



**ANTÔNIA AMANDA DA SILVA CÉSAR**

**TRATAMENTO DO RESÍDUO DA DEPURAÇÃO  
(UKP) DA INDÚSTRIA DE CELULOSE PARA  
PRODUÇÃO DE CHAPAS MINERAIS**

**LAVRAS – MG**

**2016**

**ANTÔNIA AMANDA DA SILVA CÉSAR**

**TRATAMENTO DO RESÍDUO DA DEPURAÇÃO (UKP) DA  
INDÚSTRIA DE CELULOSE PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS  
MINERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Lourival Marin Mendes

Coorientadores

Dra. Maria Alice Martins

Dr. Fábio Akira Mori

Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli

**LAVRAS – MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

César, Antônia Amanda da Silva.

Tratamento do resíduo da depuração (UKP) da indústria de  
celulose para produção de chapas minerais / Antônia Amanda da  
Silva César. – Lavras : UFLA, 2016.

103 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Painéis de madeira. 2. Polpação. 3. Polpa celulósica. 4.  
Refino. 5. Tratamento químico. I. Universidade Federal de Lavras.  
II. Título.

**ANTÔNIA AMANDA DA SILVA CÉSAR**

**TRATAMENTO DO RESÍDUO DA DEPURAÇÃO (UKP) DA  
INDÚSTRIA DE CELULOSE PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS  
MINERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 07 de agosto de 2015.

Dra. Luciana Barbosa de Abreu UFLA

Dr. José Benedito Guimarães Júnior UFG

Dr. Fábio Akira Mori UFLA

Dr. Giovanni Francisco Rabelo UFLA

Dr. Lourival Marin Mendes  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2015**

*Aos meus pais, Antônio Armando e Benedita, por todo tempo, amor, carinho,  
compreensão, apoio e afagos despendidos para que eu chegasse até aqui.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciências Florestais e ao setor de Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade concedida.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

À empresa Cenibra pela doação do material para o estudo.

Ao meu orientador, Lourival Marin Mendes, por toda ajuda, apoio e conselhos.

Aos professores, Lourival e José Reinaldo, que me ajudaram com as burocracias pelo caminho.

A todos os professores da Ciência e Tecnologia da Madeira, por todo conhecimento compartilhado.

Aos participantes da banca, por terem aceitado meu convite.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação, Cris e Raisia, por toda ajuda.

Aos funcionários da UFLA que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

Ao Wilson (Melão), pessoa fundamental para realização da parte prática. Meu muito obrigada, amigo.

Aos laboratoristas Claret (CTM) e Claret (DZO), pela ajuda na utilização dos equipamentos de refino e teste granulométrico.

Às colegas Selma, Tatti e Isabel meus agradecimentos. Sem vocês algumas etapas não teriam sido possíveis de serem realizadas.

Ao Rafael pela ajuda com a adequação dos cálculos dos painéis.

A todos os integrantes do Núcleo de Estudos em Painéis de Madeira que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao prof. Trugilho e à aluna Marina Rates pela ajuda com a visualização das fibras.

Aos alunos de IC, Miquéias (*in memoriam*), Lucas, Bruno, Cleide, Renata, Fabíola, Marina, Thamirys e Arthur, pela ajuda na confecção dos painéis e no refino.

À minha aluna, aprendiz, amiga e ajudante Láysa. Você é uma pessoa iluminada. Obrigada por estar ao meu lado nesta empreitada.

À Lina que, mesmo longe, continuou me ajudando e colaborando para este e todos os outros trabalhos dos quais faço parte.

Ao meu grande amigo Ricardo, por me incentivar sempre a não desistir.

À Sylvia e seu esposo, Alisson, pela grande ajuda em um momento de desespero.

Ao meu noivo, Arthur, você foi e é extremamente fundamental em todas as minhas realizações. Obrigada por tudo.

A toda a minha família, pois saber que se orgulham me dá forças para alçar voos cada vez mais altos.

E, por fim, a Deus.

*“É preciso fechar um ciclo para começar a escrever um futuro novo e pleno”.*



## RESUMO

O processo de produção de celulose gera diversos resíduos, dentre eles as fibras resultantes da depuração. O emprego desses resíduos na fabricação de produtos pode agregar valor e solucionar problemas ambientais, além de contribuir para o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. Objetivou-se neste trabalho caracterizar o resíduo UKP (“Unbleach Kraft Pulp”), e com ele, produzir e caracterizar painéis cimento-madeira com este material. O resíduo foi avaliado nas seguintes condições: in natura (N), com imersão em água 24h (A), com imersão em hidróxido de sódio 10% por 24h (H) e com imersão nesses dois líquidos com posterior refino do material (RA e RH). O resíduo teve avaliadas suas características anatômicas, sua composição química, seu comportamento à decomposição térmica, sua distribuição granulométrica e suas densidades (básica e a granel). Os painéis minerais foram produzidos com densidade nominal de  $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ , com o seguinte ciclo de prensagem: temperatura ambiente, pressão de 0,4 MPa e grampeamento por 24 horas. Posteriormente os painéis foram climatizados e cortados em corpos de prova para realização de testes físicos e mecânicos. Os seguintes testes foram realizados: absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, densidade aparente, taxa de não retorno em espessura, umidade, arrancamento de parafuso na face, compressão, ligação interna e flexão estática. Para a distribuição granulométrica das partículas, o maior percentual de material ficou retido na peneira de 20 mesh. Para as características anatômicas avaliadas, houve redução do comprimento das fibras e diminuição da espessura da parede da fibra, apenas para os tratamentos com refino. Para a constituição química do resíduo, ocorreu redução do percentual de lignina e extrativos para os tratamentos com refino e com hidróxido. Quanto ao comportamento do resíduo, em função da decomposição térmica, foram similares as curvas comumente encontradas para madeiras e resíduos lignocelulósicos, diferindo apenas nos pontos onde se encontra a faixa de decomposição da lignina. Para as propriedades físicas avaliadas, não houve diferença significativa entre os tratamentos para as seguintes variáveis D ( $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$ ), UM (9,9%) e TNR (0,9%). Já para as variáveis AA\_2h, AA\_24h, IE\_2h, IE\_24h, LI, AP, CP, MOE e MOR houve diferença entre os tratamentos propostos. De maneira geral os tratamentos com imersão em solução com hidróxido e os tratamentos com refino apresentaram melhor desempenho. Portanto pode-se inferir que essa destinação para o resíduo é promissora, sendo necessárias mais pesquisas.

Palavras-chave: Painel particulado. Polpação. Polpa de celulose. Refino. Tratamento químico.

## ABSTRACT

The production process of cellulose generates many residues, among which are the fibers resulting of cleansing. The employment of these residues in product manufacturing can add value and solve environmental issues, in addition to contributing for developing new products and technologies. The objective of this work was to characterize the UKP (Unbleach Kraft Pulp) residue, using it to produce and characterize wood-cement panels. The residue was evaluated under the following conditions: *in natura* (N), with water immersion for 24 hours (A), with immersion in 10% sodium hydroxide for 24 hours (H), and with immersion in both liquids with subsequent material refining (RA and RH). We evaluated the residue's anatomical traits, chemical composition, behavior to thermal decomposition, particle size distribution and basic and bulk densities. The mineral panels were produced with nominal density of  $1.4 \text{ g.cm}^{-3}$ , and the following pressing cycle: ambient temperature, pressure of 04 MPa and stapling for 24 hours. Subsequently, the panels were acclimatized and cut into proof-bodies for conducting the following physical and mechanical tests: water absorption after 2 and 24 hours of immersion, thickness swelling after 2 and 24 hours of immersion, apparent density, thickness non-return rate, moisture, screw holding, compression, internal bonding and static bending. For particle distribution, the highest percentage of material was retained in the 20 mesh sieve. For the anatomical traits, there was decrease in the length of the fibers and in the thickness of the fiber wall for treatments undergoing refinement. For chemical constitution, there was decrease in the percentage of lignin and extractives for treatments with refinement and hydroxide. Concerning the behavior of the residue in function of thermal decomposition, the curves commonly found for wood and lignin-cellulose residues were similar, differing only at the point of lignin decomposition. Regarding the evaluated physical properties, there was no significant difference between treatments for the following variables: D ( $1.41 \text{ g.cm}^{-3}$ ), UM (9.9%) and TNR (0.9%). For variables AA\_2h, AA\_24h, IE\_2h, IE\_24h, LI, AP, CP, MOE and MOR there were significant differences between the proposed treatments. In general, the treatments with immersion in hydroxide and those with refining presented better performance. Therefore, we can infer that this is a promising destination for the residue, however requiring more research.

Keywords: Particleboard. Pulping. Pulp. Refining. Chemical treatment.

## **LISTA DE FIGURAS**

- Figura 1 Resíduo fibroso da depuração na indústria de celulose ..... 19
- Figura 2 Resíduo fibroso da depuração pós - cozimento na indústria de  
celulose (UKP) ao natural após secagem ao ar livre ..... 31
- Figura 3 Visualização em microscópio ótico (utilizando a objetiva de 4X)  
das fibras do resíduo para os tratamentos RA e RH ..... 46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Valores médios e barra de desvio padrão da média para o comprimento das fibras nos diferentes tratamentos .....	43
Gráfico 2	Valores médios e barra de desvio padrão da média para a espessura da parede das fibras nos diferentes tratamentos .....	44
Gráfico 3	Valores médios e barra de desvios do teor de extrativos totais para os tratamentos no resíduo e para a madeira de <i>Eucalyptus sp.</i> ..	49
Gráfico 4	Valores médios e barra de desvios do teor de componentes minerais para os tratamentos no resíduo e para a madeira de <i>Eucalyptus sp</i> .....	50
Gráfico 5	Valores médios e barra de desvios do teor de holocelulose para os tratamentos no resíduo e para a madeira de <i>Eucalyptus sp</i> .....	52
Gráfico 6	Valores médios e barra de desvios do teor de celulose para os tratamentos no resíduo e para a madeira de <i>Eucalyptus sp</i> . O teor de celulose indica qual o percentual da holocelulose que é composta por celulose .....	53
Gráfico 7	Curva TG de perda de massa em função da temperatura para os resíduos nos diferentes tratamentos.....	56
Gráfico 8	Curva DrTG em função da temperatura para os resíduos nos diferentes tratamentos.....	57
Gráfico 9	Curva da análise de Calorimetria exploratória diferencial (DSC) em função da temperatura para o resíduo nos diferentes tratamentos.....	59

Gráfico 10	Valores médios das variáveis AA_2h (barras lisas) e AA_24h (barras hachuradas), com o desvio médio e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância (letras minúsculas comparam AA_2h e letras maiúsculas comparam AA_24h) para todos os tratamentos.....	64
Gráfico 11	Valores médios das variáveis IE_2h (barras lisas) e IE_24h (barras hachuradas), com o desvio médio e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância (letras minúsculas comparam IE_2h e letras maiúsculas comparam IE_24h) para todos os tratamentos.....	66
Gráfico 12	Valores médios da variável LI, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos.....	76
Gráfico 13	Valores médios da variável CP, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos.....	77
Gráfico 14	Valores médios da variável AP, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos.....	78
Gráfico 15	Valores médios da variável MOE, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos.....	79
Gráfico 16	Valores médios da variável MOR, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados de caracterização do resíduo fibroso fornecido pela empresa.....	30
Tabela 2	Tratamentos realizados no resíduo.....	32
Tabela 3	Metodologias de determinação dos componentes químicos do resíduo.....	34
Tabela 4	Variáveis utilizadas no dimensionamento do painel.....	38
Tabela 5	Valores percentuais de massas retidas nas diferentes granulometrias analisadas para o resíduo natural e após refino.....	42
Tabela 6	Valores médios e desvio padrão da quantidade de lignina solúvel, insolúvel e total nos tratamentos e na madeira de <i>Eucalyptus sp.</i> .....	47
Tabela 7	Resumo da situação visual e do comprimento das fibras após diferentes tempos de refino.....	60
Tabela 8	Resumo dos resultados da ANOVA para as propriedades físicas dos painéis cimento - madeira.....	62
Tabela 9	Resultados dos testes físicos para comparação dos valores obtidos neste trabalho com literaturas e padrões de comercialização.....	68
Tabela 10	Valores médios para a variável absorção de água-AA (%) ao longo do tempo para os painéis com os diferentes tratamentos.....	72
Tabela 11	Valores médios para a variável inchamento em espessura-IE (%) ao longo do tempo para os painéis com os diferentes tratamentos...	74
Tabela 12	Resumo dos resultados da ANOVA para as propriedades mecânicas dos painéis cimento - madeira.....	75
Tabela 13	Resultados dos testes mecânicos para comparação dos valores obtidos neste trabalho com literaturas e padrões de comercialização.....	82

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Resíduos do processo de polpação “kraft” .....	17
2.2	Fibras lignocelulósicas residuais da depuração (UKP/BKP) .....	18
2.3	Estatísticas de geração do resíduo fibroso .....	20
2.4	Caracterização do resíduo UKP.....	20
2.5	Tratamentos químicos e físicos utilizados em fibras vegetais .....	21
2.5.1	Refino.....	24
2.6	Propostas de utilização para os resíduos da polpação .....	25
2.7	Inibição cimento/madeira .....	26
2.8	Painéis cimento madeira .....	27
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1	Coleta e definição dos tratamentos do resíduo fibroso da polpação (UKP) .....	30
3.2	Caracterização do resíduo.....	32
3.2.1	Caracterização granulométrica .....	32
3.2.2	Caracterização das fibras.....	33
3.2.3	Caracterização química .....	34
3.2.4	Densidade a granel do resíduo .....	35
3.2.5	Densidade aparente básica do resíduo .....	35
3.2.6	Análises térmicas (TG e DSC).....	35
3.2.7	Análise dos dados de caracterização .....	36
3.3	Produção e realização de testes de resistência nos painéis cimento - madeira.....	37
3.3.1	Comparação dos resultados dos testes e análises estatísticas .....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
4.1	Caracterização do resíduo.....	41
4.1.1	Granulometria .....	41
4.1.2	Caracterização anatômica.....	42
4.1.3	Análise química .....	46
4.1.4	Densidade a granel e densidade aparente básica do resíduo .....	54
4.1.5	TG e DSC.....	55
4.2	Pré-teste para escolha do tempo de refino .....	60
4.3	Propriedades dos painéis cimento - madeira .....	61
4.3.1	Propriedades físicas.....	61
4.3.2	Propriedades mecânicas .....	75
5	CONCLUSÃO .....	87
	REFERÊNCIAS .....	89

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de produção da celulose é responsável por parte dos resíduos industriais produzidos no Brasil. Os principais resíduos gerados neste processo correspondem ao lodo biológico, produzido no tratamento de efluentes, às cascas de madeira, à lama de cal e a outros materiais alcalinos da planta de caustificação (dregs e gifts), além dos rejeitos da depuração da polpa marrom do pós-cozimento (UKP) e da polpa branqueada do pós-branqueamento (BKP).

Os rejeitos da depuração denominados “Unbleach Kraft Pulp”(UKP) e “Bleach Kraft Pulp” (BKP), considerados rejeitos da produção, são ricos em fibras e, na maioria das vezes, descartados em aterros sanitários após tratamento (GAMA et al., 2010). Além da poluição ambiental, causada pelo descarte deste material, o gasto da empresa, para tratar o resíduo antes de descartar, deve ser levado em consideração. A utilização deste resíduo, para produção de qualquer produto que agregue valor ao resíduo, é interessante tanto para o meio ambiente quanto para a indústria de celulose.

Por meio do cruzamento de dados da produção dos resíduos fornecidos pela empresa A em 2013 e dados de produção total de celulose no país em 2011, verificada pela Bracelpa, é possível estimar um valor próximo a  $200.000 \text{ t.ano}^{-1}$  de resíduo UKP. Essa grande quantidade de material necessita de uma destinação mais adequada do que o simples transporte para aterros sanitários. A fabricação de painéis e compósitos pode ser uma dessas alternativas.

Os painéis de cimento-madeira são considerados tipos especiais de painéis aglomerados, constituídos basicamente de partículas de madeira com um aglutinante de origem mineral, no lugar de um adesivo sintético, sendo o cimento o produto mais utilizado.

Diversos estudos têm empregado novas espécies de madeira e resíduos lignocelulósicos de processos agrícolas ou industriais na produção de



compósitos e painéis de madeira. Para verificar a qualidade desses produtos, são empregados testes que verificam as suas diferentes resistências. Vários tratamentos dos materiais a serem empregados na produção desses produtos, também, têm sido bastante investigados, visando, principalmente, à diminuição da higroscopicidade dos materiais e a aumentar a interação entre o material lignocelulósico e o aglutinante.

O conhecimento das características físicas, químicas e morfológicas do material a ser empregado é de suma importância para prever e explicar o resultado final de qualidade e empregabilidade do produto final.

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de obter e caracterizar painéis cimento-madeira confeccionados com resíduos fibrosos da produção de celulose de eucalipto. Os objetivos específicos foram:

- a) Realizar modificações superficiais no resíduo, por meio de tratamento químico, quando aplicável, para melhorar suas propriedades de dispersão, as interações fibra-matriz e/ou diminuir sua hidrofilicidade, refletindo assim nas propriedades dos painéis;
- b) Caracterizar o resíduo utilizado ao natural e após tratamentos;
- c) Verificar a resistência física e mecânica de painéis cimento-madeira produzidos com resíduo natural e com resíduo após tratamentos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Resíduos do processo de polpação “kraft”**

O processo de produção de celulose é designado genericamente de polpação, termo utilizado para descrever os vários processos de redução da madeira para componentes fibrosos (SMOOK, 1990). O termo cozimento ou digestão refere-se ao início da deslignificação, que é realizada sob determinadas condições de temperatura, tempo e concentração/composição do licor. O processo alcalino mais utilizado na preparação de fibras é o “Kraft”. A polpação Kraft é um processo forte, realizado na presença de pressão e alta temperatura (170 °C) e os reagentes NaOH e Na<sub>2</sub>S são empregados (QUEIROZ et al., 2004). Esse processo ataca, principalmente, o agente ligante da madeira. Sendo assim, a celulose produzida pelo processo “kraft” possui quantidades desprezíveis de lignina (BENTUR, 1989).

As indústrias de celulose, que utilizam o processo “kraft” para extração da celulose, geram os seguintes resíduos: dregs, gifts, lama de cal, lodo biológico, fibras de efluentes, fibras de celulose UKP e BKP, cinzas da caldeira e cinza dos precipitadores (GAMA et al., 2010).

Os subprodutos e resíduos da indústria de celulose e papel são gerenciados usando várias abordagens, incluindo aterros, incineração, uso em fábrica de cimento e olarias, uso agrícola e compostagem, tratamento anaeróbio, a reciclagem e outros (DEMIR; BASPINAR; ORHAN, 2005; HUET, 1982; SHAO; QUI; SHAH, 2001).

De madeira geral, as indústrias de celulose vêm buscando uma melhor gestão dos resíduos gerados, visando não apenas à redução na geração dos mesmos como também encontrando aplicações diversas para estes resíduos (RIBEIRO, 2010). Algumas pesquisas verificam o emprego dos diversos

resíduos em várias áreas do conhecimento, de acordo com a característica do resíduo procuram seu melhor emprego. Algumas indicações, para uso dos resíduos da polpação em função das características de cada resíduo, foram dadas por Nolasco (2006), onde: cascas, “dregs”, “gifts”, rejeitos, lama de cal, lodo primário, rejeitos celulósicos e cinzas podem, segundo este autor, serem destinados a produção de fertilizantes orgânicos, corretivos de acidez do solo, produção de compósitos cimentícios, fertilizantes orgânicos, compósitos cimentícios (telhas e painéis) e cimento, respectivamente.

