

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

GEANINE COSTA GAVA

AVALIAÇÃO DA COLAGEM EM RESÍDUOS DE MADEIRA TRATADA
DE EUCALIPTO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2014

GEANINE COSTA GAVA

AVALIAÇÃO DA COLAGEM EM RESÍDUOS DE MADEIRA TRATADA
DE EUCALIPTO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2014

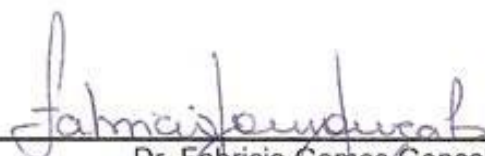
GEANINE COSTA GAVA

AVALIAÇÃO DA COLAGEM EM RESÍDUOS DE MADEIRA TRATADA
DE EUCALIPTO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovada em 17 de julho de 2014

COMISSÃO EXAMINADORA



Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Mestrando Vinicius Peixoto Tinti
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

“Somente entendendo a madeira é que podemos utilizá-la com inteligência.”

Frank Lloyd Wright

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar sempre uma nova oportunidade de fazer diferente, vencendo os obstáculos com fé e esperança.

Aos meus pais, Brais e Lourdes, pela compreensão da minha ausência, pelas palavras e gestos de amor, pela força e perseverança para nunca desistir na certeza que “dias melhores virão”, e por sempre me ajudarem no que for preciso sem medir esforços.

Às minhas amadas irmãs, Giseli e Geany, por serem as minhas melhores amigas, por todo o apoio e amor que tem por mim e por eu sempre poder contar com elas nos momentos mais difíceis.

Ao meu sobrinho e afilhado Murillo, que tanto amo, pelo seu amor transparente, por me fazer tão feliz quando chego à sua casa com aqueles abraços e beijos de saudade e quando me chama de “titia”.

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira por concederem a infraestrutura para a realização deste trabalho e principalmente da minha graduação.

Ao professor e orientador Fabricio Gomes Gonçalves, pela constante disponibilidade e orientação, e pelos conselhos a mim passados.

A todos os meus amigos de graduação, em especial a Lorena Ribeiro e Monique Mota, pela amizade, pelo apoio e pelos muitos momentos de descontração. Ao meu amigo Vinícius Peixoto Tinti, por ter sido o meu “braço direito” na execução das atividades, o meu muito obrigada.

Aos senhores Elecy Palácio Constantino e José Geraldo Lima de Oliveira, por todo o apoio e ensinamentos.

À empresa Bragança Beneficiamento de Madeiras, pela disponibilização do material para o desenvolvimento deste estudo.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram nas atividades desenvolvidas.

RESUMO

O desenvolvimento do setor florestal vem sendo acompanhado pela elevada geração de resíduos madeireiros e não madeireiros. Muitos destes resíduos são manuseados de forma incorreta, trazendo assim, consequências ao meio ambiente, como é o caso dos resíduos de madeira tratada. Estes, oferecem riscos à saúde humana se descartados indevidamente, pois apresentam substâncias químicas tóxicas. Estas substâncias são preservantes utilizados para aumentar a resistência da madeira aos organismos xilófagos. Dentre os preservantes mais utilizados, destaca-se o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) por ter um melhor desempenho. Diante da preocupação do aproveitamento de resíduos de madeira tratada como uma alternativa para a produção de painéis, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito de cinco tipos de adesivos na colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Para isso, o material foi adquirido de uma empresa de imunização de madeiras, selecionado, beneficiado em blocos e pequenas peças, seco ao ar e preparado como corpos de prova. Os ensaios físicos foram realizados no intuito de se conhecer algumas características importantes da madeira. No ensaio de cisalhamento paralelo às fibras em madeira sólida, verificou-se que a madeira não tratada foi mais resistente que a tratada. Os adesivos foram caracterizados de acordo com o pH, a viscosidade, o teor de sólidos e a densidade. Utilizou-se apenas madeira tratada para o ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola e observou que as juntas coladas com PVA obtiveram resistência superior às demais. A resistência na linha de cola dos diferentes adesivos, exceto para o tanino formaldeído, foi estatisticamente superior ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira preservada. Na avaliação da porcentagem de falha na madeira, detectou-se que a MUF obteve o maior resultado indicando assim, que as juntas coladas com esse adesivo cisalharam mais na madeira do que na linha de cola. O tanino formaldeído puro não é indicado para colagem em madeira sólida preservada quimicamente.

Palavras chave: *Eucalyptus*, resíduo madeireiro, madeira preservada, colagem.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O problema e sua importância	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Os resíduos e seu aproveitamento	4
2.2 A espécie <i>Eucalyptus cloeziana</i> F. Muell	5
2.3 Adesivos para madeira	6
2.3.1 Ureia formaldeído	7
2.3.2 Tanino formaldeído	7
2.3.3 Melamina ureia formaldeído	8
2.3.4 Poliacetato de vinila	8
2.3.5 Resorcinol formaldeído	8
2.4 União de peças de madeira com adesivos	9
2.5 Madeira preservada	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Origem do material	11
3.2 Descrição do material	11
3.3 Preparo inicial do material	11
3.4 Determinação das propriedades	12
3.4.1 Teor de umidade	12
3.4.2 Densidade básica	13
3.5 Ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras	14
3.6 Caracterização dos adesivos	16
3.7 Preparo da cola e colagem das taliscas	18
3.8 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola	20
3.9 Análise estatística	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22

4.1 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	22
4.2 Propriedades dos adesivos	24
4.3 Resistência ao cisalhamento na linha de cola.....	25
4.4 Falha na madeira	28
5. CONCLUSÕES	30
6. REFERÊNCIAS.....	31
APÊNDICE	38
A – ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas da madeira de <i>Eucalyptus cloeziana</i>	22
Tabela 2 - Caracterização dos adesivos utilizados na colagem das peças.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Peças de madeira empilhadas para secarem ao ar em ambiente protegido.....	12
Figura 2 - Ilustração do corpo de prova para a determinação do teor de umidade. ..	13
Figura 3 - Determinação da densidade básica.	14
Figura 4 - Ilustração do corpo de prova para a realização do ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras em madeira sólida (dimensões em cm).	15
Figura 5 - Ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.	15
Figura 6 - Determinação do pH do adesivo.	16
Figura 7 - Pesagem da massa úmida do adesivo para a determinação do teor de umidade, sendo que o peso do alumínio foi desconsiderado.	17
Figura 8 - Pesagem do adesivo para obtenção de sua massa.	17
Figura 9 - Determinação da viscosidade do adesivo.	18
Figura 10 - Preparo e pigmentação das colas.	19
Figura 11 - Processo de colagem das taliscas.	19
Figura 12 - Prensa manual utilizada para o processo de prensagem das juntas coladas.	20
Figura 13 - Ilustração do corpo de prova para realização do ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola (dimensões em cm).	21
Figura 14 - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira tratada e não tratada de <i>E. cloeziana</i>	23
Figura 15 - Relação entre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (RCPF) e a resistência ao cisalhamento na linha de cola.	26
Figura 16 - Falha na madeira para cada cola utilizada.	28
Figura 17 - Corpos de prova após ensaio de cisalhamento na linha de cola.	29

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material de origem biológica que apresenta propriedades físicas e mecânicas variáveis entre as espécies e dentro de uma mesma espécie. É uma matéria-prima indispensável em determinadas aplicações, empregada em diversos produtos e setores como a construção civil, indústria moveleira, indústria de papel e celulose, entre outros. Diante disso, ainda há a necessidade do constante desenvolvimento de estudos em relação ao seu uso racional e ao conhecimento de sua devida importância.

