^3 * 4537,5 \text{ cm}^3$$

$$m_t = 3176 \text{ g}$$

2) Massa das partículas secas no painel

$$m_s = m_t * \frac{100}{pp}$$

$$m_s = 3176 \text{ g} * \frac{100}{125}$$

$$m_s = 2540,8 \text{ g}$$

3) Massa do painel com 12 % de umidade

$$mu = m_s * U_m$$

$$mu = 2540,8 \text{ g} * 1,12$$

$$mu = 2845,67 \text{ g}$$

4) Massa de sólidos na resina de UF

$$m_{sr} = m_t * \frac{\%r}{pp}$$

$$m_{sr} = 3176 \text{ g} * \frac{12}{125}$$

$$m_{sr} = 304,92 \text{ g}$$

5) Quantidade de resina na forma líquida

$$m_{rl} = m_{sr} * \frac{100}{TS}$$

$$m_{rl} = 304,92 \text{ g} * \frac{100}{66}$$

$$m_{rl} = 462 \text{ g}$$

6) Massa de sólidos na emulsão de parafina

$$m_{sep} = m_t * \frac{\%ep}{pp}$$

$$m_{sep} = 3176 * \frac{1}{125}$$

$$m_{sep} = 25,41 \text{ g}$$

7) Quantidade de parafina na forma líquida

$$m_{ep} = m_{sep} * \frac{100}{T_{sep}}$$

$$m_{ep} = 25,41 \text{ g} * \frac{100}{51}$$

$$m_{ep} = 749,82 \text{ g}$$

8) Massa de catalisador

$$m_c = m_{sr} * \frac{\%c}{100}$$

$$m_c = 304,92 * \frac{3}{100}$$

$$m_c = 9,1477 g$$

9) Massa de solução de catalizador

$$m_{sc} = m_c * \frac{100}{25}$$

$$m_{sc} = 9,1477 g * \frac{100}{25}$$

$$m_{sc} = 36,59 g$$

Os mesmos cálculos foram feitos para os tratamentos T2, T3, T4 e T5.

APÊNDICE B

DENSIDADE (kg/m ³)											
TRATAM.	LARGURA(mm)	COMPRIMENTO (mm)	ESPESSURA CENTRO	ESPESSURA 1 (mm)	ESPESSURA 2 (mm)	ESPESSURA 3 (mm)	ESPESSURA 4 (mm)	ESPESSURA MÉDIA (mm)	VOLUME (mm ³)	PESO (g)	DENSIDADE (kg/m ³)
T11	47,60	48,00	27,00	26,60	26,60	25,20	25,40	26,16	59770,37	21,16	353,99
	47,30	44,30	26,10	26,00	25,90	25,80	25,40	25,84	54144,88	18,21	336,37
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	44,90	47,70	25,80	25,50	25,70	24,60	24,80	25,28	54142,93	18,82	347,65
	47,10	47,10	26,40	26,00	25,40	26,10	25,20	25,82	57279,35	20,36	355,53
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T12	47,20	47,30	22,50	21,20	21,20	21,80	22,10	21,76	48580,51	17,53	360,78
	43,00	44,00	24,60	24,50	22,90	23,50	23,20	23,74	44916,08	15,17	337,74
	47,80	45,20	24,90	23,80	24,50	24,00	23,70	24,18	52242,34	17,14	328,18
	46,10	45,20	24,30	22,30	23,80	21,50	22,80	22,94	47800,54	14,65	306,40
	47,00	47,30	24,50	24,30	23,70	24,10	24,20	24,16	53710,10	17,17	319,75
	47,00	48,30	24,90	24,70	24,50	24,60	24,40	24,62	55889,86	15,49	277,18
T13	47,80	49,10	23,70	23,80	23,30	23,30	23,40	23,50	55154,03	19,36	351,06
	48,80	48,30	24,40	23,60	23,80	23,90	23,90	23,92	56380,40	20,13	357,08
	48,90	47,90	23,60	23,80	23,40	23,50	23,20	23,50	55044,29	18,79	341,28
	48,60	49,00	24,10	23,80	22,10	22,80	22,40	23,04	54867,46	20,15	367,17
	48,30	48,60	23,90	23,80	23,60	23,60	23,80	23,74	55726,80	18,70	335,57
	47,40	47,90	23,60	23,90	23,30	23,50	23,10	23,48	53310,40	18,12	339,86
T21	48,50	48,10	26,40	27,20	26,10	24,00	24,30	25,60	59720,96	20,55	344,16
	48,90	47,40	25,00	25,40	24,30	24,70	25,30	24,94	57807,43	18,96	328,03
	49,10	48,30	25,70	25,50	24,80	25,30	25,60	25,38	60189,43	20,58	341,92
	49,40	48,30	26,40	26,10	26,00	25,60	23,70	25,56	60986,67	20,48	335,76