## **2.2 Fibras lignocelulósicas residuais da depuração (UKP/BKP)**

Segundo Bustamante (2003), a interação das variáveis da matéria-prima do processo de preparação dos cavacos, na indústria de celulose, contribui para a não uniformidade da polpa. O sistema de depuração tem como objetivo remover seletivamente os contaminantes da polpa, separando as fibras de qualidade para fabricação do papel. As partículas removidas são levadas para o sistema de rejeito para serem descartadas e, dentre essas fibras, está o rejeito UKP/BKP (GAMA et al., 2010). O resíduo da polpação utilizado neste trabalho é proveniente do pós-cozimento dos cavacos com hidróxido de sódio e sulfeto de sódio (depuração da polpa marrom). Após esta etapa, ocorre uma separação/peneiramento do material que foi cozido corretamente e, conseqüentemente, desfibrado, dos rejeitos que são parte do material que não foram corretamente cozidos e, portanto são retirados das próximas etapas do processo de produção da polpa celulósica. Essa separação é conseguida, por meio de peneiramento, após as lavagens consecutivas, em malhas que garantem a separação das partículas não cozidas que possuem dimensões maiores. Essas lavagens retiram a maior parte do licor negro proveniente do cozimento, porém o material ainda possui parte do licor negro impregnado em sua superfície

mesmo após as lavagens executadas na empresa (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA, 2008). Esse rejeito após passagem na prensa possui um aspecto granulado com feixes de fibras desagregados e de coloração marrom, conforme a Figura 1 (GAMA et al., 2010). Os rejeitos UKP apresentam alta carga orgânica ('carry-over') devido ao residual de licor presente no mesmo, provocando queda de alvura; possui, também, elevado teor de palitos (material que não foi devidamente cozido), contribuindo para a queda de qualidade desse material fibroso e consequentemente para sua desvalorização comercial (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA, 2008).



Figura 1 Resíduo fibroso da depuração na indústria de celulose

Fonte: Gama et al. (2010).

Segundo Gama et al. (2010), este resíduo possui elevado teor de matéria orgânica. Pela norma NBR 10004, que classifica os resíduos de processos industriais, este resíduo pode ser classificado como classe II A, material não perigoso e não inerte (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

### **2.3 Estatísticas de geração do resíduo fibroso**

Duas toneladas de madeira entram no processo de produção de celulose, resultando na produção de uma tonelada de polpa celulósica não branqueada (rendimento de 50% na polpação) e, para estas quantidades, 16 kg do resíduo UKP da polpação são gerados (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA, 2008). A produção de polpa celulósica em 2011 apenas da empresa Cenibra chegou a 1.199.392 tsa (tonelada seca ao ar com aproximadamente 10% de umidade) (CELULOSE NIPO-BRASILEIRA, 2013), sendo assim, pode-se inferir que foram geradas 19.190,3 tsa de resíduo em 2013. Extrapolando para toda produção nacional de polpa celulósica, 220 empresas que produziram em 2011 cerca de 13.922.000 t (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULSOE E PAPEL, 2013), a quantidade de resíduo que provavelmente é gerado é de aproximadamente 222.752,0 t em um ano no país. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de polpa celulósica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULSOE E PAPEL, 2013), sendo assim, o volume de resíduo gerado no país é elevado.

### **2.4 Caracterização do resíduo UKP**

Segundo a empresa parceira, que forneceu o resíduo, ele é caracterizado pelos seguintes parâmetros: teor de rejeitos, teor de cinzas, insolúveis em HCl, número Kappa, alvura e viscosidade (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA, 2008). Esses parâmetros são analisados para que seja verificada necessidade de alteração na linha de produção e para caracterizar o rejeito que pode ser comercializado.

Para que este rejeito seja empregado para fabricar novos produtos, existe a necessidade de uma caracterização mais detalhada. Diversas metodologias

podem ser empregadas na caracterização de materiais. O conhecimento da estrutura interna das fibras lignocelulósicas e da sua composição química são imprescindíveis para compreender como elas irão influenciar as características dos compósitos produzidos (SILVA, 2002).

Mudanças na morfologia do material devem ser analisadas. Tratamentos químicos podem modificar a morfologia das fibras lignocelulósicas, principalmente, em virtude da extração da hemicelulose e lignina. A extração destes componentes pode provocar a separação dos feixes de fibrilas, o que torna as fibras mais acessíveis à matriz polimérica, aumentando, portanto, a área de contato fibra/matriz (interface). Além disso, as propriedades mecânicas das fibras poderiam ser alteradas pela extração parcial de seus componentes (GUIMARÃES JÚNIOR, 2011).

Com relação à decomposição térmica do material, diversas análises térmicas podem ser empregadas. É possível, através da análise termogravimétrica, determinar a temperatura limite da reação de degradação (ALMEIDA, 2005).

As mais variadas técnicas podem ser empregadas na caracterização de materiais. As análises dos componentes químicos e a anatomia/morfologia do material devem ser detalhadas (GUIMARÃES JÚNIOR, 2011).

## **2.5 Tratamentos químicos e físicos utilizados em fibras vegetais**

As propriedades dos materiais compósitos industriais dependem dos componentes individuais e de sua interação interfacial. A adesão entre fibra e matriz é obtida através do ancoramento mecânico das extremidades das fibras. Em muitos casos, a absorção de umidade das fibras não tratadas, a baixa molhabilidade e adesão insuficiente com a matriz polimérica levam as fibras a se soltarem (GUIMARÃES JÚNIOR, 2011).

A boa adesão interfacial aumenta a transmissão de tensão da matriz para a fibra, aumentando o desempenho mecânico do compósito e, caso não haja esta interação, o material estará sujeito a falhas, como, por exemplo, propagação de trincas em maiores escalas (AL-QURESHI, 1988). Sendo assim, a interação fibra/matriz é um ponto chave para se obter boas propriedades dos compósitos (BLEDZKI; REIHMANE; GASSAN, 1996). A busca pela redução da absorção de umidade pela fibra e pela melhoria da compatibilidade entre a fibra e a matriz justificam o emprego de tratamentos para modificação superficial da fibra ou a adição de compatibilizantes (WANG et al., 2010). Em alguns casos, pode ocorrer redução da resistência à tração da fibra (GUIMARÃES JÚNIOR, 2011). Esses problemas podem ser contornados com a adequação de parâmetros dos processos, da própria caracterização da fibra e do tipo e condições da modificação (SYNDENSTRICKER; MOCHNAZ; AMICO, 2003).

Um agente de acoplamento (ou compatibilizante) é um produto químico que funciona na interface para criar uma ponte química entre o reforço e a matriz. Ele melhora a adesão interfacial quando uma extremidade da molécula é presa à superfície do reforço e a outra extremidade reage com o polímero (XIE et al., 2010).

Diversos métodos de modificação das superfícies dos materiais lignocelulósicos e tratamentos químicos podem ser empregados (PANAYIOTOU et al., 2005; SHALWAN; YOUSIF, 2012). Eles podem ser métodos físicos ou métodos químicos (GASSAN, 2002). Dentre os métodos mais utilizados podem-se citar: descarga elétrica (corona e plasma) (GASSAN 2002; PANAYIOTOU et al., 2005; SHALWAN; YOUSIF, 2012; WAMBUA; IVENS; VERPOEST, 2003); tratamento térmico (GASSAN, 2002); mercerização ou tratamento alcalino, um dos métodos mais antigos e mais utilizados (GASSAN, 2002; PANAYIOTOU et al., 2005; RONG et al., 2001; SHALWAN; YOUSIF, 2012; ZHANG; RONG; LU, 2005); acoplamento com

silano (ABDELMOULEH et al., 2004; BILBA; ARSENE, 2008; BLANKENHORN et al., 2001; DELVASTO et al., 2004; KARLSSON; ESPERT; VILAPLANA, 2004; MERKLEY; LUO, 2004; PANAYIOTOU et al., 2005; PLUEDDEMANN, 1991; WAMBUA; IVENS; VERPOEST, 2003; ); tratamento com isocianatos (GASSAN, 2002; WAMBUA; IVENS; VERPOEST, 2003); esterificação (geralmente com anidrido maleico) (GASSAN, 2002; KARLSSON; ESPERT; VILAPLANA, 2004; PANAYIOTOU et al., 2005; SHALWAN; YOUSIF, 2012); acetilação (geralmente com anidrido acético) (SHALWAN; YOUSIF, 2012).

O tratamento com álcali, além de melhorar a resistência das fibras e tornar os grupos hidroxilas da celulose mais acessíveis, melhora também as características de adesão da superfície, por meio da remoção de impurezas naturais e artificiais, produzindo, deste modo, uma topografia rugosa da superfície. Além disso, o tratamento alcalino conduz a uma fibrilação das fibras, na qual ocorre a quebra do feixe das fibras, aumentando a área da superfície efetiva disponível para o contato com a matriz. O desenvolvimento de uma superfície rugosa oferece uma melhor adesão na interface fibra-matriz e um aumento nas propriedades mecânicas (ASS; BELGACEM; FROLLINI, 2006). De um modo geral, o tratamento alcalino, além de transformar a celulose I em celulose II, causa um inchaço das fibras e remoção parcial da hemicelulose e da lignina, o que promove um melhor empacotamento das cadeias de celulose, que é responsável pela cristalinidade da fibra. Desta forma, o tratamento causa aumento da cristalinidade e redução do diâmetro e da densidade das fibras (BLEDZKI; GASSAN, 1999).

A mercerização (tratamento alcalino a altas temperaturas) e também a esterificação, têm como objetivo melhorar as propriedades adesivas entre as fibras fortemente polarizadas e inerentemente incompatíveis com a matriz polimérica, quando essa é hidrofóbica (GASSAN, 2002). Dessa forma, quando o



material a ser empregado não apresenta bom desempenho, quando utilizado ao natural, ele pode passar por tratamentos que promovam melhor adequação do material ao uso esperado.

### **2.5.1 Refino**

O refino pode ser definido como o tratamento mecânico da polpa, na presença de água, normalmente pela passagem da suspensão da polpa de fibras por vãos estreitos entre um disco giratório e um estacionário (CLARK, 1987).

Para se utilizar a polpa celulósica como reforço em compósitos cimentícios, pode-se realizar tanto a dispersão ou o refinamento da polpa, visando adequar a fibra para uma formação reticulada e homogênea no interior da matriz (TONOLI, 2006).

Alguns efeitos importantes do refino são: a fibrilação interna, fibrilação externa e encurtamento das fibras (COUTTS, 2005). A fibrilação externa pode ser visualizada por microscopia eletrônica de varredura, onde se podem observar as camadas superficiais das fibrilas se desprendendo. A fibrilação interna causa aumento da flexibilidade da fibra e seu inchamento. Já o encurtamento das fibras ocorre pelo corte das fibras, conseqüentemente, diminuindo seu tamanho. O encurtamento pode ser minimizado utilizando-se intensidades intermediárias de refino (COUTTS, 1995).

As mudanças causadas na estrutura da fibra dependem do tipo de refinador, das condições de refino e do tipo de fibra e de polpa utilizada (TONOLI, 2006).

## **2.6 Propostas de utilização para os resíduos da polpação**

Segundo a empresa parceira Cenibra, atualmente existe uma empresa fazendo testes para utilização desse resíduo (UKP) como combustível, em outras empresas. Entretanto, o resíduo é rico em fibras primárias que poderiam ter um uso mais nobre, como a produção de painéis, compósitos e nano compósitos. A presença de sílica neste resíduo ainda é o grande entrave (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA, 2008). Os rejeitos dos depuradores BKP e UKP das linhas de fibra possuem fibras de boa qualidade (92% de fibras), com grande potencial de comercialização. Caso não sejam comercializados, esses rejeitos podem ser encaminhados para compostagem ou enviados ao aterro industrial, sendo que essa última opção diminui a vida útil do aterro e onera os custos de sua disposição final (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA, 2008). Como uma boa alternativa para gerenciamento de parte do seu resíduo industrial, a Cenibra comercializa o material fibroso da prensa do Decantador Primário. Em 2007, foram vendidos 17.682 t de rejeito e, no primeiro trimestre de 2008, um total de 3.567 t, indicando uma queda proporcional nas vendas.

Segundo Foekel (2007), existe a necessidade de se dar destinação adequada a todos os resíduos da polpação, para minimizar os danos ambientais, econômicos e sociais que o descarte deles pode causar.

## 2.7 Inibição cimento/madeira

A madeira de todas as espécies e materiais lignocelulósicos, em geral, pode ser empregada na fabricação de produtos como painéis cimento - madeira e fibrocimento, em que a união é feita pelo cimento. Porém, é de conhecimento geral que alguns materiais inibem a cura do cimento, prejudicando assim a qualidade de produto final (SIMATUPANG et al., 1989). Existem métodos relacionados à curva de hidratação do cimento, que podem ser empregados, antes da fabricação do produto e indicam a compatibilidade entre o material lignocelulósico e o cimento (HACHMI; MOSLEMI; CAMPBELL, 1990; KARADE; IRLE; MAHER, 2003). Castro et al. (2014) ressaltam três formas mais comuns de se medir a interação entre os componentes: ou se realizam testes de inibição por hidratação ( existem vários métodos para se determinar a partir dele o índice de inibição) ou se produzem cilindros da mistura do material e submete-se ao teste de compressão axial, ou ainda, após os produtos prontos, realizam-se testes de resistência mecânica que indicarão se houve ou não boa interação entre os componentes.

Quando um material inibe ou retarda a cura do cimento, diz-se que isso está relacionado à presença de compostos químicos, como: açúcares, taninos e outros extrativos (MILLER; MOSLEMI, 1991). Alguns processos podem ser empregados na retirada de tais compostos, como: tratamento em água fria, água quente e solução alcalina (ALBERTO; MOUGEL; ZOULALIAN, 2000; IRLE; SIMPSON, 1993). Não só a quantidade, mas principalmente o tipo de extrativos devem ser avaliados (JORGE; PEREIRA; FERREIRA, 2004).

Além de pré- tratamentos no material, a utilização de compostos químicos na fabricação do produto, como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{SnCl}_2$  e  $\text{AlCl}_3$ , pode ajudar a acelerar o processo de cura do cimento no produto final (ZHENG TIAN;

MOSLEMI, 1985). Dentre esses o mais amplamente utilizado e de melhores resultados é o  $\text{CaCl}_2$  (NEVILLE, 1995).

## 2.8 Painéis cimento madeira

Os painéis de cimento-madeira são considerados tipos especiais de painéis aglomerados, constituídos basicamente de partículas de madeira com um aglutinante de origem mineral, no lugar de uma resina sintética, sendo o cimento o produto mais utilizado (IWAKIRI; PRATA, 2008; LATORRACA; IWAKIRI, 2001). Nesse caso, o processo de endurecimento é decorrente de reações exotérmicas resultantes da hidratação do cimento na presença de água (IWAKIRI; PRATA, 2008).

A produção de chapas de cimento-madeira no Brasil é ainda inexistente em escala industrial e isso se deve, principalmente, ao fato de a cultura local priorizar as construções de alvenaria (SANTOS et al., 2012).

Diversas madeiras e materiais lignocelulósicos em geral já foram empregados na fabricação de painéis cimento - madeira (ALMEIDA; MENEZZI; TEIXEIRA, 2002; HERMAWAN et al., 2001; OLORUNNISOLA; ADEFISAN, 2002; SÁ et al., 2012; SANTOS et al., 2012; WOLFE; GJINOLLI, 1999). Existe, entretanto, a necessidade de testar outras espécies e materiais que são resíduos após o uso principal. Um exemplo seria a madeira da candeia (*Eremanthus erythropappus*), que gera um grande volume de resíduo, após a extração de óleos, largamente utilizado na indústria farmacêutica e de cosméticos (SANTOS et al., 2012).

A utilização do resíduo da polpação na fabricação de painéis cimento-madeira é uma proposta inédita e atual para este fim, já que não foram encontradas literaturas que realizaram tal proposta.

Os resíduos da indústria de celulose já foram empregados com êxito na fabricação de aglomerados convencionais e de compósitos fibrocimento.

Pedrazzi et al. (2006) já verificaram a utilização de um resíduo da indústria de celulose na produção de aglomerados e verificaram a eficiência de utilização do resíduo para este fim. Vale ressaltar que os resíduos da indústria de celulose, utilizados por este autor, foram palitos e serragem em tamanhos não ideais que são separados antes da entrada para o cozimento. Diferencia-se, portanto do resíduo abordado por este trabalho.

Painéis aglomerados com resíduo da indústria de celulose variando de 0 a 100% em mistura com folhas de bambu e embalagens tipo “tetrapak” foram produzidos com resultados satisfatórios apenas quando o resíduo de celulose é inserido até 50% (BATTISTELLE et al., 2005). É importante ressaltar que, neste trabalho, os autores não especificam exatamente qual resíduo da indústria de celulose foi empregado.

Taramian et al. (2007) produziram painéis aglomerados com a lama de cal residual do processo de polpação e obtiveram resultados satisfatórios.

Em trabalho realizado, utilizando resíduo UKP/BKP lavado, em teores de 0 a 100% de resíduo misturado com madeira de *Pinus elioti*, densidade  $0,700 \text{ g.cm}^{-3}$ , valores satisfatórios foram encontrados apenas para o teor de 25% nas propriedades físicas dos painéis aglomerados (GAMA, 2010; GAMA et al., 2010).

Em trabalho realizado com a mistura dos resíduos da polpação “kraft” pós - cozimento (UKP) e pós - branqueamento (BKP), adicionados em teores de 2 a 12% de fibras de *Eucalyptus grandis*, na produção de fibrocimento, melhores resultados foram encontrados para o maior teor de fibras (SILVA, 2002).

Já Savastano Júnior (2002), utilizando vários resíduos, entre eles resíduo BKP de polpa de eucalipto para a produção de fibrocimento, utilizando como

matriz cimento e resíduos de escória de autoforno, encontrou resultados promissores.

Compósitos fibrocimento com resíduo BKP nas quantidades de 4 a 12% de cimento, produzidos por método de desidratação, mostraram-se viáveis (SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN; COUTTS, 2000).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta e definição dos tratamentos do resíduo fibroso da polpação (UKP)

O material utilizado foi o resíduo UKP, proveniente da fábrica da Cenibra, localizada em Belo Oriente, MG. A espécie utilizada pela empresa é um híbrido entre *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* com 7 anos de idade. A empresa forneceu uma tabela de caracterização do resíduo que eles realizam esporadicamente segundo o relatório DERQUA (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA, 2008), conforme Tabela 1. Pode-se inferir que a cada tonelada de madeira que a empresa utiliza 16% da massa é perdida como rejeito UKP.

Tabela 1 Dados de caracterização do resíduo fibroso fornecido pela empresa

	Linha de fibras	
	BKP	UKP
Consistência (%)	0,87(0,05)	1,32 (0,14)
Material orgânico (%)	95,7 (3,38)	95,4 (1,11)
Cinzas (%)	4,3 (0,38)	4,6 (1,11)
Sílica (%)	0,24 (0,18)	0,03 (0,02)
Rejeito (%)	0,8 (0,5)	<b>16</b> (2,03)
Aceite (%)	99,2 (0,9)	84 (1,6)
Solúveis em HCl (%)	6,1 (3,2)	0,28 (0,13)
número Kappa	1,13 (0,1)	26,2 (2,5)
Alvura ISO (%)	88 (0,1)	28 (0,2)

Nota: O teor de rejeitos e aceite é calculado com base na quantidade em massa que entra no processo, antes do cozimento e do branqueamento, para UKP e BKP, respectivamente. Valores médios com respectivo desvio padrão.

O resíduo (apresentado na Figura 2) foi recebido na Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM-UFLA) e espalhado sobre lonas para secagem ao ar livre.



Figura 2 Resíduo fibroso da depuração pós - cozimento na indústria de celulose (UKP) ao natural após secagem ao ar livre

Posteriormente, o resíduo foi acondicionado até receber os tratamentos propostos, conforme a Tabela 2. O tratamento H seguiu metodologia descrita por Wang et al. (2010). O procedimento de refino descrito foi realizado em um refinador do tipo holandesa Regmed ajustado em 10 voltas (parafuso que aproxima e distância entre os discos internos). Esse aparelho se encontra no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira da UFLA, Lavras-MG. Previamente foi realizado um pré-teste com os tempos 0, 15, 30, 45 e 60 minutos de refino, sendo escolhido o tempo de 30 minutos para o tratamento, pela qualidade visual das fibras e comprimento das fibras após os tempos testados.



Tabela 2 Tratamentos realizados no resíduo

Tratamentos	Metodologia
Natural (N)	Conforme recebido da empresa
Água (A)	Imersão em água por 24h com posterior lavagem até que a água saísse límpida a olho nu
Hidróxido de sódio (H)	Imersão em solução de hidróxido de sódio com concentração 10% por 24h com posterior lavagem em água corrente até que a água saísse límpida a olho nu
Água + refino (RA)	Processo do tratamento A, com posterior refino por um período de 30 minutos.
Hidróxido + refino (RH)	Processo do tratamento H, com posterior refino por um período de 30 minutos.