A supressão de florestas nativas e o desenvolvimento da legislação ambiental fizeram com que, ao decorrer dos anos, a disponibilidade de madeira maciça de lei diminuísse e sua exploração fosse regulamentada. Com isso, os setores da indústria que utilizam dessa matéria-prima buscaram novas alternativas. Neste contexto, o Brasil apresenta um crescente surgimento de florestas plantadas principalmente de espécies do gênero *Eucalyptus*.

Além disso, a partir da necessidade de produtos que pudessem diminuir as limitações da madeira maciça e a busca de um aproveitamento mais racional do material de pequeno diâmetro proveniente de desbastes e de resíduos do processamento da madeira, surgiram os painéis de madeira. Neste aspecto se enquadram os compensados, aglomerados, sarrafeados, MLC (madeira laminada colada), OSB (“Oriented Strand Board” - painel de partículas orientadas) e MDF (“Medium Density Fiberboard” - painel de fibras de madeira de densidade média). A maioria dos painéis de madeira, como o EGP (“Edge Glued Panel” - painel colado lateralmente), requerem adesivos durante a sua produção, possibilitando um melhor aproveitamento de peças de madeira de menores dimensões.

1.1 O problema e sua importância

Com o desenvolvimento do setor florestal, a geração de resíduos madeireiros e não madeireiros vem sendo crescente, sejam oriundos da colheita, da indústria moveleira, de marcenarias, de serrarias, dentre outros. O aproveitamento de resíduos madeireiros pode ser uma fonte de renda se tratados devidamente,

respeitando sua origem e suas limitações de uso. Isso se deve ao fato de que, o reaproveitamento de resíduos cuja procedência é desconhecida, ou ainda, uma utilização indevida na geração de novos produtos pode ocasionar consequências negativas ao meio ambiente.

Para o uso de madeira que passou ou não por um tratamento preservativo, alguns estudos foram realizados em relação a sua colagem como forma de aproveitamento de resíduos, a exemplo de Bertolini (2011), Pereira et al. (2010) e Abreu et al. (2009).

Em empresas de imunização de madeiras, após o tratamento da madeira com preservantes, os resíduos gerados apresentam em sua composição substâncias químicas tóxicas, não havendo ainda uma preocupação especial na destinação desse tipo de resíduo. Ferrarini et al. (2012) ressaltaram que, na América Latina, o Brasil é o maior consumidor de madeira tratada, com cerca de 93,5% proveniente de florestas plantadas de eucalipto e sendo a maior parte tratada com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA).

Nesse contexto, tem-se o problema do presente projeto de pesquisa, o qual pretende-se explicar se é possível realizar uma colagem eficiente em madeira preservada, a partir dos resíduos provenientes de uma indústria de imunização de madeiras, sem que o preservante interfira na qualidade do produto final.

A partir dessas colocações, as seguintes hipóteses serão testadas:

- i) O tratamento preservativo da madeira influi nas propriedades físicas e mecânicas da madeira;
- ii) Há diferença significativa na resistência da linha de cola em função dos diferentes adesivos utilizados;
- iii) A resistência na linha de cola é estatisticamente superior ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira preservada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de cinco tipos de adesivos na colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.

1.2.2 Objetivos específicos

Visando atender ao idealizado neste projeto, os seguintes objetivos específicos foram realizados:

- Obtenção e seleção dos resíduos de madeira com e sem tratamento preservativo de *E. cloeziana* provenientes de uma empresa de imunização de madeiras;
- Realização de ensaios físicos e mecânicos na madeira com e sem tratamento preservativo;
- Caracterização dos adesivos de acordo com o pH, a viscosidade, o teor de sólidos e a densidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Os resíduos e seu aproveitamento

O desenvolvimento do setor florestal é acompanhado pela crescente geração de resíduos madeireiros e não madeireiros que, de acordo com Pereira et al. (2010), são originados por todo o processo de transformação da madeira, desde a colheita ao seu processamento final. Na indústria madeireira especificamente, Mendoza et al. (2010) mencionaram que os resíduos originam-se do processamento primário ou secundário da madeira sólida, e ainda a partir do processamento dos painéis reconstituídos como compensados, aglomerados e de fibras.

Segundo Quirino (2004), resíduo é aquilo que sobra de um processo de produção ou exploração, de transformação ou de utilização. De forma geral, os resíduos madeireiros são classificados como resíduos orgânicos, sólidos, secos, não inertes, e de origem industrial (AMBIENTE BRASIL, 2014). Ferrarini et al. (2012) afirmaram que há interpretações diferentes para uma classificação dos resíduos provenientes de indústrias de imunização além de que, em alguns países europeus, eles são classificados como perigosos, sendo sua disposição final rigorosamente fiscalizada. Os mesmos autores afirmaram que no Brasil, ainda não se implementaram cuidados necessários no que se refere aos resíduos madeireiros preservados quimicamente.

Teixeira (2005) relata que o resíduo madeireiro é destinado principalmente à queima para produção de energia térmica e, ou elétrica, além de ser usado em granjas e currais como forragem de piso com posterior utilização como adubo. Segundo Pereira (2005), essas e outras formas de destinação, não podem, em nenhuma hipótese, serem as mesmas para os resíduos produzidos pela serragem de aglomerados e MDF, como o pó de serra, assim como o resíduo de madeira tratada quimicamente ou envernizada, devendo haver uma maior atenção quanto ao seu reaproveitamento.

Pereira et al. (2010) afirmaram que a maioria dos adesivos são tóxicos e o seu uso faz com que a destinação do resíduo produzido pela madeira tratada deva ser criteriosa. Ferrarini et al. (2012) classificaram este tipo de resíduo com base na norma ABNT NBR 10.004, tomando-se amostras de postes e mourões tratados com

CCA, como classe I – perigosos e que deveriam, necessariamente, serem encaminhados a um aterro especial ou ainda serem removidos os constituintes considerados perigosos.

2.2 A espécie *Eucalyptus cloeziana* F. Muell

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália, pertence à família Myrtaceae e vem sendo plantado frequentemente no Brasil em escala comercial, principalmente para a produção de celulose. Segundo Pereira et al. (2000), ele foi introduzido no Brasil no século XIX com evidências de que as primeiras árvores foram plantadas no Jardim Botânico no Rio de Janeiro e com o passar do tempo, teve utilidade para ornamentação e produção de lenha, estacas, mourões, dormentes. Os mesmos autores afirmaram ainda que esse gênero compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físicas, mecânicas e estéticas bastante diferenciadas. As espécies de eucalipto mais plantadas no Brasil são o *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* e o *E. cloeziana*.

Golfari et al. (1978)¹, citados por Borges (2008), enfatizaram que o *E. cloeziana* foi inserido no Brasil em meados de 1970 e, segundo Iwakiri e Prata (2008), é uma espécie natural das regiões norte e central de Queensland, na Austrália, em altitudes variando de 60 a 900m.

Segundo Gonzalez et al. (2006), a espécie apresenta um cerne distinto do alburno, com coloração marrom-rosado, alburno marrom-pálido e com camadas de crescimento distintas. Iwakiri e Prata (2008) mencionaram que a madeira desta espécie possui elevada estabilidade dimensional e média permeabilidade e, conforme Gonzalez et al. (2006), também mencionaram que a madeira do *E. cloeziana* possui linhas vasculares pouco destacadas, com brilho ausente, cheiro imperceptível e grã reversa.

