



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**CAMPUS DE GURUPI**  
**CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FERNANDA KUFFEL MEIRELES**

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS COMPOSTOS POR CIMENTO PORTLAND E  
LIGNINA**

**GURUPI (TO)**

**2019**

FERNANDA KUFFEL MEIRELES

CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS COMPOSTOS POR CIMENTO PORTLAND E  
LIGNINA

Artigo apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal, sob orientação da Profa. Dra. Raquel Marchesan.

GURUPI (TO)

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

K95c Kuffel, Fernanda.

CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS COMPOSTOS POR CIMENTO  
PORTLAND E LIGNINA. / Fernanda Kuffel. – Gurupi, TO, 2019.

30 f.

Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus  
Universitário de Gurupi - Curso de Engenharia Florestal, 2019.

Orientador: Raquel Marchesan

1. Caracterização. 2. Pinus. 3. Lignina. 4. Cimento Portland. I. Título

**CDD 577.272**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FERNANDA KUFFEL MEIRELES

CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS COMPOSTOS POR CIMENTO PORTLAND DE  
LIGNINA

O artigo apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Curso de Engenharia Florestal foi avaliado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 25 / 06 / 2018

Banca Examinadora

Raquel Marchesan

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Raquel Marchesan. Orientadora, UFT

Ana Caroline Pereira dos Santos

Eng. Florestal Ana Caroline Pereira dos Santos. Examinadora, UFT

Rodrigo Araújo Fortes

Prof. Rodrigo Araújo Fortes. Examinador, IFTO

Dedico esse trabalho a Deus por ter me dado força e coragem para conseguir concluir mais uma etapa da minha vida, aos meus pais por sempre estarem ao meu lado nos momentos bons e ruins e por terem acreditado em mim em todos os momentos, e a minha orientadora por ter me ensinado bastante ao longo desse tempo.

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pois sem ele essa caminhada não teria sido possível, foram tantos desafios ao longo dessa jornada que se não fosse ele me amparando e dando forças no momento de fraqueza acho que não teria conseguido chegar até aqui. Ao longo dessa caminhada tive altos e baixos, algumas vezes me faltou fé mais jamais deixei de acreditar que Deus estava ao meu lado.

Quero agradecer aos meus pais Flavia de Fatima Kuffel Meireles e Divino Claudio Meireles por terem me dado todo apoio e força ao ter entrado na universidade. Obrigada por todas as vezes que seguraram minha mão e não me deixaram desistir jamais ao longo desse tempo, pois não foi nada fácil chegar até aqui. Todo esse conhecimento que adquiri durante esses anos foi pelo fato de vocês terem me dado essa incrível oportunidade, esse tempo que estive longe de vocês foi um grande crescimento pessoal, creio que me tornei uma pessoa madura e responsável graças a confiança que vocês tiveram em mim. Obrigada ao meu irmão Frederico Kuffel Meireles que mesmo tendo nossos atritos esteve sempre torcendo para o meu sucesso, me dando todo apoio necessário e ajuda com que eu precisasse esse tempo todo. Quero agradecer também a todos da minha família, pois essa conquista não é somente minha, mas sim de nós todos.

Quero agradecer aos meus amigos do Residencial Camila que por muitos anos estiveram do meu lado, foram momentos inesquecíveis pois vocês estiveram em muitos momentos me dando força, ajuda, alegria e apoio em tudo que precisei, levarei vocês para sempre em meu coração, obrigada a cada um, vocês foram de grande importância nessa jornada.

Nesses seis anos muitas pessoas passaram em minha vida, algumas permaneceram e outras se foram, mas sou grata a cada um que pode estar comigo durante esse tempo. Quero agradecer a minha amiga Talyta Barros que durante esse tempo tem me aguentado sem reclamar, que esteve comigo em quase todas as minhas conquistas e derrotas ao longo de algum tempo, faltam palavras para agradecer por tudo que você fez por mim, saiba que sempre levarei você comigo, pois amizade igual a nossa difícil de separar. Que sentirei muita falta de todos os nossos momentos juntas, desde as idas para faculdade até mesmo as idas no centro ou ao mercado somente para dar uma volta. Que todo o seu companheirismo nesses anos de amizade irá ser eterno para mim. Quero agradecer também a minha amiga Heloiza Mota por toda parceria e amizade, saiba que esse companheirismo foi muito importante, sei que posso contar com você e você sabe que sempre vai poder contar comigo. Cada momento que passamos juntas foi especial, que possamos alcançar todos os nossos sonhos e objetivos, obrigada por tudo.

Obrigada as minhas amigas Jehssycah Martins e Thais Antunes por todos os conselhos pessoais e acadêmicos, saiba que foram de grande importância, que vocês possam alcançar tudo aquilo que almejam, pois sei que com todo o esforço e dedicação que vocês possuem iram conseguir ser grandes profissionais. Jamais poderia deixar de agradecer minha amiga Barbara Lemos por todas as vezes que me convidou para almoçar ou jantar em sua casa, saiba que você e a Suzane Donato são grandes amigas para mim, que vou levar vocês para sempre em minha vida, cada momento que tive com vocês foi muito especial. Agradeço a cada um que esteve ao meu lado ao longo desses anos, pois cada um teve seu papel de importância.

Agradecer minha orientadora Raquel Marchesan por ter me dado a confiança para execução desse trabalho, por toda paciência, pela ajuda, por ter me dado todo o conhecimento necessário para chegar até aqui. Espero algum dia ser ao menos um pouco da grande profissional que você é, saiba que tenho grande admiração por você. E obrigada a todos os professores que ajudaram na minha formação, foi de grande honra para mim ter tido a oportunidade de conhecê-los e ter tido a possibilidade de adquirir um pouco dos seus conhecimentos.