### 3.2 Caracterização do resíduo

As etapas de caracterização do resíduo foram realizadas, para todos os tratamentos propostos, salvo exceções, quando o tratamento proposto não alteraria o resultado da análise.

#### 3.2.1 Caracterização granulométrica

A separação granulométrica foi realizada por uma série de peneiras com malhas de diferentes aberturas, conforme preconiza a norma ASTM D 1921 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL STANDARDS, 2001). A análise foi realizada no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFLA, localizado em Lavras-MG.

Foram utilizadas peneiras para classificação mássica das amostras. Uma amostra de 50g, previamente seca e com umidade determinada, foi colocada na parte superior da série de peneiras previamente taradas (secas em estufa por 24 horas) e presas em um peneirador vibratório durante 30 minutos. Após este

tempo, as peneiras com as amostras foram secas em estufa por 24 horas e novamente pesadas para determinação da massa retida em cada uma das peneiras. Este procedimento foi realizado para o material ao natural e, após o refino, visto que imersões em água ou em solução de hidróxido não afetam o tamanho das partículas.

### **3.2.2 Caracterização das fibras**

O resíduo ao natural, após os tempos de refino propostos como pré-tratamento (de 0 a 60 minutos) e após os tratamentos definidos no item 3.1 (N, A, H, RA, RH), foram agitados em água destilada com a ajuda de um agitador magnético por, aproximadamente, 1 minuto e, posteriormente, peneirado em tecido de malha fina para retenção das fibras. Essas fibras foram coradas com safranina hidroalcoólica e, posteriormente, colocadas sobre uma lâmina com uma gota de glicerina. Para cada tratamento foram confeccionadas 5 lâminas provisórias utilizadas para a visualização e mensuração das fibras. A mensuração dos constituintes celulares do lenho foi realizada com o auxílio do software Wincel Regent PRO, sob uma base amostral de trinta medições para cada característica, segundo recomendações da International Association of Wood Anatomists (1989), em que os caracteres anatômicos do lenho foram descritos com o auxílio de um microscópio ótico pertencente ao Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras. As seguintes medidas foram obtidas: comprimento médio e espessura da parede celular. As imagens obtidas, durante a mensuração, serviram para qualificar visualmente a integridade das fibras (quebras), presença de vasos e presença de feixes de fibras.

### 3.2.3 Caracterização química

O resíduo foi preparado em moinho do tipo Willey para ser transformado em serragem. Esta serragem foi separada em peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, sendo utilizada para análise somente a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh. As amostras foram então armazenadas em sacos abertos e levadas à sala de climatização com condições de temperatura de  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade de  $65\pm 3\%$ , até o momento em que apresentaram massa constante.

A análise química foi realizada de acordo com as metodologias apresentadas na Tabela 3. Todas as análises ocorreram no Laboratório de Biomateriais da Ciência e Tecnologia da Madeira –UFLA. Foram utilizadas três repetições para o resíduo em cada tratamento. Adicionalmente madeira de *Eucalyptus sp.* foi analisada visando servir de valor de comparação para os teores dos componentes químicos presentes no resíduo.

Tabela 3 Metodologias de determinação dos componentes químicos do resíduo

Componente	Metodologia utilizada
Lignina solúvel	Goldschimid (1971)
Lignina insolúvel	Gomide e Demuner (1986)
Lignina total	Por soma da lignina solúvel e insolúvel
Extrativos totais	ABTCP (1974) M3/69
Componentes minerais	ABTCP (1974) M11/77
Celulose	Kennedy et al. (1987)*
Holocelulose	obtida por diferença

\*Esse resultado expressa o percentual da holocelulose que é celulose, a fração restante serão as hemiceluloses

### **3.2.4 Densidade a granel do resíduo**

A densidade a granel do resíduo ao natural foi realizada, conforme a NBR 6922 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983), a qual consiste na alocação dos resíduos em uma caixa com dimensões conhecidas para ser pesado; em seguida foi realizada a diferença da massa total (caixa + material) com a massa do recipiente (caixa vazia) para se obter a massa da amostra. Assim, para a determinação da densidade a granel foi utilizada a relação entre massa de material e volume do recipiente.

### **3.2.5 Densidade aparente básica do resíduo**

Foi utilizado o método de imersão em água previsto na norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). O resíduo ao natural foi saturado, mediu-se o deslocamento de água em uma bureta graduada e, posteriormente, esse resíduo foi seco em estufa por 24 horas. A densidade foi obtida pelo quociente entre o volume saturado na amostra medido na bureta e a massa seca obtida pós - estufa.

### **3.2.6 Análises térmicas (TG e DSC)**

Para a análise termogravimétrica (TG), o resíduo, em todos os tratamentos, foi moído e peneirado, sendo utilizada a fração granulométrica que passou pela peneira de 200 mesh e ficou retida na peneira de 270 mesh. As amostras de, aproximadamente, 4 mg foram submetidas a um gradiente de temperatura, variando da temperatura ambiente até 550 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, utilizando um fluxo de nitrogênio de 50 mL min<sup>-1</sup>.

Utilizando-se a primeira derivada da curva TG (DTG), que estabelece a perda de massa, em função da temperatura, foi possível identificar a taxa de perda de massa por segundo e os picos característicos de degradação térmica da biomassa (etapas da pirólise).

Para o ensaio de DSC (calorimetria exploratória diferencial), foi utilizada a mesma fração granulométrica que para o TGA. Para determinar os parâmetros cinéticos da biomassa. Utilizaram -se 2 mg de amostra sob um fluxo de nitrogênio de 50 mL min<sup>-1</sup>. Como amostra padrão foi utilizada  $\alpha$ - alumina, sendo as amostras acondicionadas em recipientes de alumínio. Os termogramas foram obtidos com a temperatura ambiente até 550°C, com taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>.

Essas análises foram realizadas visando verificar a estabilidade térmica e temperatura de degradação. Ambas as análises foram realizadas no Laboratório de Biomateriais da Ciência e Tecnologia da Madeira –UFLA.

### **3.2.7 Análise dos dados de caracterização**

Os resultados foram avaliados, por meio de estatística descritiva, com obtenção de valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação, sendo apresentados gráficos e tabelas com os resultados. Os valores encontrados foram comparados entre si para determinação do melhor tratamento e com literaturas pertinentes.

### **3.3 Produção e realização de testes de resistência nos painéis cimento - madeira**

Para a manufatura dos painéis, inicialmente, foi calculada a massa de cada componente (resíduo, cimento, água e aditivo (cloreto de cálcio)), seguindo a metodologia sugerida por Souza (1994) e repetida por Latorraca e Iwakiri (2001), Iwakiri et al. (2012), Santos et al. (2008). O aglomerante empregado na produção dos painéis é designado comumente como cimento Portland CP V – ARI/ Plus, de alta resistência inicial, segundo a Norma Brasileira NBR 5733 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991). O resíduo foi utilizado nas condições dos tratamentos já descritos (N, A, H, RA e RH).

Os cálculos foram realizados, inicialmente, para uma densidade nominal dos painéis de  $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$ , que é a densidade comumente empregada na literatura e recomendada pela norma de comercialização “Bison Wood Cement Board” (BISON DO BRASIL, 1983). Porém os painéis com esta densidade não tiveram compactação suficiente na prensa (uma vez que a massa calculada não ocupava o espaço delimitado pelos espaçadores de metal de 15mm de altura), quebrando por completo ao serem retirados dos moldes. Sendo assim, procedeu-se a novo cálculo de quantidade de materiais e optou-se pela densidade nominal de  $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ . Na Tabela 4, é possível verificar as quantidades de produtos necessárias e os valores dos parâmetros empregados no processo, como as dimensões, por exemplo. A massa dos 3 painéis, que compõem um mesmo tratamento, foram pesadas, misturadas em betoneira e prensadas juntas (com separadores entre cada painel).

Tabela 4 Variáveis utilizadas no dimensionamento do painel

<b>Variáveis</b>	<b>Parâmetros</b>
Dimensões do painel (cm)	48x48
Espessura do painel (cm)	1,5
Volume do painel (cm <sup>3</sup> )	3456
Densidade do painel (g.cm <sup>-3</sup> )	1,4
Relação madeira:cimento = 1 : 2,75	0,36
Relação água:cimento = 1 :2,5	0,4
Taxa água de hidratação:cimento (base massa do cimento)	0,25
Porcentagem de aditivo (%)	4
Porcentagem de perda (%)	10
Massa nominal do painel (g)	4838,4
Umidade das partículas (%)	12-16

Os componentes necessários para a formação dos três painéis por tratamento foram pesados e devidamente misturados em betoneira, de eixo inclinado, para a formação da massa homogênea. O colchão foi formado por deposição da massa, em caixa formadora com dimensões de 480 x 480 mm, colocada sobre uma chapa de alumínio. Para controle da espessura final dos painéis, foram utilizados espaçadores de ferro de 15 mm de espessura. Após a distribuição do material, foi colocada outra chapa metálica na face superior do colchão e, em seguida, repetiu-se o procedimento até completar três painéis por tratamento. Antes das chapas metálicas entrarem em contato com o material, elas receberam uma camada de óleo diesel, aplicado com pincel. Esse processo facilita a desmoldagem após a prensagem.

Os painéis foram prensados na temperatura ambiente, com pressão específica de 4 MPa durante 10 min. A pressão eletrônica foi mantida até os colchões atingirem a espessura dos separadores e, posteriormente, efetivou-se o grampeamento e ocorreu a liberação da pressão exercida pela prensa. Os painéis permaneceram grampeados em condições naturais de umidade e temperatura

durante 24 h, permitindo que as reações de endurecimento ocorressem. Após esse período, os grampos foram retirados e os painéis acondicionados em sala de climatização (temperatura de  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 3\%$ ), até massa constante.

Após o processo de climatização dos painéis, foram retirados os corpos-de-prova para ensaios de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), ambos após 2 e 24 horas de imersão em água, densidade aparente (DA), umidade (UM), taxa de não retorno em espessura (TNR), módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) pelo ensaio de flexão estática, compressão paralela (CP), arrancamento de parafuso (AP) e ligação interna (LI). Para realização dos testes físico-mecânicos dos painéis, adotaram-se os procedimentos recomendados pelas Normas ASTM D-1037 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2002), NBR 14810-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) e DIN 52362 (NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN APANPLATTEN SPERRHOLZ, 1982) para painéis particulados, uma vez que não existem normas específicas para painéis cimento-madeira. O número de corpos de prova retirado por painel foi: 2 para AA\_2h, AA\_24h, IE\_2h, IE\_24h, DA, UM, TNR; 8 para AP na face; 6 para LI e 4 para CP, MOE e MOR na flexão estática. A média dos valores obtidos na resistência por esses corpos de prova foi considerada média da repetição por tratamento, ou seja, a média por painel. Adicionalmente aos testes, os corpos de prova de absorção de água foram medidos e tiveram suas massas aferidas por um período longo de imersão a água. Aferições foram realizadas com os seguintes tempos de imersão em horas: 2, 24, 48, 72, 168, 336, 504, 672. E também após climatização até massa constante depois desse período.



### **3.3.1 Comparação dos resultados dos testes e análises estatísticas**

Os resultados dos testes físicos e mecânicos foram comparados com literatura pertinente e com valores padrão de produtos similares comercializados.

Os dados foram avaliados por meio de análises estatísticas descritivas e experimentais (com auxílio do software SISVAR).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), consistindo de 5 tratamentos (N, A, H, RA e RH) e três repetições por tratamento. Como o fator era qualitativo, procedeu-se à realização de teste de média pelo método de Scott-Knott, a 5% de significância. Para as variáveis AA e IE, foi verificado se havia interação entre o fator tratamento e o fator tempo de imersão, que variou de 2 até 672 horas por meio de delineamento em esquema fatorial.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Caracterização do resíduo**

Os resultados das análises realizadas no resíduo ao natural e após os tratamentos propostos são apresentados separadamente por análise a seguir.

#### **4.1.1 Granulometria**

Na Tabela 5 estão apresentados os valores percentuais de massas retidas nas diferentes granulometrias analisadas para o resíduo natural e após refino. O refino diminuiu em cerca de 1,5% a quantidade de material menor ou igual a 20 mesh, fazendo com que essa quantidade passasse para peneiras com malha de menor tamanho, principalmente, para 40 mesh. Os resultados são percentuais e, em termos de produção de painéis, como o material é utilizado em quantidade em quilos, pode-se considerar que o tamanho do material não sofreu alteração brusca nas opções ao natural e com refino, visto que a amostra para realização do teste foi de apenas 50g. Um fator, que dificultou o teste, é que como o material precisa estar seco para a análise, as fibras do resíduo (que é madeira cozida) acabam se ligando de uma forma semelhante ao que vai ocorrer com o papel só que de maneira bem menos intensa. Se houvesse força manual na separação do material e forçasse sua passagem pela peneira, possivelmente, os valores seriam alterados. Mas como para a fabricação de painéis o material não sofreria fricção para separação, então, a metodologia foi seguida por representar mais fielmente o que aconteceria na prática de utilização do resíduo.

Tabela 5 Valores percentuais de massas retidas nas diferentes granulometrias analisadas para o resíduo natural e após refino

	natural (N)	refinado (R )
umidade (%)	0,24	0,17
peneira (mesh)	% de massa retida	
20	98,18	96,86
40	1,08	2,46
60	0,10	0,27
100	0,18	0,08
200	0,04	0,06
270	0,12	0,04
fundo >270	0,06	0,06

A quantidade de material retido nas peneiras com 40 mesh ou mais é, praticamente, insignificante, justificando o não peneiramento do resíduo para a etapa de fabricação dos painéis. Guimarães Júnior et al. (2013) e Martins et al. (2014) utilizaram partículas “sliver”, classificadas entre 10 e 30 mesh, para a produção de painéis particulados. Trianosky et al. (2011) utilizaram partículas com tamanhos entre 14 e 30 mesh. De acordo com as literaturas, os tamanhos do resíduo estão adequados para a produção de painéis particulados.

#### 4.1.2 Caracterização anatômica

No Gráfico 1 estão apresentados os valores médios e a barra de desvios para o comprimento das fibras ( $\mu\text{m}$ ) dos diferentes tratamentos do resíduo.

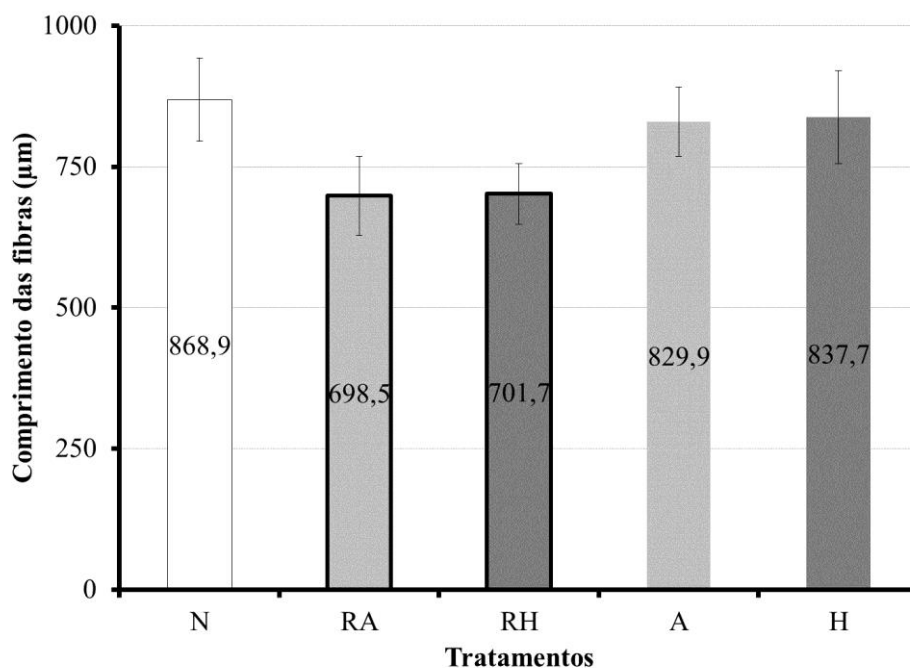


Gráfico 1 Valores médios e barra de desvio padrão da média para o comprimento das fibras nos diferentes tratamentos

As barras de desvios dos tratamentos N, A e H se sobrepõem, indicando que seus valores estão próximos e que apenas o tratamento com molho em água e molho em solução de hidróxido de sódio não afetaram o comprimento das fibras. Já os tratamentos RA e RH, que incluem o processo de refino por um período de 30 minutos, encurtaram as fibras. Esse processo já era esperado por ser um dos efeitos do refino. Coutts (1995) ressalta a importância de se utilizar refinamentos não muito drásticos para que o encurtamento ou quebra das fibras não ocorra em grande quantidade. Tonoli (2009) verificou o encurtamento das fibras após o refino e justificou tratar-se de quebra das mesmas.

No tratamento N (868µm) foi observado o maior comprimento absoluto da fibra e no tratamento RA (698µm), o menor. César (2011), trabalhando com

madeira de *Eucalyptus grandis*, encontrou valor médio de comprimento de fibra de 963 $\mu$ m. As fibras do resíduo, utilizadas neste trabalho, encontram-se pouco abaixo desse valor para todos os tratamentos.

No Gráfico 2 estão apresentados os valores médios e a barra de desvios para a espessura da parede das fibras ( $\mu$ m) dos diferentes tratamentos do resíduo.

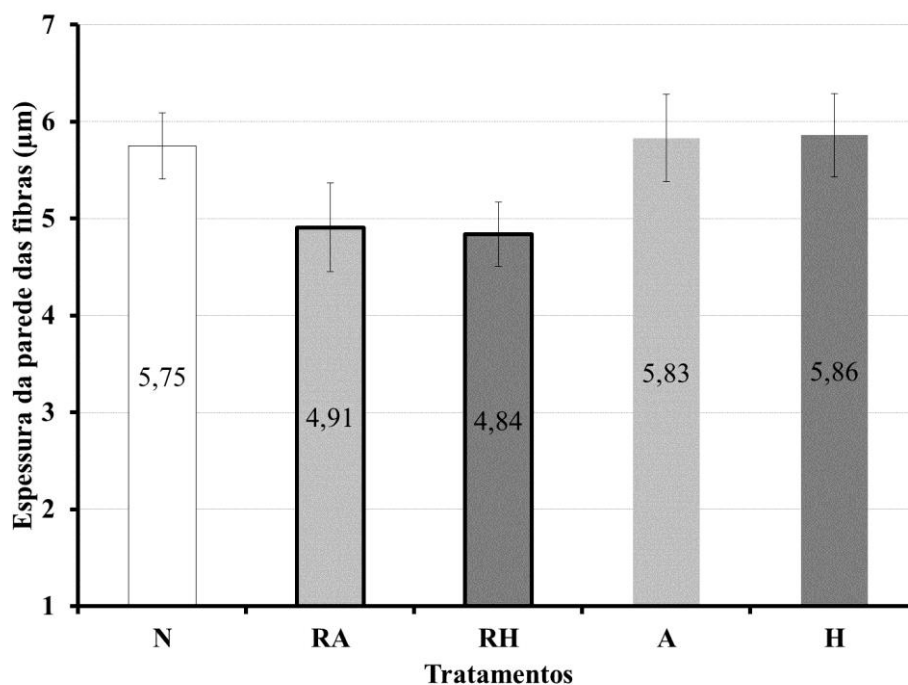


Gráfico 2 Valores médios e barra de desvio padrão da média para a espessura da parede das fibras nos diferentes tratamentos

Semelhante ao que ocorreu para o comprimento, as barras de desvios dos tratamentos N, A e H se sobrepõem, possivelmente indicando que seus valores estão próximos e que apenas o tratamento com molho em água e molho em solução de hidróxido de sódio não afetaram a espessura da parede das fibras. Já os tratamentos RA e RH, que incluem o processo de refino por um período de

30 minutos, reduziram a espessura da parede das fibras. Possivelmente esse seja um efeito chamado fibrilação externa das fibras, que vai abrindo e liberando as camadas superficiais da parede (descamando) e, conseqüentemente, afinando a espessura da parede (COUTTS, 1995; MCKENZIE, 1994). Esse efeito é desejado, pois torna as fibras mais maleáveis. Mais estudos são necessários para corroborar com a afirmação desses autores.