De acordo com Moura et al. (1993), a madeira é forte, dura e extremamente durável, características estas que distinguem-a como uma espécie com potencial para florestamento e reflorestamento. No Brasil, a espécie é muito utilizada para a

¹ GOLFARI, L. et al. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: 2. aproximação. **Série técnica. PRODEPEF**, Brasília (11): 1-110, 1978.

fabricação de mourões, postes e, principalmente para fins energéticos, em função da sua densidade, como mencionado por Vital e Della Lucia (1986)² citados por Santos et al. (2002).

Em relação à densidade básica do *E. cloeziana*, Pereira et al. (2000) encontraram uma média de 0,68 g cm⁻³ para um povoamento de 6,5 anos plantado em Minas Gerais. Gonzalez et al. (2006) obtiveram uma densidade básica igual a 0,67 g cm⁻³ para árvores com 17 anos de idade, além disso afirmaram que a madeira exibiu propriedades físicas e mecânicas com valores mais elevados que as do *E. grandis* e características desejáveis para a indústria moveleira.

2.3 Adesivos para madeira

Carneiro et al. (2007) afirmaram que os adesivos são substâncias químicas em estado latente, utilizados na junção de superfícies, necessitando de um estímulo externo para que sua ação tenha início, seja ele o calor ou um catalisador. Eles são classificados como: inorgânicos (o mais comum é o à base de silicatos), orgânicos naturais (origem animal ou vegetal) e orgânicos sintéticos.

Os adesivos possuem uma série de vantagens para o setor madeireiro que, segundo Carneiro et al. (2007), permitem a colagem de lâminas finas, a união de madeira sólida ou partículas, distribuição do esforço em grandes áreas, aumento da estabilidade dimensional e redução da anisotropia da madeira, e ainda servem como barreira para a umidade.

Segundo Pizzi e Mittal (2003) tanto a indústria de painéis derivados de madeira quanto a indústria de adesivos têm mostrado um alto compromisso e grande capacidade para a inovação, em função da grande diversidade de tipos de adesivos utilizados para a produção de painéis de madeira. Atualmente, a maior parte das resinas adesivas e adesivos utilizados são a base de formaldeído, ureia, melamina, fenol, resorcinol e de isocianato.

² VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 141, p. 71-74, 1986.

2.3.1 Ureia formaldeído

Campos e Lahr (2005) comentaram que a ureia e o formaldeído são derivados do petróleo e possuem imunidade ao ataque de microorganismos. Outras vantagens, destacadas por Carneiro et al. (2007), que fazem desse adesivo ser o mais utilizado no mundo são: fácil manuseio, ser incolor, possuir um menor tempo de reação na prensa quente, solubilidade inicial em água, não ser inflamável, ter baixo custo e permitir colagem a frio. Como desvantagens cita: baixíssima resistência à umidade e a liberação de formaldeído.

Campos e Lahr (2005), ainda mencionam sua coloração clara e, por serem classificados como adesivos termofixos, são capazes de endurecer por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores, sendo assim, resistentes ao calor.

2.3.2 Tanino formaldeído

Monteiro et al. (2005) destacaram que os taninos são metabólitos secundários vegetais, sendo compostos fenólicos de grande interesse econômico e ecológico. Dependendo da natureza do tanino, o mesmo pode ser classificado como hidrolisável ou condensável (PIZZI e MITTAL, 1994). De um modo geral, Sousa (2006) comentou que os taninos hidrolisáveis não apresentam importância na fabricação de adesivos, ao contrário dos taninos condensados.

Segundo Hillig et al. (2002) os adesivos à base de tanino além de serem mais baratos que os adesivos à base de fenol e formol, possuem satisfatória resistência à água. Schäffer (1992)³ citado por Sousa (2006) explica que a reatividade do tanino é influenciada quando ele reage com o formaldeído, melhorando assim, as propriedades dos painéis colados com resina de tanino formaldeído.

Melo et al. (2010) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de partículas de *E. grandis* colados com tanino formaldeído, e verificaram que estes painéis apresentaram boa estabilidade dimensional e resistência mecânica.

³ SCHÄFFER, M. Literaturstudie zum Einfluss der Inhaltsstoffe des Holzes auf sein Verhalten bei der Holzwerkstoff – und Zellstoffherstellung. Diplomarbeit an der Forstlichen Fakultät, Georg-August-Universität Göttingen, 1992.

2.3.3 Melamina ureia formaldeído

Também conhecido como MUF, é um adesivo bi-componente, que apresenta um menor tempo de cura e resulta em uma linha de cola transparente após a catalisação, de acordo com Miotto e Dias (2009). Segundo Campos e Lahr (2005), a MUF é derivada do petróleo, sua reação interrompe-se por meio de neutralização quando os produtos de condensação estão suficientemente solúveis em água e seu custo é mais elevado que a resina ureia.

De acordo com Iwakiri (2005), a MUF apresenta maior resistência à umidade em relação à ureia formaldeído e cura mais rápida que o fenol formaldeído. Vick (1999) mencionou que a MUF é um adesivo de uso estrutural, o que permite o seu uso em ambiente externo.

2.3.4 Poliacetato de vinila

Segundo Pizzi e Mittal (1994) e Carneiro et al. (2007), o PVA é conhecido popularmente como “cola branca” e origina-se a partir da polimerização em fase aquosa do acetato de vinila e estabilizadores. Iwakiri (2005) afirma que por serem resinas à base de água, apresentam facilidade e segurança no manuseio, são inodoras, não são inflamáveis, possuem baixo custo em relação a outras resinas comerciais, possuem secagem rápida sob condições adequadas, são de fácil limpeza além de apresentarem boa estabilidade à estocagem. Pizzi e Mittal (2003) explicam que, o princípio de ligação de adesivos PVA baseia-se na remoção da água por meio da penetração na peça de madeira, ou por meio da evaporação para o ar circundante.

Existem múltiplas variações de adesivos PVA disponíveis no mercado, com uma variedade de propriedades de processamento e de ligação (PIZZI e MITTAL, 2003). Para Ferreira et al. (2012), o PVA pode ser utilizado como alternativa aos adesivos convencionais. Segundo Oliveira e Dantas (2003), este adesivo é utilizado em colagens não estruturais de substratos em diversos segmentos da indústria moveleira e ou madeireira, sobretudo em acabamentos e junção simples de peças.

2.3.5 Resorcinol formaldeído

Carneiro et al. (2007) comentaram que os adesivos de resorcinol são aplicados para colar vários tipos de materiais, como papel, têxteis, plásticos, entre outros. Em peças de madeira, o resorcinol formaldeído é aplicado à temperatura

ambiente, possui elevada resistência e percentual de falha na madeira, e elevada estabilidade sob umidade e temperatura variadas, com aplicação em madeira laminada colada e elementos estruturais (PIZZI e MITTAL, 1994).

Segundo Albino (2009) este adesivo tem sido considerado como uma das mais importantes matérias-primas para o desenvolvimento de vários tipos de resinas sintéticas com excelentes propriedades, à exemplo da durabilidade.

2.4 União de peças de madeira com adesivos

Com a demanda de madeira serrada para a produção de painéis de madeira reconstituída, é crescente o emprego de adesivos, principalmente os de natureza orgânica sintética os quais, segundo Carneiro et al. (2007), devem possuir grande resistência à água além de impedir a ação de microorganismos.

De acordo com Lima et al. (2008), a colagem é uma etapa fundamental para o melhor aproveitamento da madeira, principalmente no setor moveleiro, e de peças de pequenas dimensões. Além disso, ela envolve três elementos importantes que são, o adesivo, a adesão (interação entre duas superfícies) e a aderência (resistência que as superfícies apresentam quando pretende-se separá-las) (REMADE, 2008). Segundo Albino et al. (2010), a adesão entre a madeira e o adesivo depende de suas características, e principalmente do processo adotado para a colagem.