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo a produção e caracterização física e mecânica dos painéis compostos por cimento e lignina a fim de compará-los com painéis comumente produzidos visando a possibilidade de sua produção em escala comercial e com isso o reaproveitamento de resíduos produzidos em grandes quantidades. A lignina foi disponibilizada pela indústria Suzano Papel e Celulose, localizada em Limeira no estado de São Paulo e o pinus coletado em indústrias locais, do município de Gurupi-TO. Para a caracterização dos painéis foram avaliados densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), resistência à compressão axial (MPa) e absorção (%). Para a confecção dos corpos de prova foram utilizados o cimento Portland do tipo II (CP II), água, partículas de pinus e lignina e um aditivo sintético. O pinus foi submetido ao processo de moagem e secagem das partículas a 8,0% de umidade e a lignina foi utilizada na forma de partículas com 4,6% de umidade. Após pronta a argamassa de cimento foi colocada em moldes confeccionados conforme a NBR 5738 (2003) e D-1037 (1999) adaptadas, e submetida a compactação vibro mecânica. Foram determinados quatro tratamentos para confecção dos painéis: T1- Cimento e Pinus; T2- Cimento, Pinus e Lignina; T3- Cimento e Lignina e T4 Cimento e areia (testemunha). Com dados gerados submeteu-se os mesmos aos programas Bartlett para analisar a normalidade das variâncias, teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos dados, Box Cox para os dados que não apresentaram normalidade e para análises estatísticas e interação dos fatores utilizou-se o Sisvar 5.6.

**Palavras-chave:** Caracterização. Pinus. Painel cimento-madeira.



## ABSTRACT

The objective of the present work was the production, evaluation and physical and mechanical characterization of panels composed of cement and lignin in order to compare them with panels commonly produced aiming at the possibility of their production on a commercial scale and with this the reutilization of residues produced in large amounts. The lignin was made available by the Suzano Pulp and Paper industry, located in Limeira in the state of São Paulo and the pinus collected in local industries, municipality of Gurupi-TO. Apparent density ( $\text{g/cm}^3$ ), axial compressive strength (MPa) and absorption (%) were evaluated for the characterization of the panels. For the preparation of the specimens Portland cement type II (CP II), water, pine and lignin particles and a synthetic additive were used. The pine was subjected to the particle milling and drying process at 8.0% moisture and the lignin was used in the form of particles with 4.6% moisture. After the cement mortar was ready, it was placed in molds made according to NBR 5738 (2003) and D-1037 (1999), and subjected to mechanical vibration compaction. Four treatments were used to make the panels: T1- Cement and Pinus; T2- Cement, Pinus and Lignin; T3- Cement and Lignin and T4 Cement and sand (control). With data generated, the same were submitted to the Bartlett programs to analyze the normality of the variances, Shapiro-Wilk test to test the data normality, Box Cox for data that did not present normality and for statistical analyzes and interaction of the factors used o Sisvar 5.6.

**Keywords:** Description. Pinus. Cement-wood panel.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Moinho de facas do tipo Willey, utilizado na moagem dos resíduos para a fabricação dos painéis .....	14
Figura 2 - Peneira TPL-TAMIS PRODUTOS LABORATORIAIS LTDA.....	15
Figura 3 - Insumos utilizado na produção dos painéis .....	16
Figura 4 - Moldes cilíndricos confeccionados para fabricação dos corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão axial.....	17
Figura 5 - Moldes prismáticos para confecção dos corpos de prova submetidos aos ensaios de absorção e inchamento.....	18
Figura 6 - Aditivo utilizado na composição dos painéis (Adesivo sintético).....	18
Figura 7 - Mesa vibratória utilizada na compactação vibro mecânica na confecção dos corpos de prova .....	21
Figura 8 - (A) corpos de prova destinados aos ensaios de compressão axial; (B) corpos de prova destinados aos ensaios de absorção e inchamento, ambos em processo de cura.....	22
Figura 9 - Máquina Universal de Ensaio, utilizadas no ensaio de compressão axial dos corpos de prova cilíndricos para determinar a resistência dos mesmos .....	23
Figura 10 - Corpos de prova submetidos a ensaio de absorção.....	24
Figura 11 - Correlação da densidade com a resistência.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Insumos utilizados na fabricação dos corpos de prova destinados aos ensaios de compressão axial.....	19
Tabela 2 - Insumos utilizados na fabricação dos corpos de prova destinados aos ensaios de absorção e inchamento.....	20
Tabela 3 - Teor de umidade encontrado em cada resíduo de acordo com seus respectivos tratamentos .....	20
Tabela 4 – Valores médios de densidade aparente, tensão, absorção 2 horas e 24 horas e o coeficiente de variação entre os tratamentos .....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Coleta e processamento dos materiais utilizados para produção dos corpos de prova .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Tratamentos dos resíduos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Determinação do teor de Umidade dos resíduos tratados .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Confeção dos corpos de prova .....</b>	<b>17</b>
2.4.1 Cura dos corpos de prova .....	21
<b>2.5 Ensaios .....</b>	<b>22</b>
2.5.1 Corpos de prova cilíndricos .....	22
2.5.2 Corpos de prova prismáticos .....	23
<b>2.6 Análises Estatísticas.....</b>	<b>24</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Densidade aparente dos painéis .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Resistência dos painéis .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Absorção aparente dos painéis .....</b>	<b>28</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis de cimento-madeira são tipos especiais de painéis aglomerados, constituídos basicamente de partículas de madeira com um aglutinante de origem mineral, sendo o cimento o produto mais empregado na sua manufatura. Nos painéis cimento-madeira, a resina termo fixa do tipo uréia-formaldeído é substituída pelo cimento, cujo processo de endurecimento é decorrente de reações exotérmicas resultante da hidratação do cimento na presença de água (IWAKIRI; PRATA, 2008).