No tratamento RH (4,84 $\mu$ m), foi observada a menor espessura absoluta da parede da fibra e no tratamento H (5,86 $\mu$ m), o maior. Tonoli (2006) e Menegazzo (2012), trabalhando com polpa de eucalipto refinada, encontraram valores de espessura da parede variando de 5,4 a 6 e 5,7 a 6,2  $\mu$ m (respectivamente), esses valores estão próximos ao encontrado neste trabalho. Já César (2011), trabalhando com madeira de eucalipto, encontrou valor médio de espessura da parede da fibra de 4,94 $\mu$ m. Os valores encontrados neste trabalho são semelhantes aos relatados por Paula (1995) e Tomazzello Filho (1985), ambos trabalhando com fibras de eucalipto. Os resultados ficaram entre intervalos de variação muito próximos para comprimento e espessura da parede das fibras.

Nos tratamentos N, A e H foi possível visualizar a maioria das fibras sem quebra, pontas das fibras afinando e presença de elementos de vaso intactos. Foi possível visualizar, também, feixes de fibras não individualizados. Demonstra, portando que o tratamento de molho não afetou as dimensões aferidas das fibras. Já para os tratamentos RA e RH, as imagens mostram claramente fibras quebradas e elementos de vaso colapsados, efeitos do refino (Figura 3).

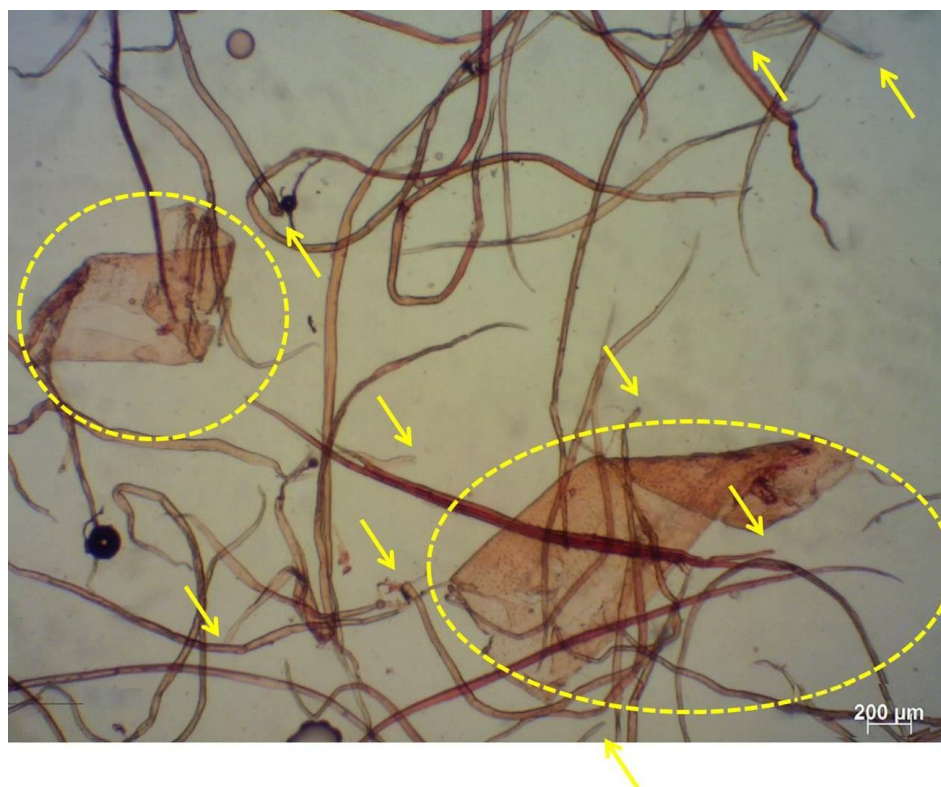


Figura 3 Visualização em microscópio ótico (utilizando a objetiva de 4X) das fibras do resíduo para os tratamentos RA e RH

Pode-se notar que nos tratamentos com refino as fibras se encontram mais quebradas (setas apontam para pontas das fibras quebradas) e os elementos de vaso encontram-se colapsados e alguns completamente destruídos.

#### 4.1.3 Análise química

Na Tabela 6 podem-se visualizar os resultados obtidos com a análise química para os teores de lignina solúvel, lignina insolúvel e lignina total do resíduo com os diferentes tratamentos químicos e da madeira de *Eucalyptus sp.* utilizada apenas para termos de comparação dos valores.

Tabela 6 Valores médios e desvio padrão da quantidade de lignina solúvel, insolúvel e total nos tratamentos e na madeira de *Eucalyptus sp*

	lignina solúvel (%)		lignina insolúvel (%)		lignina total (%)	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
RA	0,3	0,00	8,3	0,31	8,6	0,31
RH	0,3	0,01	6,1	0,08	6,3	0,07
N	0,2	0,05	15,3	1,84	15,5	1,79
A	0,3	0,00	9,5	0,42	9,8	0,42
H	0,3	0,08	6,3	0,24	6,6	0,16
E	0,5	0,00	27,0	0,64	27,5	0,63

E: *Eucalyptus sp*.

Para o teor de lignina solúvel, os valores para os tratamentos são próximos e baixos, indicando que ocorreu a remoção dessa lignina pelo processo de cozimento da indústria de celulose, que deixou pequena quantidade no resíduo independente dos tratamentos aplicados neste trabalho. Os tratamentos não afetaram a quantidade de lignina solúvel. O valor para todos os tratamentos se encontra abaixo do valor encontrado para a madeira de E.

O tratamento natural (N) é o que apresenta maior teor de ligninas insolúvel e total. O teor de ligninas dos tratamentos A e RA são similares e menores apenas do que o tratamento N. Já os menores valores de quantidade de lignina foram observados nos tratamentos H e RH. A retirada de lignina pelos tratamentos com água (A e RA) pode ser explicada, não necessariamente pela remoção da lignina do próprio resíduo, mas pela remoção da lignina residual do cozimento, que estava solubilizada no licor do cozimento ainda impregnado no resíduo. Essa lignina solubilizada no licor pode ser responsável pelo elevado



teor de lignina do tratamento N. Já os tratamentos com hidróxido de sódio (H e RH) foram mais eficientes na retirada de lignina do material, seja lignina das próprias fibras do resíduo ou as ligninas que estavam impregnadas no resíduo como já exposto anteriormente. Como o resíduo é proveniente do cozimento da indústria de celulose e o processo de cozimento visa à retirada de lignina, já era esperado que a quantidade de lignina de todos os tratamentos no resíduo fosse inferior ao teor de lignina na madeira de E.

Bledzki e Gassan (1999) ressaltam que tratamentos alcalinos removem parcialmente a lignina e as hemiceluloses. Essa afirmação corrobora para o fato de os tratamentos RH e H possuírem os menores percentuais de lignina. Os autores Andrade et al. (2010), Neves et al. (2011), Pomarico (2007) e Trugilho, Lima e Mori (2003) encontraram valores de holocelulose de: 27,86-31,31; 23, 31,7 e 22,7-29,2%, respectivamente. Esses valores são superiores ao do resíduo deste trabalho e semelhante ao valor do E (eucalipto) testado.

Os teores de extrativos totais, componentes minerais, holocelulose e celulose, encontram-se nos Gráficos 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

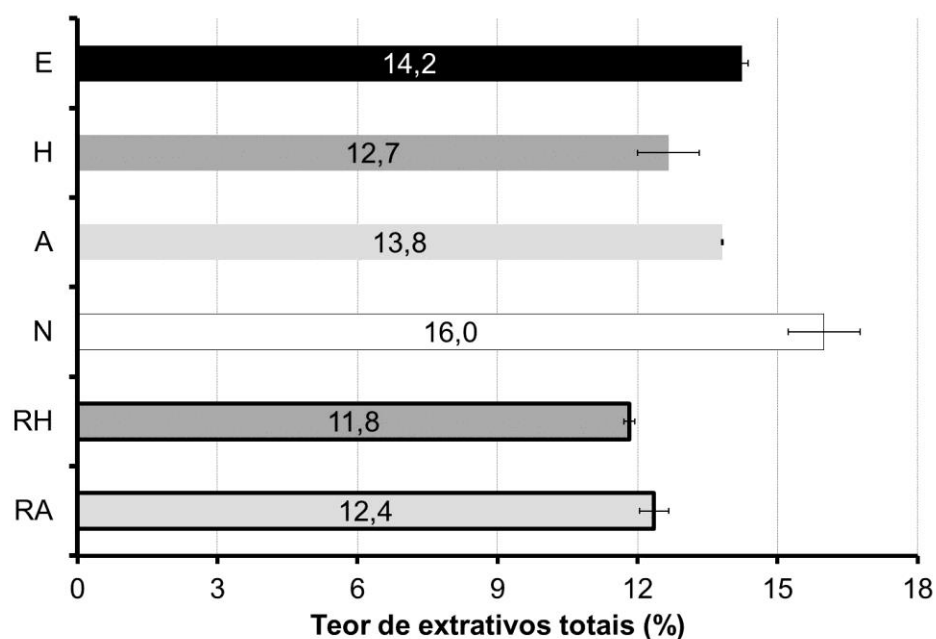


Gráfico 3 Valores médios e barra de desvios do teor de extrativos totais para os tratamentos no resíduo e para a madeira de *Eucalyptus sp*

O tratamento N foi o que apresentou maior quantidade de extrativos totais, já os tratamentos H e A apresentaram valores próximos entre si e também ao E testado. Já os tratamentos RA e RH foram os que apresentaram menor quantidade total de extrativos. Possivelmente parte do licor presente ainda em pequeno percentual no resíduo possa ter sido quantificada como extrativo pela metodologia, pois as extrações com etanol:tolueno podem ter solubilizadas esse material e ter sido quantificados junto. Valores de extrativos totais para clones de eucalipto variaram de 6,3 a 8,9%, em trabalho realizado por Pomarico (2007). Já Andrade et al. (2010), Neves et al. (2011) e Trugilho, Lima e Mori (2003) encontraram valores de extrativos de: 1,89-4,12, 4 e 6,71%, respectivamente. Esses valores inferiores podem corroborar para a suspeita de a

metodologia não estar adequada para quantificar os extrativos no resíduo da polpação.

Moslemi, Garcia e Hofstrand (1983) testaram três métodos de tratamentos de partículas: (i) imersão em água fria por 24 horas; (ii) imersão em água quente por 6 horas; e (iii) imersão em solução de NaOH (1%) e afirmaram que a redução de extrativos, causada pelos tratamentos, melhora a qualidade dos painéis. Beraldo et al. (2002) afirmam que a presença de açúcares e extrativos solúveis em água ou álcali retardam o tempo de pega do cimento, podendo atrapalhar a resistência dos produtos. Nesse sentido, a redução dos extrativos totais verificada pelos tratamentos pode ajudar a aumentar a resistência dos produtos produzidos.

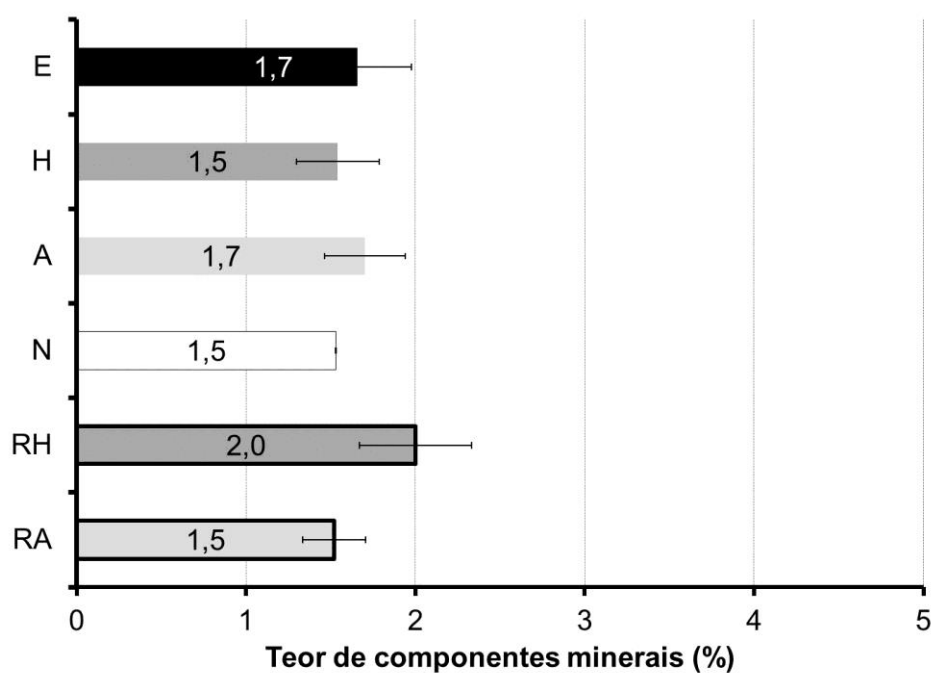


Gráfico 4 Valores médios e barra de desvios do teor de componentes minerais para os tratamentos no resíduo e para a madeira de *Eucalyptus sp*

Os teores de componentes minerais presentes no resíduo em todos os tratamentos ficaram próximos entre si. As barras de desvio dos tratamentos se sobrepõem indicando que, possivelmente, não há diferença entre os tratamentos. Todos os tratamentos possuem valor similar ao encontrado para o E, fato esse que pode ser atribuído a não retirada de componentes minerais durante o processo de cozimento da madeira. Já Andrade et al. (2010), Neves et al. (2011), trabalhando com madeira de eucalipto, encontraram valores variando de 0,15 a 0,25%, muito inferiores aos verificados neste trabalho. Enquanto no relatório sobre o resíduo, fornecido pela empresa, o valor de cinzas (componentes minerais) encontrado foi quase o dobro do obtido neste trabalho.

Deve-se levar em consideração, ainda, que o armazenamento do resíduo na empresa seja feito a céu aberto e que esses valores podem ter sido influenciados por contaminação do resíduo por outros materiais (como areia e solo, por exemplo) que foram contabilizados como componentes minerais elevando, assim, os valores obtidos.

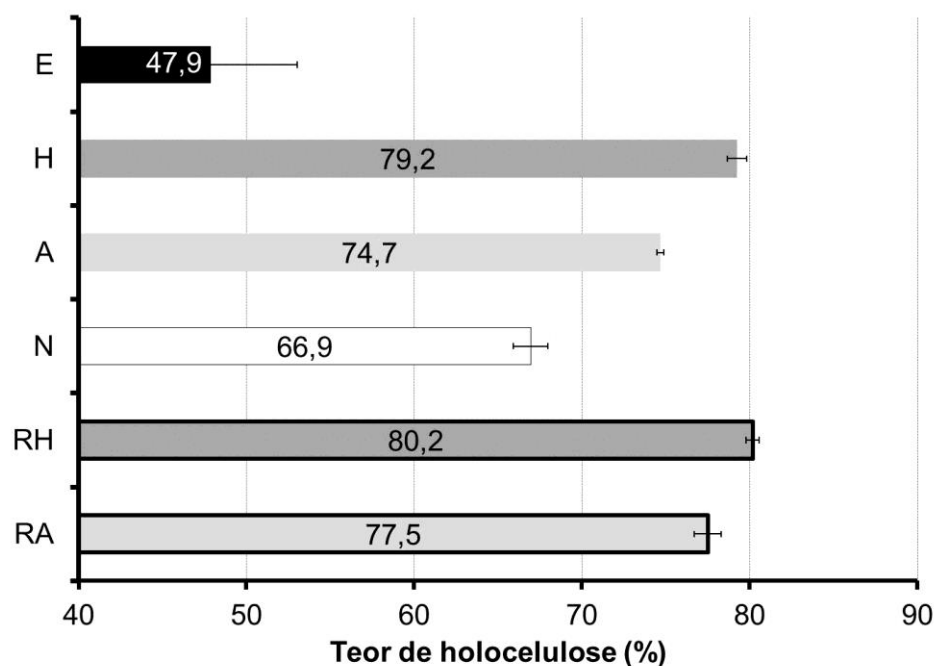


Gráfico 5 Valores médios e barra de desvios do teor de holocelulose para os tratamentos no resíduo e para a madeira de *Eucalyptus sp*

Os teores de holocelulose presentes no resíduo foram maiores para os tratamentos RA, RH, H e A. O menor valor de holocelulose para o resíduo foi encontrado para o tratamento N (67%). Já, em comparação com o E, todos os tratamentos tiveram maior quantidade de holocelulose. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato de a holocelulose ser calculada por diferença e, nos tratamentos onde houve redução de extrativos e lignina, conseqüentemente, deve haver o aumento da holocelulose em termos percentuais para completar os 100%. O teor de holocelulose verificado por Pomarico (2007) variou de 62 a 70% em madeiras de eucalipto. Já Andrade et al. (2010), Neves et al. (2011), e Trugilho, Lima e Mori (2003) encontraram valores de holocelulose de: 64,77-68,28, 75 e 61,50%, respectivamente, valores esses de acordo com este trabalho.

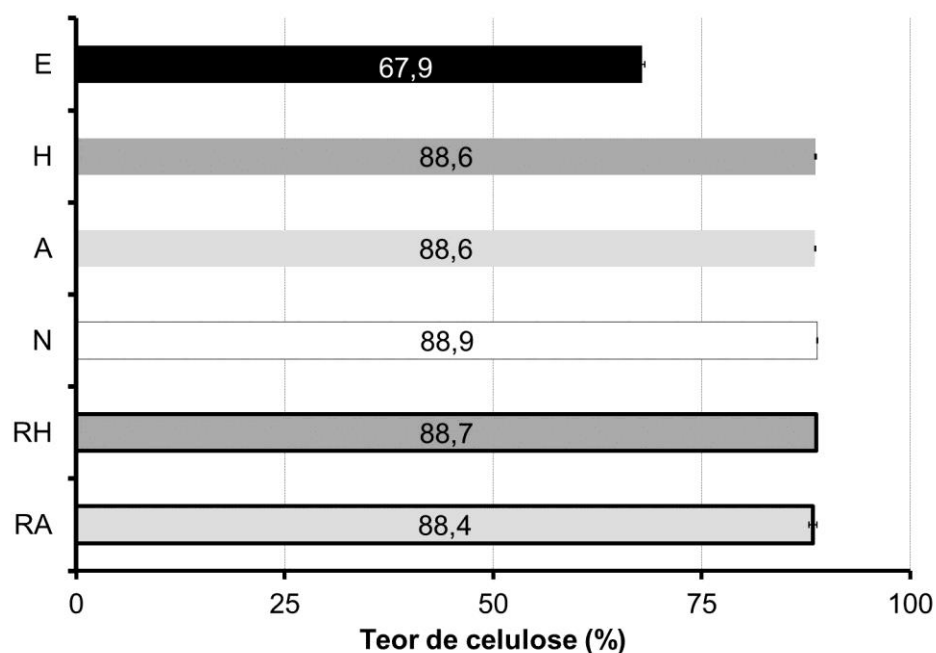


Gráfico 6 Valores médios e barra de desvios do teor de celulose para os tratamentos no resíduo e para a madeira de *Eucalyptus sp.* O teor de celulose indica qual o percentual da holocelulose que é composta por celulose

O teor de celulose encontrado no resíduo para todos os tratamentos (N, A, RA, RH, H) foram próximos e o desvio das repetições muito pequeno. Deve-se salientar que nenhum dos tratamentos propostos possui a capacidade de retirar esse componente químico e, conseqüentemente, de alterar seu percentual no resíduo. Os valores encontrados, quando comparados à madeira de *Eucalyptus sp.* (E), mostram-se superiores, o que também já era esperado, uma vez que a polpação visa retirar os demais componentes (lignina, hemiceluloses e extrativos), para obtenção de celulose e com a retirada de hemiceluloses, a maior parte da holocelulose fica sendo composta por celulose. Contribuindo para o aumento percentual da celulose total verificado.