Existem trabalhos que buscam estudar o efeito de adesivos na colagem de resíduos madeireiros e de madeira sólida do gênero *Eucalyptus*. Boa (2011) realizou um trabalho em que, resíduos madeireiros oriundos de uma serraria, foram colados a frio com o adesivo ureia formaldeído a diferentes gramaturas de cola e afirmou que, a melhor qualidade de junta colada com uma maior resistência ao cisalhamento e menor falha na madeira, foi aquela com peças de densidade igual ou inferior a $0,65 \text{ g cm}^{-3}$ e 300 g m^{-2} de gramatura.

A resistência ao cisalhamento de juntas coladas em madeira sólida utilizando-se três adesivos comerciais (acetato de polivinila, ureia formaldeído e resorcinol formaldeído), foi objeto de estudo de Lima et al. (2008). Os autores observaram que a ureia formaldeído apresentou um melhor resultado na avaliação da falha na madeira.

Ferreira et al. (2012) realizaram um estudo da junta colada em compensados com o adesivo PVA e afirmaram, através de comparações feitas em literatura, que o mesmo pode ser substituto dos adesivos convencionais (ureia ou fenol formaldeído) utilizados em compensados pois apresentou valores superiores de resistência ao cisalhamento.

2.5 Madeira preservada

A madeira é um material orgânico muito propenso à deterioração física, química e biológica, dentre esta última se destacam os fungos, as bactérias, os insetos e brocas marinhas (ROCHA, 2001). Segundo Ferrarini et al. (2012), para amenizar ou até mesmo impedir a biodeterioração da madeira por esses agentes, utilizam-se principalmente preservantes, que são substâncias químicas tóxicas a eles. Assim, a madeira tratada é aquela que passa por um processo de preservação química para que suas características sejam preservadas. As substâncias químicas preservativas utilizadas no processo proporcionam o aumento de sua resistência aos organismos deterioradores, isto é, elevam a vida útil do material original.

Segundo Alves e Mendes (2002), um preservativo para madeira deve apresentar características como: ter boa toxidez (aos agentes deterioradores), não ser volátil nem lixiviável, não se decompor, ter alta permanência na madeira, não alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, ser econômico. Rocha (2001) ainda afirma que o produto preservante deve apresentar baixa toxidez a organismos não xilófagos e não deve ser tóxico ao ser humano. Atualmente, existe uma série de preservativos utilizados no processo de preservação da madeira, sendo eles oleossolúveis ou hidrossolúveis.

Na composição química do CCA, um produto hidrossolúvel, o arsênio, o cobre e o cromo, funcionam como inseticida, fungicida e como agente fixador, respectivamente (ROCHA, 2001). Segundo Ferrarini et al. (2012) é um tipo de preservativo utilizado em diversos países e seu processo de impregnação é realizado normalmente por uma autoclave (processo de vácuo-pressão).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Origem do material

O material para a realização do presente trabalho foi coletado em uma empresa de imunização de madeiras, localizada no município de Alegre-ES. A empresa produz peças de madeira de eucalipto imunizadas, principalmente de *Eucalyptus cloeziana*, como mourões, postes, caibros, esteios, tocos, réguas e ripas. A idade do material está entre 6 e 8 anos. Foram obtidos os resíduos madeireiros originados durante o processo de produção de seus produtos, imunizados ou não.

3.2 Descrição do material

O material coletado compreendeu em resíduos das aparas da madeira de *E. cloeziana*, originados durante o processo de produção dos mourões. No momento da coleta, escolheu-se os resíduos que apresentavam dimensões maiores e com o mínimo de rachaduras ocasionadas pela secagem ao ar. Além disso, separou-se os resíduos preservados quimicamente dos que estavam sem preservação. Para diferenciá-los, os resíduos com tratamento preservativo exibiam uma coloração esverdeada principalmente no alburno, local mais externo do material lenhoso, devido a impregnação do preservante CCA.

3.3 Preparo inicial do material

O material foi encaminhado à marcenaria do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, em Jerônimo Monteiro-ES. Inicialmente, o material foi parcialmente desdobrado em pequenas peças de madeira, blocos e discos.

As taliscas apresentavam comprimento (ao longo das fibras) variável, para o aproveitamento máximo do material, com largura e espessura de dimensões iniciais de 6,0 x 6,0cm para secagem natural, ocasionando rachaduras. Posteriormente, as

taliskas foram redimensionadas para 33,0 x 5,5 x 2,5 cm. Através do desdobro das peças roliças, os blocos foram obtidos com dimensões de 5,0 x 5,0 cm (espessura x largura) e comprimento variável. Os discos foram obtidos através de peças de toras para a retirada de cunhas, sempre nas porções medianas das peças. A secagem natural ocorreu por um período aproximado de 60 dias em um ambiente protegido (Figura 1).



Figura 1 - Peças de madeira empilhadas para secarem ao ar em ambiente protegido: a) blocos e b) taliskas.

3.4 Determinação das propriedades

3.4.1 Teor de umidade

A confecção dos corpos de prova e a determinação do teor de umidade seguiram as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997), com algumas adaptações em relação ao número de amostras e as dimensões. Sendo assim, foram preparados cinco corpos de prova de madeira com tratamento preservativo e outros cinco sem tratamento preservativo de dimensões 2,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a maior dimensão no sentido longitudinal (Figura 2).

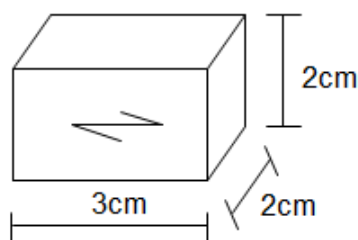


Figura 2 - Ilustração do corpo de prova para a determinação do teor de umidade.

Fonte: Modificado da norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os corpos de prova foram pesados em uma balança analítica de precisão de 0,01g, para o conhecimento de sua massa verde em gramas (g), ou seja, a massa inicial que a madeira apresentava no momento de sua coleta. Posteriormente, eles foram colocados em estufa sob temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até ficarem completamente secos. Após um período de 48 hs, foram colocados em um dessecador para que sua temperatura diminuísse e estabilizasse por 15 minutos e prosseguiu-se com a pesagem para a determinação da sua massa seca em gramas (g). Obteve-se a média dos cinco valores do teor de umidade seguindo a Equação 1:

$$U = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \quad (1)$$

Onde: U = teor de umidade (%); m_i = massa inicial da madeira (g); e, m_f = massa da madeira seca em estufa (g).

3.4.2 Densidade básica

A densidade básica foi obtida utilizando um total de dezessete cunhas com e sem tratamento preservativo, retiradas dos discos de peças de toras como já mencionado. Como procedimento, as cunhas foram colocadas em um recipiente com água até atingirem o ponto de saturação das fibras, aplicando um vácuo por aproximadamente 20 dias. A partir disso, realizou-se o método do empuxo em água onde cada cunha foi submersa e seu peso quantificado em balança analítica. Posteriormente, as cunhas foram encaminhadas à estufa sob temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para secarem por um período de 48 hs. Logo após, foram dispostas em um dessecador por alguns minutos e pesadas novamente para quantificar a massa seca em estufa (Figura 3).

