



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM E FIBRAS DE
CAROÁ EM PAINÉIS DE MÉDIA DENSIDADE - MDF**

ANA FLÁVIA CÂMARA BEZERRA

**Campina Grande
2011**

Ana Flávia Câmara Bezerra

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM E FIBRAS DE
CAROÁ EM PAINÉIS DE MÉDIA DENSIDADE - MDF**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Engenharia
de Materiais como requisito parcial à
obtenção do título de MESTRE EM
CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

Orientadora: Prof^a. Dr^a. LISIANE NAVARRO DE LIMA SANTANA

Co-Orientador: Prof. Dr. GELMIREN DE ARAÚJO NEVES

Agência Financiadora: CAPES

**Campina Grande
Fevereiro de 2011**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

B574i Bezerra, Ana Flávia Câmara.

Incorporação de resíduo de caulim e fibras de caroá em painéis de média densidade - MDF / Ana Flávia Câmara Bezerra. — Campina Grande, 2011.

89 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.
Orientadores: Prof.^ª Dr.^ª Lisiane Navarro de Lima Santana, Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves.

Referências.

1. Fibra Vegetal. 2. Resíduo de Caulim. 3. Compósitos. 4. Fibras Naturais. I. Título.

CDU 677.1/.2:666.321(043)

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM E FIBRAS DE CARÓIA EM
PAINÉIS DE MÉDIA DENSIDADE – MDF.

Ana Flávia Câmara Bezerra

Dissertação Aprovada em 09/02/2011 pela banca examinadora constituída dos
seguintes membros:



Dr^a. Lisiane Navarro de Lima Santana

Orientadora

UAEMa – UFCG



Dr. Gelmires de Araújo Neves

Co-Orientador

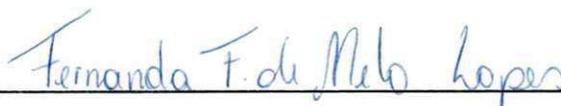
UAEMa – UFCG



Dr^a. Laura Hecker de Carvalho

Examinadora Interna

UAEMa - UFCG



Dr^a. Fernanda Fernandes de Melo Lopes

Examinadora Externa

CCTA - UFCG

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Vários fatores são imprescindíveis para a realização de um trabalho de dissertação. Um deles é a ajuda e a boa vontade de técnicos, professores, pesquisadores e amigos. Por isso, devo agradecer:

Ao apoio do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais - PPG-CEMat - da UFCG, como também dos professores que contribuíram com minha formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À profa. Dra. Lisiane Navarro e ao prof. Dr. Gelmires Neves, orientadora e co-orientador desta dissertação, pelo empenho, sabedoria e compreensão. Gostaria de ratificar a competência de ambos, que me auxiliaram por meio de discussões, revisões e sugestões, tornando possível a conclusão deste trabalho.

Aos Laboratórios de Caracterização, Reciclagem e Processamento de materiais do PPG-CEMat com seus técnicos e pesquisadores, em especial à Wilma, Kegenaldo, Andréa, Isabelly, Suellen, Ana Maria e Seu Everaldo e ao Laboratório de Química e Biomassa de Resíduos Sólidos da Unidade Acadêmica de Engenharia Química.

À empresa Armil - Mineração do Nordeste na pessoa de Ubiratan Campos; à Beneficiadora Fibraplac, na pessoa de José Adelino; às indústrias Hexion Química Indústria e Comércio Ltda., na pessoa de Edmir Adam e à Fibraplac, representadas pelos engenheiros Thiago Nonnemacher e Marco Antonio Dangui.

Aos membros da banca avaliadora.

Aos amigos e colegas da PPG-CEMat, em especial a Joseane, Munique, Jean Pierre, Polyana, Taciana, Anna Sylvia e Greyce.

Aos meus pais e irmã que diariamente se envolveram nesta pesquisa e me apoiaram de forma singular, ultrapassando seus conceitos.

Aos demais amigos que, desde o princípio desta Pós Graduação, torceram e contribuíram com esta vitória.

BEZERRA, A.F.C. Incorporação de resíduo de caulim e fibras de caroá em painéis de média densidade - MDF. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2011. 89 p.

RESUMO

Os painéis de média densidade são compósitos moldados sob alta temperatura e pressão que apresentam propriedades físicas e mecânicas similares aos da madeira maciça. Sua composição geralmente envolve fibras de eucalipto *grandis* e pinus *elliottii*, porém outros tipos podem ser estudadas. O objetivo deste trabalho foi confeccionar compósitos do tipo MDF com fibras de caroá incorporando resíduo de caulim e comparar as propriedades físicas, químicas e mecânicas destes painéis com outros comerciais, produzidos com fibras de eucalipto e pinus. O resíduo e as fibras foram submetidos aos seguintes ensaios de caracterização: difratometria de raios-X, análise química, análise térmica diferencial, análise térmica gravimétrica e análise granulométrica. Através do processo de prensagem foram confeccionados corpos de prova, utilizando composições contendo resíduo e fibras. Os corpos de provas foram avaliados através dos ensaios de resistência à flexão em três pontos, resistência à tração, absorção de água/inchamento em espessura, densidade e teor de umidade. De acordo com os resultados analisados, conclui-se que os compósitos que possuem fibra de caroá são mais densos do que o compósito de MDF comercial. As amostras que não possuem o resíduo apresentam menores teores de inchamento e de absorção de água, assim como, menores propriedades de flexão e tração. As propriedades dos compósitos estudados estão de acordo com a norma da ABNT 15316, permitindo o uso da fibra de caroá para a confecção de compósitos de painéis de média densidade.

Palavras chave: Compósitos - Fibras naturais - Resíduo de Caulim

BEZERRA, A.F.C. **Incorporation of kaolin waste fiber and expensive in Medium density fibreboard - MDF**. Thesis (Masters). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2011. 89 p.

ABSTRACT

Medium-density panels are composites molded under high temperature and pressure which have physical and mechanical properties similar to those of solid wood. Their composition includes eucalyptus grandis fibers and pinus elliotii fibers, but other fibers can be used such as caroá fibers. The goal of this work was to manufacture panels which kaolin waste and caroá fibers and compare their physical, chemical and mechanical of these panels with a commercial panel produced with eucalyptus and pine. Both residue and the fibers were characterized by: X-ray diffraction, chemical analysis, differential thermal analysis, thermal gravimetric analysis and sieve analysis. The specimens were prepared by molding using compositions containing residue and fibers. Test samples were evaluated by three point bending, internal bond, water absorption / swelling in thickness, density and moisture content. Results indicate that the composite panels manufactured which caroá fibers are more dense compared than the commercial MDF composite pannel. Samples that do not have the kaolin had lower water absorption and swelling, as well as lower flexural and tensile properties flexion. The properties of the composites comply to ABNT 15316, rules allowing caroá fibers the manufacture of MDF composite.

Keywords: Composites - Natural fibers - Waste Kaolin

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Composição da madeira	18
Figura 2	Cadeia produtiva da madeira	19
Figura 3	Diagrama ABIPA sobre consumo de madeira reconstituída no Brasil	21
Figura 4	A) Toras de eucalipto descascadas B) Manuseio das toras de eucalipto C) Toras de pinus descascadas D) Fragmentação da matéria prima.....	23
Figura 5	A) Mistura das estilhas B) Armazenamento de estilhas C) Incorporação da resina e da parafina D) Incoladeira mecânica.....	24
Figura 6	A) Aspecto visual da fibra B) Sala de controle de espessura C) Prensagem à quente.....	25
Figura 7	A) Processo de acabamento dos painéis B) Painéis de MDF empilhados em blocos.....	26
Figura 8	Produção de caulim no Brasil x mundo	38
Figura 9	Localização de caulim no território brasileiro	38
Figura 10	Diagrama de fluxo simplificado e genérico para o beneficiamento de caulim por via úmida	40
Figura 11	Diagrama das etapas de beneficiamento de caroá	44
Figura 12	A) Caroá B) Extração e corte manual do caroá C) Secagem do caroá a céu aberto D) Desfibramento E) Tesouramento F) Fibras de caroá G) Batimento H) Fardos de fibras de caroá.....	44
Figura 13	A) Mistura das matérias primas B) Prensagem a frio C) Prensagem a quente.....	54
Figura 14	A) Corte do corpo de prova B) Acabamento na lixa do corpo de prova C) Aspecto visual final dos corpos de prova.....	55
Figura 15	Corpo de prova para ensaio de densidade	57
Figura 16	Detalhe do ensaio de flexão	59
Figura 17	Detalhe do ensaio de tração	60

Figura 18	Análises térmica diferencial e gravimétrica das fibras de eucalipto e pinus.....	63
Figura 19	Análises térmica diferencial e gravimétrica da fibra de caroá	63
Figura 20	A) Difratoograma de raios-x das fibras de eucalipto e pinus B) Difratoograma de raios-x da fibra de caroá	64
Figura 21	A) Espectroscopia de infravermelho das fibras de eucalipto e pinus B) Espectroscopia de infravermelho da fibra de caroá	65
Figura 22	Análises térmica diferencial e gravimétrica do resíduo de caulim.....	66
Figura 23	Difração de raios-x do resíduo de caulim.....	66
Figura 24	Representação da distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo de caulim	67
Figura 25	Espectroscopia do resíduo de caulim	68
Figura 26	Valores médios de densidade dos compósitos 1C - fibras de eucalipto e pinus; 2 C – fibras de eucalipto, pinus e resíduo de caulim; 4 C – fibras de caroá e 6 C – fibras de caroá e resíduo de caulim.....	69
Figura 27	Valores médios de teor de umidade dos compósitos 1C - fibras de eucalipto e pinus; 2 C – fibras de eucalipto, pinus e resíduo de caulim; 4 C – fibras de caroá e 6 C – fibras de caroá e resíduo de caulim.....	70
Figura 28	A) Valores médios de inchamento em espessura B) Valores médios absorção de água.....	71
Figura 29	A) Gráficos de tensão x deformação do ensaio de flexão para os compósitos com fibras de eucalipto e pinus B) Gráficos de tensão x deformação do ensaio de flexão para os compósitos com fibras de caroá.....	70
Figura 30	A) Tensão x deformação ensaio de tração para compósitos com fibras de eucalipto e pinus B) Tensão x deformação ensaio de tração para compósitos com fibras de caroá.....	71

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1	Esquema dos ensaios de caracterização das fibras e do resíduo de caulim	47
Tabela 1	Planejamento experimental das matérias prima	53
Quadro 2	Esquema dos ensaios de avaliação dos corpos de prova	56
Tabela 2	Composição química das fibras de eucalipto, pinus e caroá	61
Tabela 3	Composição química do resíduo de beneficiamento do caulim	62
Tabela 4	Médias da força, tensão e módulo de elasticidade obtidos no ensaio de flexão	74
Tabela 5	Limite de resistência à tração, módulo elástico e carga máxima à tração	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATD	Análise Térmica Diferencial
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento
DNPM	Distribuição Nacional de Produção Mineral
DRX	Difratometria de Raios x
DTG	Termogravimetria Derivada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FF	Fenol-Formaldeído
FTIR	Espectroscopia de infravermelho
ISO	International Organization for Standardization
MDF	Painel de Fibras de Média Densidade
MDI	Difenil Metano Di-isocianato
MDP	Painel de Partículas de Média densidade
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF	Melamina-Formaldeído
MUF	Melamina-Ureia-Formaldeído
NBR	Norma Brasileira
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
UF	Ureia-Formaldeído
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
# 200	Peneira ABNT n° 200

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 OBJETIVOS DO TRABALHO	15
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Justificativa	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Produtos Madeireiros	17
2.1.1 Aspectos gerais da química da madeira	17
2.1.2 Cadeia produtiva da madeira	19
2.2 Placa de fibra de média densidade - MDF	21
2.2.1 Processo de produção do MDF	22
2.2.2 Requisitos normativos de propriedades físico-mecânicas para painéis MDF	26
2.2.3 Variáveis que comprometem as propriedades dos painéis de MDF	27
2.2.4 Eucalipto e pinus	29
2.2.5 Adesivos	31
2.2.6 Incorporação de fibras vegetais e resíduos industriais na produção de compósitos	32
2.3 Caulim	36
2.3.1 Beneficiamento	40
2.3.2 impactos gerados pelo resíduo de caulim	42
2.4 Caroá	44
2.4.1 Beneficiamento da fibra de caroá	44

3	MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1	Materiais	47
3.2	Métodos	47
3.2.1	Ensaio de caracterização	48
3.2.2	Corpos de prova	52
3.2.3	Confeção dos corpos de prova	54
3.3	Ensaio de avaliação dos corpos de prova	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Caracterização das fibras e do resíduo de caulim	61
4.2	Ensaio físico	68
5	CONCLUSÃO	77
6	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	80
	REFERÊNCIAS	81
	REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS	89

INTRODUÇÃO

O MDF é um produto recente, fabricado pela primeira vez no início dos anos 60 nos Estados Unidos. Na década de 70 chegou à Europa e, no Brasil, a primeira indústria iniciou sua produção no segundo semestre de 1997 (GUEDES, 2008, p. 124).

Dias (2007) ressalta que o MDF é fabricado através da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e outros aditivos, moldado sob alta temperatura e pressão. O MDF possui boa consistência e algumas características mecânicas próximas às da madeira maciça. A maioria dos seus parâmetros físicos de resistência são superiores aos da madeira aglomerada.

Conhecido como um material ecológico, o MDF faz uso da madeira reflorestada e surgiu como opção em substituição à madeira, já que esta vem sendo, muitas vezes, explorada de forma inadequada. Melo (2009) afirma que os painéis de MDF suprem uma reconhecida necessidade da madeira serrada (proporções geométricas que se caracterizam normalmente por maior comprimento que largura), ampliando a sua superfície útil por meio da expansão de uma de suas dimensões (a largura), para assim aperfeiçoar a sua aplicação.

Melo ainda afirma que outros benefícios podem ser destacados, dentre eles: menor exigência na escolha da matéria-prima, maior homogeneidade ao longo das peças, redução da anisotropia e eliminação de defeitos como nós, defeitos provenientes da secagem da madeira, entre outros.

Devido à sua melhor usinabilidade, estabilidade dimensional e características superficiais, Prakash *et al.* (2009) afirmam que os painéis têm vantagem sobre madeira em diversas aplicações. O material destaca-se por ser homogêneo e pode ser pintado, laqueado, cortado, lixado, colado, parafusado, encaixado e moldurado. Devido à sua resistência mecânica e estabilidade é possível obter acabamentos excelentes em móveis, rodapés, peças de artesanatos, molduras e forros.

Apesar das características positivas apresentadas, existe receio quanto ao uso da resina de formaldeído nas resinas empregadas na confecção do MDF e os riscos de saúde envolvidos. Logo, novas resinas menos nocivas estão sendo desenvolvidas em pesquisas. Existem ainda aspectos restritivos que devem ser enfatizados, como o fato de que o produto não deve ser exposto à ação da água nem a ambientes com umidade excessiva.

Com o intuito de aprimorar os painéis de MDF e contribuir para a redução do impacto ambiental, pensou-se em incorporar resíduo de caulim à formulação. O caulim é uma argila de cor branca, formada por silicatos de alumínio hidratado, de vasta aplicação industrial. Por geralmente ocorrer associado a impurezas, o mesmo necessita passar por processos de beneficiamento para atender às especificações de mercado. (COSTA *et al.* 2006, p. 1).

Tradicionalmente os resíduos de caulim são descartados em aterros e, comumente, jogados diretamente no meio ambiente, sem qualquer processo de tratamento ou imobilização. Todavia, alternativas de reciclagem e/ou reutilização devem ser investigadas e, sempre que possível, implementadas (TULYAGANOV *et al.*, 2002, p.313 & RAUPP-PEREIRA *et al.*, 2006, p. 174).

Nacionalmente, os painéis de MDF são fabricados nas regiões Sul e Sudeste do país. O principal motivo para este fato é a localização do reflorestamento de árvores voltadas para esta produção - eucalipto e pinus. As regiões Norte e Nordeste são desprovidas de tais plantações, porém possuem outras culturas que servem de alternativa, como as fibras de caroá, curauá, sisal, bagaço de cana, piaçava e coco.

Ribeiro (2007) afirma que a *Neoglaziovia variegata*, conhecida como caroá, é encontrada no Semiárido do Nordeste do Brasil. No século passado sua produção era voltada para as indústrias têxteis. Atualmente, tem se voltado para a fabricação artesanal. Em geral, referências sobre o caroá são escassas, o que dificulta uma maior apresentação de referências neste trabalho.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Confeccionar painéis do tipo MDF com fibras de caroá incorporando resíduo de caulim e comparar as propriedades físicas, químicas e mecânicas destes painéis com outros produzidos com fibras de eucalipto e pinus.

1.2 Objetivos Específicos

- 1.2.1 Confeccionar corpos de prova buscando reproduzir painéis de MDF;
- 1.2.2 Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis em função da composição e fundamentadas nas normas ABNT NBR 15316 (partes 1, 2 e 3);
- 1.2.3 Comparar os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis obtidos com fibras de caroá, eucalipto e pinus.

1.3 Justificativa

O interesse em incorporar fibras vegetais em compósitos está cada vez mais crescente e envolve o fato delas fornecerem considerável resistência aos compósitos. Entre as fibras estudadas para esta aplicação encontram-se as de sisal, caroá e coco.

A seleção da fibra de caroá para esta pesquisa foi baseada no fato desta poder ser explorada durante o ano todo na região Nordeste, aliada ao interesse de se verificar a possibilidade de melhoramento físico e mecânico dos painéis através da sua incorporação. A preocupação de utilizar fibras vegetais de caroá na produção de painéis de compósitos também apresenta vantagens econômicas, sociais e ecológicas, pois faz uso de extração de uma matéria-prima natural que pode levar à melhoria de vida das comunidades locais e ser mais uma alternativa no segmento de painéis, principalmente na região Nordeste.

A possibilidade de utilizar resíduo sólido (oriundos do beneficiamento do caulim), inadequadamente descartados em lixões, aterros sanitários, rios, pátios de indústrias e à margem de estradas, que ocasionam deterioração da qualidade ambiental também motivou este trabalho de pesquisa. Além disso, a produção de um compósito à base de resíduo de caulim poderá ser mais uma alternativa no segmento de painéis.

O aproveitamento dos resíduos de caulim, equivalente de 40% à 70% da matéria bruta, além de contribuir para redução dos impactos ambientais, também poderá gerar renda e postos de trabalho, o que reflete positivamente nos âmbitos técnico, econômico, social e ambiental, sendo assim uma alternativa de reciclagem, agregação de valor e adequada destinação dos resíduos, mitigando riscos à saúde da população e ao meio ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produtos Madeireiros

Segundo Marcarti (1992) a madeira é produto de um sistema biológico complexo - a árvore -, e como tal é um material altamente variável. Sua estrutura anatômica, bem como suas propriedades físicas, químicas e mecânicas variam de espécie para espécie, e mesmo de uma parte para outra na mesma árvore.

A madeira possui uma função ecológica importante, uma vez que integra efetivamente a composição de florestas e influencia o ambiente de diversas maneiras, tais como: manutenção do clima, constituição de abrigo para a fauna, proteção das nascentes de rios, além de servir como ambiente para recreação e ser fonte de produção de sementes e alimentos¹ (TARCÍSIO, 2008).

Rampazzo & Sponchiado (2000) afirmam que a exploração inadequada de madeira tem levado à escassez da mesma. Com o crescimento da conscientização ambiental e, principalmente, após a instituição da Norma ISO 14.000, as atividades madeireiras extrativistas passaram a ser mais controladas e, com isso, a madeira proveniente de manejo sustentável ganhou certa notoriedade

2.1.1 Aspectos gerais da química da madeira

A composição química dos componentes da madeira varia entre as diferentes espécies de plantas e dentro da mesma espécie, a partir de diferentes localizações geográficas, idades, clima e condições do solo, bem como em partes diferentes da mesma planta (JAMES & HAN, 1997, p.345).

¹ Informação retirada de <http://www.conhecendoamadeira.com/articles/109/1/Ecologia-da-madeira/Page1.html>. Acesso em 15 nov, 2009

Basicamente, a madeira é composta por água e matéria seca; a matéria seca por componentes extrativos, minerais e lignocelulósicos. Os extrativos são compostos de baixo peso molecular que englobam óleos, graxas e corantes. Junto com os minerais, os extrativos são componentes que, durante o ensaio de composição química, devem ser removidos para não influenciar a estimativa do teor lignocelulósicos da madeira.

Como pode ser observado no diagrama de composição química (Figura 1), os lignocelulósicos são formados por lignina e holocelulose. A holocelulose por celulose e, em maior proporção, por hemicelulose.