	50,20	48,30	26,20	27,00	24,50	24,40	25,50	25,52	61877,32	22,01	355,63
	48,50	48,30	24,90	25,10	23,50	23,30	24,30	24,22	56736,56	19,52	344,07
T22	49,00	49,00	23,30	23,20	23,20	23,60	23,90	23,44	56279,44	20,83	370,19
	49,20	49,20	24,20	24,70	23,70	24,70	24,40	24,34	58918,38	21,83	370,55
	49,10	49,60	24,80	25,00	24,50	24,70	24,50	24,70	60153,39	23,27	386,81
	48,90	48,10	21,80	21,30	20,80	21,90	21,70	21,50	50569,94	22,07	436,37
	49,20	49,00	22,00	22,20	21,80	22,50	21,70	22,04	53134,03	23,27	438,04
	49,00	49,10	25,10	25,70	24,40	24,70	24,70	24,92	59955,03	22,93	382,47
T23	50,10	50,90	25,50	25,80	25,10	25,00	25,10	25,30	64517,28	23,93	370,89
	51,00	51,00	26,00	25,90	25,20	25,40	25,30	25,56	66481,56	25,47	383,15
	51,00	50,90	26,20	25,50	25,00	25,50	25,40	25,52	66247,37	24,57	370,92
	50,90	50,70	24,00	22,30	24,20	24,30	21,60	23,28	60077,07	19,28	320,85
	51,00	5,10	25,60	26,10	25,20	25,70	24,70	25,46	6622,15	24,44	369,02
	50,40	50,80	24,40	25,20	25,10	25,30	25,20	25,04	64110,41	22,48	350,66
T31	48,10	47,80	25,80	26,00	25,50	23,00	24,30	24,92	57295,57	14,33	250,11
	46,70	48,10	27,70	27,10	28,00	28,40	27,80	27,80	62446,31	19,85	317,94
	48,00	46,80	25,50	25,10	26,00	24,20	23,50	24,86	55845,50	16,80	300,80
	48,10	47,00	26,60	26,70	25,40	25,00	25,70	25,88	58506,92	16,82	287,41
	48,20	47,30	27,70	27,60	27,40	25,90	27,10	27,14	61875,40	19,35	312,70
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T32	48,90	48,70	25,60	25,70	25,40	26,50	25,70	25,78	61393,27	22,82	371,72
	48,40	48,90	26,60	26,20	25,80	26,50	25,40	26,10	61772,44	19,73	319,39
	48,40	48,60	24,80	24,40	23,60	25,30	25,40	24,70	58100,33	18,38	316,36
	48,10	48,40	26,30	26,00	25,60	27,40	26,30	26,32	61274,01	19,11	311,82
	48,90	48,60	25,10	24,70	24,80	25,40	25,30	25,06	59556,09	22,69	380,93
	48,00	48,90	25,80	25,30	25,50	24,40	25,00	25,20	59149,44	23,31	394,16
T33	48,90	48,60	24,20	23,70	23,80	24,00	23,50	23,84	56656,71	23,75	419,24
	48,70	48,80	23,80	23,40	23,10	23,60	23,10	23,40	55611,50	24,56	441,68
	48,80	48,90	22,10	21,90	21,10	22,50	22,90	22,10	52737,67	20,41	387,03