De acordo com Lopes (2004), esses painéis apresentam algumas características vantajosas em relação a outros tipos de painéis, tais como: alta durabilidade, trabalhabilidade similar aos produtos de madeira, resistência a mudanças drásticas de temperatura, alta resistência à umidade, alta resistência a fungos e insetos, além de serem, virtualmente incombustíveis, isolantes térmicos e acústicos e não conterem formaldeído livre na composição.

A lignina, que consiste de 10 a 25% da biomassa lignocelulósica, é o segundo polímero natural mais abundante. Ela é insolúvel em água e estável na natureza e agindo como a “cola” que liga a celulose e a hemicelulose. Sua estrutura é tridimensional constituída de três grupos fenol que incluem: p-hidroxifenila (H), guaiacila (G) e siringila (S) (FENGEL; WEGENER, 1983). Em busca de um ambiente mais sustentável e métodos inovadores, institutos e pesquisadores tem estudado essa substância e suas possíveis aplicações em várias áreas, agregando valor ao subproduto que atualmente vem se tornando um passivo ambiental. Assim sendo, a adição de lignina em matriz cimentícia tem despertado interesse por apresentar todas estas características nas plantas, e por ser produzida em grande escala (NOGUEIRA, 1995).

Devido a sua importância econômica, a lignina tem sido extensivamente estudada. Os biopolímeros são polímeros ou copolímeros produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis como as advindas de espécies florestais madeireiras e não madeireiras (ABNT, 2008). Dentre eles destacam-se o látex natural extraído da *Hevea brasiliensis*, os taninos extraídos de espécies do gênero *Eucalyptus* sp. e *Acacia* sp. e a lignina extraída de processos químicos para a produção de celulose. Esses biopolímeros tem grande potencial aglomerante e adesivo, podendo substituir os polímeros sintéticos em diversos usos como na construção civil na produção de concretos e argamassa. A lignina tem sido também testada como adsorvente para a remoção de corante de solução aquosa, pois este poluente é gerado em grande quantidade pelas indústrias para o tingimento de tecidos (SILVA et al., 2011). A lignina também permite gerar insumos de interesse industrial como vanilina, ácido gálico, óleos, fenol, ácido acético, entre outros (BRIENZO, 2008).

O gênero *Pinus* spp. é da família das Pinaceae, e abrange plantas em geral arbóreas, lenhosas, tronco reto, copa em forma de cone e sem uma altura padrão. A madeira de *Pinus* spp. possui massa específica aparente entre 400 e 520 kg/m<sup>3</sup>, com uma umidade de 15%. Segundo Morais et al. (2005) algumas espécies de *Pinus* figuram entre as árvores mais utilizadas no mundo. Segundo dados da ABIMCI (2009), em um período de dez anos a produção de madeira de *Pinus* spp. no Brasil aumentou em 20,48%. Isso comprova que a geração de resíduos por parte da Indústria de Madeira também cresceu no período, sem, entretanto, aumentar a preocupação sobre como reaproveitar este descarte até então sem valor algum. A indústria da construção civil utiliza o *Pinus* como materiais definitivos e provisórios no elenco de insumos próprios para a construção. O gênero é utilizado como madeira serrada para elementos estruturais, madeira beneficiada para acabamentos e peças para vedação como forros, portas e caixilhos, para situações temporárias como construção de alojamentos e instalações auxiliares e ainda, como peças estruturais nervuradas para reforço em painéis de forma para concreto (IPT, 1998). Atualmente, o painel cimento-madeira com a utilização do resíduo do *Pinus* processado nas indústrias de base florestal, também vem ganhando espaço na construção civil, principalmente em países mais desenvolvidos como Alemanha, Canadá, Japão e Estados Unidos visando a utilização sustentável desses resíduos.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo a produção e caracterização física e mecânica dos painéis compostos por cimento e lignina a fim de compará-los com painéis comumente produzidos como o de cimento e pinus e cimento e areia visando a possibilidade de sua produção em escala comercial e com isso o reaproveitamento de resíduos produzidos em grandes quantidades.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta e processamento dos materiais utilizados para produção dos corpos de prova

Foram utilizados três materiais principais para a elaboração do trabalho, sendo eles partículas de pinus, lignina e cimento. A lignina foi disponibilizada pela indústria Suzano Papel e Celulose no município de Limeira - SP e o pinus coletado em indústrias madeireiras, do município de Gurupi - TO. Posteriormente os materiais foram levados para o laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal do Tocantins Campus de Gurupi - TO, para a confecção dos corpos de prova.

Os resíduos de pinus foram moídos em partículas menores, com a utilização de um moinho de facas do tipo Willey, ilustrado na Figura 1. O moinho composto por peneiras de 0,84 mm gerou resíduos em forma de agregados miúdos, segundo a classificação descrita por Pinheiro (2010), onde considera partículas menores que 4,8 mm como agregados miúdos e acima desse valor agregados graúdos.

Figura 1 - Moinho de facas do tipo Willey, utilizado na moagem dos resíduos para a fabricação dos painéis



Fonte: Santos (2018).

Após os resíduos de pinus serem moídos, os mesmos foram peneirados para obtenção de partículas menores a qual ficaram retidos na peneira com granulometria de 425  $\mu$ m a 1 mm (Figura 2).

Figura 2 - Peneira TPL-TAMIS PRODUTOS LABORATORIAIS LTDA



Fonte: autor (2019).