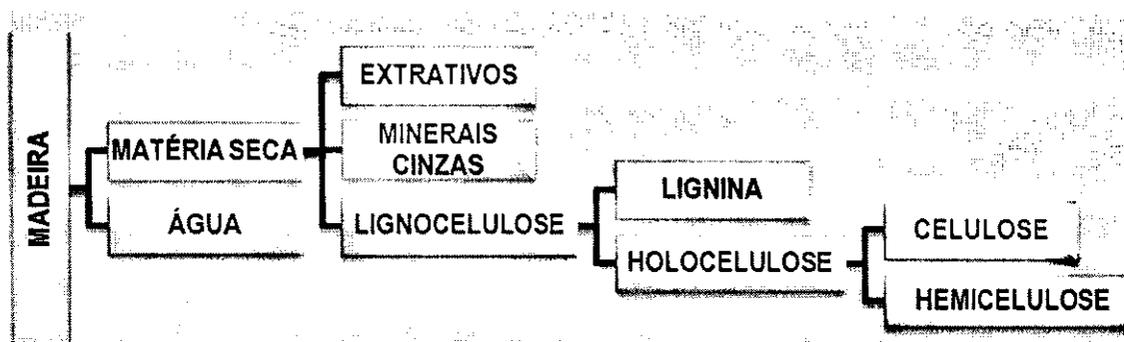


Figura 1 - Composição da madeira

Alvarenga (2007) a celulose é o principal constituinte dos organismos vegetais, embora seja encontrada também em alguns organismos do reino animal, sendo o composto orgânico mais abundante e disponível na biosfera e o principal componente da parede celular dos vegetais. Craig & Clemons (2005) reforça que, além da celulose ser o principal componente estrutural das fibras naturais, ela também fornece estabilidade, força e rigidez estrutural da planta.

Segundo Budziak *et al.* (2004) e Craig & Clemons (2005), a lignina pode ser definida como um biopolímero tridimensional, aromático, hidrofóbico, altamente ramificado e amorfo que atua como ligante químico dentro e entre as fibras além de possuir um variado número de grupamentos funcionais de estrutura complexa (grupos éteres alifáticos e aromáticos, álcoois benzílicos, álcoois primários e secundários, grupos carbonila de aldeídos, cetonas e ésteres e fenóis), baseadas na unidade fenilpropânica.

Hemicelulose é um termo genérico utilizado para classificar polissacarídeos presentes nas células vegetais, com exceção da celulose. Segundo Siqueira (2008), exemplos típicos de hemiceluloses são as polioses, que representam polissacarídeos formados principalmente por pentoses e hexoses e pectinas.

2.1.2 Cadeia Produtiva da Madeira

Baseado em Santos *et. al.* (2002), foi elaborado o esquema da cadeia produtiva da madeira. A cadeia inicia com as toras da madeira, que servem de combustível ou para fins industriais. Neste último caso, as toras são serradas e viram painéis, que podem ser de madeira sólida (compensados e lâminas) ou reconstituída (aglomerados, MDF, chapas de fibra, por exemplo), como pode ser visto na Figura 2.

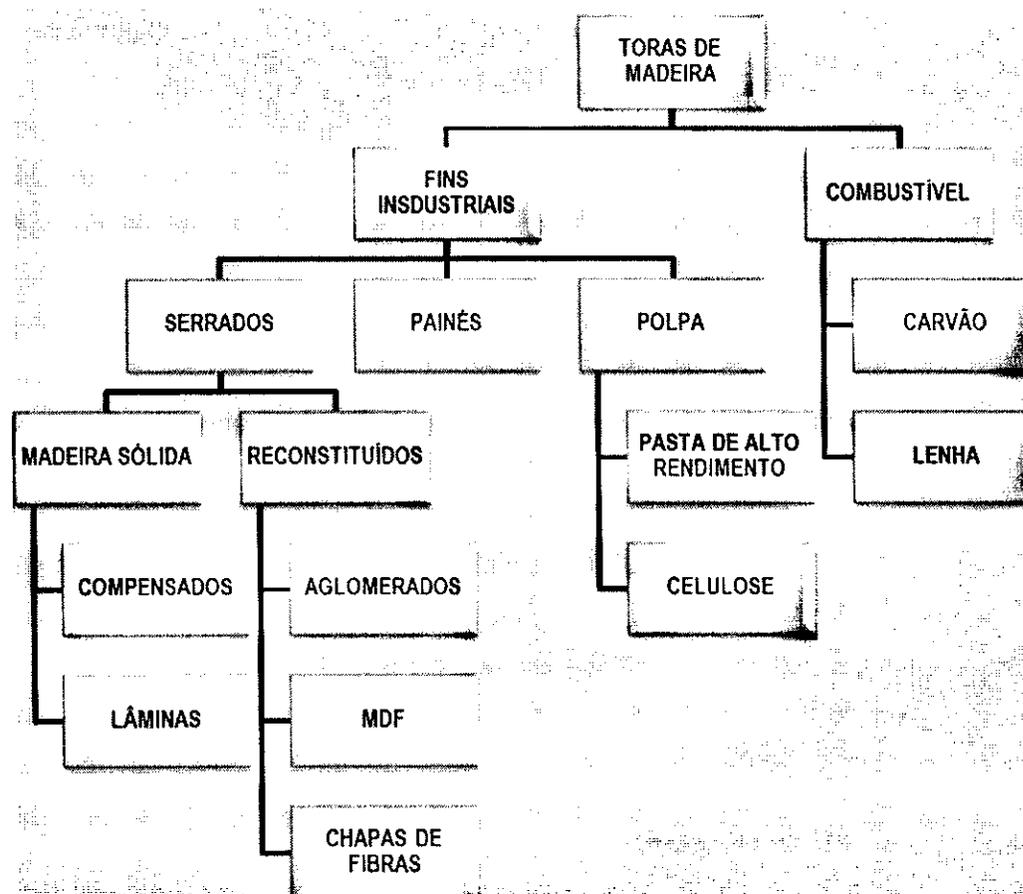


Figura 2 - Cadeia produtiva da madeira

Os painéis de madeira reconstituída são assim nomeados por serem produzidos a partir de partículas ou fibras de madeira reflorestada, geralmente do tipo eucalipto e pinus. A técnica de processamento deste tipo de painel envolve a redução da madeira sólida e sua reconstituição com a utilização de adesivos e calor, transformando-a em um produto de características diferenciadas da matéria-prima que lhe deu origem, conferindo-lhe vantagens que o produto original não apresentava.

O setor mundial de painéis de madeira reconstituída apresentou grande desenvolvimento nos últimos 10 anos, crescendo de pouco mais de 1,5 milhões de m³/ano em 1999 para cerca de 8,1 milhões de m³/ano em 2009, ou seja, um crescimento de 500% no período (FONSECA, 2009, p. 22).

Estudo realizado por profissionais vinculados ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES em 2008 e nomeado de "*Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas*" defende que o setor de painéis de madeira apresenta intenso dinamismo no mundo e, em especial, no Brasil. Este mercado vem sofrendo variações que se devem principalmente aos seguintes fatores:

- Busca de materiais alternativos à madeira maciça;
- Modernização tecnológica do parque fabril, fatos estes que têm proporcionado a oferta de novos produtos, como os painéis de OSB - *oriented strand board*;
- Melhoria da qualidade com a evolução do aglomerado para MDP - painéis de partículas de madeira de média densidade;
- Redução dos juros e melhoria da renda, que deram forte impulso à construção civil e ao setor de móveis, ambos consumidores de painéis de madeira.

A Figura 3 apresenta um diagrama da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA) sobre o consumo dos principais tipos de painéis de madeira reconstituída no Brasil: aglomerado, compensado, MDF, Chapa dura e OSB. Observa-se que o maior consumo da madeira reconstituída é voltado para o aglomerado, seguido do compensado com 24% e do MDF com 20%.

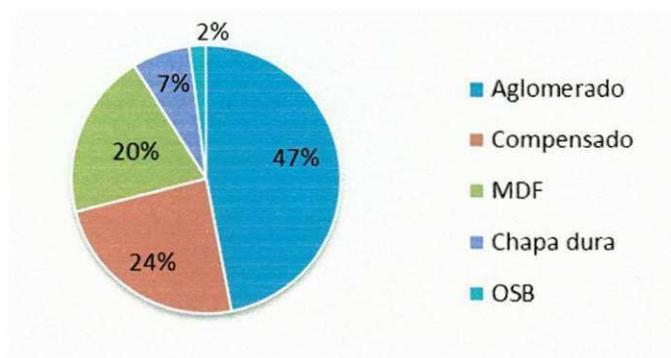


Figura 3 - Diagrama da ABIPA sobre o consumo de madeira reconstituída no Brasil. FONTE: ABIPA

2.2 Placa de fibra de média densidade - MDF

O MDF é um material derivado da madeira, fabricado através da combinação de fibras de madeira com resina sintética e outros aditivos. Campos (2003) afirma que, em relação à madeira maciça, as vantagens justificam o emprego dos painéis de MDF são: resistência mecânica, elevada disponibilidade de matéria-prima, associada ao aspecto renovável da fonte, reciclabilidade e menor demanda energética para a produção, transporte e instalação.

O mesmo autor ressalta que a maioria dos defeitos inerentes à anatomia da madeira, como nós, presença de medula, grã desalinhada e tensões de crescimento, podem ser eliminados durante o processo de fabricação dos painéis, obtendo-se um produto final com características dependentes apenas das variáveis envolvidas no processo de fabricação. Além disso, outras propriedades desejáveis podem ser adicionadas ao material, como por exemplo, resistência ao fogo e a biodeterioração, expandindo assim a gama de aplicações do produto.

Comercialmente os painéis de MDF são classificados como *high density panels* (HDF): chapa com densidade $\geq 800 \text{ kg/m}^3$; *Standard* (padrão): chapa com média densidade $> 650 \text{ kg/m}^3$ e $< 800 \text{ kg/m}^3$ (MDF mais comercializado); *light*: chapa com baixa densidade > 550 e $\leq 650 \text{ kg/m}^3$ e *ultra light* chapa com densidade muito baixa ≥ 450 e $\leq 550 \text{ kg/m}^3$.

Além da variação de densidade, as espessuras das placas variam de 3mm até 60mm, sendo as grossas utilizadas como elementos estruturais e indústria moveleira (BARDINI, 2008, p. 16), já as mais finas são utilizadas para fins decorativos na arquitetura.

Albuquerque (2009) explica que a indústria de painéis está em bom momento e a previsão é de que esta fase positiva continue nos próximos anos. Alguns fatores estão influenciando positivamente o setor, como o aumento do poder de compra da população, o crescimento da construção civil e a maior facilidade na obtenção do crédito ao consumidor. A ABIPA prevê para 2010 um incremento de 66% na produção de painéis em relação à capacidade do ano de 2009 no Brasil.

O BNDES considera o país o oitavo maior produtor mundial de painéis de madeira reconstituída e nono maior mercado consumidor. Nacionalmente existem seis empresas que dominam o mercado, dentre as quais incluem estas: Duratex, a Tafisa, a Placas do Paraná e a Masisa retendo 85% da capacidade instalada, todas localizadas nas regiões Sudeste e Sul do país.

2.2.1 Processo de produção do MDF

Segundo o laudo técnico da indústria Fibraplac, empresa localizada no município de Glorinha - Rio Grande do Sul, que fabrica painéis de MDF, a composição dos painéis limita-se a 83,5% de fibra de madeira, 9% de resina, 0,5% de parafina e 7% de água. Dos 83,5% de fibra, 50% são compostos por fibras do tipo eucalipto *grandis* e 50% do tipo pinus *elliottii*, tal porcentagem pode variar de 30 à 70%, respectivamente, objetivando redução de custos.

A Figura 4 apresenta o início do processo de produção dos painéis de MDF que inicia com o transporte das toras de eucalipto e pinus e finaliza com a fragmentação das toras.

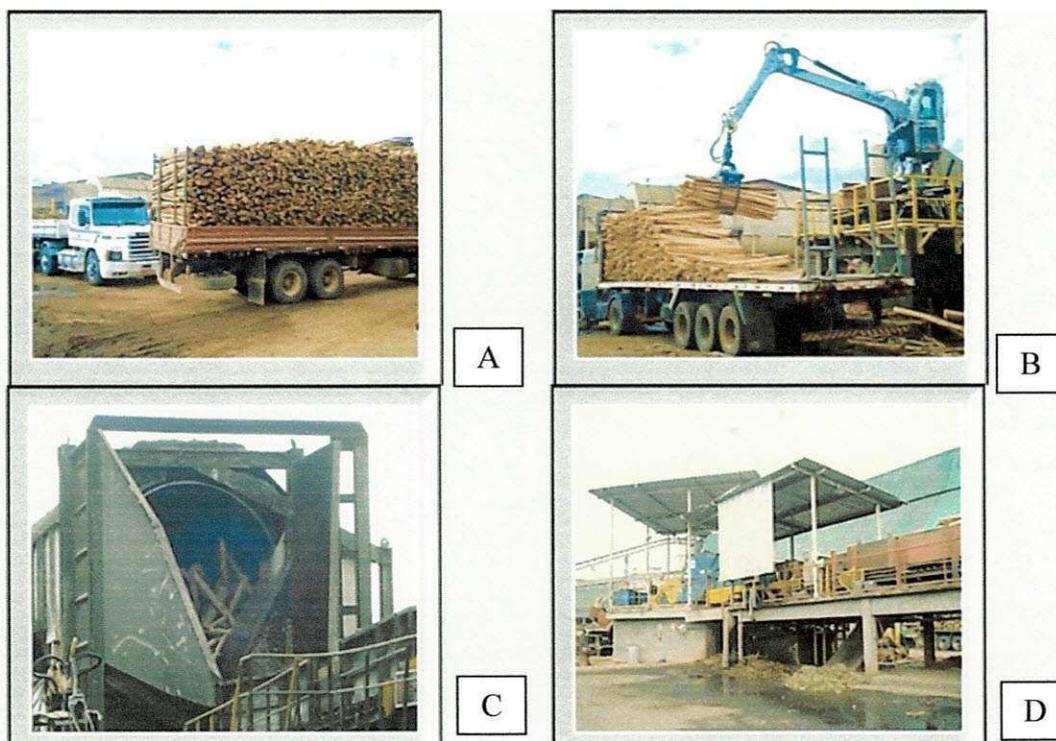


Figura 4 – A) Toras de eucalipto descascadas B) Manuseio das toras de eucalipto C) Toras de pinus descascadas D) Fragmentação da matéria prima
Fotos de Ana Caroline Câmara Bezerra

As toras de eucalipto e pinus são colhidas entre 6 e 8 anos após o plantio. As do tipo eucalipto são adquiridas já descascadas; as de pinus precisam ser passadas em um descascador e, através do impacto entre as toras, adquirem a forma de estilha. Através de um fragmentador as toras de eucalipto também são transformadas em estilha.

Por crivagem as estilhas são selecionadas. Suas formas não influenciam a qualidade final dos painéis, pois as mesmas são transformadas em fibras. Através do peneiramento, as maiores estilhas são separadas, e, em seguida, retornam ao fragmentador para novamente serem fragmentadas. Parte das toras, relativas às cascas da madeira e as estilhas, com dimensão menor que 5mm, servem como fonte de energia utilizada durante o processo de produção dos painéis de madeira.

As imagens da Figura 5 A e B apresentam a etapa de mistura e armazenamento das estilhas. As estilhas de eucalipto e pinus são misturadas nas proporções desejadas e cozidas sob pressão com vapor. O cozimento

torna os pequenos pedaços de madeira maleáveis, devido ao amolecimento da lenhina fixadora das fibras, tornando mais fácil a desfibração. Esta ocorre no desfibrador, que consiste em dois discos que forçam a passagem da estilha através de sulcos, transformando-a em pequenas fibras.

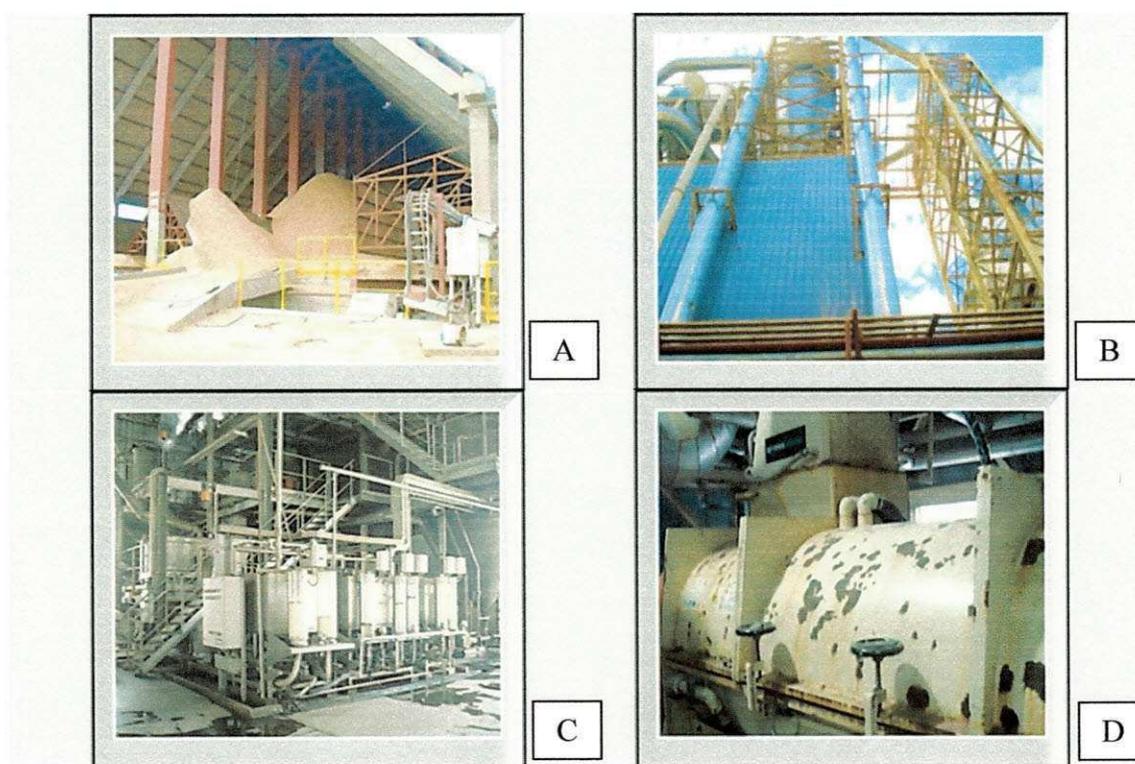


Figura 5 – A) Mistura das estilhas B) Armazenamento de estilhas C) Incorporação da resina e da parafina D) Incoladeira mecânica

Fotos de Ana Caroline Câmara Bezerra

A imagem da Figura 5 B ilustra a etapa de incorporação da resina e parafina no processo fabril dos painéis de MDF. A resina à base de ureia-formol e a parafina são preparadas e incorporadas por injeção em spray diretamente na tubagem (*blowline*), que, sob condições turbulentas, garante uma mistura eficaz. Para evitar manchas indesejáveis nos painéis, devido à alta temperatura da resina, a mistura é dosada e mantida em água gelada através de uma incoladeira mecânica, como pode ser visto na imagem da Figura 5 D..

Todo o material é seco através de transporte pneumático com gases quentes (normalmente ar entre 140 e 170°C), separando as fibras do vapor. O teor de umidade final nas fibras é ajustado entre 9% e 11%, regulando a temperatura de saída do secador.

A Figura 6 apresenta as etapas de formação do colchão de MDF. Esta se inicia com o transporte pneumático das fibras do silo para a formadora, que é o equipamento que forma a manta de fibras. As fibras são dispostas uniformemente sobre uma tela e depois é aplicado vácuo para compactar o material, alisar a superfície interna e remover o ar intersticial.

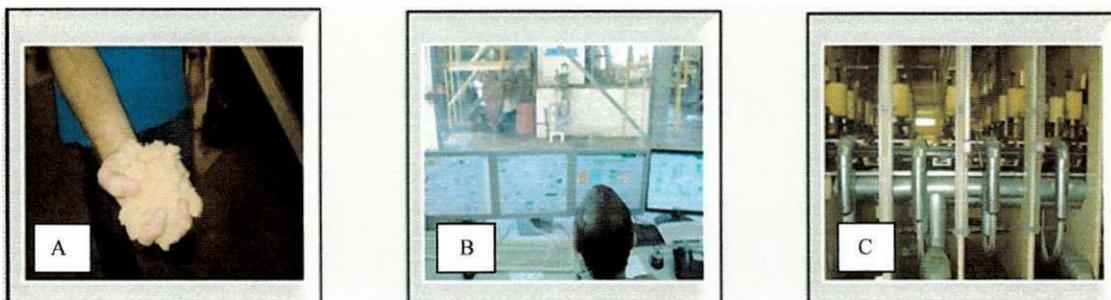


Figura 6 – A) Aspecto visual da fibra B) Sala de controle de espessura C) Prensagem à quente
Fotos de Ana Caroline Câmara Bezerra

A altura do colchão é previamente programada através de computadores em salas de controle (Figura 6 B). A manta de fibra é prensada a frio, na pré prensa, para reduzir sua espessura original, posteriormente é efetuada a prensagem à quente, na qual se forma a placa de MDF pela cura da resina. O endurecimento deve-se à reação de polimerização de condensação entre os componentes da resina. As placas saem da prensa a temperaturas elevadas (entre 140 e 180°C), pelo que são arrefecidas para que permitam a exposição das duas superfícies ao ar. Logo, as placas são armazenadas durante 48 horas (período de cura), de modo a garantir que as suas temperatura e umidade internas estejam estabilizadas.