	48,10	48,90	24,20	23,60	23,20	23,10	22,70	23,36	54944,82	23,43	426,45
	46,80	49,50	24,20	24,60	23,90	23,40	23,40	23,90	55366,74	24,27	438,33
	48,90	48,90	23,10	22,40	22,60	20,70	21,40	22,04	52702,27	20,08	380,94
T41	50,40	51,30	21,30	21,50	20,20	20,80	20,10	20,78	53727,11	22,21	413,42
	51,10	51,20	22,10	22,50	21,40	21,80	22,00	21,96	57454,39	21,82	379,72
	51,00	51,30	21,20	21,10	20,90	20,70	21,00	20,98	54889,97	22,40	408,09
	51,10	51,20	20,70	19,60	20,40	20,40	19,80	20,18	52797,34	21,10	399,65
	50,90	51,40	23,40	23,10	23,10	24,00	23,50	23,42	61272,81	28,50	465,07
	51,20	51,90	23,10	23,30	22,70	22,80	22,70	22,92	60904,86	23,82	391,05
T42	50,10	49,90	23,20	22,30	22,10	22,30	22,40	22,46	56149,78	25,91	461,41
	49,00	49,90	21,70	21,90	21,40	21,10	21,10	21,44	52422,94	23,00	438,80
	49,40	49,70	22,80	22,70	22,70	22,30	22,60	22,62	55536,17	24,36	438,71
	49,30	49,50	22,30	22,30	22,30	21,70	21,50	22,02	53736,51	22,41	417,10
	49,70	49,80	23,10	22,30	22,20	22,50	22,00	22,42	55490,85	23,21	418,33
	49,50	50,00	22,20	22,10	21,70	21,90	22,20	22,02	54499,50	23,65	434,00
T43	49,40	50,00	20,80	20,30	20,10	20,30	20,40	20,38	50338,60	24,33	483,39
	49,20	49,90	20,80	20,40	20,40	20,50	20,10	20,44	50181,84	25,78	513,66
	49,70	50,80	20,40	2,08	19,80	19,30	20,40	16,40	41395,96	22,79	550,56
	49,80	49,20	21,50	20,80	20,40	20,90	20,80	20,88	51159,34	25,22	493,00
	50,30	49,30	21,00	20,10	20,40	19,60	20,40	20,30	50339,74	23,10	458,91
	49,00	49,60	21,30	20,40	20,10	20,50	20,80	20,62	50114,85	24,49	488,66
T51	49,30	48,50	24,00	22,40	23,40	23,20	22,40	23,08	55185,43	24,17	437,95
	49,40	48,90	24,10	23,00	22,40	22,50	21,90	22,78	55028,73	22,74	413,27
	48,80	49,00	23,90	22,20	23,00	22,20	22,60	22,78	54471,54	23,05	423,16
	49,00	49,30	22,50	19,30	21,70	22,20	22,30	21,60	52179,12	20,24	387,99
	49,30	48,80	24,20	21,80	21,60	22,30	22,70	22,52	54179,52	22,80	420,89
	49,10	49,20	24,30	22,20	22,60	24,10	24,10	23,46	56672,79	23,24	410,12
T52	48,60	48,30	19,70	18,30	18,50	20,10	20,40	19,40	45539,17	18,86	414,18
	48,40	48,40	21,80	20,80	20,10	21,20	21,40	21,06	49334,31	21,61	437,97

	48,00	48,40	22,40	21,60	20,90	21,40	21,70	21,60	50181,12	21,59	430,16
	48,30	48,40	20,20	19,20	20,60	20,90	18,00	19,78	46240,10	19,11	413,25
	48,60	48,80	22,10	21,30	21,50	21,50	21,00	21,48	50943,69	23,06	452,68
	48,20	48,60	22,70	22,00	21,40	21,10	22,60	21,96	51441,74	22,41	435,62
	48,10	48,70	22,70	21,20	19,70	19,80	22,90	21,26	49800,91	20,68	415,23
	48,70	47,30	23,80	22,80	21,80	22,50	22,30	22,64	52151,47	20,21	387,53
T53	48,70	48,20	23,50	22,30	22,20	21,60	22,00	22,32	52392,63	21,21	404,84
	48,30	48,60	23,20	20,90	22,30	22,10	21,60	22,02	51689,31	19,54	378,06
	49,00	47,70	22,80	22,00	21,30	22,10	21,50	21,94	51280,36	19,07	371,95
	48,60	48,40	22,90	22,50	22,00	19,30	21,60	21,66	50949,52	19,90	390,50