## 2.2 Tratamentos dos resíduos

Após a preparação das partículas foram realizados quatro tipos de tratamentos diferentes sendo esses:

T1: resíduo de pinus e cimento;

T2: resíduo de pinus, lignina e cimento;

T3: lignina e cimento;

T4: areia e cimento.

Foi utilizada a proporção 5:1 de partículas nos tratamentos. A proporção em relação ao cimento e água (C:A) foi de 0,60 nos tratamentos T1, T2 e T3 e 0,40 em T4 (Figura 3).



Figura 3 - Insumos utilizado na produção dos painéis



Fonte: autor (2019).

### 2.3 Determinação do teor de Umidade dos resíduos tratados

Considerando a massa seca das partículas para fabricação dos corpos de prova, cada material (*pinus* e lignina) foi submetido à determinação do teor de umidade conforme a norma TAPPI (1996), porém, na base úmida, para determinar a quantidade de água presente nos mesmos, que juntamente com a quantidade de adesivo foram descontadas do total de água encontrada através da equação do consumo de água citada por Parchen (2012 apud. SIMATUPANG, 1978), que determina a quantidade de líquidos necessários para compor a mistura na fabricação dos corpos de prova.

Para este procedimento, conforme as equações descritas abaixo, foi realizado o cálculo do teor de umidade (Equação 1) e depois o consumo de água (Equação 2).

$$TU = \frac{MU - MS}{MU} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

TU = teor de umidade (%);

MU = massa úmida (g);

MS = massa seca (g).

$$CA = 0,60 \times C + (30 - TU) \times M \quad (2)$$

Sendo:

CA = consumo de água;(g)

C = massa de cimento (g);

TU = teor de umidade da partícula;

M = massa das partículas (g);

0,60 = relação água: cimento (A/C).

## 2.4 Confeção dos corpos de prova

Foram utilizados moldes cilíndricos confeccionados com tubos PVC de 40 mm de diâmetro, para a confecção dos corpos de prova do ensaio de compressão axial, com corte transversal ao longo da geratriz adaptados às normas NBR 5738 (2003) e ASTM D-1037 (1999). Esses possuíam dimensões de 40 mm de diâmetro externo e com 80 mm de comprimento, obtendo-se para o molde um volume líquido de 86,01 cm<sup>3</sup>. Na parte inferior de cada molde foi utilizado um CAP, que são tampas para os tubos de PVC, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Moldes cilíndricos confeccionados para fabricação dos corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão axial



Fonte: autor (2019).

Para os corpos de prova de absorção e inchamento utilizaram-se moldes prismáticos. Os mesmos apresentaram dimensões de 2,5 cm x 10,0 cm x 10,0 cm totalizando para o molde um volume líquido de 250 cm<sup>3</sup>, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Moldes prismáticos para confecção dos corpos de prova submetidos aos ensaios de absorção



Fonte: autor (2019).

Tanto os moldes cilíndricos quanto os moldes prismáticos foram untados com vaselina sólida para facilitar a retirada dos corpos de prova.

Os materiais utilizados na fabricação dos painéis foram o cimento Portland do tipo II (CP II), água, as partículas de pinus e lignina e também um aditivo sintético para proporcionar uma melhor liga aos materiais utilizados. O aditivo utilizado foi o derivado de copolímero estireno acrílico denominado adesivo sintético na proporção de 4:1 sendo quatro partes de água para uma de adesivo. O aditivo mencionado acima é da marca Sika, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Aditivo utilizado na composição dos painéis (Adesivo sintético)



Fonte: Santos (2018).

Feitos alguns pré-testes e observando o ponto de liga do cimento com partículas utilizadas, estimou-se uma densidade média dos corpos de provas de  $1,20 \text{ g/cm}^3$  com proporções de 5:1, sendo cinco partes de cimento para uma de resíduo. Assim, com o valor da

densidade estimada, utilizando a Equação 3, foi possível determinar a quantidade em gramas de cimento e de partículas, considerando sua massa seca, necessária para compor um corpo de prova, já que os volumes dos moldes utilizados eram conhecidos.

$$D_a = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Sendo:

$D_a$  = densidade aparente unitária (g/cm<sup>3</sup>);

$m$  = massa (g);

$V$  = volume (cm<sup>3</sup>).

As Tabelas 1 e 2 subsequentes mostram a quantidade de insumos utilizada na confecção dos corpos de prova de compressão axial, absorção e inchamento respectivamente para a composição do cimento-madeira, no qual mostra a quantidade em gramas necessária para fabricar um corpo de prova.

Tabela 1 - Insumos utilizados na fabricação dos corpos de prova destinados aos ensaios de compressão axial

<b>Pinus</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Partícula	Adesivo	
Tratamento 1	86,01	40,06	18,69	13,84	
Tratamento 2	86,01	40,06	18,69	13,84	
Tratamento 3	86,01	40,06	18,69	13,84	
<b>Pinus com lignina</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Pinus	Lignina	Adesivo
Tratamento 1	86,01	39,07+24,13	9,34	9,02	13,40
Tratamento 2	86,01	39,07+24,13	9,34	9,02	13,40
Tratamento 3	86,01	39,07+24,13	9,34	9,02	13,40
<b>Lignina</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Lignina	Adesivo	
Tratamento 1	86,01	41,14+31,87	18,04	13,99	
Tratamento 2	86,01	41,14+31,87	18,04	13,99	
Tratamento 3	86,01	41,14+31,87	18,04	13,99	
<b>Areia</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Areia	Adesivo	
Tratamento 1	86,01	38,70	17,20	12,90	
Tratamento 2	86,01	38,70	17,20	12,90	
Tratamento 3	86,01	38,70	17,20	12,90	

Nota: dados trabalhados pelo autor (2019).