A Figura 7 ilustra a finalização do processo de produção - fase de acabamento. Cortes, lixamento e revestimento são executados de acordo com padrões estabelecidos. Blocos de 50 painéis são empilhados na posição horizontal para, se for o caso, serem revestidos, transportados e comercializados.

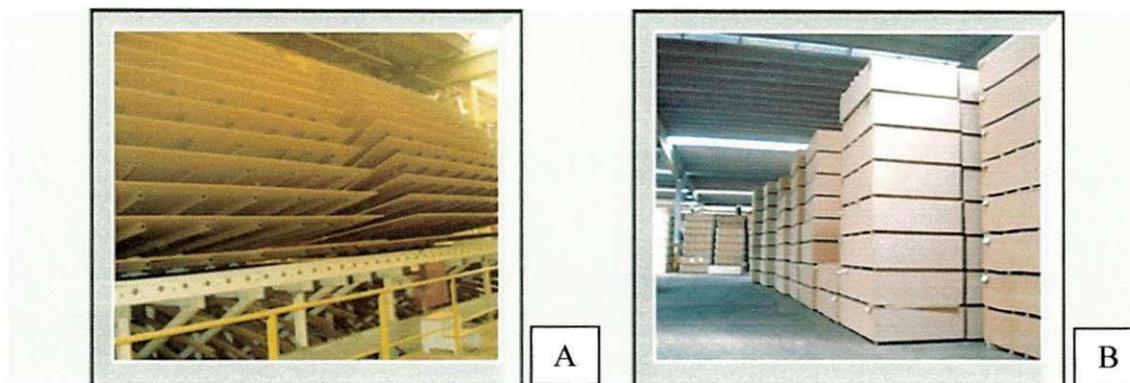


Figura 7 – A) Processo de acabamento dos painéis B) Painéis de MDF empilhados em blocos
Fotos de Ana Caroline Câmara Bezerra

2.2.2 Requisitos normativos de propriedades físico-mecânicas para os painéis - MDF

As normas ABNT, NBR 15316:2009 - Chapas de Fibras de Média Densidade, partes 1 (terminologia), 2 (requisitos) e 3 (métodos e ensaios) definem os requisitos baseados nas Normas Europeias, em função da organização, da estrutura e do atendimento normativo aos países que exigem a padronização do MDF. As indústrias brasileiras fabricantes de MDF utilizam tais normas para a realização da caracterização dos produtos em laboratórios internos.

A norma brasileira apresenta as definições para os ensaios de densidade, teor de umidade, inchamento em espessura, absorção de água, perfil de densidade, resistência à flexão e resistência à tração. Tais normas encontram-se descritas no capítulo 3 desta pesquisa - Materiais e Métodos.

2.2.3 Variáveis que comprometem as propriedades dos painéis de MDF

Campos (2003) apresenta algumas variáveis que afetam as características finais do MDF em função de fatores relacionados à matéria-prima, ao processamento e aos aditivos incorporados aos painéis. Além da influência isolada, existe ainda a possibilidade de interação entre os diferentes

variantes, formando assim uma complexa “rede” de interações. De forma geral, os fatores que influenciam as características dos painéis de MDF dividem-se:

- Influência das fibras: espécie de madeira utilizada (folhosas ou coníferas); do tipo de cavaco (proveniente de toretes ou resíduos); parâmetro de desfibramento, como o tempo de aquecimento, pressão do vapor aplicado, configuração dos segmentos dos discos e distâncias entre os pratos do desfibrador;
- Influência do teor de umidade dos cavacos: as fibras provenientes de cavacos de baixo teor de umidade são inteiras e agrupadas na forma de feixes, dificultando a formação do colchão. Por outro lado, a alta umidade dos cavacos aumenta o custo da secagem, gerando fibras “crespas” que dificultam a colagem, aumentando a demanda da resina;
- Influência das resinas ou adesivos: as propriedades mecânicas dos painéis de MDF estão diretamente relacionadas ao tipo e ao teor de resina utilizada, sendo verificado que painéis com alto teor de resina são mais rígidos e resistentes;
- Influência do teor de umidade do colchão: a função do teor de umidade é de transferir calor para o painel durante sua prensagem. Quando o teor de umidade é elevado, ocorre aumento no ciclo de prensagem, porque é necessário um maior tempo para a retirada da umidade excedente do painel. Quando o teor de umidade é muito reduzido, se percebe um perfil de densidade mais homogêneo e, conseqüentemente, uma maior resistência à tração perpendicular;
- Influência da prensagem: nesta fase são determinadas a espessura e a densidade da chapa. Após a prensagem a frio, a prensagem a quente que é responsável pela transferência de calor atua na cura da resina. A resistência à tração, o módulo de flexão estática, a absorção e o

inchamento são algumas propriedades dos painéis de MDF afetadas pelas condições de prensagem, temperatura e interação entre ambas as condições.

- Influência da densidade do painel: a densidade do painel é função da densidade da matéria prima e das condições de compactação. Quanto maior a compactação, maior é o contato entre os componentes do painel e melhor as propriedades do produto final.
- Influência do teor de umidade do painel: o teor de umidade final do painel também possui reflexo sobre as propriedades dos painéis de MDF. Genericamente, quanto maior o teor de umidade menor a resistência à ruptura de painéis de MDF;
- Influência da incorporação de aditivos: os aditivos são empregados para conferir aos painéis de MDF algumas propriedades especiais. Por exemplo: os painéis podem ser tratados de forma a adquirir resistência à chama e a biodeterioração através da aplicação de produtos químicos na matéria-prima. Junto com a resina, ou aplicados posteriormente à fabricação do painel, os aditivos são adicionados à matéria-prima por processo de impregnação.

2.2.4 Eucalipto e Pinus

Nacionalmente, os painéis de fibras são produzidos unicamente a partir de madeira reflorestada. Segundo a ABIPA, existem hoje no país cerca de 500 mil hectares de florestas plantadas, dos quais 270 mil hectares são de reservas naturais mantidas pelas empresas do setor de painéis de madeira. Dentre as matérias para painéis de fibra de média densidade, destacam-se as do tipo eucalipto e pinus.

Belini (2007) afirma que no período de 1997 à 2002 a produção do país se baseou exclusivamente na madeira de pinus. No período de 2003 à 2006 a madeira de eucalipto foi utilizada em 17% da produção, atingindo 23,1% partir

de 2006, indicando uma crescente tendência da participação da madeira de eucalipto na produção nacional de painéis MDF.

Eucalipto

Originárias da Austrália e Indonésia, existem mais de 600 espécies de eucalipto. A árvore deve ser colhida após cerca de sete anos de plantio e requer poucas ações do homem sobre o solo, já que pode ser cultivado em terrenos de baixa fertilidade. Dentre as principais espécies plantadas para fins comerciais estão o *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. dunni* e *E. nitens*.

No Brasil, as maiores áreas de cultivo se concentram nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo. Nacionalmente, entre as diversas espécies, as voltadas para fabricação dos painéis de MDF são as do tipo *grandis*.

Pinus

Segundo informações publicadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa -, no Brasil os pinus vêm sendo plantados há mais de um século. Inicialmente, sua produção era voltada para fins ornamentais, mas a partir de 1950 surgiu a preocupação do plantio voltado para a produção de madeira, principalmente como fonte de matéria-prima para as indústrias de madeira serrada e laminada, celulose e papel.

Várias espécies de pinus são plantadas e, assim como o eucalipto, valorizam os solos marginais para a agricultura, pois agregam valor a terra com a produção adicional da madeira. Outras vantagens da madeira tipo pinus é o fato de possuir cor clara, variando de branca a amarelada, e gerar fibras longas, o que facilita a produção de diversos produtos como embalagens de alta resistência e papéis. Além disso, em algumas espécies é possível a extração de resina. A espécie que mais se destaca para a fabricação de painéis de MDF nacionalmente é *elliottii*.

2.2.5 Adesivos

As fibras do MDF são aglutinadas com resinas sintéticas e outros aditivos, como água e emulsão de parafina. Este último melhora a estabilidade dimensional dos painéis. O adesivo é a substância capaz de manter aglomeradas por adesão superficial diferentes componentes, sendo assim um importante componente técnico e econômico, principalmente por influenciar os custos do produto final e fornecer melhores propriedades às chapas.

Kollmann *et al.*, (1975) classifica os adesivos para madeira em três grupos: os de origem natural (caseína, soja, osso, couro e sangue); os sintéticos termorrígidos (ureia, fenol, melamina, resorcinol, tanino e epoxi), que são convertidos a um estado insolúvel, irreversível, por meio de reações químicas com ou sem aplicação de calor; e os sintéticos termoplásticos (policloreto de vinila, poliacetato de vinila e elastômeros), resistentes somente a mudanças físicas, podendo ser modificados pela ação do calor ou de solventes.

Santos (2008) explica que os principais adesivos atualmente empregados nas indústrias de painéis são: ureia-formaldeído (UF), Melamina-Formaldeído (MF), Fenol-Formaldeído (FF) e Difenil Metano Di-isocianato (MDI). Além destes, uma combinação de adesivos comum nas indústrias de moveis é a Melamina-Ureia-Formaldeído (MUF). Esse composto é adequado quando se deseja um painel com maior resistência à umidade e é preferivelmente utilizado pela coloração clara, não interferindo na estética do material, diferente do que ocorreria se fosse utilizado o FF.

Ureia-formaldeído

A resina ureia-formaldeído é obtida através da reação entre grupos amina e aldeídos, geralmente o formaldeído. Tostes (2004) destaca que adesivos a base de ureia-formaldeído são muito utilizados nas indústrias de painéis de madeira.

Dentre as principais vantagens da utilização desse adesivo, Maloney (1993) e Pizzi & Mittal (1994) destacam: baixo custo, rápida reação em prensa

quente, fácil manuseio, incolor, dureza, não inflamável e é solúvel em água (satisfatória para produções em grande escala.

Como desvantagens apresentam uma baixa resistência à umidade e proporciona a liberação de formaldeído, o que pode ocasionar problemas a saúde humana. Uma das alternativas para melhoria da estabilidade dimensional seria a adição de fenol, melamina ou até tanino na composição do adesivo. Já a liberação de formaldeído pode ser minimizada reduzindo a proporção de formaldeído em relação à quantidade de ureia utilizada (MELO, 2009, p.7).

Campos & Lahr (2004) afirmam que painéis de eucalipto e pinus com 8% de adesivo podem ser empregados em situações em que o MDF não terá contato com água como, por exemplo, em camas, armários e guarda-roupas. Destacam também que os painéis com fibras de pinus e fibras de eucalipto com 10% e 12% de adesivo podem ser empregados em ambientes úmidos e até em contato direto com a água. O laudo técnico da indústria Fibraplac apresenta uma porcentagem de 9% de resina de ureia-formol.

2.2.6 Incorporação de fibras vegetais e resíduos industriais na produção de compósitos

John & Sabu (2008) defendem que o crescente interesse em estudar fibras lignocelulósicas é o fato de fornecerem maior resistência específica e rigidez aos compósitos, além de serem um recurso renovável e exigem pouca energia para seu processamento.

As fibras celulósicas possuem características que tornam seu emprego em painéis vantajoso, como: baixo custo, baixa densidade, resistência específica e módulos elevados, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos de processo, não são tóxicas, podem ser facilmente modificadas por alguns químicos, são abundantes e provém de fontes renováveis. Suas propriedades mecânicas são comparáveis aos de outros reforços comumente empregados. As fibras vegetais são mais baratas que as fibras sintéticas e podem substituí-las em muitas aplicações onde o custo é fator mais importante do que a resistência (KURUVILLA *et. al.*, 1999, p. 1).

Tanobe (2003) afirma que o Brasil apresenta condições climáticas extremamente favoráveis à agricultura, solos férteis e abundantes, logo deve aproveitar a oportunidade de promover o desenvolvimento econômico e social autossustentado através do incentivo a projetos cuja matéria-prima utilize produtos de origem vegetal, agregando valor a esses produtos.

Amico *et al.*, (2001) afirmam que é preciso considerar também o custo ambiental da disposição final de produtos convencionais quando comparados a materiais que utilizam fibras vegetais como um de seus componentes e pesar os benefícios sociais que o uso desses materiais acarreta.

Leal (2004) a utilização de fibras como reforço depende basicamente das propriedades da matriz. Nas matrizes frágeis a sua maior contribuição acontece após a fissuração, quando elas formam verdadeiras pontes de ligação entre as regiões fissuradas da matriz. Neste ponto, a carga é transferida para as fibras, que passam a gerenciar o comportamento do compósito em função de suas características, como módulo de elasticidade, comprimento, orientação, volume, etc. Além disso, o compósito, ao invés de romper subitamente após o início da fissuração da matriz, apresenta uma deformação plástica considerável, o que o torna um material adequado para construção civil. Para que isso ocorra, as fibras devem ser adicionadas em volume, comprimento e formato adequados, fatores esses objetos de diversos modelos teóricos.

As chapas aglomeradas podem ser produzidas a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e massa específica pré-estabelecida. Outras fontes de fibras também podem ser incorporadas na composição dos aglomerados, como bagaço de cana-de-açúcar, bambu, casca de arroz, além de aparas de papel reciclado. Entretanto, a qualidade final do produto pode ser limitada pela escolha do material.

Akiyama *et al.* (1996) utilizaram fibras de papel reciclado para fabricar chapas que estão sendo aplicadas na confecção de formas de concreto no Japão. Essas chapas de fibras demonstraram boa resistência à flexão, colagem interna e resistência à água. Foi comprovado também que as

propriedades de resistência dessas chapas se mantêm constantes durante o curto período de tempo em que as formas de concreto são utilizadas.

Massijaya & Okuma (1996) fizeram um estudo objetivando a produção de painéis de alta qualidade com base em papel jornal. Partículas de madeira foram misturadas ao papel jornal e diferentes proporções e posições (ao acaso, nas faces ou no miolo). O aumento da percentagem de madeira no painel proporcionou melhoria quanto à colagem interna e à estabilidade dimensional. Com relação à tensão de ruptura e ao módulo de elasticidade, os resultados demonstraram que a introdução do papel se mostrou benéfico.

Okiko *et al.* (1997) compararam a resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar confeccionadas com fibras acetiladas e não acetiladas. Os compósitos foram manufacturados utilizando as resinas ureia-formaldeído e tanino-para-formaldeído, a 8 e 12% de resina, baseados no peso seco das fibras de bagaço. O mais alto nível de resina conferiu às chapas características superiores, quanto nas propriedades físicas de absorção e inchamento, quanto nas mecânicas. O tipo de resina também apresentou diferenças, evidenciando uma superioridade das chapas preparadas com tanino, em relação às aquelas com ureia, nas propriedades de absorção, inchamento e flexão estática.

Ajiwe *et al.* (1998) produziram chapas para forro de teto a partir de resíduos de agricultura, como cascas de arroz e pó de lixadeira e analisaram algumas propriedades, como absorção de água e resistência à flexão. Os autores confirmaram que as chapas produzidas apresentaram padrões similares de resistência aos produtos comerciais.

Yalinkilic *et al.* (1998) apresentam dados confirmando que o alto teor de extrativos encontrados na folha de chá e sua abundância como resíduo na produção em fábricas de chá justificam o estudo sobre a utilização desses extrativos na fabricação de aglomerados. Resultados de ensaios de propriedades físicas e mecânicas comprovaram que as folhas de chá são biologicamente resistentes a fungos apodrecedores e cupins, além de ainda apresentarem vantagens de provocar uma notável alta na mortalidade de cupins.

Han *et al.* (1998) examinaram os efeitos do tamanho das partículas e da densidade das chapas em aglomerado de trigo e junco. Eles reportaram que as propriedades do aglomerado produzido com partículas finas foram mais elevadas do que as produzidas com partículas maiores (utilizadas na camada interna das chapas). O aumento na densidade da chapa resulta em aumento correspondente das propriedades.

Haselein *et al.* (2002) relatam a fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante e papel reciclável dissociado (jornal e *offset*). Com o reforço os autores observaram que a inclusão de fibras de papel causou aumento dos valores das propriedades mecânicas das chapas, tais como a resistência à flexão estática, dureza e arrancamento de parafusos quando comparados ao tratamento testemunha (gesso puro). A inclusão de papel *offset* não causou diferença estatística significativa em relação à testemunha na maior parte das propriedades avaliadas.

Calegari *et al.* (2004) realizaram um estudo sobre adição de aparas de papel reciclado na fabricação de chapas de madeira aglomerada. Naquele trabalho foram analisadas as propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com dois tipos de papel reciclado (papel jornal e *offset*) e partículas de madeira de *Pinus elliotii*. A inclusão de aparas de papel prejudicou a maioria das propriedades analisadas, fazendo com que não atendessem aos valores estabelecidos pelas normas alemãs - *Deutsche Institut für Normung* (DIN) - e americanas - *American National Standards Institute* (ANSI).

Oliveira & Teixeira (2006) avaliaram a viabilidade técnica do uso de fibras do coco de babaçu como matéria-prima para a produção de chapas de aglomerado e determinaram as propriedades dos aglomerados produzidos.

A palha de coco do babaçu é uma alternativa para a produção de chapa aglomerada, isso porque é extraída do fruto e não há a necessidade de se abater a palmeira para a produção do painel, como é feito em casos de produção de chapa aglomerada convencional, com madeira. Chapas com

maior proporção de resina apresentaram menor inchamento de espessura e absorção de água.

Melo (2009) utilizou resinas de tanino-formaldeído e ureia-formaldeído e casca de arroz como matéria-prima para a produção de chapas de MDF. O autor concluiu que o percentual de casca nos painéis provocou uma maior instabilidade dimensional e uma significativa redução da resistência mecânica e também que os painéis feitos com tanino-formaldeído foram mais estáveis que aqueles que utilizaram a ureia-formaldeído. Provavelmente por a possuir considerável teor de sílica a casca de arroz influenciou as propriedades das chapas.

A empresa *CWT Design* fabrica em Portugal e comercializa mundialmente painéis com cortiças recicladas. Os painéis de cortiça são uma espécie de tecido vegetal que possui 70% de cortiça reciclada de rolhas e apenas 30% de cortiça extraída da casca do sobreiro com técnicas tradicionais que não envolvem o uso de herbicidas sintéticos e fertilizantes. Aplicado em paredes com cola branca ou de contato, o material promove isolamento térmico e acústico do ambiente.

2.3 Caulim

Segundo Grim (1958), caulim é uma rocha formada por material argiloso, com baixo teor de ferro e cor branca. É um material formado por silicatos de alumínio hidratado, cuja composição química aproxima-se a $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$, sendo a caulinita e a haloisita seus minerais predominantes.

O caulim também contém impurezas que podem atingir 40% à 70% em volume do material extraído, sendo constituídas, de um modo geral, por areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio. O caulim é um mineral versátil em função de suas características tecnológicas, tais como: quimicamente inerte em uma grande faixa de pH (3 a 9); coloração branca ou quase branca, alvura elevada e pouca abrasividade; capacidade de cobertura quando usado como pigmento e reforçador para as aplicações de carga; fácil dispersão; baixa condutividade térmica e elétrica; compatibilidade com praticamente todos os adesivos (CABRAL *et al.*, 2009, p. 7).

Santos (1975) afirma que dois tipos de caulins costumam ser considerados tecnologicamente: a) caulins residuais, quando são encontrados no local em que se formaram pela ação do intemperismo ou hidrotérmico sobre rochas; b) caulins sedimentares, quando resultam do transporte, deposição e purificação de caulins primários ou argilas caulínicas por meio de correntes de água doce e matéria orgânica.

Por tais motivos o caulim apresenta ampla gama de aplicações, servindo tanto de material de enchimento (*filler*) no preparo do papel, como de agente de cobertura (*coating*) para papel *couché* e na composição de pastas cerâmicas. Em menor escala, é usado na produção de materiais plásticos, refratários, inseticidas, pesticidas, absorventes, clarificantes, fertilizantes, catalisadores, tintas, adesivos, produtos químicos, detergentes, cosméticos e auxiliares de filtração, além de cargas de enchimento para diversas finalidades.