APÊNDICE C

TEOR DE UMIDADE			
TRATAMENTO	PESO UMIDO (g)	PESO SECO (g)	UMIDADE (%)
T11	21,16	18,21	16,19
	18,21	15,81	15,20
	-	-	-
	18,82	16,30	15,49
	20,36	17,73	14,84
	-	-	-
T12	17,53	15,41	13,75
	15,17	13,25	14,52
	17,14	14,95	14,72
	14,65	12,85	14,00
	17,17	15,06	14,04
	15,49	13,54	14,45
T13	19,36	16,86	14,87
	20,13	17,62	14,28
	18,79	16,41	14,51
	20,15	17,55	14,80
	18,70	16,30	14,75
	18,12	15,78	14,83
T21	20,55	17,73	15,96
	18,96	16,47	15,16
	20,58	17,83	15,45
	20,48	17,75	15,34
	22,01	18,99	15,89
	19,52	16,98	14,95
T22	20,83	18,24	14,24
	21,83	19,01	14,87
	23,27	20,28	14,71
	22,07	19,41	13,71
	23,27	20,31	14,62
	22,93	19,85	15,50
T23	23,93	20,71	15,57
	25,47	21,96	15,98
	24,57	21,30	15,34
	19,28	16,80	14,76
	24,44	21,26	14,97
	22,48	19,64	14,45
T31	14,33	12,41	15,48
	19,85	17,16	15,68
	16,80	14,61	15,01
	16,82	14,64	14,86

	19,35	16,70	15,85
	-	-	-
T32	22,82	19,82	15,12
	19,73	17,22	14,57
	18,38	16,04	14,60
	19,11	16,82	13,59
	22,69	19,91	13,97
	23,31	20,38	14,42
T33	23,75	20,83	14,06
	24,56	21,47	14,41
	20,41	17,92	13,90
	23,43	20,44	14,61
	24,27	21,18	14,58
	20,08	17,62	13,94
T41	22,21	19,65	13,02
	21,82	18,98	14,93
	22,40	19,74	13,46
	21,10	18,54	13,81
	28,50	24,32	17,18
	23,82	20,63	15,43
T42	25,91	22,07	17,42
	23,00	19,69	16,82
	24,36	20,89	16,61
	22,41	19,15	17,03
	23,21	19,99	16,13
	23,65	20,33	16,36
T43	24,33	21,24	14,54
	25,78	22,48	14,67
	22,79	19,83	14,95
	25,22	21,80	15,69
	23,10	20,17	14,54
	24,49	21,18	15,62
T51	24,17	20,71	16,71
	22,74	19,61	15,95
	23,05	19,81	16,34
	20,24	17,62	14,88
	22,80	19,70	15,73
	23,24	20,13	15,43
T52	18,86	16,65	13,27
	21,61	18,97	13,88
	21,59	18,87	14,42
	19,11	16,87	13,24
	23,06	20,14	14,50
	22,41	19,51	14,84
T53	20,68	17,72	16,73

	20,21	17,48	15,64
	21,21	18,37	15,46
	19,54	16,73	16,82
	19,07	16,65	14,55
	19,90	17,28	15,14

APÊNDICE D

TRATAM	ESPESSURA (mm)	PESO (g)	APÓS 2 HORAS		APÓS 24 HORAS		INCHAMENTO EM		ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) APÓS 2 HORAS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) APÓS 24 HORAS
			ESPESSURA (mm)	PESO (g)	ESPESSURA (mm)	PESO (g)	ESPESSURA (%) APÓS 2 HORAS	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%) APÓS 24 HORAS		
T11	25,20	18,32	27,30	33,66	28,50	36,90	8,33	13,10	83,67	101,41
	26,90	20,92	29,10	37,37	29,50	41,51	8,18	9,67	78,66	98,44
	26,00	19,50	27,80	33,54	29,00	37,87	6,92	11,54	72,05	94,25
	23,20	14,15	25,00	29,07	25,20	29,11	7,76	8,62	105,49	105,76
	25,10	17,50	26,80	33,49	27,40	33,83	6,77	9,16	91,43	93,34
	26,40	20,12	28,90	38,85	29,10	39,57	9,47	10,23	93,07	96,69
T12	22,50	17,22	25,50	29,92	25,80	32,71	13,33	14,67	73,77	89,97
	23,00	17,14	26,10	29,57	25,40	32,11	13,48	10,43	72,49	87,32
	23,30	16,86	24,90	30,00	25,20	31,93	6,87	8,15	77,97	89,45
	25,00	17,35	27,30	28,05	28,20	32,11	9,20	12,80	61,67	85,07
	24,00	17,89	25,40	28,78	26,10	32,95	5,83	8,75	60,92	84,21
	22,90	16,73	24,50	30,84	24,90	32,03	6,99	8,73	84,31	91,42
T13	24,00	20,17	25,20	30,19	26,40	34,85	5,00	10,00	49,70	72,78
	24,10	20,02	25,70	33,63	25,90	36,07	6,64	7,47	68,01	80,16
	23,10	19,12	23,80	29,16	25,20	32,70	3,03	9,09	52,48	71,01
	24,50	19,41	25,70	30,49	26,40	33,53	4,90	7,76	57,11	72,74
	24,20	19,17	25,10	28,04	26,00	31,58	3,72	7,44	46,27	64,71
	24,60	20,78	26,40	35,17	26,50	37,04	7,32	7,72	69,26	78,27
T21	25,10	18,95	27,10	39,14	27,70	40,80	7,97	10,36	106,51	115,25
	25,80	19,05	28,70	38,30	29,00	40,47	11,24	12,40	101,09	112,47
	26,20	20,80	28,30	37,76	29,20	41,28	8,02	11,45	81,49	98,40
	26,80	18,34	30,10	40,63	30,10	42,09	12,31	12,31	121,57	129,50
	27,00	21,36	29,10	38,19	30,30	46,17	7,78	12,22	78,79	116,15