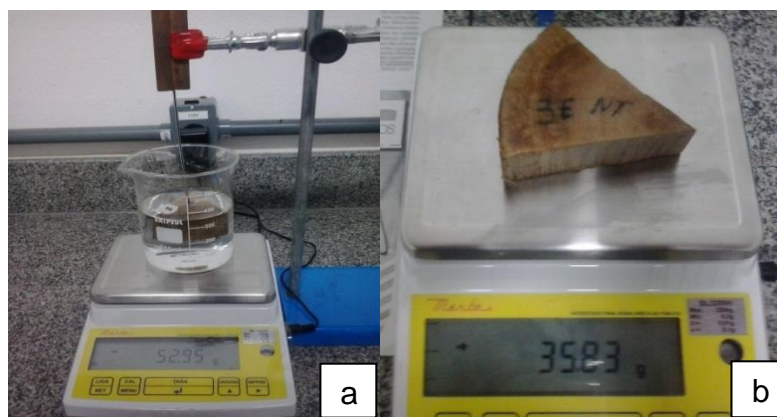


Figura 3 - Determinação da densidade básica: a) método do empuxo em água e b) obtenção da massa seca.

A equação utilizada para estimar a densidade básica, foi a recomendada pela NBR 7190 (ABNT, 1997) (Equação 2).

$$D_b = \frac{m_s}{V_s} \quad (2)$$

Onde: D_b = densidade básica (g cm^{-3}); m_s = massa da madeira seca em estufa (g); e , V_s = volume da madeira saturada (cm^3).

3.5 Ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

Após um período de aproximadamente dois meses secando ao ar, os blocos com e sem tratamento preservativo foram transformados em corpos de prova com dimensões recomendadas pela norma ASTM D1037-06 (2012) (Figura 4).

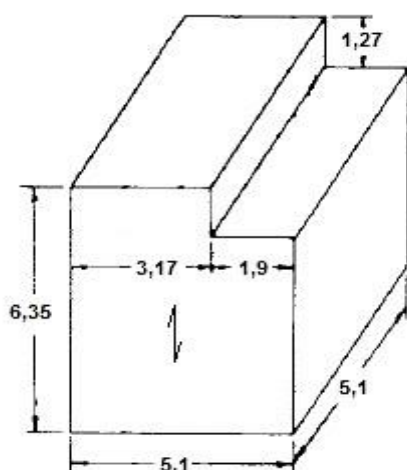


Figura 4 - Ilustração do corpo de prova para a realização do ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras em madeira sólida (dimensões em cm).

Fonte: Norma ASTM D1037-06 (2012).

O ensaio foi realizado em uma máquina universal de ensaios com tomada automática de dados (Figura 5). Foram utilizados um total de trinta e quatro corpos de prova para a madeira preservada e sem tratamento.



Figura 5 - Ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

3.6 Caracterização dos adesivos

Os adesivos foram caracterizados no momento de seu preparo pois, com o passar do tempo, suas características modificam sendo diferentes do que foi fornecido pelos fabricantes. Empregou-se a metodologia sugerida por Brito (1995), sendo avaliados o pH, o teor de sólidos, a densidade e a viscosidade.

A determinação do pH foi realizada utilizando-se um pHmetro (Figura 6) onde seus eletrodos foram calibrados com soluções de pH 7,0 e 4,0.



Figura 6 - Determinação do pH do adesivo.

Para a avaliação do teor de sólidos, retirou-se cinco amostras de cada um dos adesivos preparados, pesando-se aproximadamente 5g de cada amostra (Figura 7), secando-os em estufa a uma temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Após um período de 24 hs, as amostras foram novamente pesadas para que sua massa seca fosse obtida.



Figura 7 - Pesagem da massa úmida do adesivo para a determinação do teor de umidade, sendo o peso do alumínio desconsiderado.

Determinou-se o teor de sólidos através da Equação 3.

$$TS = \frac{P_1}{P_2} \times 100 \quad (3)$$

Onde: TS = teor de sólidos (%); P_1 = peso seco da amostra estabilizada na estufa (g); e, P_2 = peso úmido da amostra climatizada (g).

A densidade foi determinada de modo que, um béquer de volume conhecido (50 ml) foi preenchido com o adesivo, e este pesado em balança analítica (Figura 8).



Figura 8 - Pesagem do adesivo para obtenção de sua massa.

Utilizou-se a Equação 4 para determinar a densidade do adesivo.

$$D_{ades} = \frac{m_{ades}}{V_{ades}} \quad (4)$$

Onde: D_{ades} = densidade do adesivo (g cm^{-3}); m_{ades} = massa do adesivo (g); e, V_{ades} = volume do adesivo (cm^3).

Na avaliação da viscosidade, utilizou-se o viscosímetro digital cuja haste foi submersa em amostras de aproximadamente 500 ml de adesivo (Figura 9). Para os adesivos tanino formaldeído e PVA, a haste mais adequada foi a de número 2, para a ureia formaldeído e melamina ureia formaldeído a de número 4 e, para o resorcinol formaldeído a de número 3.



Figura 9 - Determinação da viscosidade do adesivo.

3.7 Preparo da cola e colagem das taliscas

Os adesivos utilizados foram a ureia formaldeído (100%), o tanino formaldeído (solução em água destilada a 50%), melamina ureia formaldeído (100%), PVA (100%) e o resorcinol formaldeído (100%). Durante o preparo da cola, os adesivos PVA, ureia formaldeído e melamina ureia formaldeído que ficam

translúcidos, após a cura foram pigmentados com algumas gotas de anilina na cor azul, verde e vermelho respectivamente (Figura 10), visando facilitar a identificação durante a avaliação da porcentagem de falhas.



Figura 10 - Preparo e pigmentação das colas: a) PVA; b) ureia formaldeído; e c) melamina ureia formaldeído.

Para o processo de colagem, escolheu-se as taliscas que apresentaram o mínimo de defeitos como nós e rachaduras, dentre as obtidas. Elas foram colocadas na câmara de climatização a 25°C e 60% de umidade relativa para a estabilização. Posteriormente, foram coladas a frio com uma gramatura de adesivo de 150 g m⁻² em linha dupla (Figura 11), espalhado uniformemente com auxílio de uma espátula, de forma que toda a face fosse preenchida (Figura 11).



Figura 11 - Processo de colagem das taliscas: a) pesagem do tanino formaldeído e b) espalhamento do PVA.

As juntas coladas foram dispostas em uma prensa manual (Figura 12) sob pressão de 1,2 MPa. O tempo de prensagem foi diferente para cada um dos adesivos, sendo, 6 hs para o PVA e a ureia formaldeído, 8 hs para o resorcinol

formaldeído, 10 hs para a melamina ureia formaldeído e 24 hs para o tanino formaldeído, conforme indicação dos fabricantes dos adesivos. Depois de prensadas, as juntas coladas permaneceram sete dias sob temperatura e umidade ambiente. Definiu-se a gramatura e a carga conforme o sugerido em trabalho de Boa (2011), em que a autora avaliou a colagem em resíduos de madeira de eucalipto, sendo esta a gramatura mais indicada.



Figura 12 - Prensa manual utilizada para o processo de prensagem das juntas coladas.

3.8 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola

A partir das juntas coladas e, climatizadas com as condições do ambiente, confeccionou-se os corpos de prova de acordo com a norma D905-08 (ASTM, 2013) como ilustrado na Figura 13.

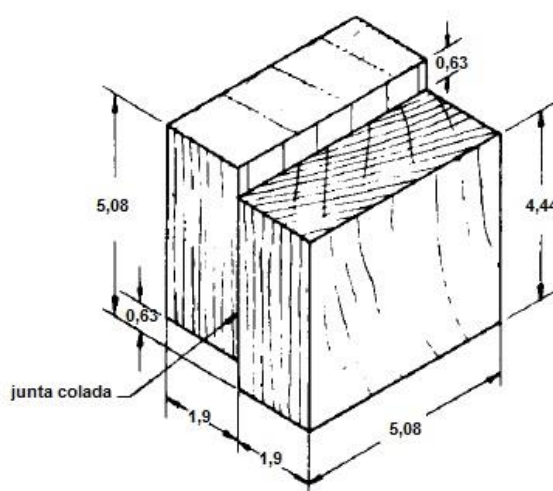


Figura 13 - Ilustração do corpo de prova para realização do ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola (dimensões em cm).