Luz & Damasceno (1993) explicam que os caulins primários são classificados em intemperizados, hidrotermais e solfataras. Quanto aos intemperizados, segundo Gomes (2007), os seus depósitos ocorrem em regiões de clima tropical, onde as condições favorecem a decomposição dos feldspatos e de outros aluminossilicatos contidos em granitos, pegmatitos e rochas metamórficas. Outras argilas e folhelhos (rochas que possuem grãos de tamanho muito pequeno) podem também ser alterados dando origem a uma mistura constituída de caulinita e quartzo. A reação do feldspato potássico com a água, em determinadas condições, resulta na formação da caulinita, sílica e hidróxido de potássio.

No tocante aos hidrotermais, Luz & Damasceno (1993) explicam que, neste tipo de depósito, a alteração da rocha ocorre pela circulação dos fluidos quentes provenientes do interior da crosta (ou água juvenil). Para que haja circulação desse fluido (água quente) é necessário que a rocha tenha porosidade e permeabilidade adequadas. Os granitos são considerados "rochas-mãe" mais comuns na formação dos depósitos hidrotermais de caulins primários.

Ainda segundo Luz & Damasceno (1993), a formação do caulim primário se dá pela alteração das rochas devido à ação de emanções vulcânicas

ácidas, constituídas de vapores ou água, ricos em enxofre. Devido à presença de enxofre, normalmente na forma nativa, é comum a formação de caulinita em grande quantidade. O principal uso do caulim solfatara é na fabricação do cimento branco, onde a presença de sílica e sulfato, mesmo em altos teores, não afeta as características do produto final.

Bristow (1987) classifica os caulins secundários em três tipos: sedimentares, areias caulínicas e argilas, que podem ser plásticas, refratárias e silicosas.

Os caulins secundários sedimentares apresentam alta percentagem de caulinita, normalmente acima de 60% após beneficiamento, e são mais indicados como matéria prima para a indústria de papel. Já o caulim do tipo areia caulínica contém menos de 20% de caulinita. A areia rejeitada no processo de beneficiamento é, normalmente, destinada à construção civil. As argilas plásticas (*ball clays*) são constituídas principalmente de caulinita, com a presença de illita e material carbonoso, sendo usadas principalmente na indústria cerâmica. (LUZ & DAMASCENO, 1993, p. 7).

As argilas refratárias apresentam uma composição química similar à das argilas plásticas. No entanto, ocorrem associadas ao mineral gipsita e à haloisita. Bristow (1987) afirma que quanto maior o teor de alumina de uma argila refratária, maior a sua refratariedade. Esta diminui com a presença de impurezas como ferro e óxido de cálcio. Finalmente temos as argilas silicosas (*flint clays*), que são constituídas de caulinita, contendo ferro e outros componentes escorificantes. Geralmente são bastante refratárias e, em algumas situações, podem suportar condições mais adversas do que as argilas ordinárias, de base refratária.

Lima (2005) afirma que as reservas mundiais de caulim são bastante abundantes e de ampla distribuição geográfica. Porém, apenas quatro países detêm os 96% de um total estimado em aproximadamente 14,2 bilhões de toneladas. São eles Estados Unidos (53%), Brasil (28%), Ucrânia (7%) e Índia (7%). A Figura 9 apresenta dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) de 2008 sobre a produção de caulim no Brasil e no mundo.



Figura 8 - Produção de caulim no Brasil x mundo.
 Fonte: Distribuição Nacional de Produção Mineral – DNPM (2009)

Nota-se um maior crescimento da produção de caulim no Brasil quando comparado aos demais países. As reservas brasileiras de caulim atingem 2.800,00 toneladas ao ano e apresentam um notório crescimento. Os Estados do Amazonas, Pará e Amapá são as Unidades da Federação com maior destaque, participando, respectivamente, com 63,4%, 18,9% e 8,9% do total de reservas.

A Figura 9 apresenta as localizações dos principais depósitos dos diversos grupos de caulins no Brasil.

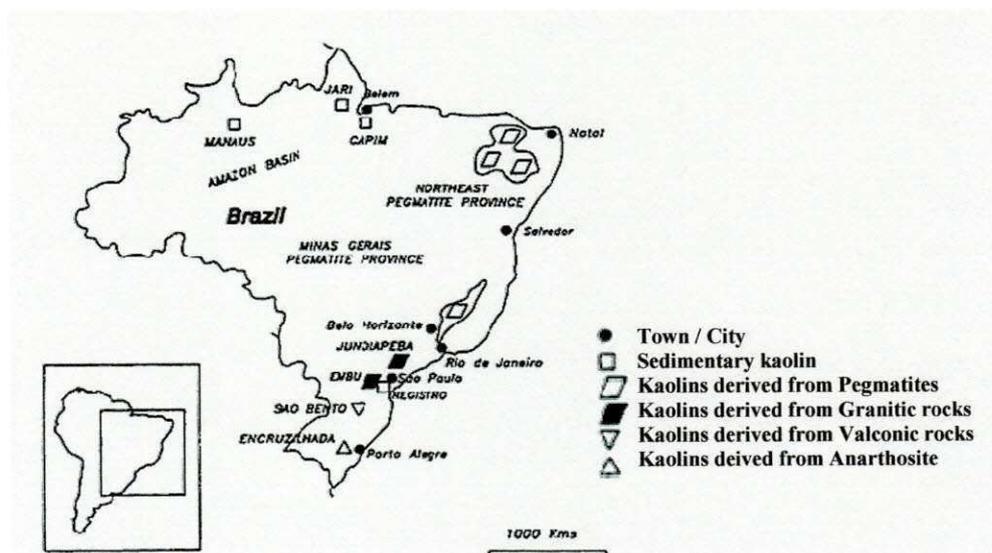


Figura 9 - Localização de caulim no território brasileiro. FONTE: Wilson, 1998

2.3.1 Beneficiamento

A produção do caulim, em geral, concentra-se na região Nordeste e Sudeste do país. Os caulins brasileiros podem ser divididos em cinco grupos: caulins sedimentares, oriundos de pegmatitos, de rochas graníticas, de rochas vulcânicas e derivados de anortosito.

Luz & Damasceno (1993) explicam que os caulins ocorrem associados a várias impurezas não atendendo às especificações de mercado. As impurezas, como óxidos de ferro e titânio, mica e feldspato, influenciam diretamente a cor e alvura do caulim, comprometendo a sua qualidade. Para promover o seu melhor aproveitamento é necessário serem realizadas operações de beneficiamento, as quais vão depender do uso a que se destina.

Existem dois processos de beneficiamento: via seca e via úmida. O beneficiamento a seco é um processo utilizado em caulins com baixo teor de quartzo, elevada alvura e distribuição granulométrica adequada (> 90% inferior a 2 μ m). Nesse processo, o caulim bruto é inicialmente fragmentado abaixo de 2,5 cm; em seguida, passa por secagem em secadores rotativos. Luz et al. (2005) afirmam que na etapa seguinte, o caulim é pulverizado em moinhos de rolos, para então ser classificado por tamanho, segundo um processo denominado flotação com ar, em que as partículas mais finas são conduzidas para o topo do separador por uma corrente de ar quente. Como a maioria dos caulins localizados no Nordeste não possui essas características predomina o beneficiamento por via úmida.

O diagrama da Figura 10 apresenta de forma esquemática o fluxo de beneficiamento via úmida. Monte *et al.* (2001) explica que o diagrama consta das etapas de dispersão, desareamento, separação granulométrica em hidrociclone ou centrífuga, separação magnética, floculação seletiva, alveamento químico, filtração e secagem.

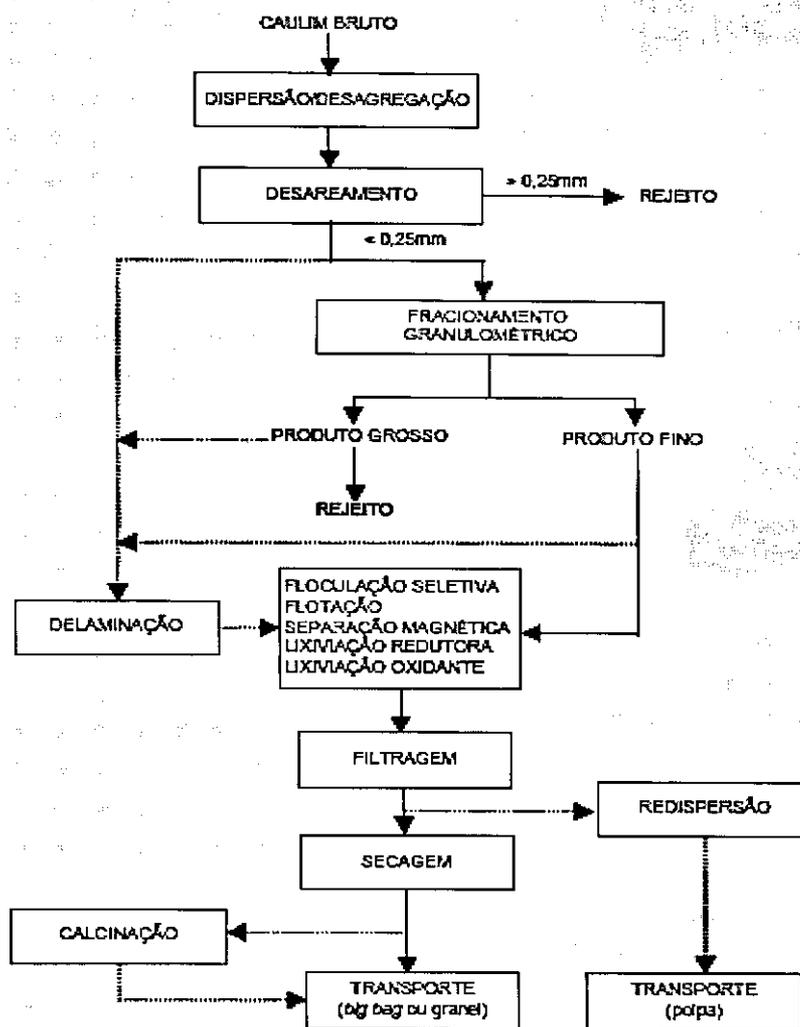


Figura 10 - Diagrama de fluxo simplificado e genérico para o beneficiamento de caulim por via úmida
Fonte: Monte *et al.*, 2001

Segundo Cabral *et al.* (2009), o beneficiamento inicia-se com a adição de água ao caulim bruto e a desagregação do mesmo em um misturador. Em seguida, a polpa é transportada por gravidade para etapa de peneiramento. Nesse transporte ocorre o desareamento, no qual são sedimentados os materiais mais grosseiros, constituídos por mica, quartzo, feldspato, entre outros. Esse material é removido manualmente, através de pás perfuradas, e depositados em terrenos da empresa.

Na etapa de peneiramento ocorre a classificação das partículas da mistura. Essa etapa é formada por um conjunto de peneiras que estão empilhadas em ordem crescente da abertura da malha. O material peneirado é

bombeado, por gravidade, através de tubulações, para um sistema de tanques onde se inicia a fase de decantação e sedimentação. O material sedimentado em cada tanque é escolhido, de acordo com a sua utilização final, e destinado para um tanque de vazamento para posteriormente seguir para etapa de filtração. Na etapa de filtração retira-se a água do material proveniente do tanque de vazamento. Para perda da umidade, as tortas são expostas ao sol e a correntes de ar, que as secam. Porém, em dias chuvosos, essa secagem é feita de forma forçada através de fornos à lenha. Depois da calcinação são trituradas, ensacadas e destinadas à comercialização.

2.3.2 Impactos Gerados pelo Resíduo de Caulim

Impacto ambiental é o efeito causado ao meio ambiente pelas atividades do homem. Conforme o tipo de intervenção, modificações produzidas e eventos posteriores, pode-se avaliar qualitativa e quantitativamente o impacto, classificando-o por seu caráter "positivo" ou "negativo", ecológico, social e/ou econômico.

Bursztyn (1994) relata que, no Brasil, o primeiro dispositivo legal que visou diminuir os impactos negativos causados por mineração, entre elas as de argila (caulim), foi a Lei nº 6938, de 31/08/1981, que, através do Decreto Federal nº 88.351, instituiu o Licenciamento Prévio (LP), Licenciamento de Instalação (LI) e Licenciamento de Operação (LO). A partir de 1986, com a Resolução do CONAMA nº 01, estabeleceram-se as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente.

Bursztyn (1994) também afirma que em 1989, o Decreto Federal nº 97.632 definiu, em seu artigo 1º, que os empreendimentos que se destinassem à exploração dos recursos minerais deveriam submeter seus projetos à aprovação dos órgãos federais, estaduais e municipais competentes, que deveriam executar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o Relatório de Impacto Ambiental, bem como o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

(PRAD). Já os empreendimentos já existentes deveriam regularizar sua situação por meio de um PRAD.

De acordo com a norma da ABNT NBR 10004/2004, deve-se classificar os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente. A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Barata & Molin (2002) afirmam que é durante a fase de lavagem e classificação do tamanho das partículas da mistura que se tem a geração do resíduo da cadeia produtiva do caulim. Estima-se que é gerada uma grande quantidade de resíduo, pois 70% da matéria-prima bruta é rejeitada durante o processo.

Sabe-se que todo o material rejeitado é depositado a céu aberto, pois as indústrias beneficiadoras não se preocupam em construir tanques de deposição, lançando enorme quantidade de rejeito no meio ambiente.

Silva (2007) explica que durante o processamento do caulim são gerados rejeitos líquidos (geralmente lançados nos rios) e sólidos (geralmente aterrados). Tais rejeitos podem conter Ferro, Alumínio, Zinco, entre outros contaminantes, em quantidades acima das recomendadas pela legislação. Isto pode causar alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos, deixando a água dos rios esbranquiçada e turva, uma vez que o material altera quimicamente a água, reduzindo a quantidade de plâncton e provocando a morte dos peixes.

Embora exista uma preocupação ambiental por parte das empresas e dos órgãos ambientais, a indústria do caulim ainda causa transtornos, como a produção excessiva de particulados gerados durante o transporte de caulim (matéria-prima bruta) e produção de rejeitos (resíduos). Esses resíduos, quando secos, transformam-se em pó que, pela ação dos ventos, espalha-se pelas ruas e avenidas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua (SILVA 2007, p. 54).

2.4 Caroá

Neoglaziovia variegata, conhecida como caroá, é uma opção de fibra vegetal que pode ser incorporada em compósitos. A bromeliácea se encontra distribuída por todo o Semiárido do Nordeste brasileiro. Ribeiro (2007) explica que na primeira metade do século passado, a espécie teve papel importante na economia nordestina pela produção de fibra por indústrias têxteis. Porém, sua exploração foi reduzida com o surgimento das fibras sintéticas.

Sampaio *et al.* (2003) afirma que a fibra de caroá é a mais característica da caatinga, produzida principalmente no Ceará. Sua produção já foi maior, mas foi sendo substituída, primeiro pelo agave e depois pelas fibras sintéticas. Desde a década de 1980 a produção está estabilizada no patamar atual. Segundo Silveira *et al.* (2009) atualmente, as fibras do caroá voltaram a ser uma das principais fontes de emprego e renda para diversas famílias nordestinas, com a fabricação artesanal de chapéus, bolsas, entre outros produtos.

A literatura que envolve a planta caroá é limitada, principalmente sobre sua produção, já que a exploração desta planta é apenas de forma extrativista, o que limita a apresentação de referências neste trabalho.

2.4.1 Beneficiamento da fibra de caroá

A Figura 11 ilustra o processo de beneficiamento das fibras de caroá, com etapas que vão desde a extração e corte da planta, passando pela secagem a céu aberto, desfibramento, tesouramento, secagem, batimento, além da prensagem, armazenamento e transporte.



Figura 11 - Diagrama das etapas de beneficiamento da fibra de caroá

A Figura 12 ilustra as principais etapas de beneficiamento da fibra de caroá.



Figura 12 – A) Caroá B) Extração e corte manual do caroá C) Secagem do caroá a céu aberto D) Desfibramento E) Tesouramento F) Fibras de caroá G) Batimento H) Fardos de fibras de caroá FOTOS: Ana Flávia Câmara Bezerra

A princípio, a planta é colhida na caatinga, cortada manualmente e exposta a céu aberto para secar, este processo facilita o desfibramento das fibras. Em seguida, o caroá passa pelo desfibrador, onde a casca é retirada e sua fibra exposta. Cerca de 40% do resíduo deste material ainda está molhado, então o mesmo é moído – etapa de tesouramento - para, junto com o material desfibrado, ser exposto ao sol por cerca de dois dias, o resíduo desta etapa serve como ração e adubo. A fibra passa então pelo batedor para a retirada da poeira e logo é prensada em fardos de 100 kg, que são armazenados e transportados em seguida.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

- Resíduo de Caulim: O resíduo de caulim foi obtido na empresa Arnil Mineração do Nordeste, localizada no município de Equador, Rio Grande do Norte.
- Fibras de eucalipto e pinus: A mistura de ambas as fibras foram adquiridas já na composição 50% e 50% pela empresa Fibraplac.
- Emulsão de Parafina: A emulsão de parafina composta por hidrocarbonetos saturados foi adquirida através da empresa Fibraplac.
- Adesivo: A empresa Hexion Química Indústria e Comércio Ltda. localizada em Curitiba, Paraná, cedeu 5 litros do cascamite à base de uréia de formadeído com teor de sólidos de 59-61% e 1 litro do endurecedor, comumente chamado de sal, que foram utilizados durante os ensaios, e a empresa Fibraplac forneceu a resina sintética já preparada.
- Fibras de caroá: As fibras de caroá, produzidas no ano de 2010, foram fornecidas pela empresa FibraNatu, localizada no município de Olivedos na Paraíba.

3.2 Métodos

Os corpos de prova de foram elaborados de acordo com as características dos painéis de MDF tipo *standard*, cru, com 5 mm de espessura e feitos com fibras de madeira do tipo eucalipto *grandis* e pinus *elliottii*, encolados com emulsão de parafina, água e resina sintética. Em paralelo e com as mesmas características foram confeccionados corpos de prova com resíduo de caulim e fibras de caroá.

3.2.1 Ensaio de caracterização

O Quadro 1 ilustra de forma esquemática as etapas metodológicas de caracterização que foram utilizadas nas principais matérias - primas. A princípio, as fibras e o resíduo de caulim foram caracterizados quimicamente; logo, foram realizadas análises térmicas, difração de raios x e espectroscopia de infravermelho. Além dos ensaios citados foi feita a análise granulométrica no resíduo de caulim.

Matéria prima	Ensaio de caracterização
Fibras de eucalipto e pinus	Composição química Análises térmicas Difração de raios X Espectroscopia de infravermelho
Fibras de caroá	Composição química Análises térmicas Difração de raios X Espectroscopia de infravermelho
Resíduo de caulim	Composição química Análises térmicas Difração de raios X Espectroscopia de infravermelho Análise granulométrica

Quadro 1 - Esquema dos ensaios de caracterização das fibras e do resíduo de caulim

As fibras foram lavadas com água morna a cerca de 50° C e secas em estufa a 60° C durante 24 horas para remover as impurezas presentes como óleos e graxas.

Composição química das fibras

As análises de composição química das fibras de eucalipto, pinus e caroá foram realizadas no Laboratório de Química e Biomassa de Resíduos Sólidos da UFCG e foi determinada pelo teor de celulose, lignina total (solúvel e insolúvel) e teor de cinzas através das normas TAPPI, 1969 *apud* LOPES, 2009, p.31.

Remoção de extrativos

Para a remoção dos extrativos as amostras de fibras (secas e moídas) foram acondicionadas em cartucho de papel filtro. O cartucho de fibras e papel filtro foi submetido à lavagem em um extrator Soxlet, utilizando como solução de extração uma mistura de ciclohexano/etanol, na proporção 1:1, em banho termostático por 48 horas, para remoção dos extrativos solúveis em solventes orgânicos. Após as 48 horas de extração substituiu-se a mistura de solventes por água destilada e manteve-se a extração em banho termostático por mais 6 horas, para remoção dos extrativos solúveis em água.

Determinação de celulose

Foram pesadas $1,0\text{g} \pm 0,1 \text{ mg}$ de holocelulose em um béquer e adicionados 15 ml de solução de hidróxido de potássio a 24%. A mistura foi agitada por 15 horas e em seguida filtrada em funil de vidro sinterizado nº 1, previamente tarado, lavando-se o precipitado com água destilada até a neutralidade. Depois, esta foi lavada com ácido acético a 1,0 % e, por último, com etanol comercial. A celulose obtida foi seca em estufa a $105^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ por 30 minutos, e, posteriormente, resfriada em dessecador. O percentual foi determinado pelo equação:

$$\text{Celulose (\%)} = \frac{M_{\text{celulose}}}{M_{\text{fibra}}} \times 100$$

Onde M_{celulose} é a massa de celulose seca (g) e M_{fibra} a massa da amostra de fibra (g).