A principal limitação na produção dos compósitos cimento-madeira é a incompatibilidade química entre algumas espécies de madeira e o aglomerante mineral, devido à presença de substâncias químicas, como: compostos fenólicos, ácidos e açúcares, que retardam ou inibem a cura e o endurecimento do cimento, podendo prejudicar as propriedades finais dos painéis (LATORRACA; IWAKIRI, 2001; MORI et al., 2007). Segundo Latorraca (2000), alguns dos extrativos e hemiceluloses dissolvem-se em meio alcalino e difundem-se na interface cimento - madeira. Os carboidratos complexarão com cálcio, alumínio e cátions férricos por meio de hidrólises sobre manoses e galactoses ou por grupos de ácido glucurônico, para retardar a taxa de hidratação do cimento, reduzindo, assim, a cristalinidade e a resistência do produto. Neste sentido, a utilização do resíduo UKP da indústria de celulose, como demonstrado nos gráficos acima, já possui menor teor de extrativos e a lignina se mostra promissora para esse fim.

#### **4.1.4 Densidade a granel e densidade aparente básica do resíduo**

A densidade a granel média, oriunda de 4 repetições, foi de  $0,138 \text{ g.cm}^{-3}$  com desvio padrão de 0,008. Já, a densidade básica apresentou valor médio de  $0,325 \text{ g.cm}^{-3}$  com desvio padrão de 0,09. Valor inferior ao obtido neste trabalho para densidade aparente básica foi encontrado por Guimarães Júnior (2011), para polpa de bambu. O resíduo, utilizado neste trabalho, no entanto, não pode ser considerado polpa, uma vez que, após o cozimento, este material ficou retido na peneira, justamente por não possuir as características adequadas da polpa para seguir para o processo de branqueamento. Esse resíduo possui cavacos de madeira que não foram bem cozidos e, conseqüentemente, não estavam nas dimensões corretas para passar pelo depurador. Sendo assim, sua densidade, possivelmente, seria um pouco maior do que a da polpa.

A retirada de extrativos e lignina auxilia na redução do valor da densidade aparente, conforme o material, passa pelas etapas de polpação (GUIMARÃES JÚNIOR, 2011; SANTOS, 2008). Segundo Carvalho (1999) e Ferreira (2000), a redução da densidade aparente se justifica pelo aumento da porosidade da parede secundária das fibras devido ao processo de polpação.

Segundo Maloney (1993) e Moslemi (1974), espécies de madeira que apresentem densidade de até  $0,550 \text{ g.cm}^{-3}$  são as mais recomendadas para a produção de painéis particulados. Marra (1992) relata a influência da densidade na estabilidade dimensional da madeira. Quanto maior sua massa específica, maior a alteração dimensional devido às em decorrência das mudanças em seu teor de umidade e, com isso, ocorre um aumento na tensão.

#### **4.1.5 TG e DSC**

No Gráfico 7, observa-se a curva de perda de massa em função da temperatura (curva TG). Os tratamentos tiveram comportamentos similares com relação à degradação térmica. A temperatura média de início da carbonização foi de  $230^{\circ}\text{C}$ , que é quando se inicia a perda de massa significativa da amostra. No estágio inicial da curva (área circulada), a perda de massa de cerca de 10% se deve à remoção da umidade da amostra, ou seja, à saída de água. Ao final da segunda perda significativa de massa, cerca de 70%, encontram-se no final da fase de degradação dos carboidratos (hemiceluloses e celulose). Posterior a essa queda, a perda de massa restante se deve à degradação da lignina (e do carbono fixo), que por ser o componente mais estável, ainda, não foi totalmente degradado. É importante ressaltar que a quantidade de lignina no resíduo já é reduzida em função da sua origem pós - cozimento na indústria de celulose.



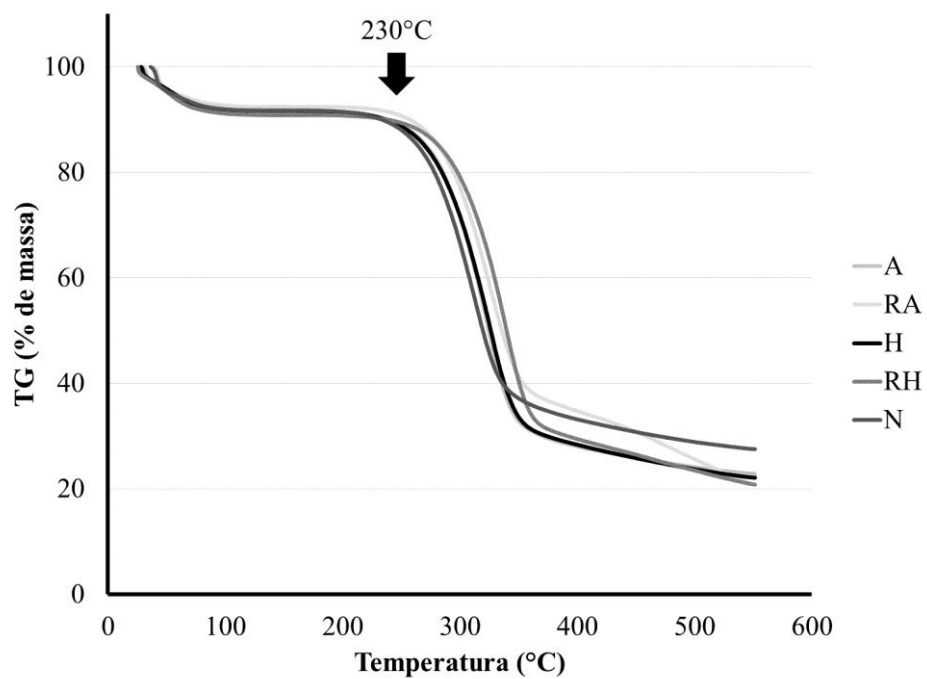


Gráfico 7 Curva TG de perda de massa em função da temperatura para os resíduos nos diferentes tratamentos

No Gráfico 8 observa-se a derivada primeira da curva TG (DrTG) em função da temperatura.

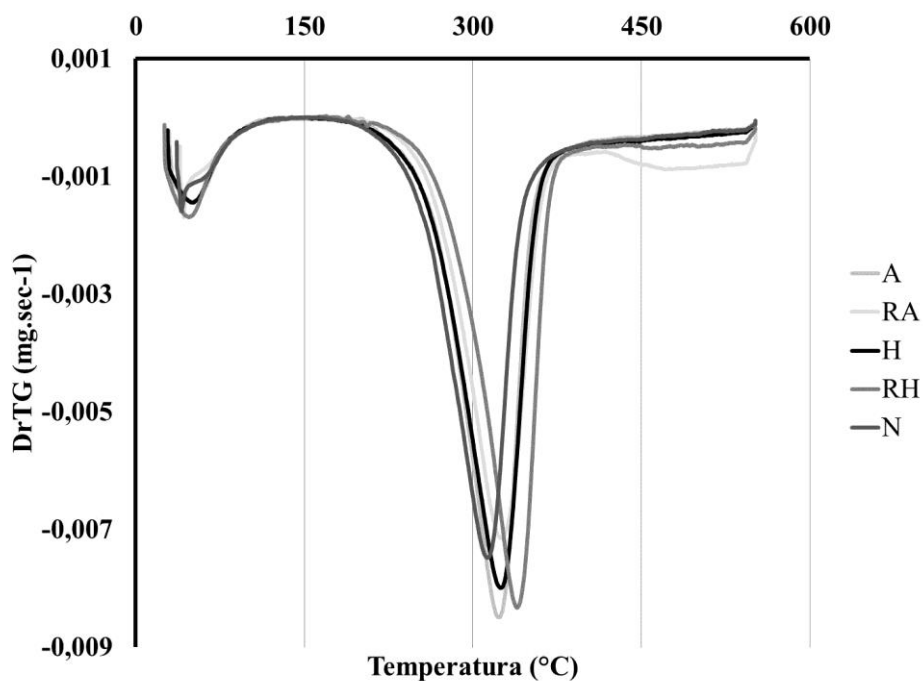


Gráfico 8 Curva DrTG em função da temperatura para os resíduos nos diferentes tratamentos

Devem-se visualizar três fases de degradação térmica nas etapas de combustão da madeira, que correspondem aos picos da curva DrTG. Para o caso específico do resíduo estudado, a terceira etapa não foi muito nítida, tornando difícil sua diferenciação.

A primeira fase ocorre da temperatura ambiente até, aproximadamente, 125°C e corresponde à secagem da amostra. Resultado similar foi descrito por Protásio (2014).

A segunda fase é a de desvolatilização dos componentes majoritários que formam a biomassa (LI et al., 2013), inicia-se logo em seguida à primeira, após um ligeiro período de estabilidade térmica e se estende até, aproximadamente, 370°C. O resultado deste trabalho apresentou ligeiro

deslocamento do segundo pico de degradação com relação aos trabalhos de Protásio (2014) para coco de babaçu e de Fernandes et al. (2013) para folhas de bananeira parcialmente secas. Nessa fase ocorre a degradação das hemiceluloses, da celulose e parte da lignina, resultando, assim, na liberação e ignição dos materiais voláteis (combustão homogênea) levando à formação do resíduo sólido de carbono ou carvão vegetal (FERNANDES et al., 2013; MAGDZIARZ; WILK, 2013). Desta forma, a taxa de perda de massa da amostra foi acentuada, uma vez que os carboidratos apresentam baixa resistência à degradação térmica. A perda de massa nessa fase foi de, aproximadamente, 60%, como pode ser visualizado no Gráfico 7. De acordo com Kai et al. (2011), um elevado teor de celulose promove maior desvolatilização e aumenta a taxa de decomposição térmica em temperaturas mais baixas.

Quanto à terceira fase, geralmente observa-se um pico estreito próximo aos 430°C, relacionado à decomposição da lignina residual e oxidação incandescente do carbono fixo, formado na segunda e terceira fases (PROTÁSIO, 2014). O pico encontrado neste trabalho não foi muito visível e estendeu-se de 450 a 550°C. Essa falta de definição deve-se ao fato de a quantidade de lignina presente ser menor em razão do processo de cozimento sofrido na indústria de celulose pelo resíduo. Esse estágio corresponde à combustão homogênea dos gases liberados pela decomposição da lignina e à combustão heterogênea do carbono sólido (KAI et al., 2011; MAGDZIARZ; WILK, 2013; MOON et al., 2013). Geralmente observa-se, ainda, um ligeiro pico de degradação anterior ao da terceira fase correspondente à transição da combustão da celulose e da lignina (PROTÁSIO, 2014). Esse pico menor e o pico característico da terceira fase se confundiram em um só para este trabalho não podendo ser distinguidos separadamente.

No Gráfico 9 encontram-se as curvas de liberação de energia (DSC) durante a combustão do resíduo em todos os tratamentos.

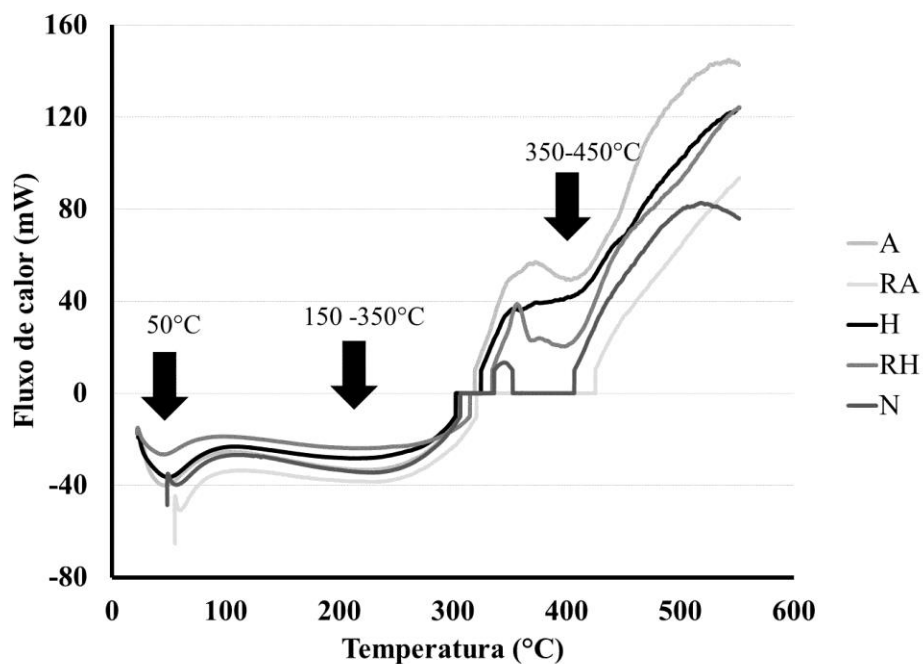


Gráfico 9 Curva da análise de Calorimetria exploratória diferencial (DSC) em função da temperatura para o resíduo nos diferentes tratamentos

Para a curva DSC, deve-se observar o primeiro vale, próximo aos 50°C, correspondente à liberação de energia pela saída de água da amostra.

Fernandes et al. (2013) observaram dois eventos exotérmicos característicos para a combustão das folhas de bananeira. Os autores observaram um primeiro evento entre 150°C e 400°C e o atribuíram à queima das hemiceluloses e da celulose e o segundo evento entre 400°C e 500°C, característico da combustão da lignina, corroborando com o encontrado neste trabalho. Resultados similares foram observados por Protásio (2014) para casca do coco do babaçu.

#### 4.2 Pré-teste para escolha do tempo de refino

As medições de comprimento e de descrição visual do estado das fibras do resíduo, após tempos de refino de 0 a 60 minutos, encontram-se na Tabela 9. Como mencionado anteriormente, optou-se pelo tempo de refino de 30 minutos, baseado nesses dois critérios de avaliação, não havendo mais nos 30 minutos de refino feixes de fibras em grande quantidade e uma quantidade aceitável de fibras quebradas, efeito este já previsto conforme literaturas consultadas. O tempo de 30 minutos foi descrito como ideal para atingir a fibrilação externa e quebrar menos as fibras por Freire et al. (2011), trabalhando com o mesmo resíduo.

Tabela 7 Resumo da situação visual e do comprimento das fibras após diferentes tempos de refino

tempo de refino (min)	comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ )	desvio padrão	descrição
0	934,37	85,78	feixes de fibras abundantes + fibras individualizadas com pouca quebra de fibra
15	820,44	45,23	feixes de fibras abundantes + fibras individualizadas com pouca quebra de fibra
30	685,61	99,87	feixes de fibras quase ausentes+ fibras individualizadas com pouca quebra de fibras
45	412,91	77,69	feixes de fibras ausentes +fibras individualizadas quebradas na quase totalidade
60	348,74	69,07	feixes de fibras ausentes +fibras individualizadas quebradas na totalidade

### **4.3 Propriedades dos painéis cimento - madeira**

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis são apresentados a seguir separadamente.

#### **4.3.1 Propriedades físicas**

O resumo do quadro da análise de variância para todas as propriedades físicas se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 Resumo dos resultados da ANOVA para as propriedades físicas dos painéis cimento - madeira

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado médio						
		AA_2h (%)	AA_24h (%)	IE_2h(%)	IE_24h (%)	DEN (g.cm <sup>-3</sup> )	UM (%)	TNR (%)
Tratamento	4	29,012618*	17,500519*	0,004092*	0,005920*	0,000068 <sup>ns</sup>	0,012167 <sup>ns</sup>	0,030169 <sup>ns</sup>
Erro	10	0,8627	0,461657	0,001139	0,001768	0,000809	0,010087	0,011008
Total	14							
CV(%)		7,66	4,72	18,19	23,56	2,02	1,01	11,6
Média		12,13	14,38	0,18	0,18	1,41	9,96	0,9

e\* = significativo; e<sup>ns</sup> = não significativo

Pode-se verificar que as variáveis DEN, UM e TNR apresentaram resultados não significativos para a ANOVA, ou seja, as médias dos tratamentos propostos não diferem entre si. Para que se possam comparar painéis produzidos, em diferentes tratamentos, é imprescindível que eles estejam na mesma umidade e possuam a mesma densidade aparente (CÉSAR, 2011), pois alterações nessas duas propriedades podem causar alterações nos valores de resistência física e mecânica dos painéis. A TNR, que mede o percentual de inchamento residual no painel, demonstra que todos os tratamentos retornaram ao estágio inicial antes da imersão em água na mesma proporção. O valor médio de TNR foi de 0,9% para os tratamentos. Para painéis de 1,5cm, isso significa um valor de 0,0135 cm de inchamento residual.

Para as variáveis AA\_2h, AA\_24h, IE\_2h e IE\_24h, os tratamentos apresentaram diferença significativa entre si. Os valores médios de cada tratamento, com seus respectivos desvio padrão e o resultado do teste de médias Scott-Knott a 5% de significância, encontram-se nos Gráficos 10 e 11, para AA e IE, respectivamente.



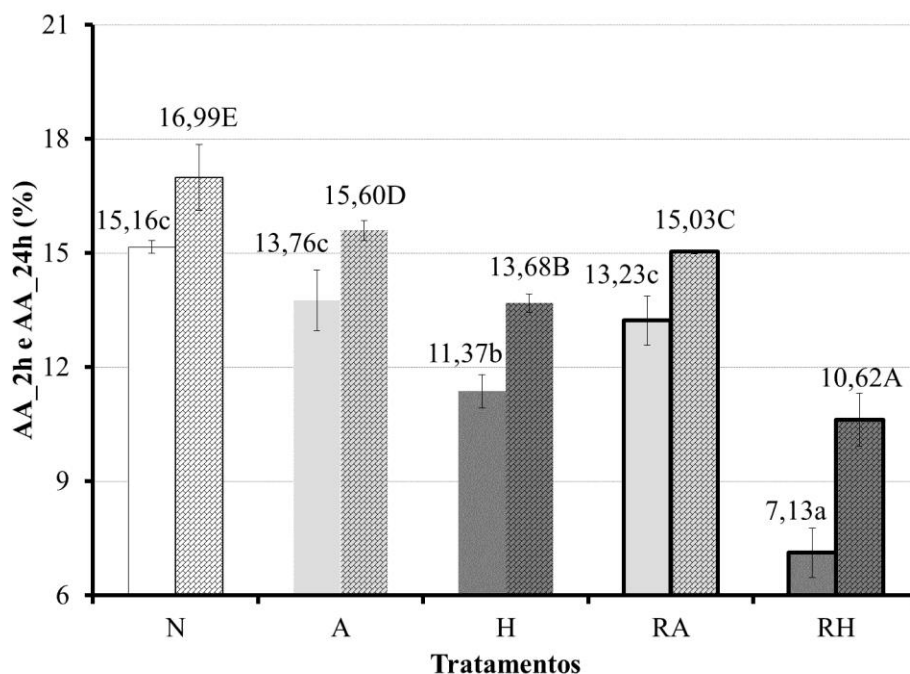


Gráfico 10 Valores médios das variáveis AA\_2h (barras lisas) e AA\_24h (barras hachuradas), com o desvio médio e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância (letras minúsculas comparam AA\_2h e letras maiúsculas comparam AA\_24h) para todos os tratamentos

Para a variável AA\_2h, o tratamento RH apresentou melhor desempenho, com absorção de água média de 7,13%, diferindo dos demais tratamentos. Nas duas primeiras horas de imersão, a combinação hidróxido e refino foi mais eficaz em absorver menor quantidade de água. Já o tratamento H apresentou o segundo melhor resultado com valor médio de 11,37% de absorção de água. Os demais tratamentos (A, N e RA) apresentaram desempenho inferior com as maiores médias observadas, 13,76; 15,16 e 13,23%. Isso implica dizer que, nas primeiras duas horas de imersão, os tratamentos que receberam hidróxido de sódio apresentaram menor ganho de massa de água. Já, com 24 horas de imersão, todos os tratamentos apresentaram desempenhos distintos

entre si, com valores médios de 10,62; 13,68; 15,03; 15,60 e 16,99 para RH, H,RA,A e N, respectivamente. Com um maior tempo de imersão, os tratamentos com hidróxido são os que melhor respondem em absorver menor quantidade de água, juntamente com o refino, que colabora para a redução dos valores dessa propriedade. De maneira geral, todos os tratamentos de imersão em água ou em solução, com e sem refino, apresentam melhor desempenho do que o tratamento em, que o material é utilizado ao natural. Mokfienski (2004), trabalhando com fibras de madeira, verificou que a capacidade da polpa em reter água aumentava conforme maior era o teor de hemiceluloses presentes. Como neste trabalho a porcentagem de celulose é o mesmo para todos os tratamentos e a % de holocelulose diminuiu com os tratamentos em relação ao N, pode-se inferir que esse menor percentual de hemiceluloses ajudou a reduzir a absorção de água do resíduo e, conseqüentemente, dos painéis. O mesmo autor ressalta, ainda, que com o efeito do refino nas polpas, as fibras ficaram mais juntas e densamente unidas, reduzindo o espaço médio entre as fibras e, conseqüentemente, diminuindo os espaços vazios disponíveis para a movimentação da água.