Fonte: Norma ASTM D905-08 (2013).

O ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola foi realizado em uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas e obtenção automática dos dados, respeitando as condições contidas na norma D905-08 (ASTM, 2013).

A falha na madeira foi determinada de acordo com o descrito por Buligon (2011), mediante auxílio de uma película transparente quadriculada disposta sobre a área colada cisalhada. Dividiu-se visualmente a área colada em 10 linhas x 10 colunas, onde cada quadrícula cubria 1% de sua superfície durante a avaliação.

3.9 Análise estatística

Para análise da densidade da madeira e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, adotou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 02 tratamentos (madeira tratada e não tratada) e 17 repetições cada. E para análise da resistência ao cisalhamento na linha de cola também foi utilizado o DIC com 05 tratamentos (adesivos) e 17 repetições cada. Após a Análise de Variância (ANOVA) para detectar diferenças entre os tratamentos a 99% de probabilidade, aplicou-se o teste de Tukey a 1% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

As propriedades físicas obtidas nos resíduos coletados da madeira de *Eucalyptus cloeziana* estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*.

Tratamento	Teor de umidade (%)		Densidade básica (g cm ⁻³)
	Coleta do material	Corte do material	
Madeira tratada	36,32	17,34	0,626 a (+/- 0,033)
Madeira não tratada	18,89	13,78	0,617 a (+/- 0,025)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 1% de significância. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão.

O teor de umidade tanto da madeira tratada quanto da madeira não tratada, apresentou um decréscimo após o período de sua coleta. Isso se deve ao fato de que a madeira perde a água existente nos vazios de sua estrutura ocasionado pela secagem natural. Vale ressaltar que o teor de umidade modifica-se ao decorrer do tempo, portanto, foi diferente no momento dos ensaios mecânicos.

A densidade básica do *E. cloeziana* não apresentou uma diferença significativa para os tratamentos (Tabela 1), sendo considerada como média devido os dois valores estarem na faixa de 0,50 a 0,70 g cm⁻³. Em relação à madeira não tratada, Pereira et al. (2000) encontraram 0,68 g cm⁻³ para um povoamento de 6,5 anos plantado em Minas Gerais, sendo esse valor superior ao encontrado, mesmo que as idades do povoamento sejam equivalentes. Sousa Júnior (2004) obteve uma densidade básica de 0,74 g cm⁻³ para árvores com 25 anos provenientes de Minas Gerais.

A diferença entre os valores de densidade pode ter ocorrido devido a fatores genéticos e ambientais, ou ainda, a região do tronco da qual retirou-se as amostras. Ribeiro e Zani (1993) observaram que a variação edafoclimática dos locais de

amostragem afetaram a densidade básica da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus*.

As médias da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, encontradas na madeira tratada e não tratada de *E. cloeziana*, estão representadas graficamente na Figura 14.

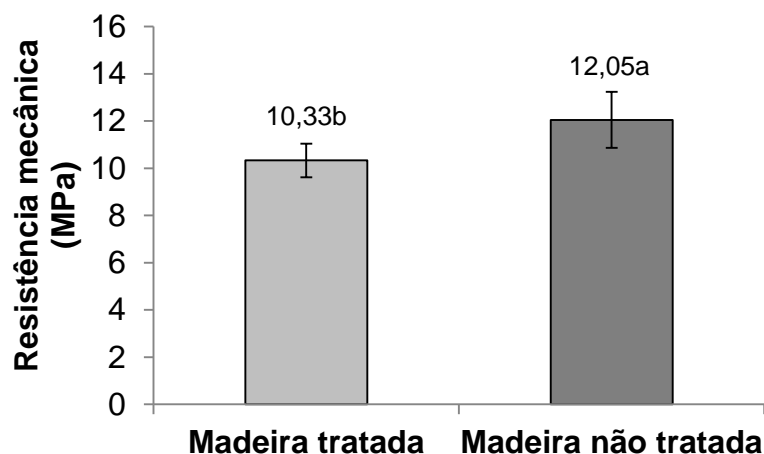


Figura 14 - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira tratada e não tratada de *E. cloeziana*. Médias seguidas de diferentes letras diferem-se estatisticamente a 1% de significância. As barras representam o desvio padrão.

Em relação à madeira não tratada, Sousa Júnior (2004) encontrou uma resistência ao cisalhamento superior ao obtido neste trabalho, sendo 16,03 MPa para indivíduos com 25 anos de *E. cloeziana* de um reflorestamento em Minas Gerais. Moreira (1999) obteve uma resistência de 17,9 MPa, valor ainda mais elevado para árvores desta espécie para idade de 21 anos. Para espécies do gênero *Eucalyptus* com densidade entre 0,70 e 0,79 g cm⁻³, Plaster et al. (2008) encontraram uma resistência igual a 11,18 MPa.

A Figura 14 demonstra claramente que a madeira não tratada foi mais resistente que a madeira tratada. Isto confirma que o tratamento preservativo da madeira interferiu na resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Para a madeira tratada, ainda são escassos estudos no que se refere à sua resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. No entanto, tratando-se de outras propriedades mecânicas da madeira como o módulo de elasticidade e módulo de ruptura, pode-se exemplificar o estudo de Yildiz et al. (2004) o qual foi observado que o CCA foi o preservante que mais afetou essas propriedades. Terezo et al.

(2005) comentaram sobre diversos trabalhos que relacionavam razões pelas quais os preservativos hidrossolúveis afetam diversas propriedades mecânicas da madeira, como as características da espécie, seu pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento e seus respectivos fatores de processo. Os mesmos autores ainda enfatizaram sobre o poder ácido do CCA que degenera as estruturas celulares e outros componentes como a lignina, hemicelulose e celulose.

Neste estudo, não se pode afirmar qual foi o fator exato que afetou a resistência ao cisalhamento da madeira tratada com CCA. No entanto, aponta-se fatores que de alguma forma influenciaram na resistência em questão, como o tratamento químico de alto poder ácido, o processo de impregnação utilizando-se pressão e vácuo, e a capacidade de absorção da madeira ocasionada pelo nível de retenção do preservante. Portanto, percebe-se a necessidade de estudos mais aprofundados para, de fato, descobrir como a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, além de outras propriedades mecânicas, são afetadas em madeiras tratadas.

É importante mencionar que não houve necessidade de realizar o ajustamento dos valores de resistência para 12% de umidade, através da equação recomendada pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997), pois o material já apresentava essa umidade no momento do ensaio mecânico.

4.2 Propriedades dos adesivos

As propriedades encontradas para os adesivos utilizados na colagem das peças estão presentes na Tabela 2.

O PVA e o TF foram os adesivos que apresentaram a característica mais ácida. O tanino apresenta um caráter mais ácido, proveniente do sistema de obtenção e extração por meio do uso de sais.

Em relação aos adesivos alcalinos, destaca-se a MUF, seguida pela UF e pelo RF. Iwakiri (2005) destacou que o pH da MUF é entorno de 9, sendo um valor semelhante ao encontrado. Vital et al. (2004) obtiveram valores bem aproximados para a UF, sendo o pH igual a 8 e o teor de sólidos igual a 61,35%.