Determinação do teor de lignina

O teor de lignina insolúvel foi determinado pelo método denominado lignina KLASON. Foram pesadas 1,0 g de fibras previamente lavadas e secas em um erlenmeyer com tampa, foram adicionados 15 ml de ácido sulfúrico a 72% e o sistema foi mantido sob agitação na temperatura ambiente por 2 horas. Depois, foram adicionados 560 ml de água destilada e o produto obtido foi transferido para um balão de 1000 ml. O produto foi mantido sob refluxo por 4 horas e filtrado à vácuo em um funil de vidro sinterizado, previamente seco e pesado. Após a filtragem, o produto foi lavado com água destilada até pH 7,0, o conjunto funil e produto foi seco em estufa a $105^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ por 3 horas, resfriado em dessecador por 15 minutos e novamente pesado. A percentagem de lignina insolúvel na amostra foi determinada pela expressão:

$$\text{Lignina insolúvel (\%)} = \frac{M_{\text{lignina}}}{M_{\text{fibra}}} \times 100$$

Onde M_{lignina} é a massa de lignina (g).

A quantidade de lignina solúvel foi determinada por espectroscopia no UV-VIS. Para tanto, a solução obtida, da dispersão da lignina insolúvel após diluída em 1000 ml de água e absorvância de 215 e 280 nm, foi determinada segundo o cálculo que segue:

$$\text{Lignina solúvel (\%)} = \frac{4,53 (Abs_{215} - Abs_{280})}{300 \times M_{\text{fibra}}} \times 100$$

Sendo Abs_{215} e Abs_{280} os valores de absorvância em 215 e 280 nm.

Determinação de teor de cinzas

Em um forno mufla, cadinhos de porcelana foram pré-aquecidos a temperatura de 700° C por cerca de 30 minutos, a temperatura gradualmente foi acrescida. Depois do resfriamento em dessecador, os cadinhos foram pesados. Colocou-se cerca de 1,0 g da amostra de fibra seca nos cadinhos e queimaram-se as fibras em bico de busen antes de serem colocadas a mufla. A temperatura foi aumentada até 300° C, mantida neste patamar por 3hrs e elevada a 700° C onde permaneceu por mais 3hrs quando então o forno foi desligado e resfriado antes do cadinho ser removido e colocado em dessecador para resfriar até a temperatura ambiente antes de ser pesada.

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}}{M_{\text{fibra}}} \times 100$$

Onde M_{inicial} e M_{final} são as massas (cadinho + amostra) finais e iniciais, respectivamente, em gramas (g).

Composição química do resíduo de caulim

O ensaio de composição química do resíduo de caulim foi realizado no Laboratório de Reciclagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG pelo método de fluorescência de raios X através do aparelho Shimadzu EDX – 720 e perda ao fogo.

Análises térmicas, difração de raios X, espectroscopia de infravermelho e análise granulométrica

Tanto para as fibras quanto para o resíduo de caulim foram realizados ensaios de análise térmica diferencial - DTA, análise térmica gravimétrica - TGA, difração de raios x - DRX e o ensaio de espectroscopia de infravermelho - FTIR. Para o resíduo de caulim ainda foi feita a análise granulométrica.

Para as fibras serem ensaiadas foi necessário extrair as impurezas presentes nelas como óleos, graxas e resíduos do beneficiamento. As fibras foram lavadas com água a cerca de 50° C e secas em estufa com temperatura de 60° C por 24 horas. Depois, foram penteadas e moídas em moinho de bolas e, assim como o resíduo, peneiradas na peneira # 200 (0,074mm).

Análise térmica diferencial - TDA e Análise térmica gravimétrica - TGA

As amostras com peso aproximado de $5 \pm 0,5$ mg foram acondicionadas em suportes de alumina e aquecidas a uma taxa de $10^\circ \text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ entre as temperaturas ambiente e até 1000°C utilizando atmosfera dinâmica de oxigênio com vazão de $50 \text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$.

Difração de raios x - DRX

O ensaio foi realizado no equipamento Shimadzu modelo DRX 6000 radiação Cu, entre ângulos $5^\circ \leq 2\theta \leq 50^\circ$, velocidade de varredura de $2^\circ \cdot \text{min}^{-1}$, voltagem de 40kv e corrente de 30mA.

Espectroscopia de infravermelho - FTIR

Os espectros de FTIR das amostras foram obtidos usando um espectrômetro Spect 400 FT-IR/FT-NIR – Perkin Elmer, entre 4000 e 650cm^{-1} , com resolução de 4cm^{-1} e 20 varreduras.

Análise granulométrica

Para a análise granulométrica a técnica empregada a difração a laser, sendo utilizado o método de dispersão de partículas em fase líquida associado com um processo de medida óptica através de difração a laser. O equipamento utilizado foi o CILAS 1064 líquido e o agitador Hamilton BEACH com

velocidade de 1700 rpm por um período de tempo de 5 min e faixa 0.04 μ m - 500.00 μ m/ 100 Classes.

3.2.2 Corpos de prova

A confecção dos corpos de prova foi realizada no Laboratório de Processamento de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG. As composições foram baseadas tanto no laudo técnico da indústria Fibraplac, ou seja, 83,5% de fibras, sendo 50% de eucalipto e 50% de pinus; 9% de resina; 7% de água e 0,5% de parafina, quanto em um planejamento experimental.

Com objetivo de selecionar as melhores composições para os compósitos propostos, foi feito um estudo estatístico baseado em planejamento experimental por delineamento de misturas. O planejamento foi fundamentado na variação de 100, 50 e 0% de fibras de eucalipto, pinus e caroá e na variação do resíduo de caulim com percentuais de 8,35% e 4,175%.

O limite mínimo da incorporação em percentual do resíduo de caulim foi baseado na metade do valor estabelecido industrialmente. A indústria define como 8,35% o limite máximo de sílica na composição de painéis de MDF. Se este valor for excedido pode acontecer um desgaste nas lixas e exigir um processo de limpeza maior nas máquinas tornando inviável do ponto de vista industrial.

A Tabela 1 apresenta o resultado de estudo estatístico baseado nas melhores composições para os compósitos. A percentagem de resina, água e parafina foram as mesmas apresentadas pela indústria.

Tabela 1 - Planejamento experimental das matérias prima

Vertex (V) Centroid (C)	3 Factor Constrained Experimental Region (Spredsheet5) Number of user-defined constraints: 0		
	Fibras de eucalipto e pinus	Fibras de caroá	Resíduo de caulim
1C	1	0	0
2C	0	1	0
3C	1	0	0,0835
4C	1	0	0,04175
5C	0	1	0,0835
6C	0	1	0,04175
7C	0,5	0,5	0,0835
8C	0,5	0,5	0,0417
9C	0,5	0,5	0

A Tabela 1 apresenta um planejamento experimental das melhores composições teóricas para os compósitos. As composições 1 V e 2 V apresentam apenas fibras de eucalipto e pinus e de caroá, respectivamente, em sua formulação, as composições 3 C e 5 C possuem fibras e 8,35% de resíduo de caulim. Os compósitos 4 C e 6 C apresentam fibras e 4,175% de resíduo de caulim e as composições 7 C, 8 C e 9 C possuem os dois tipos de fibras em sua formulação e teores de resíduo de caulim 8,35%; 4,175% e 0%, repectivamente.

Dentre as nove composições apresentadas na Tabela 1, quatro foram testadas: composição 1 C, 2 C, 4 C e 6 C. Estas tais foram selecionadas por apresentarem na sua composição fibras e um teor de 4,18% de resíduo de caulim.

3.2.3 Confeção dos corpos de prova

Depois de selecionadas as quatro composições, os corpos de prova foram confeccionados e nomeados de compósito A (fibra de eucalipto e pinus), compósito B (fibras de eucalipto, pinus e resíduo de caulim), compósito C (fibra de caroá) e compósito D (fibra de caroá e resíduo de caulim).

A princípio, a fibra de caroá foi cortada manualmente com cerca de 2 cm de comprimento e lavada com água a temperatura de $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Como as fibras de eucalipto e pinus foram coletadas limpas e nas dimensões ideais para a realização dos painéis, não foi necessário lavá-las e cortá-las.

As fibras lavadas foram colocadas em estufa a 60°C por 24 horas para evaporar a água que estava incorporada superficialmente e a partir de então os corpos de prova foram conformados como ilustra a Figura 13.



**Figura 143 – A) Mistura das matérias primas B) Prensagem a frio C) Prensagem a quente
FOTOS: Ana Flávia Camara Bezerra**

Como ilustrado na imagem Figura 13 A, as matérias-primas foram misturadas manualmente de forma descontínua, aleatória, desalinhada e nas devidas proporções, colocadas de forma uniforme em um molde de ferro com dimensões 18 cm de largura x 26 cm de comprimento x 1 cm de altura sobre um papel alumínio. Apenas a parte central de 15 x 5 cm do molde foi utilizada para que os corpos de prova as adquirissem dimensões determinadas pelas normas da ABNT 15316.

Visivelmente a mistura das fibras, resina, água e parafina apresenta separação de fases, mesmo assim foi dada continuidade aos procedimentos para confecção dos corpos de prova.

Após a deposição do material no molde, foi necessário fazer uma prévia prensagem, sem transferência de calor, para que a mistura ficasse melhor compactada no molde, como ilustrado na Figura 15 B. Esta prensagem durou cerca de três minutos com pressão de 4 toneladas. Em seguida, foi efetivada a prensagem final (imagem C) realizada em uma prensa hidráulica de laboratório, dotada de aquecimento elétrico, a cerca de 140° C, durante 8 minutos e sob pressão de 10 toneladas.

Industrialmente, a etapa de prensagem ocorre através de prensagem a rolos, porém como os corpos de prova foram confeccionados em laboratório, tal processo foi substituído por prensagem em pratos, tendo sido os parâmetros de prensagem adaptados a esta nova realidade. É importante ressaltar que a prensagem de rolos reproduzida em laboratório é inviável, pois criaria um perfil de densidade não uniforme que iria influenciar as propriedades físicas e mecânicas do painel. Após a prensagem, as chapas passaram por uma etapa de acabamento como mostra a Figura 14:

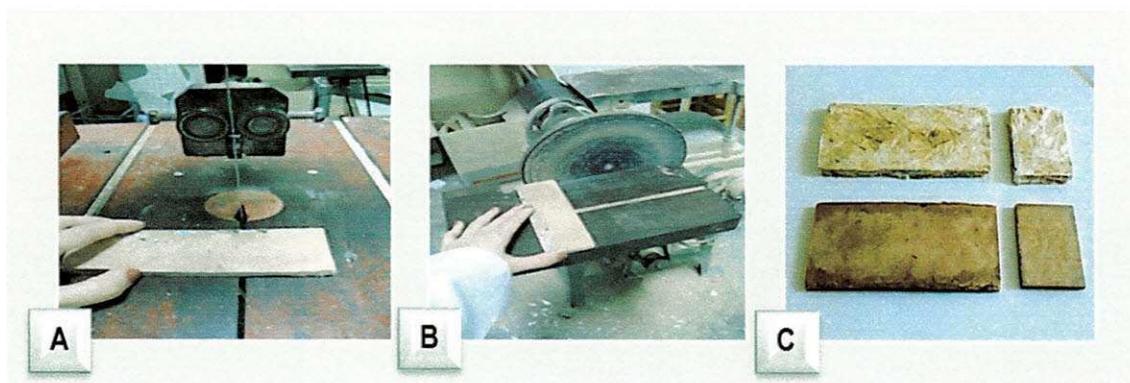


Figura 14 – A) Corte do corpo de prova B) Acabamento na lixa do corpo de prova C) Aspecto visual final dos corpos de prova

FOTO: Ana Flávia Camara Bezerra

A imagem Figura 14 A ilustra o corte dos corpos de prova com o auxílio de uma serra de fita. O acabamento dos compósitos foram feito com uma lixadeira obtendo-se, ao final, como resultado corpos de prova com dimensões

15 x 5 cm e 5 x 5 cm, conforme especificado nas normas ABNT 15316 – parte 2. Os corpos de prova obtidos foram colocados em câmara climatizadora a 20° C e umidade relativa 65% até atingirem peso constante e posteriormente destinados a ensaios avaliação.

3.3 Ensaio de avaliação dos corpos de prova

Os ensaios físicos (densidade; teor de umidade, inchamento em espessura e absorção de água) e mecânicos (resistência a flexão estática e tração perpendicular) seguiram as recomendações das normas ABNT NBR 15316 – partes 1,2 e 3, como ilustra o Quadro 2.

Ensaio de avaliação	Dimensões (Comprimento x Largura)
Ensaio físicos <ul style="list-style-type: none"> • Densidade • Teor de umidade • Inchamento em espessura • Absorção de água 	50 x 50 mm 50 x 50 mm 50 x 50 mm 50 x 50 mm
Ensaio mecânicos <ul style="list-style-type: none"> • Resistência a flexão (tensão de ruptura e módulo de elasticidade) • Tração perpendicular 	150 x 50 mm 50 x 50 mm

Quadro 2 - Esquema dos ensaios de avaliação dos corpos de prova

Como apresentado no quadro acima, apenas o ensaio de flexão foi feito em corpos de prova com dimensão de 150 x 50 mm. Os demais utilizaram corpos de prova com 50 x 50 mm, todos com espessura de 5 mm. Cada ensaio foi repetido cinco vezes e o resultado reportado à média dessas repetições.

Ensaio físicos

Densidade

A densidade estimada dos painéis foi obtida através de corpos de prova quadrados de 50 ± 1 mm de aresta (Figura 15). Mesmo sabendo que confecção manual dos corpos de prova apresenta variação dimensional, determinou-se sua espessura do corpo de prova com um paquímetro digital.

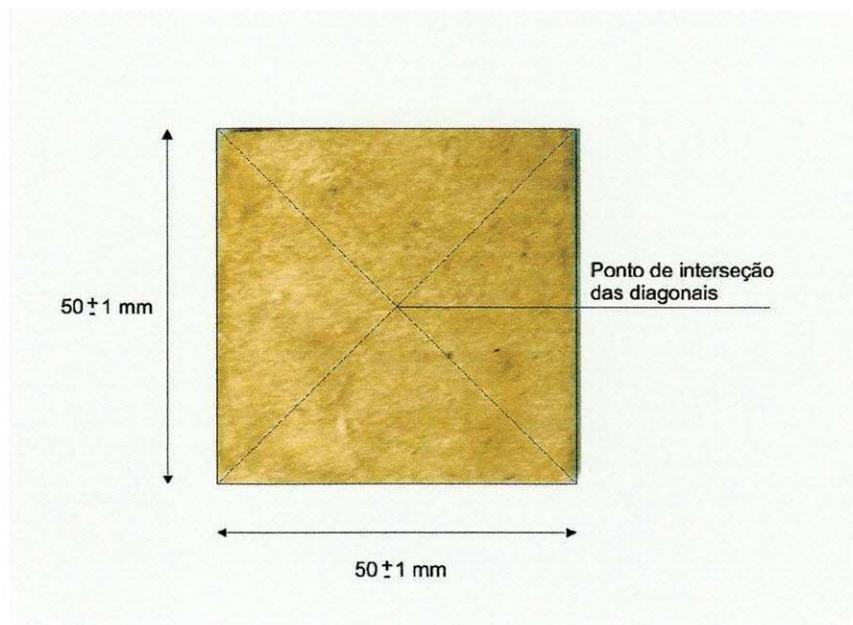


Figura 15 - Corpo de prova para ensaio de densidade

A densidade foi determinada segundo a equação 1.

$$D = \frac{M}{V}$$

Onde: D = densidade (g/m^3);

M = massa (g);

V = volume (m^3).

Teor de umidade

Para determinar o teor de umidade calculou-se a diferença entre os pesos dos corpos de prova antes e depois de serem colocados em estufa a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por cerca de 12hrs até obter massa constante, logo, o teor de umidade foi calculado segundo a equação 2.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} * 100$$

Onde: U = umidade relativa do corpo de prova (%);

MU = massa úmida do corpo de prova (g);

MS = massa seca do corpo de prova (g).

Inchamento em espessura

Para o ensaio de inchamento em espessura foi medida a espessura dos corpos de prova no ponto central da amostra antes e após sua imersão em água limpa, com pH 7 ± 1 e temperatura $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Os corpos de prova ficaram cobertos por 25 ± 5 mm de água durante 24hs. O inchamento em espessura, dado em percentagem, foi calculado através da equação 3.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100$$

Onde: G_t = inchamento (%);

t_1 = espessura inicial (mm);

t_2 = espessura final (mm).

Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água, foi medida a massa dos mesmos corpos de prova usados para o ensaio de inchamento em espessura antes e

após a imersão em água a $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ pelo tempo de 24 h. A absorção de água foi determinada através da equação 4.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Onde: A = absorção (%);

m_1 = massa inicial (g);

m_2 = massa final (g).

Ensaio mecânicos

Flexão em três pontos

As extremidades dos corpos de prova foram apoiadas no suporte da máquina de ensaios estática da marca *Shimadzu* modelo *Autograph AG – X 50 KN* (Figura 16) tendo o comprimento do vão 20 vezes maior que a dimensão da espessura dos corpos de prova, no seu centro uma força foi aplicada até a sua ruptura com velocidade de carga aproximadamente 5 mm por minuto.

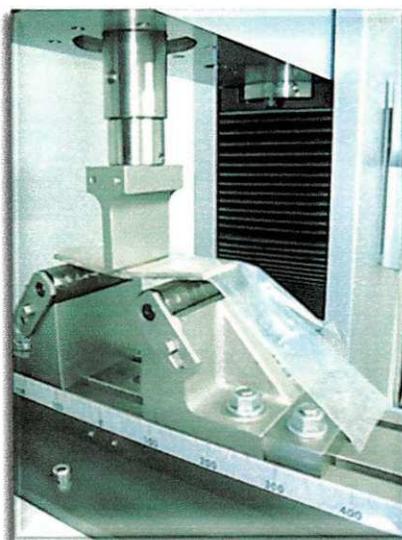


Figura 16 - Detalhe do ensaio de flexão

Tração perpendicular

Para a realização do ensaio de tração perpendicular foi necessário colar nas duas faces do corpo de prova suportes metálicos com cola épxi. Os suportes foram acoplados na máquina de ensaios marca Shimadzu modelo Auograph AG - IS 100 KN e posteriormente tracionados perpendicularmente de forma que o corpo de prova se rompesse (Figura 17). A velocidade do ensaio foi baseada na espessura da amostra de 0,5 mm/min.

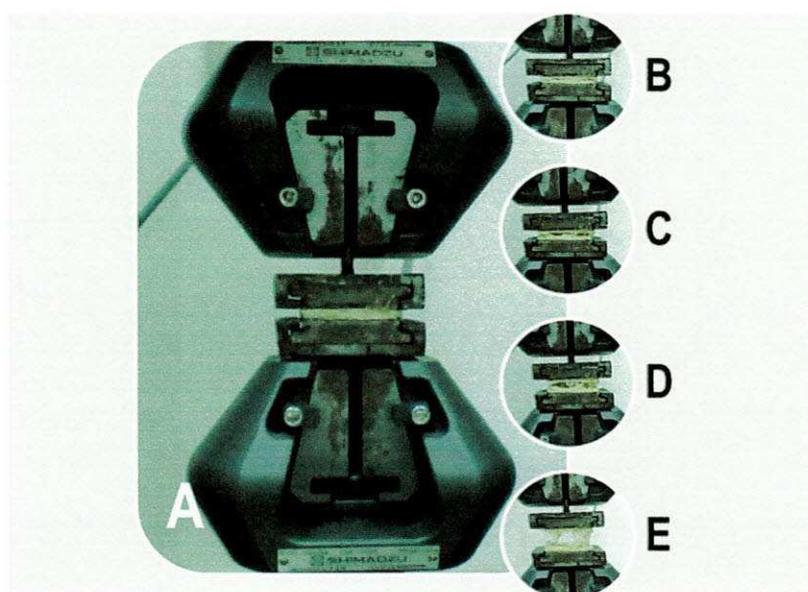


Figura 17 - Detalhe do ensaio de tração

A Figura 17 ilustra o detalhe do andamento do ensaio de tração. Na imagem A é possível visualizar a amostra fixa nos suportes metálicos, enquanto na imagem seguinte nota-se a formação de trinca; nas imagens C e D nota-se a trinca mais evidente e na E a amostra está totalmente tracionada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das fibras e do resíduo de caulim

A Tabela 2 apresenta a composição química das fibras de eucalipto *grandis* e pinus *taeda* na proporção 1:1 e das fibras de caroá. Verifica-se que as fibras de eucalipto e pinus apresentam teores de celulose ($64,79 \pm 0,88\%$) e lignina total ($12,58\%$) inferiores aos da fibra de caroá ($70,3 \pm 0,4$ e $12,5 \pm 3\%$). Já a fibra de caroá apresentou teor de cinzas inferior ao das fibras de eucalipto e pinus.