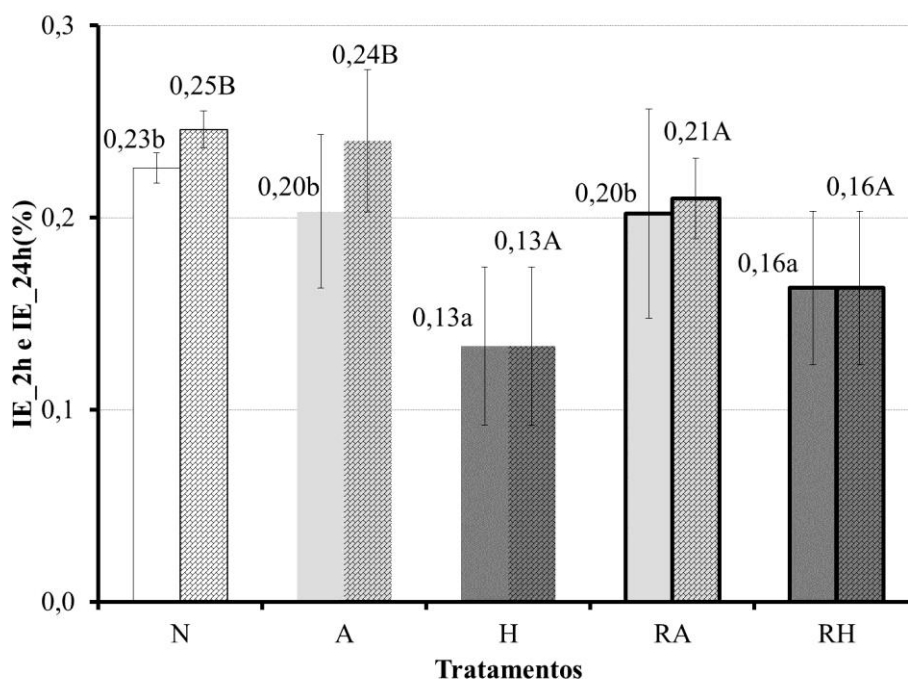


Gráfico 11 Valores médios das variáveis IE\_2h (barras lisas) e IE\_24h (barras hachuradas), com o desvio médio e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância (letras minúsculas comparam IE\_2h e letras maiúsculas comparam IE\_24h) para todos os tratamentos

Para a variável IE\_2h, os tratamentos H e RH foram iguais entre si e apresentaram melhor desempenho, com inchamentos médios de 0,13 e 0,16%. Já os tratamentos N, A e RA apresentaram resultados iguais entre si, com valores entre 0,20 e 0,23%. Isso implica dizer que, nas primeiras duas horas de imersão, os tratamentos que receberam hidróxido de sódio, com ou sem o refino, apresentaram maior estabilidade dimensional e incharam menos. Já, com 24 horas de imersão, os tratamentos que apresentaram melhor desempenho foram H, RH e RA (IE\_24h= 0,13; 0,16 e 0,21%), demonstrando que, com um maior tempo de imersão, os tratamentos com hidróxido e, também, os tratamentos com refino apresentam maior estabilidade dimensional. Os tratamentos N e A

apresentaram resultados iguais e maior inchamento, com valores médios de 0,25 e 0,24%, respectivamente. Albinante, Pacheco e Visconte (2013) e Platenik et al. (2012) ressaltam que alguns tratamentos alcalinos (variando tempo e concentração) conseguem retirar a lignina da fibra e deixar a celulose mais exposta, favorecendo a ancoragem mecânica do agente interfacial na fibra. Com essa melhor ancoragem, o cimento pode ter-se ligado mais eficientemente, reduzindo assim as brechas para ligação com a água. Cordeiro et al. (2012), também, encontraram melhora da associação fibra e polímero após o tratamento alcalino das fibras.

Com base na Tabela 9, é possível comparar os valores dos testes físicos, obtidos neste trabalho, com os valores médios encontrados por outros autores e por produtos vendidos comercialmente.

Tabela 9 Resultados dos testes físicos para comparação dos valores obtidos neste trabalho com literaturas e padrões de comercialização

		DEN	UM	AA_2h	AA_24h	IE_2h	IE_24h
Tratamentos		g.cm <sup>-3</sup>			%		
	<b>N</b>	1,40	10,00	15,16	16,99	0,23	0,25
	<b>A</b>	1,41	9,98	13,76	15,60	0,20	0,24
	<b>H</b>	1,41	9,98	11,37	13,68	0,13	0,13
	<b>RA</b>	1,41	9,85	13,23	15,03	0,20	0,21
	<b>RH</b>	1,42	9,99	7,13	10,62	0,16	0,16
	<b>média</b>	1,41	9,96	12,13	14,39	0,19	0,20
<b>n°</b>	<b>Literaturas</b>						
1	Guimarães et al. (2015)	1,2-1,3	x	x	12,1 -13,64	x	0,89 -0,91
2	Iwakiri e Prata (2008)	1,15	x	x	15,15-19,22	x	2,26-4,83
3	Iwakiri et al. (2012)	1	x	x	23,52 -25,71	x	1,54
4	Latorraca e Iwakiri(2001)	x	x	x	x	0,47	0,55
5	Lopes et al. (2005)	1,1-1,3	x	8,3	12,9	1,1	1,7
6	Macêdo et al. (2012)	1,4	17	x	31	x	0,85
7	Matoski e Iwakiri (2007)	x	x	2,4 -3,4	4,7 -6	0,7 0,8	1,1 -1,2
8	Okino et al. (2004)	1,29-1,33	8,9-9,7	11,25-16,85	14,15-21,60	0,55-1,07	0,60-1,2
9	Olorunnisola e Adejisan (2002)	1,2	x	x	37	x	1,9
10	Pomarico (2007)	1,2-1,3	x	2,9	6,12	0,88	0,89
11	Papadopoulos (2008)	1,27	x	x	x	x	1,75

“Tabela 9, conclusão”

		DEN	UM	AA_2h	AA_24h	IE_2h	IE_24h
<b>n° Literaturas</b>							
12	Sá et al. (2010)	1,17	x	9,1	13,9	0,5	0,66
13	Sá et al. (2012)	1,13-1,21	x	x	12,4 -13	x	0,73-0,74
14	Santos et al. (2008)	1-1,1	x	x	x	x	x
15	Silva et al. (2005)	1,3	x	5,6	8,72	0,6	1,46
16	Silva et al. (2006)	x	x	4,98 -6,51	9,39- 10,63	0,64 -0,88	1,3 -1,5
17	Teixeira et al. (2001)	1,24-1,35	10,6-11,9	11,7 -14,1	15,66 -18,06	0,5 -0,95	0,75 -1,15
<b>Produtos comerciais</b>							
18	VIROC	1,2	9	x	x	0,8-1,3	1,2 -1,8
19	AMROC	1,35	9,0-12,0	x	x	x	1,5
20	BISON	x	x	x	x	x	1

Todas as literaturas consultadas tratam da avaliação de painéis cimento-madeira, produzidos com diversas espécies de madeira, resíduos madeireiros e resíduos agrícolas. Nenhum trabalho utilizando resíduo da indústria de celulose foi encontrado para painéis cimento - madeira, apenas para painel aglomerado convencional, o qual, por diferenças no modo de produção e nos seus componentes, mostra-se incomparável em termos de resistência.

Ao comparar a variável DEN, observa-se que os resultados obtidos (comparando valor médio de todos os tratamentos) neste trabalho estão de acordo com os trabalhos de 1, 5, 8, 10, 15 e 17 e ficam acima das densidades aferidas por 2, 3, 9, 11, 12, 13 e 14. Já, quanto aos valores de referência dos produtos que são vendidos comercialmente, todos os tratamentos estão de acordo com 19 e acima de 18. Quanto à variável UM, os resultados se encontram próximos às literaturas 8 e 17 e dentro da faixa reportada pelos produtos comerciais 18 e 19. A única literatura a qual não se adequou foi com a 6, já que os próprios autores relatam problemas nesse valor mensurado.

Para comparar as variáveis AA\_2h, AA\_24h, IE\_2h e IE\_24h, é necessário separar os tratamentos conforme a igualdade estatística já discutida anteriormente.

Para a variável AA\_2h, o tratamento RH apresentou médias superiores às literaturas 7, 10, 15 e 16 e inferiores a 5, 8, 10 e 17. Já os tratamentos N, A e RA, embora distintos do H, podem ser comparados conjuntamente uma vez que todos ficam dentro das faixas apresentadas por 8 e 17 e apresentam valores superiores a 5, 7, 10, 12, 15 e 16. Dessa forma, o tratamento que mais se adequa a diversas literaturas é o RH, que teve o menor percentual de absorção de água.

Para a variável AA\_24h, o tratamento RH, apresentou médias superiores às literaturas 7, 10 e 15 e inferiores a 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 12, 13, e 17, sendo similar à literatura 16. O tratamento H apresentou valores superiores às literaturas 1, 5, 7, 10, 13, 15 e 16 e inferiores às literaturas 2, 3, 6, 8, 9, 12, 13 e

17, não sendo similar a nenhum deles. Já, os tratamentos N, A e RA, embora distintos do H, podem ser comparados conjuntamente com ele uma vez que todos apresentam o mesmo padrão de comparação (feito para o tratamento H) excetuando-se nos seguintes pontos: RA é maior do que 12 e igual a 8; A, também é maior do que 12 e igual a 2 e 8; N, menor do que 12 e igual a 2, 8 e 17. Dessa forma, o tratamento que possui menor valor médio do que a maioria das literaturas consultadas foi o RH.

A variável IE\_2h, apresentou médias para todos os tratamentos com o mesmo padrão de comparação com as literaturas consultadas. Os tratamentos H, RH, RA, A e N incharam menos do que os valores reportados por: 4, 5, 7, 8, 10, 12, 15, 16 e 17 (literaturas) e 18(valor padrão de comercialização).

Padrão de comportamento similar foi verificado para os valores médios de todos os tratamentos para a variável IE\_24h, cujos valores observados foram inferiores aos reportados por todas as literaturas e todas as normas consultadas. Esse fato pode ser considerado de grande destaque para os resultados deste trabalho, uma vez que o resíduo UKP, na produção de painéis cimento – madeira, apresentou elevada estabilidade dimensional.

Os valores médios, seguidos de desvio padrão e respectivo teste de médias para as variáveis AA e IE, ao longo do tempo de exposição à imersão em água para todos os tratamentos, podem ser visualizados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente. O delineamento foi avaliado como fatorial, para verificar se existiu interação entre o fator tempo em horas e o fator tratamento químico; como não houve interação ( $p$  valor=0,3188 e  $F_{calculado}$ =1,131), os dados estão avaliados isoladamente.

Para a variável AA, a estabilização ocorreu às 48h de imersão para os tratamentos A e RA, às 168h de imersão para o tratamento H e as 336h de imersão para os tratamentos N e RH (conforme valores em **negrito** nas linhas da Tabela 10).



Tabela 10 Valores médios para a variável absorção de água-AA (%) ao longo do tempo para os painéis com os diferentes tratamentos

tratamento	fc tempo	AA_2h	AA_24h	AA_48h	AA_72h
fc tratamento		33,630*	37,908*	23,148*	43,178*
N	697,958*	15,2 (0,2)cB	17,0 (0,9)eC	17,9 (0,1)cD	17,9 (0,1)dD
A	228,836*	13,8 (1,0)cB	15,6 (0,3)dC	<b>16,6 (1,1)cD</b>	16,7 (0,3)cD
H	208,931*	11,4 (1,1)bB	13,7 (0,3)bC	14,6 (1,0)bC	14,6 (0,4)bC
RA	653,465*	13,2 (0,6)cB	15,0 (0,1)cC	<b>16,4 (0,4)cD</b>	16,4 (0,3)cD
RH	55,406*	7,1 (1,2)aB	10,6 (1,2)aC	11,9 (1,1)aC	12,8 (1,0)aC
cont...	AA_168h	AA_336h	AA_504h	AA_672h	AA_climatizado
	52,693*	56,458*	50,121*	40,740*	
	18,0 (0,2)dD	<b>18,7 (0,3)dE</b>	18,7 (0,3)dE	18,7 (0,4)dE	1,5 (0,0)
	16,9 (0,1)cD	17,6 (0,5)cD	17,6 (0,5)cD	17,5 (0,5)cD	1,4 (0,0)
	<b>15,0 (0,1)bD</b>	15,4 (0,3)bD	15,5 (0,4)bD	15,4 (0,3)bD	1,2 (0,1)
	16,5 (0,3)cD	16,9 (0,2)cD	16,8 (0,4)cD	16,8 (0,4)cD	1,3 (0,0)
	12,9 (1,0)aC	<b>13,4 (0,8)aD</b>	13,4 (0,8)aD	13,5 (0,9)aD	1,2 (0,1)

fc tempo= f calculado para comparar as horas de exposição à imersão em água dentro de cada um dos tratamentos. fctratamento= f calculado para comparar os diferentes tratamentos em cada tempo de imersão. Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. ( fc\*= significativo).

Os resultados de AA, para 2 e 24 horas de imersão foram discutidos anteriormente. De maneira geral, com tempos longos de exposição (acima de 48h), o tratamento RH absorve menor quantidade de água, seguido do tratamento H e, posteriormente, dos demais. O pior desempenho com relação à absorção de água fica para o tratamento N. Porém, quando os painéis são retirados da água e levados para a climatização até massa constante, os tratamentos RH, H e RA (1,2; 1,2 e 1,3%) apresentaram menor valor de massa de água em seu interior, com melhor desempenho do que os tratamentos N e A (1,5 e 1,4%).

Para a variável IE, a estabilização ocorreu às 168h de imersão para todos os tratamentos (conforme valores em **negrito** nas linhas da Tabela 11).

Tabela 11 Valores médios para a variável inchamento em espessura-IE (%) ao longo do tempo para os painéis com os diferentes tratamentos

tratamento	fc tempo	IE_2h	IE_24h	IE_48h	IE_72h
fc tratamento		3,592 <sup>*</sup>	3,349 <sup>*</sup>	1,257 <sup>ns</sup>	1,149 <sup>ns</sup>
N	308,641 <sup>*</sup>	0,2 (0,0)bA	0,2 (0,0)bA	0,3 (0,1)aA	0,6 (0,1)aB
A	383,016 <sup>*</sup>	0,2 (0,0)bA	0,2 (0,0)bA	0,2 (0,1)aA	0,5 (0,0)aB
H	234,627 <sup>*</sup>	0,1 (0,0)aA	0,2 (0,0)aA	0,2 (0,1)aA	0,5 (0,1)aB
RA	668,349 <sup>*</sup>	0,2 (0,0)bA	0,2 (0,1)aA	0,3 (0,0)aA	0,5 (0,1)aB
RH	315,809 <sup>*</sup>	0,2 (0,0)aA	0,1 (0,0)aA	0,2 (0,0)aA	0,5 (0,1)aB
cont...	IE_168h	IE_336h	IE_504h	IE_672h	IE_climatizado (TNR)
	2,125 <sup>ns</sup>	4,036 <sup>ns</sup>	2,125 <sup>ns</sup>	0,535 <sup>ns</sup>	
	<b>1,5 (0,1)aD</b>	1,6 (0,0)aD	1,5 (0,1)aD	1,5 (0,1)aD	1,1 (0,1)
	<b>1,5 (0,1)aD</b>	1,5 (0,1)aD	1,5 (0,1)aD	1,5 (0,1)aD	0,9 (0,1)
	<b>1,5 (0,1)aD</b>	1,5 (0,1)aD	1,5 (0,1)aD	1,5 (0,1)aD	0,9 (0,1)
	<b>1,5 (0,0)aD</b>	1,5 (0,0)aD	1,5 (0,0)aD	1,5 (0,1)aD	0,8 (0,1)
	<b>1,4 (0,1)aD</b>	1,5 (0,0)aD	1,4 (0,1)aD	1,5 (0,1)aD	0,8 (0,1)

fc tempo= f calculado para comparar as horas de exposição à imersão em água dentro de cada um dos tratamentos. fc tratamento= f calculado para comparar os diferentes tratamentos em cada tempo de imersão. Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. ( fc\*= significativo; fcns= não significativo).

De maneira geral, com tempos longos de exposição (acima de 48h), não existe diferença no inchamento entre os tratamentos em nenhum dos tempos de medição (visualizar mesma letra nas colunas para cada tempo). Esses resultados se mostram extremamente pertinentes, uma vez que, mesmo o produto ficando exposto à imersão prolongada (até 28 dias), o maior inchamento atingido ainda está de acordo com a maioria das literaturas e com os padrões de comercialização consultados. Os valores usados para comparação se referem ao tempo de apenas 24 horas de imersão.

#### 4.3.2 Propriedades mecânicas

O resumo do quadro da análise de variância para todas as propriedades mecânicas se encontram na Tabela 12.

Tabela 12 Resumo dos resultados da ANOVA para as propriedades mecânicas dos painéis cimento - madeira

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado médio				
		LI (MPa)	CP (MPa)	AP (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Tratamento	4	0,126490*	40,585574*	0,032028*	30941057,145981*	10,730779*
Erro	10	0,000607	0,963827	0,000434	1841698	0,046083
Total	14					
CV(%)		2,43	5,36	3,15	17,7	2,11
Média		0,72	9,31	0,66	3508,9	5,16

e\* = significativo; e<sup>ns</sup> = não significativo; LI=ligação interna; CP=compressão; AP=arrancamento de parafuso; MOE= módulo de elasticidade na flexão; MOR= módulo de ruptura na flexão

Todas as variáveis de resistência mecânica analisadas apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Os valores médios das variáveis LI, CP, AP, MOE e MOR, por tratamento, com seus respectivos desvio padrão e o resultado do teste de médias Scott-Knott a 5% de significância, encontram-se nos Gráficos 12, 13, 14, 15 e 16, respectivamente.