Tabela 2 - Insumos utilizados na fabricação dos corpos de prova destinados aos ensaios de absorção.

<b>Pinus</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Resíduo	Adesivo	
Tratamento 1	250	116,40	54,34	40,25	
Tratamento 2	250	116,40	54,34	40,25	
Tratamento 3	250	116,40	54,34	40,25	
<b>Pinus com lignina</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Resíduo	Adesivo	Lignina
Tratamento 1	250	115,25+24,13	27,17	38,97	26,22
Tratamento 2	250	115,25+24,13	27,17	38,97	26,22
Tratamento 3	250	115,25+24,13	27,17	38,97	26,22
<b>Lignina</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Lignina	Adesivo	
Tratamento 1	250	119,63+31,87	52,44	12,90	
Tratamento 2	250	119,63+31,87	52,44	12,90	
Tratamento 3	250	119,63+31,87	52,44	12,90	
<b>Areia</b>	<b>Insumos (g)</b>				
	Cimento	Água	Areia	Adesivo	
Tratamento 1	250	21,67	50	10	
Tratamento 2	250	21,67	50	10	
Tratamento 3	250	21,67	50	10	

Nota: dados trabalhados pelo autor (2019).

Os valores de massa seca das partículas de pinus e lignina foram utilizados (tabela 1 e 2), a (equação 4) juntamente com os valores de absolutamente seca (AS), utilizando o teor de umidade calculado pela equação 1 e apresentado na tabela 3, a massa úmida das partículas em cada tratamento, sendo esta a massa utilizada para a fabricação dos corpos de prova.

Tabela 3 - Teor de umidade encontrado em cada resíduo de acordo com seus respectivos tratamentos

<b>Resíduos</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>		
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Pinus	8,12	7,92	7,97
Lignina	4,48	4,73	4,70

Nota: dados trabalhados pelo autor (2019).

$$AS\% = \frac{MS}{MU} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

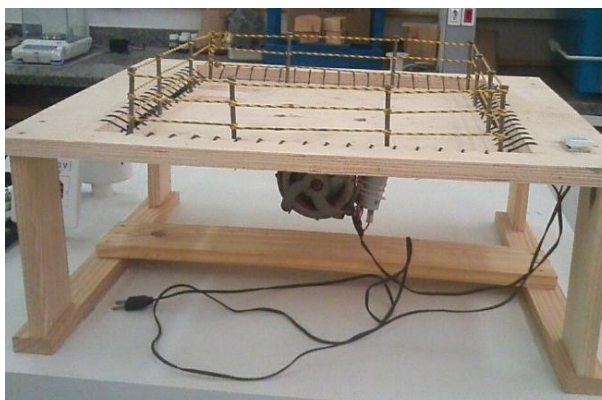
AS = massa absolutamente seca (%);

MS = massa seca (g);

MU = massa úmida (g).

Após os cálculos os materiais foram misturados até a formação de uma pasta homogênea e colocou-se a argamassa nos moldes cilíndricos e prismáticos até seu preenchimento total. Em seguida as argamassas foram submetidas a compactação vibro mecânica realizada na mesa vibratória (Figura 7), com duração de 90 segundos para os corpos de prova de compressão axial e 120 segundos para os corpos de prova de absorção.

Figura 7 - Mesa vibratória utilizada na compactação vibro mecânica na confecção dos corpos de prova



Fonte: Fonseca (2017).

#### 2.4.1 Cura dos corpos de prova

Logo após serem confeccionados, ainda em seus moldes, os mesmos foram colocados para secar em temperatura ambiente. A partir do 7º dia os corpos de prova foram retirados dos moldes e o processo de cura continuou com a borrifação de água todos os dias no corpo de prova até completar 28 dias de cura (Figura 8).

Figura 8 - (A) corpos de prova destinados aos ensaios de compressão axial; (B) corpos de prova destinados aos ensaios de absorção e inchamento, ambos em processo de cura



Fonte: autor (2019).

## 2.5 Ensaio

### 2.5.1 Corpos de prova cilíndricos

Os corpos de prova cilíndricos foram submetidos ao ensaio mecânico, sendo esta compressão axial, em concordância com a NBR 7215 (ABNT 1996), e a caracterização física, densidade aparente, de acordo com a norma EN-323 (1993).

Os ensaios de compressão axial, que determinam a resistência do material foram realizados na Universidade Federal do Tocantins no campus de Gurupi - TO, utilizando a prensa hidráulica manual da marca Bovenau (Figura 9), com capacidade de 10.000 kgf.

Figura 9 - Prensa hidráulica manual, utilizadas no ensaio de compressão axial dos corpos de prova cilíndricos para determinar a resistência dos mesmos



Fonte: Autor (2019).

Seguindo a norma EN-323 (1993), adaptada, para o cálculo de densidade aparente, foi adquirida a área, o volume e o peso de cada corpo de prova cilíndrico aos 28 dias (Equação 5).

$$D_a = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Sendo:

$D_a$  = densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$  = massa (g);

$V$  = volume ( $\text{cm}^3$ ).

### 2.5.2 Corpos de prova prismáticos

Os corpos de prova prismáticos de cimento-madeira foram ensaiados para obtenção da porcentagem de absorção. Para os cálculos foram obtidos os pesos iniciais. Posteriormente foram submersos em um recipiente com água conforme a Figura 10.



Figura 10 - Corpos de prova submetidos a ensaio de absorção



Fonte: Autor (2019).

Após 2 horas os pesos foram novamente obtidos e em seguida os corpos de prova foram novamente imersos até completar 24 horas para a obtenção das últimas medidas.