Os resultados diferem dos de Machado *et al.* (1988) e Mori *et al.* (2003), que apresentaram, respectivamente, os valores de 76,80% e 69,18% para teor de celulose, 23,03% e 25,88% de lignina e 0,23% e 0,07% de cinzas para a madeira de eucalipto *grandis*. Para a fibra de pinus *elliotti* os resultados foram superiores aos de Rigatto *et al.* (2004) quanto ao teor de celulose que apresentaram 55,80%, e inferior em relação ao teor de lignina de 27,22%.

Os resultados da composição química da fibra de caroá foram similares aos apresentados por Lopes (2009): $72,4 \pm 0,5\%$ para o teor de celulose, $13,5 \pm 3,5\%$ para lignina e $0,7 \pm 0,2\%$ para teor de cinzas.

Estas diferenças de teor estão diretamente relacionadas às características de cultivo, clima e solo que estas espécies são submetidas.

Tabela 2 - Composição química das fibras de eucalipto, pinus e caroá

Composição Química (%)	Fibras de eucalipto e pinus	Fibras de caroá
Celulose	$64,79 \pm 0,88$	$70,3 \pm 0,4$
Lignina Total (solúvel + insolúvel)	$12,58 \pm 0,5$	$11,5 \pm 3$
Teor de cinzas	$0,91 \pm 0,02$	$0,5 \pm 0,3$

Segundo *Rowell et al.* (2000) a composição química das fibras lignocelulósicas apresenta relação direta com suas propriedades mecânicas e estrutura física. Nota-se que as fibras de eucalipto e pinus possuem o valor de celulose inferior ao da fibra de caroá, indicativo de maior resistência física por parte da segunda fibra. O teor de lignina, que é responsável pela deformabilidade elástica das fibras, apresentou-se similar nas fibras estudadas.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da composição química e perda ao fogo do resíduo de caulim. Verifica-se que este apresenta alto teor de SiO_2 (52,25%) e Al_2O_3 (39,89%), que são provenientes da sílica livre e combinada. O K_2O e MgO são provenientes da mica.

Tabela 3 - Composição química do resíduo de beneficiamento do caulim

Amostra do resíduo	Determinações (%)						
	PF*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	Outros Óxidos
Caulim	2,8	52,25	39,89	0,53	2,99	1,22	0,32
*Perda ao fogo							

A Figura 18 apresenta as curvas da análise térmica diferencial - ATD - e análise térmica gravimétrica - TG - das fibras eucalipto e pinus. Analisando as curvas observa-se que até a temperatura de 120°C provavelmente aconteceu uma perda de massa correspondente a água de hidratação. *Beg et al.* (2008) reportam ainda que, além da desidratação, ocorre liberação dos voláteis.

Entre 200 e 370°C existe uma intensidade máxima de perda de massa referente à degradação/pirolise das polioses (hemiceluloses). Entre as temperaturas de 370 a 790°C, a amostra perdeu massa que segundo verificado por *Carvalho* (1999), corresponde à degradação da lignina e posteriormente da α -celulose, totalizando 79,19% da perda de massa da amostra.

A curva DTA apresenta quatro os principais eventos exotérmicos em 132, 423, 450 e 790°C, e endotérmicos em 390, 610 e 623°C. Acredita-se que estes eventos estejam associados à desidratação e reação de estado sólido relacionados aos eventos anteriormente citados.

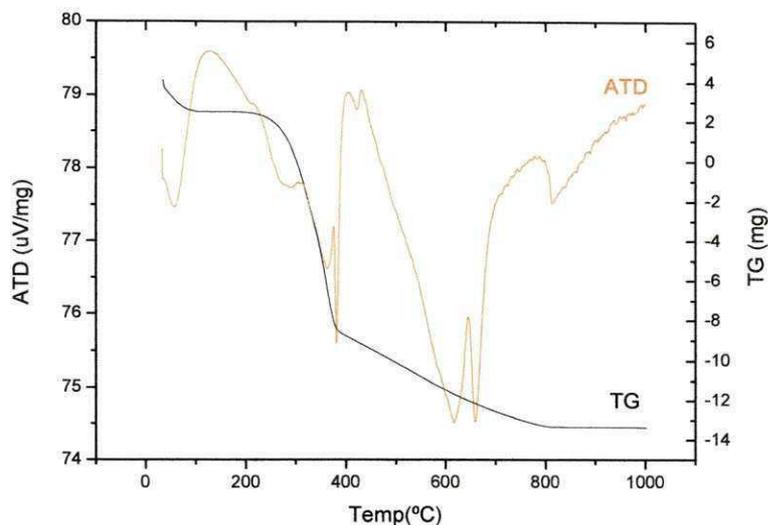


Figura 18 - Análises térmica diferencial e gravimétrica das fibras de eucalipto e pinus

A Figura 19 apresenta as análises TG e ATD da fibra de caroá. Analisando as curvas, verifica-se que a decomposição até 100°C provavelmente é referente à perda de água e liberação dos voláteis presentes na amostra. Como apresentado em Lopes (2009), a perda de massa até 375°C pode ser atribuída à decomposição das polioses e polifenóis de cadeias curtas, entre 376 e 590°C verificou-se uma de composição que possivelmente refere-se a perda de massa referente à decomposição da α -celulose. Acima de 591°C ocorre à decomposição da lignina e dos resíduos provenientes da carbonização de outros compostos presentes na fibra, totalizando a perda de massa em 85,23%.

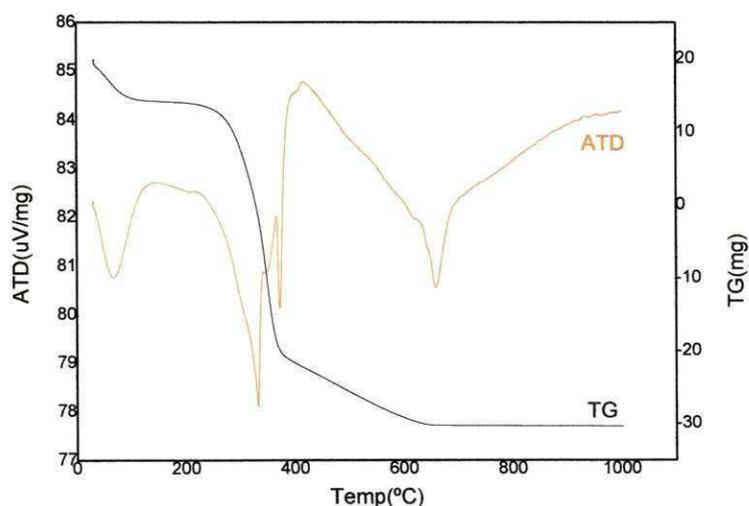


Figura 19 - Análises térmica diferencial e gravimétrica da fibra de caroá

Em relação à curva da ATD da Figura 19, observa-se o efeito dos principais eventos de decomposição. O pico exotérmico em 196,71°C provavelmente é correspondente à degradação/pirolise das polioses (hemiceluloses) e celulose, o pico 429,89°C possivelmente correspondente à degradação da lignina.

As Figuras 20 A e B apresentam os difratogramas de raios-x da mistura de fibras de eucalipto e pinus e da fibra de caroá. Analisando a curvas da Figura 20 A, verifica-se uma banda de baixa intensidade entre 12 e 17Å com característica do cristal polimórfico da celulose e um pico a 23 Å referente à porção cristalina. Valores similares foram verificado por Lopes (2009) para outras fibras lignocelulósicas como as de sisal, caroá e curauá. No caso da fibra de caroá, valores semelhantes foram obtidos por Subramanian *et al* (2005), ou seja, uma banda de baixa intensidade entre 15 e 19 Å referente ao cristal polimórfico da celulose e outro pico mais intenso a 23 Å que remete a porção cristalina da celulose.

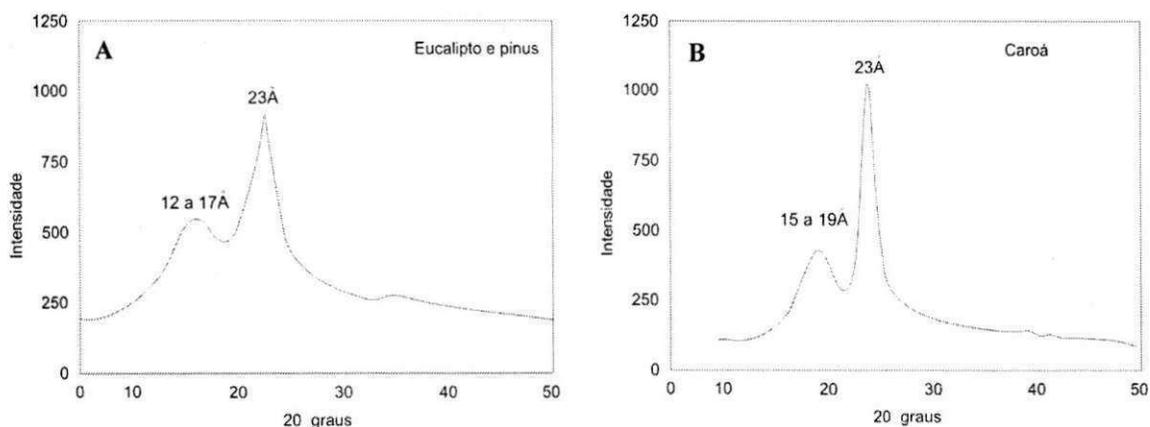


Figura 20 – A) Difratograma de raios-x das fibras de eucalipto e pinus B) Difratograma de raios-x da fibra de caroá

Comparando-se os dois difratogramas observa-se que, de maneira geral, aquele relativo à mistura de fibras (pinus e eucalipto) apresenta-se menos definido, o que estaria associado a um menor teor de celulose cristalina fato que foi confirmado pela análise química que indicou que as fibras de caroá têm maior teor de celulose do que a mistura pinus e eucalipto.

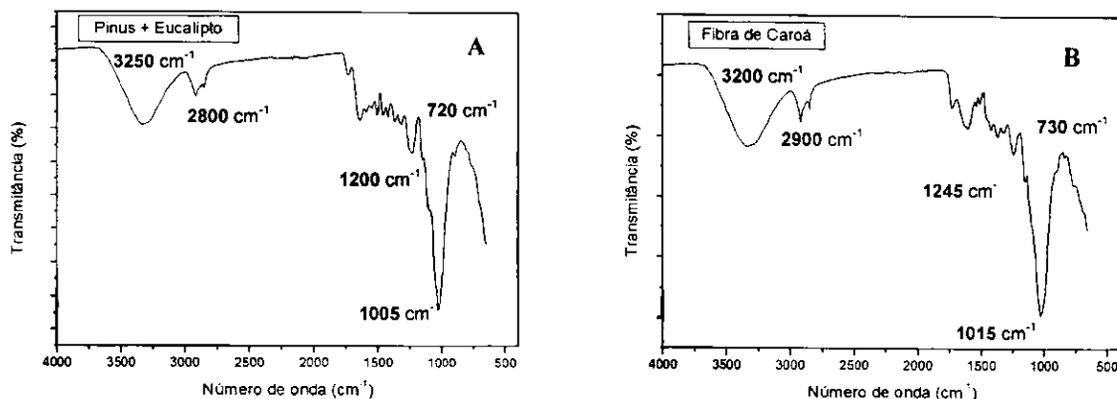


Figura 21 – A) Espectroscopia de infravermelho das fibras de eucalipto **B)** Espectroscopia de infravermelho da fibra de caroa

A Figura 21 apresenta a espectroscopia de infravermelho das fibras de eucalipto e pinus e da fibra de caroa. Espectros similares de fibra de araucária foram apresentados por Oliveira (2009). Os picos a 720 (Figura 21 A) e 730 cm⁻¹ (Figura 21 B) são atribuídos possivelmente às vibrações C-O. Observa-se também picos em aproximadamente 1005 (Figura 21 A) e 1015 cm⁻¹ (Figura 21 B) que possivelmente são associados à deformação do C-H presente no anel aromático, deformação C-O em álcool e ésteres e estiramento C-O-C de dialquil éteres.

Os picos em 1200 (Figura 21 A) e 1245 cm⁻¹ (Figura 21 B) provavelmente representam vibrações do éter. O intervalo entre 1250 e 1800 cm⁻¹ (Figura 21 A) e 1245 e 1900 cm⁻¹ (Figura 21 B) representam as vibrações dos anéis aromáticos, principalmente aqueles ligados às ligninas. Finalmente os picos 2800 e 3250 (Figura 21A) e os picos 2900 e 3200 representam os estiramentos C-H.

A Figura 22 apresenta as curvas DTA e TGA do resíduo de caulim. Analisando a curva da TGA verifica-se que no intervalo de temperatura de 0 a 120 °C há uma perda de massa de 1,53% referente à água livre. Entre 530 e 900 °C a perda de massa foi de 1,23% correspondente a perda de hidroxilas do material. Acima de 900 °C totaliza a perda da massa em 2,80%.

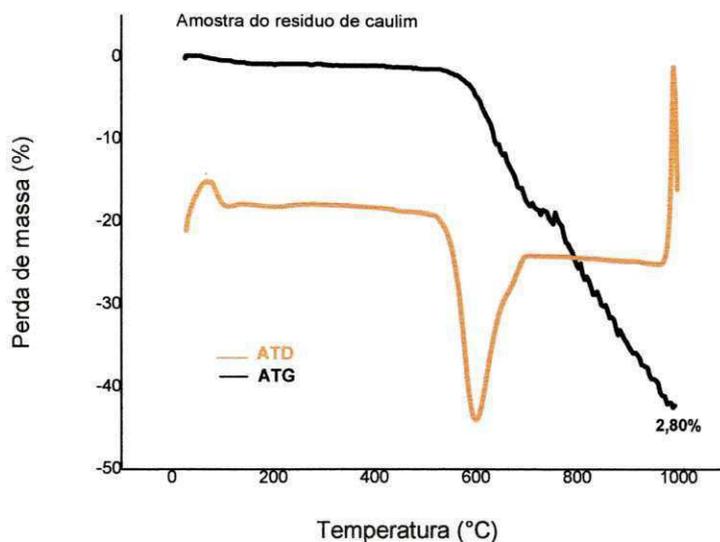


Figura 22 - Análises térmica diferencial e gravimétrica do resíduo de caulim

Analisando a curva DTA verificam-se picos endotérmicos a 70°C característico da presença de água livre e 989,75°C relativo à mulita e um pico endotérmico em 602,06°C característico da presença de hidroxila.

A Figura 23 apresenta o difratograma de raios-x do resíduo de caulim. Verifica-se que o resíduo apresenta as seguintes fases mineralógicas: caulinita caracterizada por picos com distâncias interplanares de 7,07 e 3,56 Å; quartzo caracterizado pelas distâncias interplanares de 4,22 e 3,32 Å e a mica com 10Å.

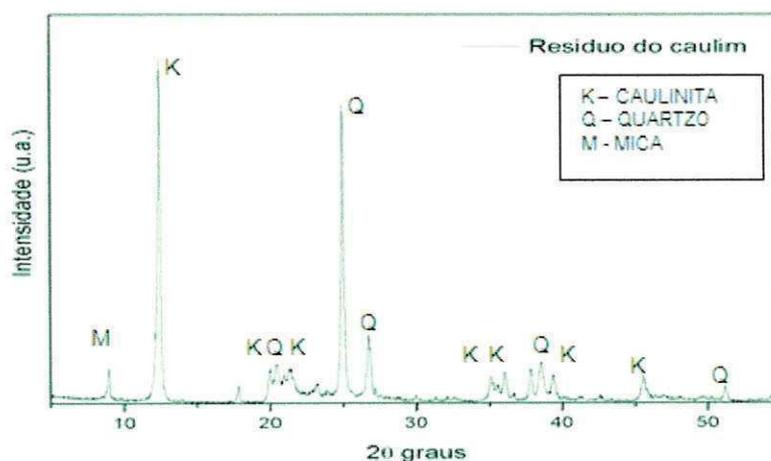


Figura 23 - Difração de raios-x do resíduo de caulim

A Figura 24 A e B apresentam as distribuições de tamanho de partículas do resíduo do beneficiamento de caulim. Analisando as figuras, verifica-se que o resíduo de caulim apresenta uma distribuição granulométrica com distribuição de tamanho de partículas com D90 correspondente a 80,86 μm ; D50 43,77 μm ; D10 com 4,70 μm e diâmetro médio de 43,96 μm sendo caracterizada por uma curva com comportamento modal com estreita distribuição de tamanho de partículas.

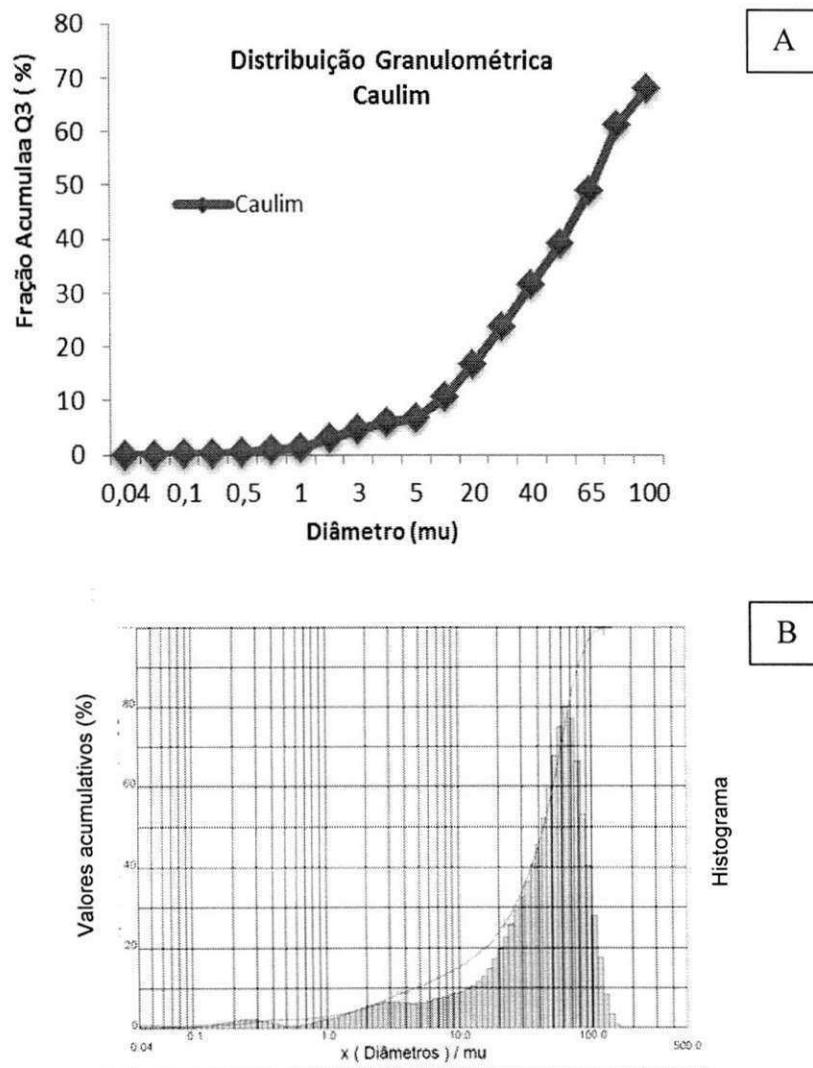


Figura 24A e B - Representação da distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo de caulim

Na amostra analisada no infravermelho (Figura 25) foram obtidos espectros com picos a 3700 cm^{-1} , 3550 cm^{-1} e 3320 cm^{-1} referentes aos grupos O-H, predominância de caulinita. No pico a 1150 cm^{-1} nota-se a deformação OH, típica de material caulínítico. Picos iniciais como a 850 cm^{-1} referem-se a distinção entre caulinita e haloisita.

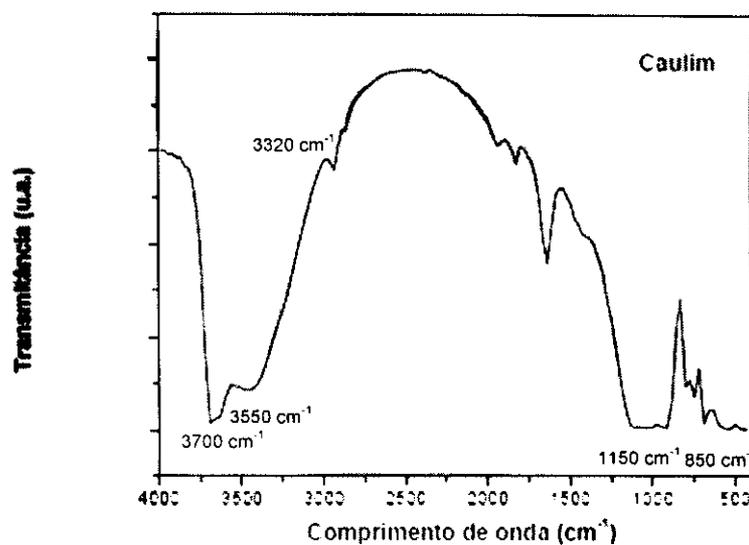


Figura 25 - Espectroscopia do resíduo de caulim

4.2 Ensaios físicos

Os resultados dos ensaios físicos foram analisados individualmente e entre os compósitos com mesma carga: 1 C (eucalipto e pinus), 2 C (eucalipto, pinus e resíduo de caulim), 4 C (caroá) e 6 C (caroá e resíduo de caulim). Apesar das amostras possuírem mesma proporção de composição, o perfil das fibras utilizadas e, principalmente, o tamanho delas interferem diretamente nas propriedades dos compósitos. Além destas, outras variáveis importantes são a proporção volumétrica, porosidade, interação fibra matriz, forma, tamanho, grau de orientação e distribuição das fibras que são similares entre os compósitos com mesma fibra.