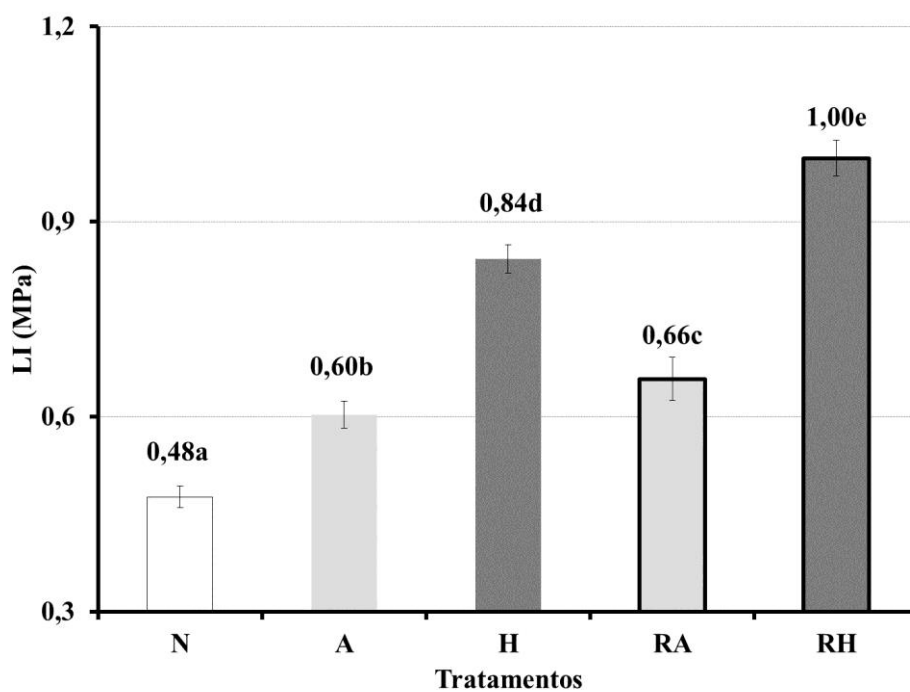


Gráfico 12 Valores médios da variável LI, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos

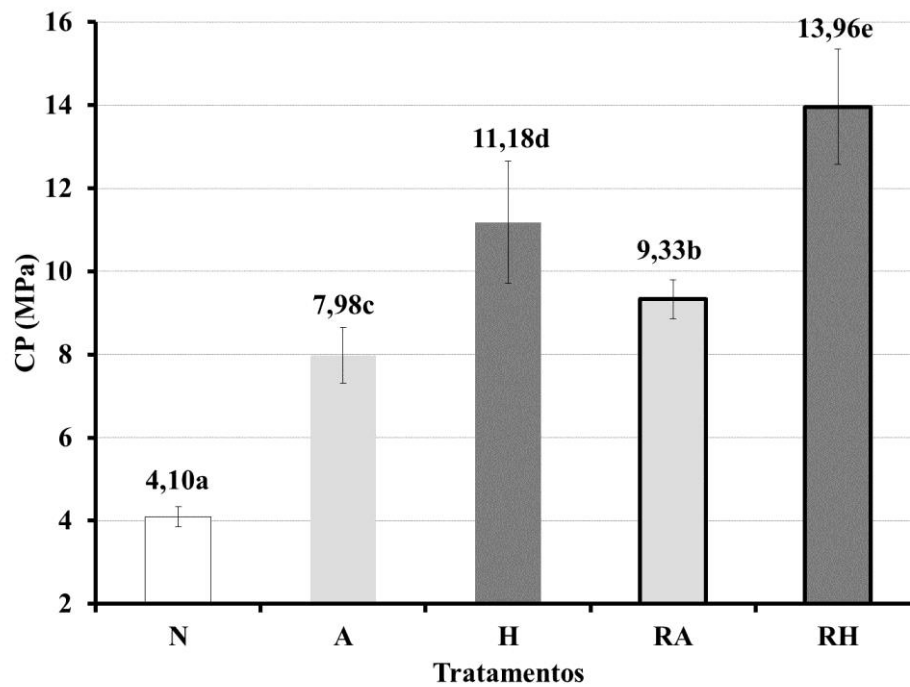


Gráfico 13 Valores médios da variável CP, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos

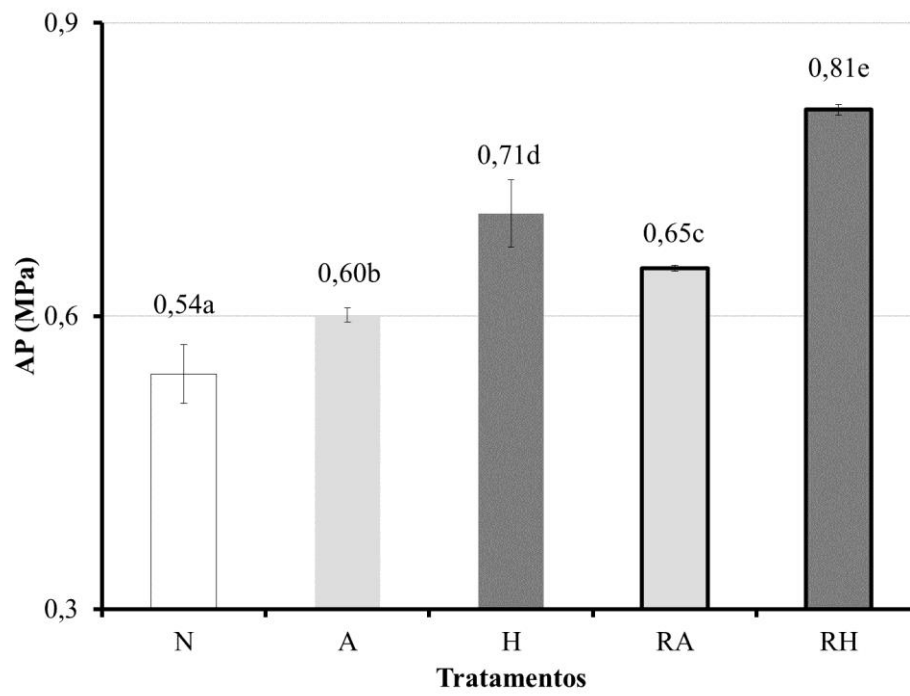


Gráfico 14 Valores médios da variável AP, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos

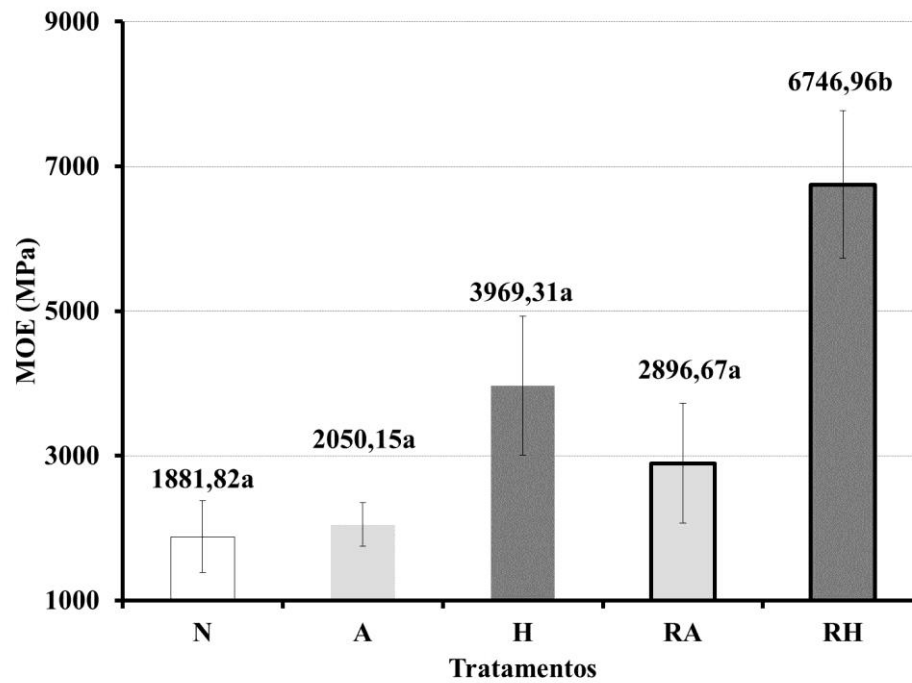


Gráfico 15 Valores médios da variável MOE, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos



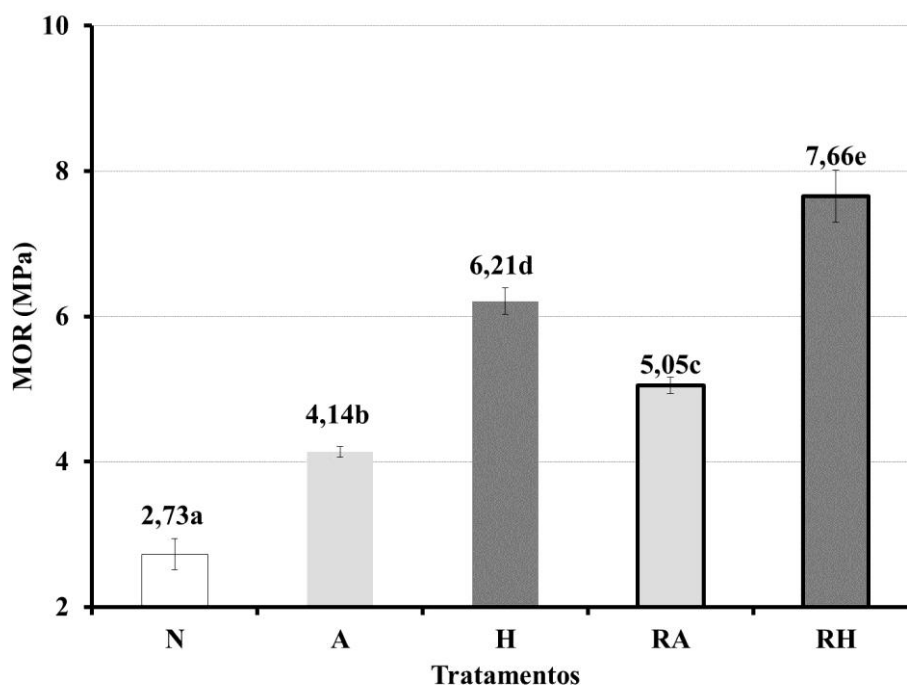


Gráfico 16 Valores médios da variável MOR, com o desvio padrão e o teste de médias Scott-Knott a 5% de significância para todos os tratamentos

Para as variáveis LI, CP, AP e MOR, todos os tratamentos apresentaram desempenhos distintos entre si, ficando a ordem de melhor para o pior desempenho da seguinte maneira: tratamentos RH, H, RA, A e N. O refino afeta positivamente os resultados dessas variáveis, bem como o tratamento alcalino e o tratamento em água. Esses resultados podem ser atribuídos aos efeitos já discutidos anteriormente de retirada de componentes químicos nocivos à interação cimento- resíduo e, também, aos efeitos positivos do refino, como maior fibrilação externa das fibras, melhorando o contato com a matriz cimentícia e, conseqüentemente, aumentando sua resistência. Já, para a variável MOE, o único tratamento que diferiu dos demais, apresentando melhor desempenho em teste, foi o RH.

Sobre os tratamento químicos que as partículas receberam, Yasar et al. (2010) aplicaram os mesmos tratamentos alcalinos a partículas de videira e estudaram a alteração da quantidade de grupos hidroxílicos presentes nas superfícies das partículas com os diferentes tratamentos. Estes autores constataram aumento dos grupos hidroxílicos para todos os tratamentos com os produtos químicos em relação às partículas sem tratamento químico. Pan, Lian e Zhou (2007) afirmam que o aumento dos grupos hidroxílicos, nas superfícies das partículas, após o tratamento químico, tem efeito sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis particulados produzidos melhorando seu desempenho.

Wang e Huang (2009) ressaltam que extração de lignina, entre outros compostos, embora acarrete uma redução na resistência da fibra, amplia sua área superficial, devido ao aumento da rugosidade da superfície. Após o tratamento alcalino, observou-se um conjunto de orifícios e rugosidades gerados na fibra que, antes do tratamento, não eram perceptíveis. A formação de orifícios e rugosidades aumentou a área de contato entre a matriz e a fibra, colaborando para o estabelecimento de mais pontos de interação e melhora das propriedades mecânicas dos compósitos produzidos.

Com base na Tabela 13, é possível comparar os valores dos testes mecânicos, obtidos neste trabalho, com os valores médios encontrados por outros autores e por produtos vendidos comercialmente.

Tabela 13 Resultados dos testes mecânicos para comparação dos valores obtidos neste trabalho com literaturas e padrões de comercialização

		<b>AP</b>	<b>LI</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>	<b>CP</b>
<b>Tratamentos</b>				<b>MPa</b>		
	<b>N</b>	0,54	0,48	1881,82	2,73	4,10
	<b>A</b>	0,60	0,60	2050,15	4,14	7,98
	<b>H</b>	0,71	0,84	3969,31	6,21	11,18
	<b>RA</b>	0,65	0,66	2896,67	5,05	9,33
	<b>RH</b>	0,81	1,00	6746,96	7,66	13,96
	<b>média</b>	0,66	0,72	3508,98	5,16	9,31
<b>Literaturas</b>						
1	Guimarães et al. (2015)	x	x	3578-5388	15-19	x
2	Iwakiri e Prata (2008)	x	0,3- 0,47	4080-4780	8,8-9,9	x
3	Iwakiri et al. (2012)	x	0,66 -0,77	2571-3586	6,6-7,9	x
4	Latorraca e Iwakiri(2001)	x	0,61	3681	8,73	7,3
5	Lopes et al. (2005)	x	0,7	3698	16,26	15,6
6	Macêdo et al. (2012)	x	1,19	5650	5,59	14,7
7	Matoski e Iwakiri(2007)	x	0,3 a 0,5	2288-2858	3,8-5,7	14-17
8	Okino et al. (2004)	0,49-0,82	0,27 -0,45	4238-6280	4,8-8,7	x
9	Olorunnisola e Adejisan (2002)	x	x	4800	8	x
10	Pomarico (2007)	x	0,46	1220	3,7	7,5
11	Papadopoulos (2008)	x	0,35	6009	12,68	x

“Tabela 13, conclusão”

		<b>AP</b>	<b>LI</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>	<b>CP</b>
<b>Literaturas</b>						
12	Sá et al. (2010)	x	1	4440	8,3	9,1
13	Sá et al. (2012)	x	1-1,4	3910-4620	5,6-8,4	9,5-10,6
14	Santos et al. (2008)	x	x	1692-3465	x	3,8-6,6
15	Silva et al. (2005)	x	0,69	3290	2,1	x
16	Silva et al. (2006)	x	x	x	14,6-21,0	x
17	Teixeira et al. (2001)	x	0,28- 0,41	4000-6710	6,4-9,1	x
<b>Produtos comerciais</b>						
18	BISON	x	1	3061	9,2	x
19	VIROC	x	0,5	4500	9	x
20	AMROC	x	0,5	x	x	15

Para a propriedade MOE, o tratamento RH (que difere dos demais) apresenta valor médio superior ao de todas as literaturas e padrões de comercialização consultados. Os demais tratamentos foram analisados conjuntamente e apresentam valores médios superiores aos reportados por 3 e 10, menores do que 2, 6, 8, 9, 11, 12, 17 e 19 e dentro da mesma faixa de variação aos valores descritos por 1, 4, 5, 7, 13, 14, 15 e 18. Sendo assim, para a propriedade MOE, somente o tratamento RH atendeu a todos os valores de comparação.

Para a variável AP, todos os tratamentos se adequaram à faixa de variação reportada pela literatura 8.

Já para Li et al. (2013), o tratamento RH apresentou média superior a 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 15, 17, 19 e 20, inferior a 6 e similares a 12, 13 e 18. O tratamento H apresentou padrão de comparação similar, tendo como diferença ser menor e não igual às literaturas 12 e 13 e ao padrão de comercialização 18. O tratamento RA apresentou média superior a 2, 4, 7, 8, 10, 11, 17, 19 e 20, inferior a 5, 6, 12, 13, 15 e 18 e similar a 3. O tratamento A apresentou padrão de comparação similar ao do RA, tendo como diferença ser menor do que as literaturas 3 e 4. Por fim, o tratamento N apresentou média superior a 2, 8, 10, 11 e 17, inferior a 3, 4, 5, 6, 12, 13, 15, 18, 19 e 20, sendo igual ao 7. De maneira geral, o único tratamento que apresentou problemas de adequação foi o tratamento N, que não alcançou nenhum dos padrões de comercialização.

Para a variável MOR, o tratamento RH apresentou média superior a 6, 7, 10 e 15, inferior a 1, 2, 4, 5, 9, 11, 12, 16, 18 e 19 e similar a 3, 8, 13 e 17, não atendendo aos valores referência de comercialização. O tratamento H apresentou média superior a 6, 7, 10 e 15, inferior a 1, 2, 3, 4, 5, 9, 11, 12, 16, 17, 18 e 19 e similar a 8 e 13. Já para RA os resultados foram superiores apenas a 10 e 15 e iguais a 7 e 8. Resultado similar ao de RA foi verificado para o tratamento A, cuja única diferença foi não ser igual a 8, enquanto o tratamento N apresentou

desempenho igual ou superior apenas ao 15, sendo portanto o pior tratamento. O único tratamento que atendeu à maioria das literaturas e ainda atendeu aos padrões de comercialização foi o RH.

A variável CP para o tratamento RH teve valor médio superior a 4, 10, 12, 13 e 14 e inferior a 5, 6, 7 e 20, sendo, portanto o tratamento que mais se aproximou do valor de comercialização, faltando cerca de 1 MPa. Já o tratamento N apresentou desempenho igual apenas com relação à literatura 14, sendo inferior a todas as demais. Os tratamentos A, RA e H apresentaram padrão de comparação semelhante: maiores do que 4, 10, 12, 13 e 4; menores do que 5, 6, 7 e 20. As diferenças foram: para o tratamento RA, a referência 13 foi maior do que a média do tratamento; para o tratamento A, as referências 12 e 13 foram maiores do que a média do tratamento. Para esta propriedade, o melhor desempenho foi do tratamento RH, assim como para as demais, porém não atingindo o valor mínimo de referência dos produtos comercializados.

A literatura ressalta que a resistência das fibras de madeiras com maior teor de celulose será maior para esforços de tração e um maior teor de lignina causará maior resistência a esforços de compressão (KOLLMAN; COTÉ JUNIOR, 1986; PANSHIN; ZEEUW, 1980; VIDAURRE et al., 2013). Se extrapolarmos para os resultados dos painéis, a resistência à ligação interna foi melhorada e a resistência à compressão sofreu perdas.

As características físico-mecânicas são indicadores para a empregabilidade dos painéis de cimento-madeira, pois esses painéis podem ser serrados, pregados, parafusados ou colados, permitindo assim larga utilização (MATOSKI; IWAKIRI, 2007). De maneira geral, as diferentes resistências encontradas dos painéis foram satisfatórias com relação aos valores de painéis comerciais e aos painéis produzidos na literatura, excetuando-se a propriedade MOR e CP, em que nenhum dos tratamentos atingiu o mínimo requerido pelos valores dos produtos de comercialização.

Dessa maneira, podemos indicar o uso do resíduo UKP da indústria de celulose para a produção de painéis cimento - madeira, sugerindo que modificações no processo ou diferenciação de tratamentos químicos ou mesmo variações no tipo de refino realizado, supram a necessidade de melhora das propriedades que não atingiram as metas. Ainda assim, a utilização do resíduo UKP é viável para a produção de painéis de madeira, com destaque para os tratamentos que contêm hidróxido (RH e H) e refino (RH e RA).

## 5 CONCLUSÃO

Para a distribuição granulométrica das partículas, o maior percentual de partículas se encontra dentro da faixa de 20 mesh.

Para as características anatômicas avaliadas, houve redução do comprimento das fibras e da espessura da parede da fibra, apenas para os tratamentos com refino.

Para a constituição química do resíduo, o tratamento alcalino foi mais eficiente na remoção do componente lignina. Para os extrativos totais, os tratamentos, contendo refino ou hidróxido, foram mais eficientes.

A densidade a granel encontrada para o resíduo foi  $0,138 \text{ g.cm}^{-3}$  e para a densidade aparente básica foi  $0,325 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Quanto ao comportamento do resíduo, em função da decomposição térmica, foram similares as curvas comumente encontradas para madeiras e resíduos lignocelulósicos, diferindo apenas nos pontos onde se encontra a faixa de decomposição da lignina.

Para as propriedades físicas avaliadas, não houve diferença significativa entre os tratamentos para as seguintes variáveis D ( $1,41 \text{ g.cm}^{-3}$ ), UM (9,9%) e TNR (0,9%). Já, para as variáveis AA\_2h, AA\_24h, IE\_2h e IE\_24h houve diferença entre os tratamentos propostos. De maneira geral, os tratamentos com imersão em solução com hidróxido e os tratamentos com refino apresentaram melhor desempenho.

Os painéis apresentaram elevada estabilidade ao inchamento em espessura.

Todas as propriedades mecânicas apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Todos os tratamentos diferiram entre si para as propriedades LI, CP, AP e MOR, com maiores valores para o tratamento RH e menores valores para o tratamento N.



Os valores das propriedades dos painéis, quando comparados a produtos comercializados e literaturas, encontram-se dentro da faixa adequada, excetuando-se as variáveis MOR e CP, que não atingiram os valores dos produtos comercializados. Portanto pode-se inferir que essa destinação para o resíduo é promissora, sendo necessárias mais pesquisas referentes à adequação da concentração dos tratamentos químicos e, possivelmente, com outros tratamentos.

De maneira geral, os tratamentos propostos contribuíram para melhoria das resistências dos painéis, com destaque para a utilização de refino e do tratamento com solução de hidróxido de sódio. A imersão em água não resultou em resultados expressivos. E o tratamento RH foi sem dúvida o de melhor desempenho.