Para a obtenção do percentual de absorção, utilizou-se a Equação 6, empregada para determinar-se o percentual de absorção, a qual se compara os pesos coletados dos corpos de prova ainda secos, com os pesos coletados dos corpos de prova às 2 horas e às 24 horas, de acordo com a ASTM D-1037 (1999), adaptada.

$$\text{Absorção (\%)} = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

$P_u$  = peso úmido (g);

$P_s$  = peso seco (g).

## 2.6 Análises Estatísticas

A análise estatística foi em delineamento inteiramente casualizado simples com quatro tratamentos e seis repetições cada, em que, primeiramente fez-se o teste de Bartlett para analisar a homogeneidade das variâncias. Em seguida foram testadas as normalidades por meio do teste de Shapiro-Wilk, sendo comprovada a normalidade dos dados fez-se a análise de variância

(ANOVA) constatando interação ou não entre os fatores, havendo diferença significativa entre os tratamentos aplica-se teste de Tukey.

Os dados que não apresentaram normalidade passaram pela transformação Box-Cox para gerar normalidade. Após, foi feita novamente a ANOVA que constatou diferença significativa de interação dos fatores aplicando o teste de Tukey.

Para realização do desdobramento utilizou-se o programa Sisvar 5.6 aplicando o Teste Tukey de comparação de médias ao nível de 5% de significância.

Por fim foi realizado o teste de correlação de Pearson (R) para testar se houve correlação positiva ou negativa entre as variáveis densidade aparente e resistência.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 4 são apresentados os valores de densidade aparente, tensão, absorção a 2 horas e 24 horas e o coeficiente de variação entre os tratamentos (T1: cimento e *pinus* T2: cimento e lignina, T3: cimento *pinus* e lignina e T4: cimento e areia).

Tabela 4 – Valores médios de densidade aparente, tensão, absorção 2 horas e 24 horas e o coeficiente de variação entre os tratamentos.

Painéis cimento	Parâmetros			
	Da (g/cm <sup>3</sup> )	fc (MPa)	ABS 2h (%)	ABS 24 (%)
Pinus (T1)	1,30 b (4,26)	9,15 c (6,54)	27,02 c (2,32)	29,55 c (2,16)
Lignina (T2)	1,16 c (6,67)	6,63 d (13,88)	3,90 a (4,19)	9,62 a (5,39)
Pinus + Lignina (T3)	1,27 b (3,66)	10,35 b (7,57)	7,33 b (8,16)	13,85 b (9,61)
Areia (T4)	1,78 a (11,11)	13,21 a (10,49)	6,29 b (11,27)	9,13 a (6,29)
P	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*

Legenda: T1: cimento e pinus; T2: cimento e lignina; T3: cimento pinus e lignina; T4: cimento e areia; Da: densidade aparente em (g/cm<sup>3</sup>); fc tensão em mega pascal (MPa); ABS: absorção em 2 horas e em 24 horas em porcentagem. Médias seguidas pelas letras minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (P≥0,05). Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%). Nota: dados trabalhados pelo autor (2019).

#### 3.1 Densidade aparente dos painéis

Observando a tabela acima percebe-se que os resultados obtiveram diferença significativa entre os tratamentos para todos os parâmetros analisados.

Em relação à densidade aparente dos painéis o T4 (testemunha) foi o que apresentou maior valor (1,78 g/cm<sup>3</sup>), seguido pelo T1 (1,30 g/cm<sup>3</sup>) e T3 (1,27 g/cm<sup>3</sup>). O tratamento T2 obteve a menor média (1,16 g/cm<sup>3</sup>).

O resultado médio de densidade aparente observado para o painel de cimento com lignina (T2) de 1,16 g/cm<sup>3</sup> corroborou com o valor encontrado por IWAKIRI (2008) de 1,15g/cm<sup>3</sup>, no qual foi produzido o painel cimento-madeira com a espécie *Eucalyptus dunnii*, com a proporção madeira cimento de 1:2,75.

Comparando com os dados de densidade aparente de compostos de resíduos e cimento produzidos por Santos (2018), a autora obteve valores para os painéis compostos por *pinus* de 1,5 g/cm<sup>3</sup> e casca de arroz de 1,44 g/cm<sup>3</sup>, mais elevados que os valores encontrados para esse estudo para todos os painéis produzidos com madeira. Somente o painel composto de cimento

e lignina aproximou-se ( $1,16 \text{ g/cm}^3$ ) do painel do bagaço de cana de açúcar ( $1,17 \text{ g/cm}^3$ ). Dolabella (2018) e Prata (2010) apresentam valores de densidade aparente de materiais comumente utilizados na construção civil como o tijolo cerâmico furado que assume densidades entre  $1,1 \text{ g/cm}^3$  a  $1,4 \text{ g/cm}^3$  e o tijolo cerâmico poroso entre  $1,0 \text{ g/cm}^3$  a  $1,1 \text{ g/cm}^3$ , no presente trabalho os painéis estão enquadrados entre  $1,1$  e  $1,40 \text{ g/cm}^3$  podendo ser utilizados como matéria prima para a produção de tijolos furados.

### 3.2 Resistência dos painéis

Ainda na tabela 4 pode-se observar os valores de resistência dos painéis compostos de cimento e madeira, além da testemunha (T4). Os valores médios de T4 ( $13,21 \text{ MPa}$ ) apresentaram-se são maiores em resistência seguido de T3 ( $10,35 \text{ MPa}$ ), T1 ( $9,15 \text{ MPa}$ ) e por fim o T2 ( $6,63 \text{ MPa}$ ) que apresentou a menor resistência em comparação com os demais painéis.