A Figura 26 apresenta os resultados das densidades dos compósitos ensaiados. Os valores foram similares entre os compósitos de mesma fibra 1 C; 2 C e 4 C; 6 C, tendo como média $0,45$ e $0,85\text{ g/mm}^3$, respectivamente. As

densidades dos compósitos sem o resíduo de caulim em sua composição 1 C e 2 C ($0,48$ e $0,43$ g/mm^3) apresentam os valores aproximados indicados pela norma ABNT NBR 15326 - parte 3, segundo qual os painéis de MDF classificados como *ultra light* devem possuir densidade variando entre $0,45$ e $0,55$ g/mm^3 , já as amostras com o resíduo, 4 C e 6 C, apresentaram maior teor de densidade, ambos com $0,85$ g/mm^3 , seguiram os parâmetros do MDF tipo HDF: chapa com densidade ≥ 800 kg/m^3 . Através de uma análise dos dados de densidade é possível afirmar que provavelmente o resíduo não interferiu no empacotamento das fibras.

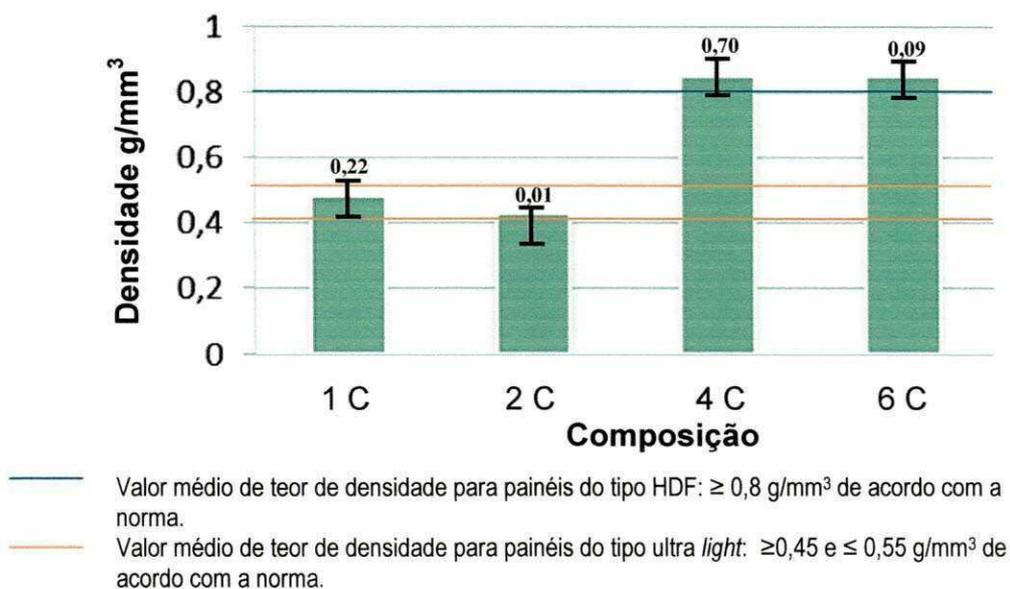


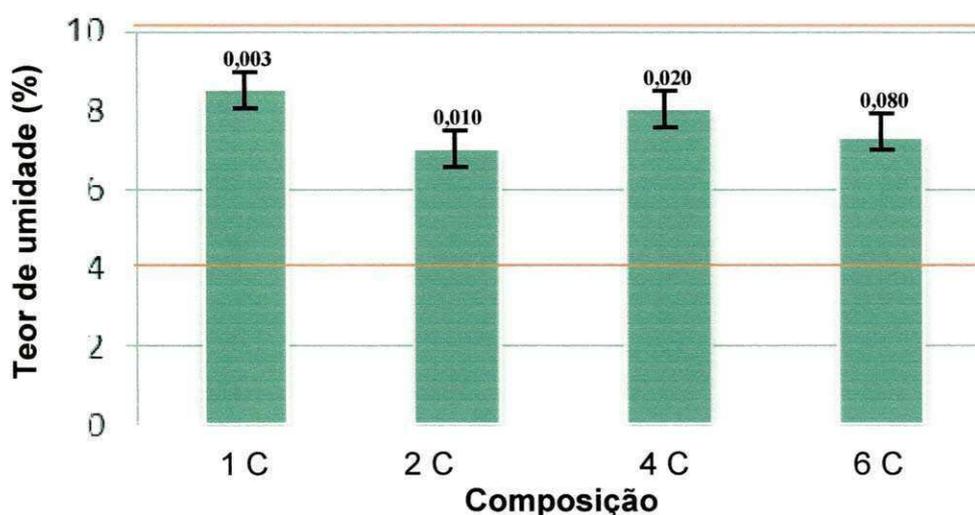
Figura 26 - Valores médios de densidade dos compósitos 1C - fibras de eucalipto e pinus; 2 C – fibras de eucalipto, pinus e resíduo de caulim; 4 C – fibras de caroá e 6 C – fibras de caroá e resíduo de caulim

A Figura 27 ilustra o resultado do ensaio de teor de umidade, nota-se que os compósitos com fibras de caroá (4 C e 6 C) apresentaram menor teor de umidade em relação aos confeccionados com fibras de eucalipto e pinus (1 C e 2 C), isto pode ser justificado pela forma como os corpos de prova foram confeccionados.

As composições que possuem resíduo de caulim (4 C e 6 C) apresentaram teor de umidade reduzido (7,03 e 7,32%, respectivamente) em comparação às demais analisadas (1 C 8,5 e 2 C 8,02%), ou seja, a

probabilidade de desenvolver fungos e de envelhecer precocemente é menor já que a quantidade de água presente no compósito também é menor.

Comparando esses resultados com os especificados pela ABNT NBR 15316 (parte 3) verifica-se que todas as amostras apresentam teor de umidade no intervalo aceito pelas normas que basea-se na composição com fibras de eucalipto e pinus.



— Teor de umidade para painéis do tipo *standard* de acordo com a norma (4 a 11%)

Figura 27 - Valores médios de teor de umidade dos compósitos 1C - fibras de eucalipto e pinus; 2 C – fibras de eucalipto, pinus e resíduo de caulim; 4 C – fibras de caroá e 6 C – fibras de caroá e resíduo de caulim

A Figura 28 A e B apresentam os valores médios das propriedades de inchamento e absorção de água após 24 horas de imersão. Nota-se que resultados relativos ao inchamento (1 C 12,58%; 2 C 14,47%; 4 C 16,48% e 6 C 49,64%) apresentam tendências similares aos resultados de absorção de água (1 C 40,2%; 2 C 55,8%; 3 C 93,8% e 4 C 156%). Os compósitos com fibras de eucalipto e pinus (1 C e 2 C) apresentaram melhor resposta por possuírem menores percentuais de inchamento em espessura e absorção de água.

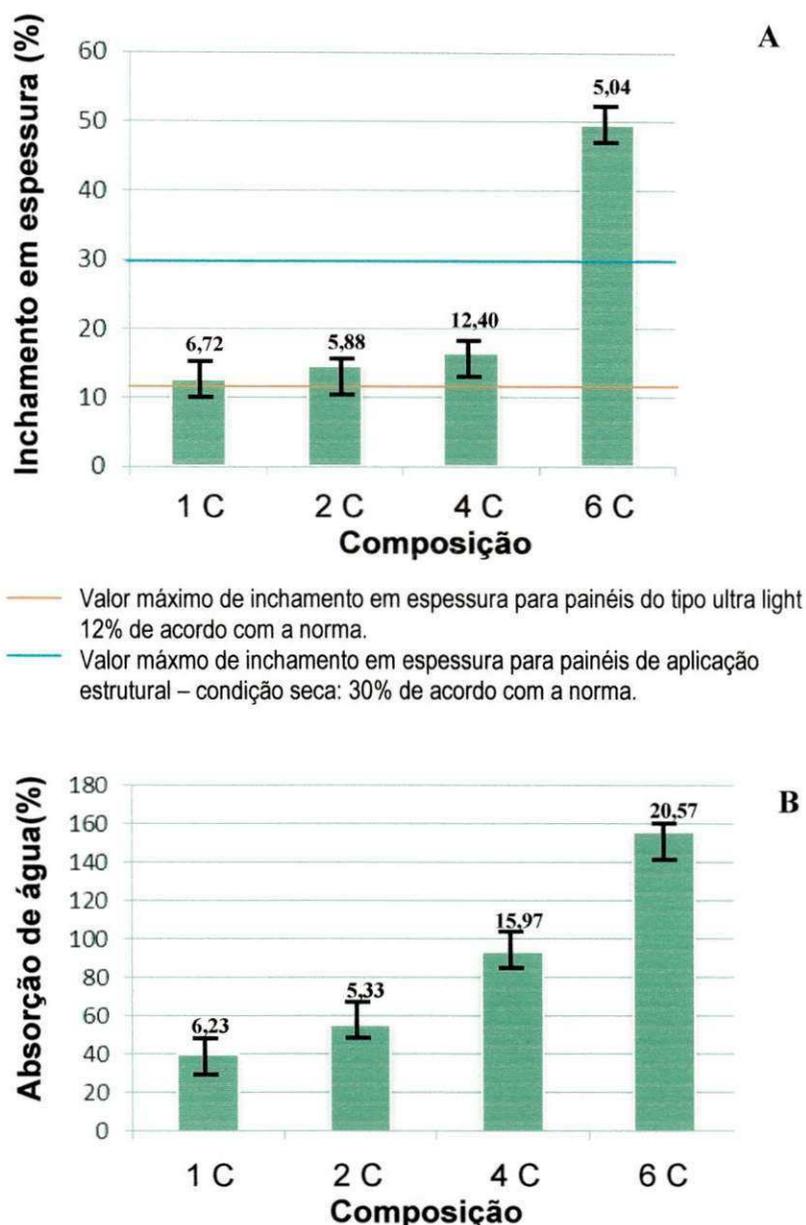


Figura 28. A) Valores médios de inchamento em espessura
 B) Valores médios absorção de água

Os compósitos com fibras de caroá incham e absorvem mais água do que os compósitos com fibras de eucalipto e pinus, isto provavelmente acontece por causa da quantidade de vazios que absorvem maior quantidade água nos compósitos com fibras de caroá do que os demais. Tendo como referência os compósitos com e sem resíduo de caulim, nota-se que as amostras que não apresentam o resíduo possuem um menor teor de inchamento e de absorção de água, o que provavelmente está relacionado ao

comportamento hidrofóbico dos argilominerais que estão presentes no resíduo e o fato do resíduo não ter sido bem misturado com a resina.

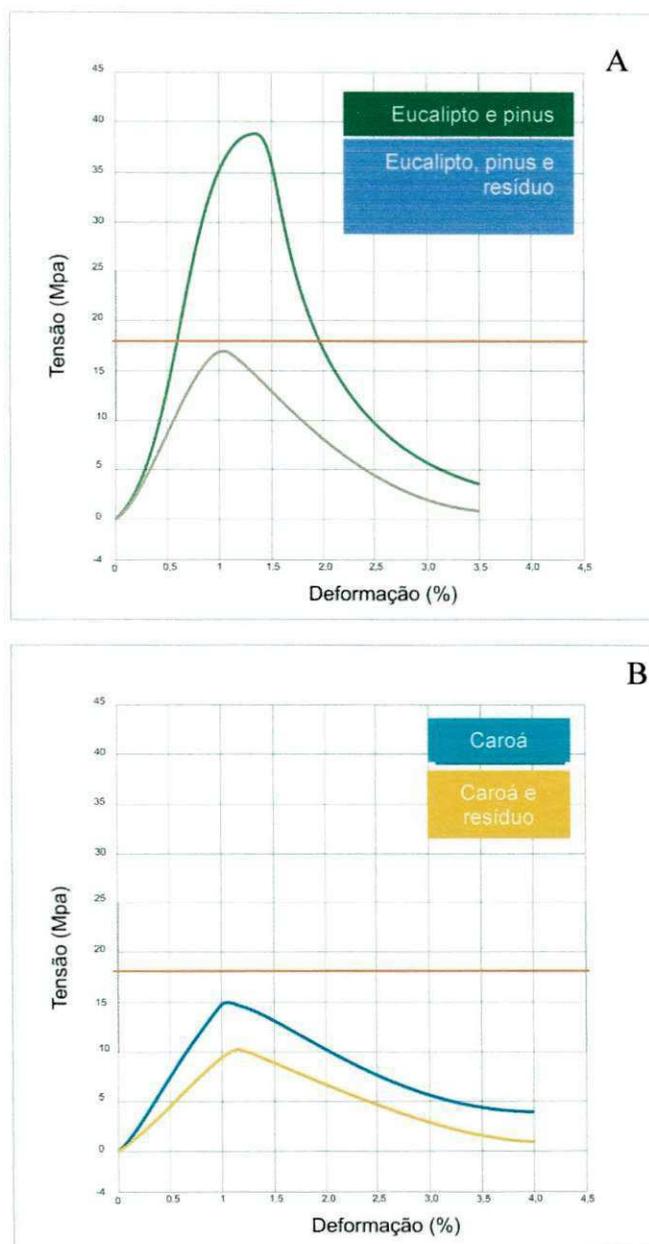
Os valores de inchamento do compósito 1 C enquadra-se no valor máximo especificado pela norma ABNT 15316 (parte 3) para painéis do tipo ultra *light*, os compósitos 2 C e 4C superam este valor e o compósito 6 C excede os valores dos painéis voltados para uso estrutural em condição seca.

Segundo Eleotério (2000) a absorção de água influencia diretamente o inchamento e apresentam relação inversa com outras variáveis como módulo elástico e de tração que serão apresentados a seguir. Kelly (1977) & Carll *et al.* (1996) afirmam que o inchamento em espessura não é apenas devido à retrabilidade do material em função da densidade, outros motivos para a expansão da espessura, em décimos de milímetros das amostras, estão relacionados ao alívio da pressão após a prensagem e, em parte, ao baixo teor de resina na composição. Uma possível alternativa é elevar o teor de umidade do compósito, o que torna as fibras mais plásticas durante a prensagem, reduzindo a tensão residual durante a prensagem.

Eleotério (2000) explica ainda que, na literatura, a relação entre a densidade e o inchamento em espessura varia. Por exemplo, Maloney (1989) defende que o aumento da densidade gera aumento do teor de inchamento em espessura, enquanto que Kelly (1997) afirma que a densificação pode limitar a entrada de umidade no painel e conseqüentemente o inchamento, Suchsland *et al* (1986), Chow (1976) e Nelson (1973), por sua vez, afirmam que o inchamento não varia com a densidade.

As Figuras 29 A e B e a Tabela 4 apresentam os gráficos de tensão x deformação e os dados relacionados à média da força, tensão e módulo de elasticidade obtidos no ensaio de flexão em três pontos. Nota-se que a composição 1 C, com fibras de eucalipto e pinus, possui maior valor de tensão máxima (38,41 MPa) e enquadra-se no valor mínimo (18%) estabelecido pela norma ABNT para painéis para aplicação estrutural. Os demais compósitos não ultrapassam o mínimo exigido. Tendo como referência a média dos compósitos com e sem resíduo de caulim, verifica-se que aqueles que não possuem o resíduo apresentam maior resistência. O resíduo de caulim contém quartzo,

que é um material abrasivo, o que pode ter gerado atrito e provavelmente influenciado o comportamento mecânico dos sistemas.



— Valor mínimo de flexão para painéis do tipo ultra *light*: 18% de acordo com a norma.

Figura 29 – A) Gráficos de tensão x deformação do ensaio de flexão para os compósitos com fibras de eucalipto e pinus B) Gráficos de tensão x deformação do ensaio de flexão para os compósitos com fibras de caroá

Tabela 4. Médias da força, tensão e módulo de elasticidade obtidos no ensaio de flexão dos compósitos

COMPOSIÇÃO	MÁXIMA FORÇA (N)	MÁXIMA TENSÃO (MPa)	MÓDULO ELÁSTICO (MPa)	
1 C	291,06	38,41	3068,92	Tensão 5-15MPa
Fibras de eucalipto e pinus				
Desvio padrão	39	5,14	463,71	
2 C	125,56	16,57	1579,75	Tensão 2-7MPa
Fibras de eucalipto e pinus e resíduo de caulim				
Desvio padrão	28,24	3,72	92,39	
4 C	109,87	14,49	2098,064	Tensão 2-7MPa
Fibras de caroá				
Desvio padrão	25,33	3,34	467,86	
6 C	76,13	10,04	1792,36	Tensão 3-5MPa
Fibras de caroá e resíduo de caulim				
Desvio padrão	20,4	2,69	522,73	

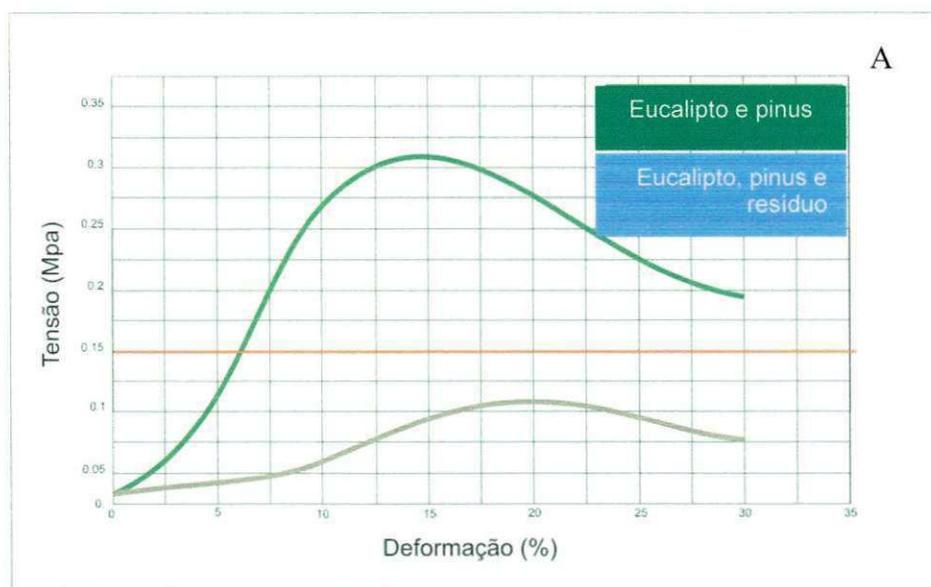
O módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez do material. Em relação ao comportamento elástico das composições estudadas, nota-se que a amostra que possui fibras de eucalipto e pinus (1 C) possui maior módulo elástico do que as demais, o que corrobora com os resultados apresentados anteriormente.

Para os demais compósitos, nota-se diferença no tipo, dimensão e distribuição de fibra utilizada, os compósitos que possuem fibras de caroá (2 C e 6 C) apresentaram teores de força máxima e tensão máxima inferiores aos que possuem fibras de eucalipto e pinus (1 C e 2 C).

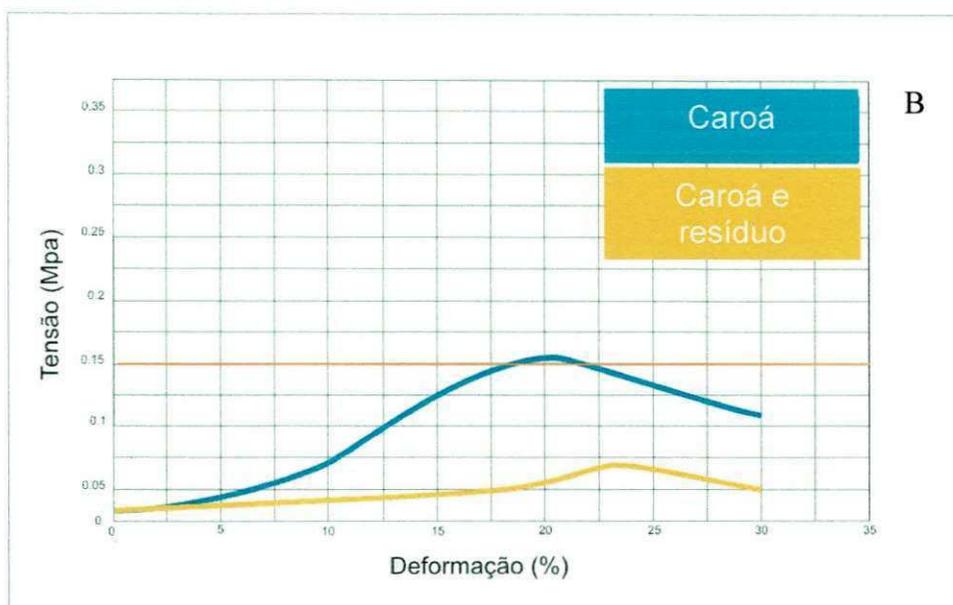
Conforme comentado na metodologia a composição de painéis de média densidade não deve conter mais que 8,15% de sílica, no entanto, a granulometria da sílica pode ter uma influência significativa sobre o comportamento dos compósitos.