	26,20	21,09	28,10	38,38	29,10	44,48	7,25	11,07	81,92	110,86
T22	21,80	22,56	24,50	36,46	24,80	43,95	12,39	13,76	61,65	94,83
	22,70	21,99	25,80	43,29	26,40	46,63	13,66	16,30	96,91	112,11
	22,50	20,65	25,20	39,65	25,90	45,04	12,00	15,11	92,02	118,11
	22,90	20,18	26,40	41,07	26,30	45,56	15,28	14,85	103,52	125,80
	22,40	23,70	24,50	40,42	25,60	43,84	9,38	14,29	70,56	84,98
	22,60	22,85	25,60	39,75	26,30	44,62	13,27	16,37	73,98	95,29
		25,00	24,62	26,80	47,53	27,70	45,94	7,20	10,80	93,06
T23	24,40	23,09	26,90	41,32	27,50	45,48	10,25	12,70	79,00	97,00
	25,30	21,73	27,20	41,79	29,10	51,79	7,51	15,02	92,29	138,33
	24,80	22,17	27,50	41,86	26,30	47,70	10,89	6,05	88,81	115,11
	25,90	26,52	28,80	45,93	27,20	46,13	11,20	5,02	73,21	73,95
	25,70	27,05	27,30	34,89	27,80	43,54	6,23	8,17	28,96	60,93
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
T31	24,00	17,54	25,90	32,41	29,50	41,31	7,92	22,92	84,82	135,57
	25,80	17,55	30,00	37,50	28,60	41,30	16,28	10,85	113,66	135,34
	24,30	17,45	26,30	30,48	26,90	36,85	8,23	10,70	74,64	111,17
	26,60	19,89	28,80	33,27	28,10	43,37	8,27	5,64	67,30	118,10
	26,70	22,13	27,90	36,68	28,20	43,80	4,49	5,62	65,79	97,94
T32	25,30	22,54	27,20	34,58	27,30	43,97	7,51	7,91	53,41	95,11
	25,10	20,96	26,00	32,08	27,60	42,53	3,59	9,96	53,07	102,92
	25,00	18,95	27,90	35,02	28,30	43,90	11,60	13,20	84,87	131,70
	25,20	20,83	27,60	39,49	27,50	45,89	9,52	9,13	89,52	120,23
	25,10	20,52	26,90	41,33	27,80	43,65	7,17	10,76	101,44	112,76
	24,50	20,44	26,40	35,97	25,70	43,21	7,76	4,90	75,97	111,37
T33	23,90	26,50	25,30	36,46	27,50	48,25	5,86	15,06	37,60	82,10
	24,00	21,97	27,00	41,43	28,20	48,37	12,50	17,50	88,52	120,11
	25,10	21,05	27,70	42,25	26,20	40,58	10,36	4,38	100,71	92,75
	22,90	19,41	25,50	32,44	26,50	44,52	11,35	15,72	67,10	129,34