Percebe-se que, com a adição de lignina à matriz do painel, o mesmo perde resistência, porém apresenta menores densidades, o que pode ser considerado um ponto positivo na produção de materiais que exigem essa característica e menores resistências como é o caso das telhas de concreto.

Hermeto (2016) substituiu o cimento por lignina em argamassa para revestimento e observou que ao adicionar diferentes proporções de lignina na argamassa (0; 2,5%; 5% e 7,5%) à medida que aumentava a quantidade de lignina a relação dos valores de resistência eram inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a quantidade de lignina na argamassa diminuiu a resistência da mesma, ao adicionar 7,5% de lignina apresentou o menor valor para flexão e tração.

Silva (2015) também confirmou reduções nos valores da resistência à compressão relacionadas a adição de lignina ao adicionar 2,5% na substituição parcial do cimento apresentando média de  $25,1 \text{ MPa}$ . Quando aumentou a quantidade de lignina para 7,5% a resistência diminuiu para  $10,3 \text{ MPa}$ , resultados estes que corroboraram com o presente trabalho.

Segundo Fleming et al. (2016) altos teores de lignina na composição da argamassa reduz as ligações físicas entre os componentes.

Quando foi adicionado o pinus juntamente com a lignina (T3) nota-se que a resistência a compressão aumentou ( $10,35 \text{ MPa}$ ), sendo assim, pode-se afirmar que a junção de pinus com lignina alcançou um resultado de resistência satisfatório dentro dos padrões da NBR 8953 (ABNT, 1992) que trata de concreto para fins estruturais em que classifica por grupos de resistência onde o valor aceitável de resistência é  $10 \text{ MPa}$ .

### 3.3 Absorção dos painéis

Quando aplicado o teste de absorção de 2 horas e 24 horas o T1 apresentou os maiores valores de absorção (27,02% e 29,55%) como demonstrado na tabela 4, por esta característica, esse painel é indicado para revestimentos que não tenham contato direto com umidade. Os painéis que apresentaram menores absorções foram aqueles com lignina na composição, sendo o T2 o de menor média em 2 horas de imersão em água (3,90%), igualando-se estatisticamente à testemunha (T4) em 24 horas de imersão. Desta forma, pode-se afirmar que a lignina, por ser um polímero natural hidrofóbico, melhorou drasticamente o comportamento dos painéis neste quesito, reforçando sua boa característica para a utilização em telhas de concreto, em que se exigem menores densidades e menores percentuais de absorção. O painel T3, por sua vez, dentre os painéis compostos por cimento e madeira, foi o que apresentou melhor comportamento tanto para densidade como para resistência e absorção podendo ser utilizado para fins estruturais.

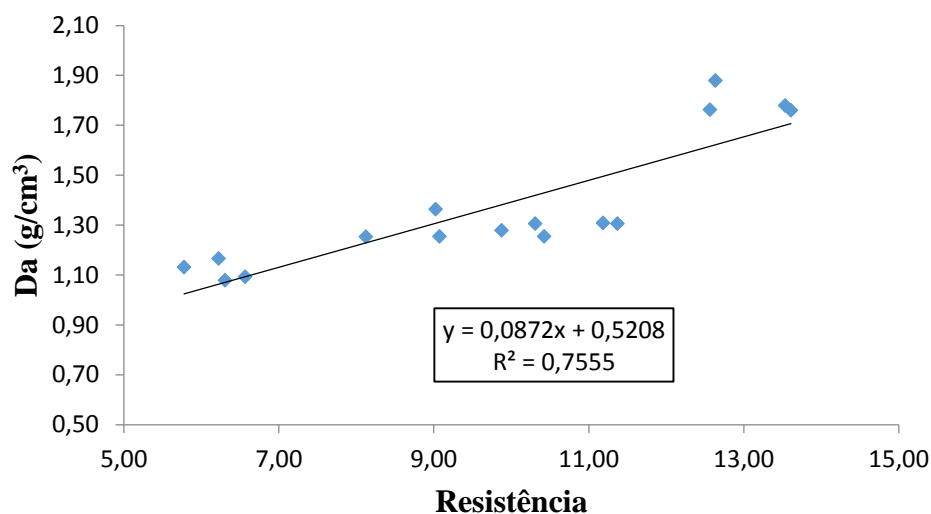
SANTOS (2018) em seu trabalho o qual estudou painéis de cimento com resíduos de casca de arroz, bagaço de cana e pinus encontrou menor valor de absorção em sua média para o painel de pinus (7,38%), resultado este que corroborou com Fonseca (2017) para a mesma mistura. Situação contrária ocorreu para o painel cimento e pinus neste estudo, em que apresentou maior média na absorção (24,50%) devido a proporção de *pinus* ser maior.

O painel T2 comparado aos demais apresentou menor densidade, resistência e absorção, tal característica é inevitável, pois a lignina é insolúvel em água e estável na natureza. Fator que por sua vez influenciará na absorção de água por obter característica impermeável, havendo então relação direta nos menores valores de absorção. O painel T2 pode ser direcionado para fabricação de telhas por apresentar uma baixa absorção.

Hermeto (2016) verificou que, ao aumentar o teor de lignina em argamassa para revestimento, a absorção de água diminuiu e o teor de 7,5% de lignina destacou-se por apresentar menor porcentual de absorção, resultado este que corroborou com o presente trabalho.

Na figura 11 é apresentado o teste de correlação de Pearson entre a densidade aparente do painel e sua resistência.

Figura 11 - Correlação da densidade com a resistência



Fonte: autor (2019).

Através do fator de correlação de Pearson pôde-se determinar que a densidade aparente e a resistência apresentaram uma forte correlação positiva (próximo a 1) o que indica ser diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a densidade dos painéis maior a sua resistência.