Tabela 2 – Caracterização dos adesivos utilizados na colagem das peças.

Adesivo	Propriedade			
	pH	viscosidade (cp)	teor de sólidos (%)	densidade (g cm ⁻³)
Melamina ureia formaldeído (MUF)	9,70	10.861	67,42	1,331
Poliacetato de vinila (PVA)	2,53	2.720	48,73	1,082
Resorcinol formaldeído (RF)	7,68	847	66,61	1,169
Tanino formaldeído (TF)	3,26	503	46,34	1,234
Ureia formaldeído (UF)	8,03	724.182	64,24	1,396

Analisando os dados da viscosidade, a UF foi a resina adesiva mais viscosa, o que corresponde a algumas desvantagens citadas por Iwakiri (2005), como a maior dificuldade de espalhamento, menor penetração do adesivo na madeira e linha de cola mais espessa. O adesivo menos viscoso foi o TF, o que indica alta fluidez e algumas vantagens sobre os adesivos mais viscosos.

A MUF mostrou-se superior no que se refere ao teor de sólidos. E para a densidade, os adesivos apresentaram-se ligeiramente semelhantes, porém, a UF foi a resina adesiva mais densa.

4.3 Resistência ao cisalhamento na linha de cola

A Figura 15 representa graficamente a relação entre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras em madeira tratada e a resistência ao cisalhamento na linha de cola também em madeira tratada.

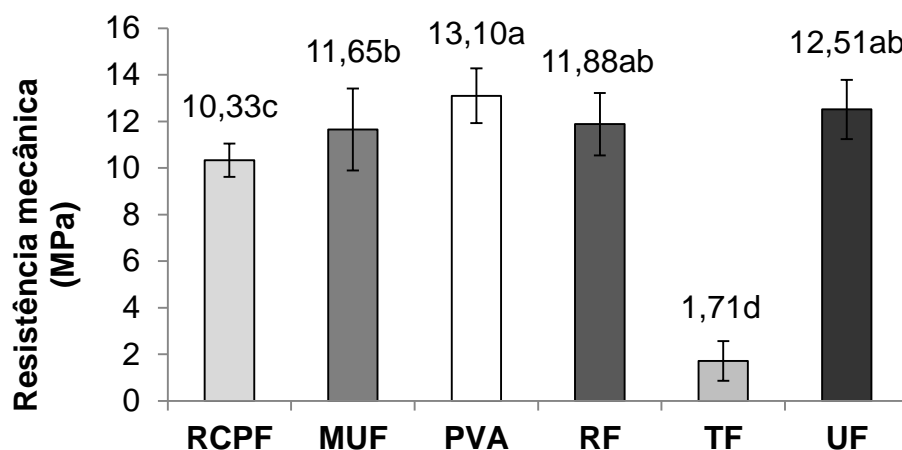


Figura 15 - Relação entre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (RCPF) e a resistência ao cisalhamento na linha de cola. MUF: melamina ureia formaldeído; PVA: poliacetato de vinila; RF: resorcinol formaldeído; TF: tanino formaldeído; UF: ureia formaldeído. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 1% de significância. As barras representam o desvio padrão.

Observa-se que o PVA teve um melhor desempenho, pois promoveu uma maior resistência ao cisalhamento na linha de cola, seguido pela UF e RF com valores ligeiramente aproximados, não diferindo estatisticamente entre si. Outros dados encontrados na literatura mostram que o PVA também foi mais resistente que a UF, porém, tratando-se de madeira não tratada de outras espécies do gênero *Eucalyptus*, a exemplo do resultado obtido por Pincelli (1999) o qual encontrou 13,44 e 11,88 MPa para os respectivos adesivos.

Em relação aos adesivos PVA e RF, Plaster et al. (2008) encontraram resistências na linha de cola iguais a 13,63 e 13,73 MPa, respectivamente, para uma classe de densidade a 0,70 e 0,79 g cm⁻³ em madeira de eucalipto comercial.

Lima et al. (2008) encontraram valores da ordem de 7,94 a 6,98 MPa em colagem com PVA em madeira de eucalipto com idade estimada de 14 anos, valores inferiores ao deste estudo, indicando ser a idade um fator importante a ser considerado. Ressalta-se que mesmo em madeiras contendo preservativo ácido, a colagem foi superior ao estudo dos autores acima mencionados.

O TF apresentou uma resistência considerada baixíssima em relação aos outros adesivos, supostamente devido a influência de seu pH ácido (Tabela 2), ou ainda, pela interação química do adesivo com o preservante impregnado na

madeira. Prova disso, Vick e Kuster (1992)⁴ citados por Bertolini et al. (2014) afirmaram que a interação do adesivo com a presença do CCA na madeira pode ser desfavorecida pela aderência química desse preservante às paredes celulares bloqueando assim, parte das forças moleculares de atração. No entanto, há controvérsias em relação ao pH, pois o PVA também apresenta natureza ácida e sua linha de cola mostrou-se altamente resistente ao cisalhamento.

Vários fatores podem ter influenciado na resistência das linhas de cola ou mesmo na colagem adequada, podendo destacar que o material utilizado era resíduo composto por peças com mais alburno do que cerne ou vice-versa. O pH dos extrativos da madeira também pode ter prejudicado a resistência por inibir reações químicas no endurecimento do adesivo, assim como outras propriedades da madeira, sejam elas anatômicas, físicas e mecânicas (IWAKIRI, 2005). Além da composição e características da madeira, o mesmo autor cita a influência das características físico-químicas do adesivo e os procedimentos adotados na colagem.

Em exceção do TF, observa-se que a resistência na linha de cola dos diferentes adesivos é estatisticamente superior ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira preservada. No estudo de Plaster et al. (2008), a resistência na linha de juntas coladas com resorcinol e PVA também foram superiores à resistência ao cisalhamento paralelo às fibras encontrada em madeiras sólidas de espécies do gênero *Eucalyptus*.

Verifica-se que a aplicação de adesivos como o PVA e a UF principalmente, na união de peças tratadas, possibilitou um aumento favorável na resistência mecânica do material. Neste contexto, os painéis produzidos com madeira tratada ofereceriam resistência a agentes xilófagos além de ser uma alternativa para o aproveitamento de resíduos madeireiros tratados.

Se a matéria-prima destinada para a produção desse tipo de elemento colado lateralmente não fosse caracterizada como resíduo, os custos de produção seriam maiores. Desta forma, estudos para analisar a viabilidade econômica dessa nova alternativa e a adequada utilização de resíduos madeireiros tratados na geração de novos produtos são necessários.

⁴ VICK, C. B., KUSTER, T. A. Mechanical Interlocking of Adhesive Bonds to CCA-treated Southern Pine - A Scanning Electron Microscopic Study. **Wood and Fiber Science**, v. 24, n. 1, p. 36-46, 1992.

4.4 Falha na madeira

A falha na madeira após o cisalhamento na linha de cola encontra-se na Figura 16.