O módulo elástico dos compósitos dos compósitos que não possuem o resíduo (1 C e 4 C) enquadram-se nas normas da ABNT 15316 (parte 3) em oposição aos compósitos que possuem o resíduo (2 C e 6 C), portanto, a incorporação do resíduo de caulim mostrou-se inviável para a obtenção de painéis de média densidade.

As Figuras 30 A e B e a Tabela 5 representam o resultado de ensaio de tração para as composições estudadas. Assim como para o ensaio de flexão, o valor de tensão máxima e do módulo de elasticidade é significativamente maior na amostra que possui as fibras de eucalipto e pinus do que nas demais. Comparando-se os resultados ensaiados com os apresentados pelas normas da ABNT 15316 (parte 3) os compósitos que não possuem o resíduo na sua composição (1 C e 4 C) enquadram-se na classificação de chapas ultra *light*.



— Valor mínimo de tração para painéis de ultra *light*: 0,15 N/mm² de acordo com a norma.



— Valor mínimo de tração para painéis de ultra *light*: 0,15 N/mm² de acordo com a norma.

Figura 30 – A) Tensão x deformação ensaio de tração para compósitos com fibras de eucalipto e pinus
B) Tensão x deformação ensaio de tração para compósitos com fibras de caroá

Tabela 5 - Limite de resistência à tração, módulo elástico e carga máxima à tração

COMPOSIÇÃO	LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)	MÓDULO ELÁSTICO (N/MM ²)	CARGA MÁXIMA À TRAÇÃO (N)
1 C Fibras de eucalipto e pinus	0,335	2,122	838,54
Desvio padrão	0,155	1,054	389,36
2 C Fibras de eucalipto, pinus e resíduo de caulim	0,120	1,238	301,04
Desvio padrão	0,033	0,553	83,210
4 C Fibras de caroá	0,154	1,059	385,05
Desvio padrão	0,05	0,929	132,33
6 C Fibras de caroá e resíduo de caulim	0,062	0,571	165,63
Desvio padrão	0,010	0,610	25,580

Esta variação de limite de resistência à tração, módulo de elasticidade e carga máxima à tração provavelmente ocorre devido à composição química das fibras, tamanho e a disposição aleatória delas no compósito.

Comparando-se isoladamente cada fibra com e sem o resíduo de caulim nota-se que os compósitos 1 C e 4 C apresentam maior módulo de elasticidade, resistência à tração e suporta uma carga máxima maior à tração, provavelmente isto acontece devido o resíduo não ter boa adesão com as fibras, provocando assim fragilização do material, fato apresentado por Carr *et al.* (2006) que verificaram que o uso do caulim levou menor resistência ao compósito estudado.

O comportamento apresentado pelos compósitos ensaiados em tração e flexão foi similar. Acredita-se que a causa para o baixo desempenho dos compósitos reforçados com caroá estejam associados a defeitos de fabricação dos corpos de prova, causadas tanto por uma má distribuição e alinhamento das fibras quanto por inadequadas condições de prensagem e teor de resina reduzido, dificultando assim o melhoramento da aglutinação dos componentes durante a obtenção das chapas. Labosky *et al.* (1993), Maloney (1998) defende que para obter maior módulo de elasticidade e ruptura além da disposição das fibras deve-se aumentar o teor de resina.

de elasticidade adequado para aplicações em painéis *ultra light*, segundo as normas da ABNT 15316 (parte 3).

- O valor de tensão máxima e o módulo de elasticidade para tração apresenta-se maior na amostra que possui na sua composição fibras de eucalipto e pinus, enquadrando o compósito na classificação de chapas *ultra light*.
- Os compósitos com fibra de caroá apresentam características comparáveis aos dos painéis de MDF confeccionados com fibras de eucalipto e pinus.
- A incorporação do resíduo de caulim da forma realizada não foi benéfica para as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, os dados indicam que o processo de obtenção dos corpos de prova influenciaram as propriedades dos compósitos.

6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Unificar a dimensão das fibras, ou seja, reduzir o tamanho das fibras de caroá para o tamanho das fibras de eucalipto e pinus.
- Misturar a composição de forma uniforme para evitar concentrações de tensões e possíveis fraturas por parte dos compósitos.
- Aumentar o teor de resina para melhorar a interface dos compósitos e, conseqüentemente, as propriedades físicas e mecânicas.
- Estudar a possível aplicação de outras fibras naturais como de sisal, curauá e coco.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15316:2009** - Chapas de Fibras de Média Densidade. Rio de Janeiro, 2009. Partes 1 (terminologia), 2 (requisitos) e 3 (métodos e ensaios).

AJIWE, V. I. E.; OKEKE, C. A.; EKWUOZOR, S. C.; UBA, I.C. **A pilot plant for production of ceiling boards from rice husks**. Bioresource Technol. v. 66, p.41-43, 1998.

AKIYAMA, H.; KURIHAMA, K.; HOSOYA, S.; TOMIMURA, Y. Ecology boards for concrete forms using recycled paper resources. The use of recycled wood and paper in building applications. **Madison: Forest Products Society**, p. 266, 1996.

ALVARENGA, W.F. **Produção de carvão ativa da palha de milho**. Dissertação (Mestrado multidisciplinar em Física, química e neurociência) - Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei - Minas Gerais, p.96, 2007.

AMICO, S., COSTA, T., CARRERA, L., SANTANA, W., GALVÃO, D. **Caracterização de fibras de sisal da região Nordeste do Brasil**. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Foz do Iguaçu, 2001.

BARDINI, V.S. **Estudo de viabilidade técnica da utilização de cinzas da queima da casca de pinus em obras de pavimentação asfáltica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Transporte). São Carlos - SP, p.192, 2008.

BEG, M. D. H.; PICKERING, K. L. Accelerated of unbleached and bleached kraft wood fiber reinforced polypropylene composites, **Polymer Degradation and Stability**, v.93, p. 1939-1946,2008.

BELINI, U. L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do *eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) - ESALQ/USP. Piracicaba, 2007. 90 p.

BNDES - Estudo Setorial 2008. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, 2008. p.36.

BRISTOW, C. M. Kaolin paper underpins current demand. **Industrial minerals**, p.62-67, July, 1987

BUDZIAK, C.; MAIA, C. F., MANGRICH, A. S. Transformações químicas de matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira, **Química Nova**, v.27, n.3, p.399-403, 2004.

BURSZTYN, M. A. A. **Gestão ambiental: instrumentos e práticas**. Brasília: Edgard Blücher. 172p, 1994.

CABRAL, E. LEITE, E.; ARAÚJO, R. **IMPACTOS AMBIENTAIS: Uma abordagem das atividades de beneficiamento de caulim na região Borborema/Seridó na Paraíba**. Faculdade Unida da Paraíba, João Pessoa – Paraíba, 2009.

CALEGARI, L., HASALEIN, R., BARROS, M., SCARAVELLI, T., DACOSTA, L., PEDRAZZI, C., HILLIG, E. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. **Ciência Florestal**, v.14, n.1, p.193-204, 2004.

CAMPOS, C. Processo produtivo de chapa de fibra de média densidade (MDF). **Revista da Madeira**; v. 12, n. 71, p. 60-66, 2003.

CAMPOS, C. & LAHR, R. F. Caracterización del MDF producido a partir de eucalipto y adhesivo poliuretano Natural. **Maderas. Ciencia y tecnología**, vol.6, nº.1, p.73-84. ISSN 0718-221X. 2004.

CARR, L. G., PONCE, P., PARRA, D. F., LUGÃO, A. B., BUCHLER, P. M. Influência da adição de caulim e CaCO₃ nas propriedades mecânicas das espumas de amido. In **17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais**, Foz do Iguaçu - PR, p. 8786-8778, 2006.

CARLL, C. G. Review of thickness swell in hardboard siding: effect of processing variables. Madison, WI: USDA, Forest Service, **Forest Products Laboratory**, p.10, 1996.

CARVALHO, A. M. M. L. Análises termogravimétrica e termodiferencial da madeira, da celulose e da lignina. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.23, n.1, p.113-129, 1999.

CHOW, P. Properties of medium-density, dry-formes fiberboard from seven hardwood residues and bark. **Forest Products Journal**, v.26, n.5, p.48-55, 1976.

COSTA, C.; MEDEIROS, S; INGUNZA, M.; SANTOS JUNIOR, O.; DANTAS, E. Valorização do rejeito proveniente do beneficiamento de caulim do município de Equador-RN. In: **XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 2006, Punta del Este, Uruguai. Cd do XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Punta del Este : AIDIS. v. 1. p. 1-9, 2006.

CRAIG, M. & CLEMONS, D. F. Natural Fibers. P. D. Xanthos, **Functional Fillers for Plastics**. Weinheim: WILEY-VCH VerlagG mbH & Co. KG aA. p. 195- 206, 2005.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis de MDF de diferentes densidades e teor de resina**. 2000, 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira), Escola superior de Agricultura ``Luiz de Queiroga``, Universidade de São Paulo, 2000.

GOMES, F. **Estudos de caracterização tecnológica e beneficiamento do caulim da região Borborema – Seridó (RN)**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, p. 70, 2007.

GRIM, R. E. Clay Mineralogy. **Geological Science Series**. New York: McGraw-Hill, p.29. 1958.

GUEDES, P. **Emergência do pólo moveleiro de linhares e políticas para o setor (1960-1995)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em História) - Universidade Federal do Espírito Santo, p. 142, 2008.

HAN, G., ZHANG, C., ZHANG, D., UMEMURA, K., KAWAI, S. Upgrading of urea formaldehyde-bonded reed and wheat straw particleboards using silane coupling agents. **Wood Science Journal**. 44, 282– 286, 1998.

HASELEIN, C.R.; CALEGARI, L.; ALBERTI, L.F.; MINELLO, A.L.; SILVA, P.A.; PINTOS, R.G.S. Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p.81-88, 2002. 88273500

JAMES, S. & SABU, H. Chemical Composition of Fibers. Paer and Composites from Agro Based Resources. **Scientific Commons**,p.83-135, 1997.

JOHN, M. J. & SABU, T. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**. v.3, p. 343-364, 2008.

KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particieboard. Madison, WI: USDA, Forest Servive, **Forest Products Laboratory**, 1977. 65p. (Gen. Tech. Rep. FPL-10).

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. Principles of wood science and technology: wood based materials. **Springer Verlag**. New York, p.45-47, 1975.

KURUVILLA,J.; MEDEIROS,S. E.;CARVALHO,H. L. Compósito de matriz poliéster reforçados por fibra de sisal. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p.136-141,1999

LABOSKY, J.; YOBP,R.; JANOWIAK, J. BLANKENHORN, P. Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of UF-bonded red maple MDF. **Forest Products Journal**, v. 43, n.11/12, p.82-88, 1993.

LEAL, A. F. **Utilização de resíduos das indústrias de cerâmicas e de calçados na elaboração de materiais e produtos à base de cimento portland reforçados com fibras de sisal**. Tese de Doutorado. UFCG/Campina Grande. Campina Grande, p.114, 2004.

LIMA, V. A., DANTAS, E. R. Construção de tijolo ecológico com rejeito oriundo do beneficiamento de caulim. **In Anais do XVI Congresso de Iniciação**

Científica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. 5-7 Out, 2005.

LOPES, F. F. M. **Desempenho e durabilidade de fibras vegetais modificadas superficialmente e submetidas a meios ácido e alcalino**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, PB, p.161, 2009.

MACHADO, F. J. J., GOMIDE, J. L., CAMPOS, W. O., CAPITANI, L.R. Caracterização da madeira de *Eucalyptus pilulares* e estudos para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**. Viçosa, v.12, n.2, p. 111-122, 1988.

MALONEY, T. M. *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing.*, **Miller Freeman**, San Francisco:, 1989, 672p.

MARCATI, C. R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, p. 94, 1992.

MASSIJAYA, M.Y. & OKUMA, M. Effect of wood particle mixing levels and board constructions on the properties of waste newspaper particleboard. **Forest Products Society**. p. 211,1996.

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

MONTE, M. B. M., CARVALHO, E. A., FERREIRA, O., CABO, S. S. "Caulim CADAM". In: SAMPAIO, J. A., LUZ, A. B., LINS, F. F. (eds), *Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil*, Rio de Janeiro, Brasil, **Centro de Tecnologia Mineral**, 1 ed., cap. 01, 2005.

MORI, F., MENDES, L., TRUGILHO, P. F. CARDOSO, M. G. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 396-400, 2003.

NELSON, N. D. Effect of wood and pulp properties on medium-density, dry-formes hardboard. **Forest Products Journal**, v.23, n.9, p.72-80, 1973.

OKIKO, E.; ANDAHUR, J.; SANTANA, M.; SOUZA, M. Resistência físico - mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestals**, n.52, p.35-42, 1997.

OLIVEIRA, R. G.; TEIXEIRA, D. E. Caracterização de aglomerado com fibras de coco de babaçu e resinas sintéticas. In: **Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC** - Florianópolis, SC, 2006.

OLIVEIRA, R. M. **Utilização de técnica de caracterização de superfície em madeiras tratadas termicamente**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, p. 123, 2009.

PRAKASH, S.; PALANIKUMAR, K.; MANOHARAN, N. Optimizarion of delamination factor in drilling medium-density fiberboards (MDF) using desirability-based approach. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. v. 45, n. 3 - 4, p. 370-381, 2009.

PIZZI, A. & MITTAL, K. L. Handbook of adhesive technology. New York: **Marcell Dekker**. 680 p. 1994.

RAMPAZZO, S. & SPONCHIADO, M. O Uso da madeira de reflorestamento na construção civil com enfoque na habilitação. **Revista de Pesquisa e Pós Graduação**, Erechim, RS. v.1, n.1, p.131-147, 2000.

RAUPP-PEREIRA, F. D.; HITZA, A. M. SEGADÃES, J. A. Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products. **Ceramics International**. v. 32, n. 2, p. 173- 179, 2006.

RIBEIRO, M. B. **A potencialidade do semi-árido brasileiro**. Revan, Brasília, p.121-136, 2007.

RIGATTO, P. A., DEDECEK, R., MATOS, J. L. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de pinus taeda para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.28, n.2, p.267-273, 2004.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors effecting fiber properties. In: **Natural polymers and agrofibers based**

composites: preparation, properties and applications. São Carlos: USP-IQSC/Embrapa Instrumentação Agropecuária/UNESP, p. 115-134, 2000.

SAMPAIO, E. V. S.; GAMARRA-ROJAS, C.F.L. ARAÚJO, M.S.B. Especialização do uso da vegetação Nativa no Semi-árido Nordeste. **IX Seminário sobre a Viabilização do Semi-Árido**. UFPE/SEBRAE, 39p, 2003.

SANTOS, A. J.; POLZL, W.; TIMOFEICZYK JR, R.; POLZL, P. K.. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira, segmento da madeira serrada no estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 1-2, p. 36-42, 2002.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas – aplicada às argilas brasileiras**. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, vol.2, 1975.

SANTOS, R.C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira), Universidade Federal de Lavras, p. 159, 2008.

SILVA, F. A. **Estudo de caracterização tecnológica e beneficiamento do caulim da região borborema-seridó (RN)**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 70, 2007.

SIQUEIRA, E. **Compósitos de resina estervinílica reforçados com fibras de *luffa cylindrica* modificadas superficialmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) Ouro Preto – MG, p. 147, 2008.

SUBRAMANIAN, K.; KUMAR, S.; JRYAPAL, P.; VENKATESH, N. Characterization of lignocellulosic seed fiber from *Wrightia Tinctoria* plant for textile applications - na exploratory investigation. **European Polymer Journal**, n.41, p.853-861, 2005.

SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E.; McMILLIN, C. W. Pressing of three layer, dry-formed MDF with binderless hardboard faces. **Forest Products Journal**, v.36, n.1, p.33-36, 1986.

SUZIKI, M & KATO, T. Influence of dependent variables on the properties of medium-density fiberboard. **Journal of the Japan Wood Research Society**, v.35, n.1, p. 8-13, 1989.

TANOBE, V. O. A.; MOCHNACZ, S; MAZZARO, I; PEROTTA, L; SYDENSTRICKER, T.H.D; AMICO, S. C.. Caracterização de biocompósitos poliéster/luffa cylindrica e sisal. In: **58º Congresso Anual da Associação Brasileira de Materiais**, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Testing Methods. Recommended Practices Specification. New York. TAPPI Standards, 1969.

TOSTES, A.S. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo ureiaformaldeído (UF) modificado com tanino da casca de Eucalyptus pellita F. **Mull. Floresta e Ambiente**, v.11, n.1, p.15-19, 2004.

TULYAGANOV, D. U.; OLHERO, S. M. H, RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, J. M. F.; LABRINCHA, J. A. Mullite-alumina refractory ceramics obtained from mixtures of natural common materials and recycled al-rich anodizing sludge. **Journal of Materials Synthesis and Processing**, v. 10, n. 6, p. 311-318, 2002.

YALINKILIC, M.K.; IMAMURA, Y.; TAKAHASHI, M.; KALAYCIOGLU, H.; NEMLI, G.; DEMIRCI, Z.; OZDEMIR, T. Biological, physical and mechanical properties of particleboard manufactured from waste tea leaves. **Biodegrad.**, v. 41, p. 75-84, 1998.

REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS

ABIPA. **Nossas unidades industriais**. Disponível em: < <http://www.abipa.org.br/numeros.php> >. Acesso em 17 de novembro de 2009.

ALBUQUERQUE, D. Produção de painéis de madeira. **Revista da Madeira**. 2009. Disponível em < http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1353&subject=Pain%20e%20title=Produ%20de%20pain%20de%20madeira%20de%20aumentar%2066%20at%202010 >. Acesso em 16 de novembro de 2009.

BARATA, M., MOLIN, D. Avaliação preliminar do resíduo caulínico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma metacaulinita altamente reativa. **Ambiente Construído**, América do Norte, 2, apr. 2002. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3412/1826>>. Acesso em 20 de novembro de 2009.

DIAS, N. Madeira de média densidade (MDF). **Tudo sobre Engenharia Civil**, 2007. Disponível em <<http://engenhariacivil.wordpress.com/2007/10/17/madeira-de-media-densidade-mdf/>>. Acesso em 12 de novembro de 2009.

DNPM. **Distribuição nacional de produção mineral**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000035.pdf>> Acesso em 1 de novembro de 2009.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Disponível em: http://www.embrapa.br/kw_storage/keyword.2007-06-04.2763710561 Acesso em 4 de novembro de 2009.

FONSECA, F. Agenda estratégica do setor de florestas plantadas. Agro CIM **Centro de inteligência em mercados**, Brasília, 2009. Disponível em <http://www.abraflor.org.br/agenda/agenda_silvicultura_web.pdf>. Acesso em 10 de novembro de 2009.

LUZ, A. & DAMASCENO, E. **Caulim: um mineral industrial importante**, 1993. Disponível em <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_STM_65.PDF> Acesso em 20 de novembro de 2009.

SILVA, A.; VIDAL, M.; PEREIRA, M. **Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim**. Revista Escola Minas [online]. 2001, vol.54, n.2, pp. 133-136. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200010> Acesso em 30 de novembro de 2009.

SILVEIRA, D. G. Variabilidade genética de populações naturais de caroá por meio de marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2009. Brasília, v. 44, n. 3. Disponível em:<

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009000300010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 05 de Abril de 2010.

TARCÍSIO, F. **Ecologia da madeira**, setembro 2008. Disponível em <<http://www.conhecendoamadeira.com/articles/109/1/Ecologia-da-madeira/Page1.html>> Acesso em 15 de novembro de 2009.

WILSON, I. R. ; SANTOS, Helena de Souza; SANTOS, P. S. Caulins brasileiros: alguns aspectos da geologia e da mineralogia. **Cerâmica**, São Paulo, v. 44, n. 287-288, Aug. 1998. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69131998000400003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 02 de março de 2010.