A correlação da densidade aparente com a absorção dos painéis neste caso foi baixa, pois aos que foi acrescentada a lignina na matriz apresentaram baixa densidade e baixa absorção, fato que contribui na diminuição da correlação, já que com os painéis de cimento e pinus ocorreu o contrário. Isso explica o fato de a lignina ser um polímero hidrofóbico.

A natureza aromática das unidades fenólicas fornece a lignina características hidrofóbicas e apolares. Por possuir grupos polares (hidroxilas) e grupos apolares (cadeia carbônica e anéis benzênicos), além de um caráter mais hidrofóbico que a celulose, espera-se que a lignina melhore a adesão entre os dois componentes dos compósitos, agindo como um compatibilizante entre a fibra natural (hidrofílica) e a matriz polimérica (hidrofóbica) (ROZMAN et al., 2000; THIELEMANS; WOOL, 2004; ACHA et al., 2009; MORANGIM-GIANNETTI et al., 2012; GADIOLI et al., 2014; GRAUPNER et al., 2014).

## 4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados pode-se concluir que:

A inserção de lignina no painel não só melhorou a densidade aparente do painel, como também influenciou positivamente no percentual de absorção, porém afetou a resistência do mesmo.

Houve alta correlação da densidade aparente e da resistência, ou seja, quanto menor a densidade menor a resistência.

Em relação à absorção houve baixa correlação com a densidade dos painéis, a mesma não exerceu influência na absorção devido a presença de lignina na composição dos painéis.

Em relação ao tratamento T1 (cimento e pinus) apresentou maior percentual de absorção em comparação aos outros painéis, com isso são recomendados para a fabricação de painéis termo acústicos que não exigem alta resistência, porém aceitam maiores teores de absorção por não entrarem em contato direto com a umidade.

O tratamento T2 (cimento e lignina) apresentou menores resistências, porém os valores de densidade e absorção foram satisfatórios. Devido a isso podem ser direcionados na fabricação de telhas de concreto.

O tratamento T3 (cimento, pinus e lignina), dentre os painéis de madeira, foi o que apresentou as melhores características para a utilização em estruturas, pois atingiu maior valor de resistência, densidade aparente e teores de absorção aceitáveis.

## REFERÊNCIAS

ACHA, B. A.; MARCOVICH, N. E.; REBOREDO, M. M. Lignin in jute fabric-polypropylene composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 114, p. 1480-1487, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D-1037**: Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particles Panel Materials. West Conshohocken, United States, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo Setorial 2008**. Documento disponível em: <[www.abimci.com.br](http://www.abimci.com.br)>. Acesso em: 08/04/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15448-1**: Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis Parte 1: Terminologia. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais Classificação por grupos de resistência. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1992.

BRIENZO, M. **Extração da hemicelulose do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de pentoses e xilooligossacarídeos**. Teses (Doutorado em Biotecnologia Industrial) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena/SP, 2008.

DOLABELLA, R. Peso específico de materiais. Disponível em: <<http://www.ricardodolabella.com/downloads/pesosespecificos.doc>>. Acesso em: 30/05/2018

EUROPEAN STANDARD. **EN-323**: Determinação da densidade. Versão Portuguesa, 1993.



FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FONSECA, M. R. **Painel cimento madeira produzido por compactação vibro dinâmica no sul do Tocantins**. 31 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – UFT - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi TO, 2017.

GRAUPNER, N. et al. Improvement and analysis of fibre/matrix adhesion of regenerated cellulose fibre reinforced PP-, MAPP- and PLA-composites by the use of *Eucalyptus globulus* lignin. **Composites: Part B**, v. 66, p. 177-125, 2014.

HERMETO, M. R. Estudo de substituição de cimento pela lignina em argamassa para revestimento, 2016. 54f, Monografia (Graduação) - Faculdade de Tecnologia e Ciência Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.

HUMPHREYS, J. M.; CHAPPLE, C. Rewriting the lignin roadmap. Opinião atual em *Biologia Vegetal*, v. 5, p. 224-229, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SP (IPT). **Catálogo de processos e sistemas construtivos para habitação**. 1. ed. São Paulo, 1998.

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

LOPES, Y. L. V. **Utilização da madeira e cascas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na produção de painéis cimentomadeira**. 2004. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C.; Análise da madeira de *Pinus oocarpa* Parte I – Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

NOGUEIRA, L. A. H.; WALTER, A. C. S. **Experiências de Geração de Energia Elétrica a Partir de Biomassa no Brasil: aspectos técnicos e econômicos**. Informe de la Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomasa, FAO/FOWP, Montevideo, 1995.

PARCHEN, C. F. A. **Compósito madeira-cimento de baixa densidade produzido com compactação vibro dinâmica**. 2012. 172 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels - EGP)**. 114f. Tese (doutorado) - Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SANTOS, A. C. P. **Análise das propriedades físico-mecânicas de painéis compostos por cimento e resíduos advindos da indústria agrícola e florestal**. 2018. 30 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – UFT - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi TO, 2018.

SILVA, D. et al. Influência da lignina em argamassa típica de revestimento. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 57. **Anais...** Bonito, 2015.

SILVA, L. G. et al. Adsorption of Brilliant Red 2BE dye from water solutions by a chemically modified sugarcane bagasse lignina. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, p. 620–628, 2011.

TAPPI. **Preparation of wood for chemical analysis. T-264 om-88**. TAPPI test methods. Atlanta: TAPPI Press. 1996.

WOOL, R. P.; SUN, X. S. **Bio-bases Polymers and composites**. Elsevier Academic Press, 2005.