	23,50	19,37	25,40	36,20	26,00	34,62	8,09	10,64	86,93	78,77
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T41	24,20	28,88	25,50	40,65	26,10	48,84	5,37	7,85	40,75	69,11
	23,60	27,20	24,80	39,09	25,30	39,29	5,08	7,20	43,71	44,44
	22,30	23,21	23,70	32,31	23,70	42,69	6,28	6,28	39,22	83,97
	23,00	30,08	23,30	35,32	25,80	46,01	1,30	12,17	17,44	52,96
	24,30	27,53	25,90	37,27	26,20	45,88	6,58	7,82	35,40	66,67
	24,40	29,17	24,50	43,13	26,70	51,06	0,41	9,43	47,83	75,02
T42	21,40	23,02	23,00	28,67	22,70	37,74	7,48	6,07	24,52	63,90
	22,00	22,44	23,20	29,00	24,20	36,61	5,45	10,00	29,20	63,11
	21,90	23,36	23,50	32,29	23,70	39,72	7,31	8,22	38,27	70,07
	21,70	23,46	22,40	29,82	23,50	38,39	3,23	8,29	27,09	63,62
	21,40	20,72	23,40	28,79	24,50	37,29	9,35	14,49	38,96	79,98
	22,10	21,11	24,30	31,29	26,00	39,25	9,95	17,65	48,20	85,91
T43	20,60	22,82	21,90	29,92	23,60	38,41	6,31	14,56	31,11	68,29
	20,40	23,92	20,70	27,67	22,00	33,01	1,47	7,84	15,71	38,02
	18,60	20,15	20,00	25,48	20,80	31,38	7,53	11,83	26,46	55,75
	21,30	25,86	24,50	38,89	25,80	47,14	15,02	21,13	50,42	82,30
	21,20	25,14	23,90	38,06	24,60	45,44	12,74	16,04	51,38	80,75
	20,80	24,83	22,50	34,22	24,10	43,26	8,17	15,87	37,81	74,21
T51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24,00	21,50	25,30	26,32	27,70	33,18	5,42	15,42	22,42	54,31
	24,70	26,10	25,10	30,40	27,60	37,16	1,62	11,74	16,47	42,35
	23,70	22,37	23,80	26,24	26,80	31,57	0,42	13,08	17,30	41,14
	22,70	18,92	23,40	23,00	25,90	28,74	3,08	14,10	21,58	51,88
T52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24,40	20,80	24,80	25,48	25,70	30,75	1,64	5,33	22,53	47,86
	23,90	21,65	24,60	25,44	26,10	30,87	2,93	9,21	17,47	42,58
	23,60	21,16	24,30	25,05	25,20	30,31	2,97	6,78	18,39	43,22

	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23,70	16,66	24,60	20,76	26,40	26,99	3,80	11,39	24,62	61,99
	24,00	20,79	25,50	25,33	26,30	31,04	6,25	9,58	21,86	49,34
	23,10	21,70	23,60	25,39	25,20	30,34	2,16	9,09	16,99	39,79
	23,20	19,20	24,60	23,27	26,20	28,68	6,03	12,93	21,22	49,40
T53	21,30	17,58	22,30	21,40	24,20	26,58	4,69	13,62	21,72	51,17
	22,70	18,97	24,10	23,14	26,30	28,81	6,17	15,86	21,93	51,86
	22,80	19,96	24,00	24,16	26,10	28,84	5,26	14,47	21,04	44,47
	22,90	22,04	24,40	26,35	26,30	31,40	6,55	14,85	19,58	42,49

APÊNDICE E

MÓDULO DE RUPTURA					
TRATAMENTOS	P (N)	D (mm)	B (mm)	E (mm)	MOR (Mpa)
T41	140	200	50	20	2,1
T41	124	200	50	20	1,86
T41	104	200	50	20	1,56
T41	141	200	50	20	2,115
T42	114	200	50	20	1,71
T42	128	200	50	20	1,92
T42	66	200	50	20	0,99
T42	146	200	50	20	2,19
T43	162	200	50	20	2,43
T43	141	200	50	20	2,115
T43	127	200	50	20	1,905
T43	107	200	50	20	1,605
Média MOR=					1,875

APÊNDICE F

MÓDULO DE ELASTICIDADE						
TRATAMENTOS	P1 (N)	D (mm)	d (mm)	B (mm)	E (mm)	MOE (Mpa)
T41	-	200	-	50	20	-
T41	100	200	2,4	50	20	833,33
T41	90	200	3	50	20	600,00
T41	100	200	2,4	50	20	833,33
T42	100	200	2,3	50	20	869,57
T42	105	200	1,8	50	20	1166,67
T42	60	200	1,4	50	20	857,14
T42	120	200	3	50	20	800,00
T43	125	200	2,1	50	20	1190,48
T43	115	200	2,6	50	20	884,62
T43	70	200	1,4	50	20	1000,00
T43	75	200	1,8	50	20	833,33
Média MOE=						897,13