## REFERÊNCIAS

- ABDELMOULEH, M. et al. Modification of cellulosic fibres with functionalised silanes: development of surface properties. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, Oxford, v. 24, n. 1, p. 43-54, Feb. 2004.
- ALBERTO, M. M.; MOUGEL, E.; ZOULALIAN, A. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. **Forest Products Journal**, Peachtree Corners, v. 50, n. 9, p. 83-88, Sept. 2000.
- ALBINANTE, S. R.; PACHECO, É. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 114-122, jul. 2013.
- ALMEIDA, A. E. F. S. **Estudo da influência das adições de sílica ativa e copolímero estireno acrílico nas propriedades de argamassas para o assentamento de porcelanato**. 2005. 223 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- ALMEIDA, R. R.; MENEZZI, C. H. S. D.; TEIXEIRA, D. E. Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya* sp.) to produce cement-bonded particleboard. **Bioresource Technology**, Trivandrum, v. 85, n. 2, p. 159-163, Nov. 2002.
- AL-QURESHI, H. A. A. **Composites materials: fabrication and analysis**. São Jose dos Campos: ITA, 1988. 42 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL STANDARDS. **ASTM D1921**: standards test methods for particle size (sieve analysis) of plastic materials. Philadelphia: ASTM, 2001. 6 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-06a**: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and panel materials. Philadelphia: ASTM, 2002. 30 p.
- AMROC BAUSTOFFE GMBH MAGDEBURG. **Cement bonded particle board technical data**. Magdeburg: AMROC, 1998. 3 p. Disponível em: <<http://www.amroc.de/en/amroc-panel-b1/product-description.html>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

ANDRADE, M. C. N. de et al. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 165-175, jan./fev. 2010.

ASS, B. P.; BELGACEM, M. N.; FROLLINI, E. Mercerized linters cellulose: characterization and acetylation in N,N-dimethylacetamide/litium chloride. **Carbohydrate Polymers**, Worcester, v. 63, n. 1, p. 19-29, June 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório estatístico 2011/2012**. São Paulo: Bracelpa, 2013. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada - métodos de ensaio. São Paulo: ABNT, 2006. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: cimento portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922**. Ensaio de determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2009. Brasília: ABRAF, 2009. 140 p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR/control.html>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **M11/77**: teor de cinzas. São Paulo: ABTCP, 1974a. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo: ABTCP, 1974b. 62 p.

BATTISTELLE, R. A. P. G. et al. Análise de intemperismo natural em chapas de partículas compostas de resíduos agroindustriais. **Revista Madeira Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, v. 6, n. 17, p. 01-11, set./dez. 2005.

BENTUR, A. Fiber-reinforced cementitious materials. In: SKALNY, J. P. (Ed.). **Material science of concrete I**. Westerville: American Ceramic Society, 1989. p. 223-284.

BERALDO, A. L. et al. Compósito à base de resíduos vegetais e cimento portland. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Editora da UFU, 2002. p. 85-90.

BILBA, K.; ARSENE, M. A. Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites. **Composites Part A – Applied Science and Manufacturing**, Bristol, v. 39, n. 9, p. 1488–1495, Sept. 2008.

BISON DO BRASIL. **Bison NC Plac**: matéria prima aglomerados mineralizados. Porto Alegre: Bison do Brasil Indústria e Comércio, 1983. 27 p.

BLANKENHORN, P. R. et al. Temperatura and moisture effects on selected properties of wood fiber-cement composites. **Cement and Concrete Research**, Lausanne, v. 31, n. 7, p. 1049-1055, July 2001.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, Elmsford, v. 24, n. 2, p. 221–274, May 1999.

BLEDZKI, A. K.; REIHMANE, S.; GASSAN, J. Natural fiber polymer composites: a review. **Journal of Applied Polymer Science**, Colorado, v. 59, n. 4, p. 351-363, Oct. 1996.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

BUSTAMANTE, H. H. **Finalidades para o rejeito UKP/BKP na indústria de polpação Kraft de Eucalipto**. 2003. 32 p. Monografia (Especialização em Tecnologia de Celulose e Papel) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

CARVALHO, M. G. V. S. **Efeito das variáveis de cozimento nas características químicas de pastas kraft de *Eucalyptus globulus***. 1999. 282 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

CASTRO, V. et al. Avaliação dos efeitos de pré-tratamentos da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage no grau de compatibilidade com cimento Portland1. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 935-942, jul. 2014.

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

CELULOSE NIPO-BRASILEIRA. **Dados de produção**. Ipatinga: Cenibra, 2013. 18 p. Disponível em: <<http://www.cenibra.com.br/cenibra/Celulose/DadosdeProducao.aspx?&codigo=divFilhos6.5&familia=6&nivel=2&item=2>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

CÉSAR, A. A. S. **Estudo da interação adesivo partícula em painéis OSB**. 2011. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CLARK, J. D. A. Pulp technology and treatment for paper. CONNERS, T. E.; BANERJEE, S. **Surface analysis of paper**. San Francisco: Editora Miller Freeman, 1987. Chap. 6, p. 122-143.

CORDEIRO, N. et al. Investigation on the surface properties of chemically modified natural fibers using inverse gas chromatography. **Carbohydrate Polymers**, Worcester, v. 87, n. 4, p. 2367-2375, Mar. 2012.

COUTTS, R. S. P. A review of Australian research into natural fibre cement composites. **Cement & Concrete Composites**, British, v. 27, n. 5, p. 518-526, May 2005.

COUTTS, R. S. P.; NI, Y. Autoclaved bamboo pulp fibre reinforced cement. **Cement & Concrete Composites**, British, v. 17, n. 2, p. 99-106, Jan. 1995.

- DELVASTO, S. et al. Effect of fique fiber surfasse chemical treatments on the physical and mechanical properties of the fiber subjected to aggressive mediums. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIA NÃO-CONVERCINAIS: HABITAÇÕES E INFRA-ESTRUTURA DE INTERESSE SOCIAL, 2004, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: FZEA, 2004. p. 13-16.
- DEMIR, I.; BASPINAR, M. S.; ORHAN, M. Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. **Building and Environment**, Indiana, v. 40, n. 11, p. 1533–1537, Nov. 2005.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE-CENIBRA. Maio **Caracterização do material fibroso na saída da prensa do decantador primário**: relatório interno. Ipatinga: CENIBRA, 2008. 8 p.
- FERNANDES, E. R. K. et al. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 75, n. 8, p. 603-608, Nov. 2013.
- FERREIRA, P. J. T. **Estudo de pastas kraft de *Eucalyptus globulus*: Características estruturais e aptidão papelreira**. 2000. 366 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2000.
- FOELKEL, C. E. B. et al. Variações das características da madeira e propriedades da celulose sulfato de *Pinus oocarpa* em função da idade do povoamento florestal. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 10, p. 81-87, 1975.
- FOELKEL, C. **Resíduos sólidos industriais da produção de celulose kraft de eucalipto, parte 01**: resíduos orgânicos fibrosos. Aracruz: Grau Celsius, 2007. 78 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **Provides statistics on imports and exports of woods and paper**. Rome: Centauros, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- FREIRE, C. de S. et al. Avaliação do efeito do refino nas propriedades morfológicas de resíduos de polpação kraft de eucalipto. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFLA, 24., Lavras. **Anais...** Lavras: Editora da UFLA, 2011. p. 1.

GAMA, R. de O. **Utilização do rejeito UKP/BKP (unbleach kraft pulp/bleach Kraft pulp) da indústria de celulose em painéis de partículas.** 2010. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano, 2010.

GAMA, R. O. et al. Painéis de partículas de rejeito UKP/BKP da indústria de celulose e de resíduos de *Pinus elliottii*: resistência ao arrancamento de aprafusos e resistência à tração perpendicular às faces. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 35-39, jan. 2010.

GASSAN, J. A. A study of fibre and interface parameters affecting the fatigue behaviour of natural fibre composites. **Composites part A - Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 33, n. 3, p. 369-374, Mar. 2002.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions.** New York: John Wiley & Sons, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B. et al. Produção de painéis aglomerados da madeira de desrama de *Acacia mangium*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 387-391, out./dez. 2013.

GUIMARÃES JUNIOR, M. **Caracterização de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris schrad* refinadas e sem refino com modificação química visando sua utilização como agente de reforço em matrizes poliméricas.** 2011. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

GUIMARÃES, J. C. O. et al. Eficiência do tratamento de partículas de madeira de Eucalipto do híbrido de *E. grandis* X *E. camaldulensis* para produção de painéis minerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 949-955, jun. 2015.

HACHIMI, M.; MOSLEMI, A. A.; CAMPBELL, A. G. A new technique to classify the compatibility of wood with cement. **Wood Science and Technology**, New York, v. 24, n. 4, p. 345-354, Oct. 1990.

HASSAN, M.; SOROUSHIAN, P.; WON, J. Durability characteristics of CO<sub>2</sub>-cured cellulose fiber reinforced cement composites. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 34, p. 44–53, Sept. 2012.

HERMAWAN, D. et al. Rapid production of high-strength cement-bonded particleboard using gaseous or supercritical carbon dioxide. **Journal of Wood Science**, Kyoto, v. 47, n. 6, p. 294-300, June 2001.

HERNAWAN, D.; SUBIYANTO, B.; KAWAI, S. Manufacture and properties of oil palm frond cement-bonded board. **Journal of Wood Science**, Kyoto, v. 47, n. 3, p. 208-213, May 2001.

HUET, R. J. **Disposal of primary paper mil sludge on Sandy cropland soil**. 1982. 748 p. Thesis (Post Doctorate Soil Science) - University of Wisconsin, Madison, 1982.

IAWA COMMITTEE. Iawa list of microscopic features for hardwood identification. **Boletim IAWA**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-332, 1989.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. Iawa list of microscopic features for hardwood identification. **Boletim IAWA**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-332, May 1989.

IRLE, M.; SIMPSON, H. Agricultural residues for cement bonded composites. In: MOSLEMI, A. A. (Ed.). **Inorganic-bonded wood and fibre composite materials**. 3. ed. Madison: Forest Products Research Society, 1993. p. 54-78.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis de cimento-madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, abr./jun. 2012.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74. Jan./mar. 2008.

JORGE, F. C.; PEREIRA, C.; FERREIRA, J. M. F. Wood-cement composites: a review. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 62, n. 5, p. 370-377, July 2004.



KAI, X. et al. The effect of biomass components on the co-combustion characteristics of biomass with coal. **Digital Manufacturing and Automation**, Zhangjiajie, v. 5, n. 7, p. 1274-1278, Aug. 2011.

KARADE, S. R.; IRLE, M. A.; MAHER, K. Assessment of wood-cement compatibility: a new approach. **Holzforschung**, Berlin, v. 57, n. 6, p. 672-680, Dec. 2003.

KARLSSON, S.; ESPERT, A.; VILAPLANA, F. Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties, **Composites Part A - Applied Science and Manufacturing**, Bristol, v. 35, n. 11, p. 1267-1276, Nov. 2004.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, E. P. A. **Wood and cellulose: industrial utilization, biotechnology, structure and properties**. New York: Editora Ellis Horwood, 1987. 1130 p.

KOLLMANN, F.; COTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology I, solid wood**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 592 p.

LATORRACA, J. V. de F. **Eucalyptus spp. Na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 208 p. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis de cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 84-93, jan./dez. 2001.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira-cimento. **Revista Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 68-76, maio 2000.

LI, L. et al. Thermogravimetric and kinetic analysis of *Spirulina* wastes under nitrogen and air atmospheres. **Bioresource Technology**, Essex, v. 140, n. 3, p. 152-157, July 2013.

LOPES, Y. L. V. et al. Avaliação do potencial técnico da madeira e cascas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 11, n. 67, p. 111-122, abr. 2005.

- MACÊDO, A. N.; SOUZA, A. A. C. e; POMPEU NETO, B. B. Chapas de cimento-madeira com resíduos da indústria madeireira da Região Amazônica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 131-150, abr./jun. 2012.
- MAGDZIARZ, A.; WILK, M. Thermogravimetric study of biomass, sewage sludge and coal combustion. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 75, n. 6, p. 425-430, Nov. 2013.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2<sup>nd</sup>. ed. San Francisco: Editora Miller Freeman, 1993. 689 p.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Editora Van Nostrand Reinhold Structural Engineer, 1992. 454 p.
- MARTINS, E. H. et al. Painéis aglomerados convencionais produzidos com madeira de *Cecropia pachystachya*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 1418-1425, dez. 2014.
- MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 149-157, maio/ago. 2007.
- MCKENZIE, A. W. **A guide to pulp evaluation**. Melbourne: CSIRO, 1994. 85 p.
- MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de Pinus e Eucalyptus em analisador óptico automático de fibras**. 2012. 65 p. Dissertação (Mestrado Ciência Florestal) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2012.
- MERKLEY, D. J.; LUO, C. **Fiber cement composite materials using sized cellulose fibers**. Alexandria: Patent Documents. 2004. 25 p.
- MILLER, D. P.; MOSLEMI, A. A. Wood-cement composites: effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength. **Wood and Fiber Science**, Hanover, v. 23, n. 4, p. 472-482, Oct. 1991.
- MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. No rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa Kraft**. 2004. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MOON, C. et al. Effect of blending ratio on combustion performance in blends of biomass and coals of different ranks. **Experimental Thermal and Fluid Science**, California, v. 47, n. 2, p. 232-240, May 2013.

MORI, F. A. et al. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 257-264, abr. 2007.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**: volume 1. Carbondale: Southern Illinois University, 1974. 243 p.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.; HOSFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-portland cementwater systems. **Wood and Fiber Science**, Amsterdam, v. 15, n. 2, p. 164-176, Apr. 1983.

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de Eucalipto em diferentes locais visando a produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, maio 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Fini, 1995. 912 p.

NOLASCO, A. M. **Resíduos sólidos**: volume 1. Piracicaba: Departamento de Ciências Florestais, 2006. 65 p. 1 Apostila.

NORMEN FUR HOLZFASERPLATEN APANPLATTEN SPERRHOLZ. **DIN 52362**: testing of wood chipboards, bending test, determination os bending strength. Germany: Beuth Verlag, 1982. 62 p.

OKINO, E. Y. A. et al. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 451-457, maio 2004.

OLORUNNISOLA, O.; ADEJISAN, O. O. Trial production and testing of cement-bonded particleboard from rattan furniture waste. **Wood and Fiber Science**, Hanover, v. 34, n. 1, p. 116-124, Jan. 2002.

PAN, M.; LIAN, M.; ZHOW, D. Chemical characteristics of straw fiber and properties of straw fiberboards with different pretreatments. **Frontier of Forestry**, Beijing, v. 2, n. 2, p. 238-240, Apr. 2007.

- PANAYIOTOU, C. et al. A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres, composites. **Part A - Applied Science and Manufacturing**, Bristol, v. 36, n. 8, p. 1110-1118, July 2005.
- PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of technology**. 4<sup>th</sup>. ed. New York: McGraw Hill, 1980. 705 p.
- PAPADOPOULOS, A. N. Natural durability and performance of hornbeam cement bonded particleboard. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Chile, v. 10, n. 2, p. 93-98, Apr. 2008.
- PAULA, J. E. de. Anatomia e dendrometria de *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 745-757, jun. 1995.
- PAULA, L. E. de R. e et al. Efeito da temperatura e tempo de vaporização na cura de painéis cimento madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 15, n. 4, p. 439-445, ago. 2009.
- PEDRAZZI, C. et al. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, maio 2006.
- PLATENIK, G. et al. Livro de resumos. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, ARTÍSTICA E CULTURAL, 33., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. p. 239-240.
- PLUEDDEMANN, E. P. **Silane coupling agents**. 2nd. ed. New York: Plenum Press, 1991. 272 p.
- POMÁRICO, F. A. **Potencial de utilização da madeira de clones de eucalipto na produção de painéis cimento-madeira, Lavras-MG**. 2007. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2007.
- PROTÁSIO, T. P. **Biomassa residual do coco babaçu: Potencial de uso bioenergético nas regiões norte e nordeste do Brasil**. 2014. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* w. hill ex Maiden x *Eucalyptus Urophylla* s. t. Blake. R. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, nov. 2004.

RIBEIRO, A. P. **Avaliação do uso resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**. 2010. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RONG, M. Z. et al. The effect fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites, **Composites Science and Technology**, Delaware, v. 61, n. 10, p. 1437-1447, Aug. 2001.

SÁ, V. A. de et al. Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. australis) de diferentes procedências e idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 559-566, dez. 2010.

SÁ, V. A. de et al. Mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento-madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 549-557, maio 2012.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, R. C. dos et al. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 241-250, jul./set. 2008.

SANTOS, R. C. dos et al. Efeito inibidor da madeira de candeia em misturas com aglutinantes minerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 113-119, mar. 2012.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 152 p. Tese (Livre Docência) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR, H. Sistema de cobertura para construção de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. In: Rocha, J. C.; John, V. M. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. São Paulo: ANTAC, 2002. p. 94-123.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, Elmsford, v. 22, n. 5, p. 379-384, Oct. 2000.

SHALWAN, A.; YOUSIF, B. F. In state of art: mechanical and tribological behavior of polymeric composites based on natural fibres. **Materials, Design and Tribology**, Oxford, v. 48, p. 14-24, 2012.

SHAO, Y.; QUI, J.; SHAH, S. S. Microstructure of extruded cement-bonded fiberboard. **Cement and Concrete Research**, Lausanne, v. 31, n. 8, p. 1153-1163, Aug. 2001.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. 2002. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, G. C. et al. Produção do compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 6, n. 68, p. 59-67, ago. 2005.

SILVA, G. C. et al. Produção de painéis de cimento madeira com adição de diferentes proporções de casca e mirossílica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 61-70, fev. 2006.

SIMATUPANG, M. H. et al. Influence of wood species on the setting of cement and gypsum. In: MOSLEMI, A. A. (Ed.). **Fibre and particleboards bonded with inorganic binders**. Madison: Forest Products Research Society, 1989. p. 33-42.

SMOOK, G. A. Handbook for pulp and paper technologists. **Tappi Journal**, Oxford, v. 72, n. 7, p. 235-246, 1990.

SOUZA, M. R. **Durability of cement bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of Idaho, Idaho, 1994.

SYDENSTRICKER, T. H. D.; MOCHNAZ, S.; AMICO, S. C. Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites. **Polymer Testing**, Shropshire, v. 22, n. 4, p. 375-380, June 2003.

TARAMIAN, A. et al. Particleboard manufacturing: an innovative way to recycle paper sludge. **Waste Management**, Padova, v. 27, n. 12, p. 1739-1746, 2007.

TEIXEIRA, D. E. et al. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 18-26, jan./dez. 2001.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 4, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.

TONOLI, G. H. D. **Aspectos produtivos sem amianto no desenvolvimento de tecnologia para telhas onduladas**. 129 p. 2006. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

TONOLI, G. H. D. et al. Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre. **Construction and Building Materials**, Edinburgh, v. 24, n. 2, p. 193-201, Feb. 2010.

TONOLI, G. H. D. **Fibras curtas de eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento**. 2009. 148 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

TRIANOSKI, R. et al. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 97-104, mar. 2011.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, jan./jun. 2003.

VIDAURRE, G. B. et al. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 26-37, jan./mar. 2013.

VIROC BY INVESTWOOD. **Dossiê técnico comercial Cement wood board.**

Funchal: Viroc, 2012. 29 p.

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? **Composites Science and Technology**, Delaware, v. 63, n. 9, p. 1259-1264, July 2003.

WANG, H. et al. Role of surface treatment on water absorption of poly(vinyl chloride) composites reinforced by *Phyllostachys pubescens* particles. **Composites Science and Technology**, Delaware, v. 70, n. 5, p. 847–853, May 2010.

WANG, W.; HUANG, G. U. Characterisation and utilization of natural coconut fibres composites. **Materials and Design**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 2741-2744, Aug. 2009.

WOLFE, R. W.; GJINOLLI, A. Durability and strength of cement-bonded wood particle composites made from construction waste. **Forest Products Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 24-31, Feb. 1999.

XIE, Y. et al. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites. **Composites Part A - Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 41, n. 7, p. 806-819, July 2010.

YASAR, S. et al. The correlation of chemical characteristics and UF Resin ratios to physical and mechanical properties of particleboard manufacture from vine prunings. **Scientific Research and Essays**, Victoria, v. 5, n. 8, p. 737-741, Apr. 2010.

ZENGTIAN, L.; MOSLEMI, A. A. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixtures. **Forest Products Journal**, Madison, v. 35 n. 7-8, p. 37-43, Oct. 1985.

ZHANG, M. Q.; RONG, M. Z.; LU, X. Fully biodegradable natural fiber composites from renewable resources: all-plant fiber composites. **Composites Science and Technology**, Delaware, v. 65, n. 15, p. 2514-2525, Dec. 2005.