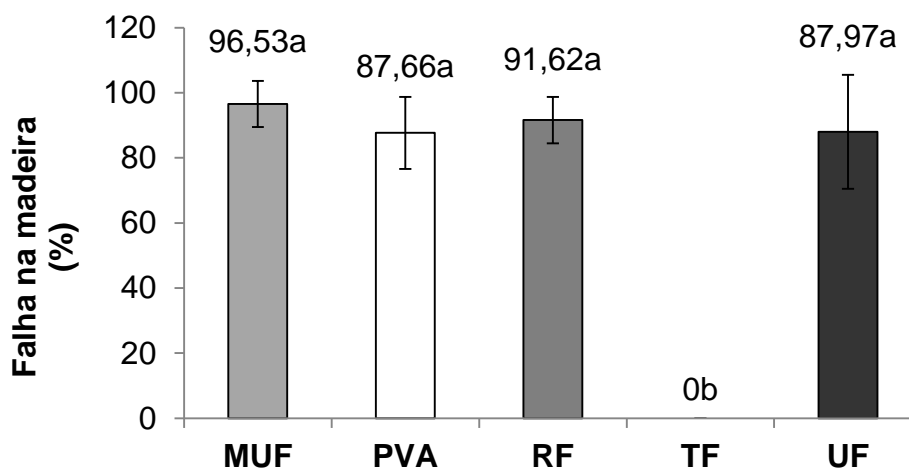


Figura 16 - Falha na madeira para cada cola utilizada. MUF: melamina ureia formaldeído; PVA: poliacetato de vinila; RF: resorcinol formaldeído; TF: tanino formaldeído; UF: ureia formaldeído. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 1% de significância. As barras representam o desvio padrão.

Em relação à porcentagem de falha na madeira, não houve diferença estatística entre os tratamentos, à exceção para o TF, o qual houve um rompimento de 100% na linha de cola (Figura 17), indicando que sua utilização não apresenta segurança para colagem em madeira bruta preservada quimicamente, se comparado aos outros adesivos. Este comportamento foi similar ao encontrado por Teodoro e Lelis (2005), onde os valores de falha na madeira estiveram entre 0 e 7,81% com taninos provenientes de acácia negra e de eucalipto.



Figura 17 - Corpos de prova após ensaio de cisalhamento na linha de cola.

A MUF apresentou maior porcentagem de falha na madeira do que na linha de cola. Entretanto, isso contradiz com o seu resultado de resistência na linha de cola (Figura 15). Nota-se que a MUF obteve o quarto menor valor de resistência na linha de cola, porém, foi a linha de cola com a maior porcentagem de falha na madeira. Para o adesivo PVA ocorreu um fato semelhante, o qual obteve uma maior resistência ao cisalhamento na linha de cola, porém, exibiu o quarto menor valor de porcentagem de falha na madeira. Analisando o estudo de Della Lúcia e Vital (1981)⁵ citado por Lima et al. (2008) com *E. saligna*, verificou-se um fato semelhante ao ocorrido em que, apesar do PVA ter sido mais resistente ao cisalhamento na linha de cola do que o adesivo resorcinólico, a porcentagem de falha na madeira para os adesivos foi a mesma.

Como já mencionado, utilizou-se madeiras com tratamento preservativo para essa avaliação, e na literatura existem vários trabalhos sobre a falha na madeira, mas sem tratamento preservativo. Lima et al. (2008) encontraram valores inferiores aos obtidos para o PVA, o RF e a UF, respectivamente 19,35, 44,58 e 61,23% com madeira de clones de eucalipto.

Os valores de porcentagem de falha na madeira obtidos para MUF, PVA, RF e UF, superaram o valor mínimo recomendado pela norma ASTM D-5751 (2005), a qual indica 60%.

⁵ DELLA LÚCIA, R.M.; VITAL, B.R. Avaliação da qualidade de juntas coladas de madeira de três espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.2, n.5, p.172-180, 1981.

5. CONCLUSÕES

- O tratamento preservativo da madeira interferiu em suas propriedades físicas e mecânicas.
- Não se pode afirmar qual foi o fator exato que afetou a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira tratada com CCA. Entretanto, existem fatores encontrados na literatura que podem explicar essa influência como as características da espécie, alto poder ácido do CCA, seu pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento e seus respectivos fatores de processo.
- Houve diferença significativa na resistência ao cisalhamento na linha de cola em função dos diferentes adesivos utilizados. Destacando o PVA que mostrou-se com a maior resistência mecânica.
- Em exceção do tanino formaldeído, a resistência na linha de cola dos diferentes adesivos foi estatisticamente superior ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira preservada.
- O tanino formaldeído puro não é indicado para colagem em madeira sólida preservada quimicamente.
- Há necessidade de outros estudos para, de fato, descobrir como a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, além de outras propriedades mecânicas são de alguma forma prejudicadas em madeiras tratadas.
- Os painéis produzidos com resíduos madeireiros tratados são uma alternativa de aproveitamento. Porém, deve-se conhecer sua viabilidade econômica e se essa alternativa seria a melhor forma de utilização de resíduos madeireiros tratados na geração de novos produtos.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, L. B.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. Aproveitamento de resíduos de painéis de madeira gerados pela indústria moveleira na produção de pequenos objetos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 171-177, 2009.

ALBINO, V. C. S. **Estudo do comportamento da colagem da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden com adesivo termoendurecedor resorcinol-formaldeído**. 2009. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 38, n. 87, p. 509-516, 2010.

ALVES, M. V. S.; MENDES, A. S. **Biodeterioração e preservação da madeira**. 1. ed. Brasília: LPF, 2002.

AMBIENTE BRASIL. **Resíduos**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 26 maio 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-1037-06**: Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Pennsylvania, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-5751**: Adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-905-08**: Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. Pennsylvania, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

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

BERTOLINI, M. S.; CHRISTOFORO, A. L.; FERRO, F. S.; LAHR, F. A. R. Madeira tratada com CCA e CCB na produção de painéis de partículas: comparativo de desempenho. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14., 2014, Natal, **Anais...** Natal, RN: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2014.

BOA, A. C. **Aproveitamento de resíduos madeireiros de eucalipto aderidos com resina uréia-formaldeído colados a frio**. 2011. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2011.

BORGES, C. C. **Potencialidade do uso de cruzetas de madeira tratada**. 2008. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. 1995, 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1995.

BULIGON, E. A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 2011, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. MDF produzido com fibras de pinus utilizando uréia-formaldeído. **Revista REMADE**, 2005. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/artigostecnicosdownload.php?num=2730&categoria=Adesivos&subcategoria=Adesivos&title=MDF20produzido20com20fibras20de20pinus20utilizando20urE9ia-formaldeEDdo>>. Acesso em: 8 abr. 2014.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua importância na indústria madeireira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M.

Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II. Vitória, ES: Aquarius, 2007. p. 99-128.

FERRARINI, S. F.; SANTOS, H. S.; MIRANDA, L. G.; AZEVEDO, C. M. N.; PIRES, M. J. R. Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos à base de arseniato de cobre cromatado e de boro/flúor. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 35, n. 9, p. 1767-1771, 2012.

FERREIRA, B. S.; CAMPOS, C. I.; SILVA, M. S.; VALARELLI, I. D. Cisalhamento na linha de cola de compensados de *Eucalyptus* sp. e adesivo PVA. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 19, n. 2, p. 141-146, 2012.

GONÇALEZ, J. C.; BREDA, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba, PR: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Produção de painéis compensados multilaminados de *Eucalyptus*. **Revista REMADE**, nº 111, ano 18, Março de 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1227&subject=Eucalyptus&title>. Acesso em: 8 abr. 2014.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 36, n. 77, p. 73-77, 2008.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J., HASELEIN, C. R., STANGERLIN, D. M., MULLER, M. T., MENEZZI, C. H. S. D. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis

aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 497-506, 2010.

MENDOZA, Z. M. S. H.; EVANGELISTA, W. V.; ARAÚJO, S. O.; SOUZA, C. C.; RIBEIRO, F. D. L.; SILVA, J. C. Análise dos resíduos madeireiros gerados nas marcenarias do município de Viçosa - Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 755-760, 2010.

MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto. **Revista Tecnológica**, Edição Especial ENTECA 2009, p. 35-45, 2009.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 28, n. 5, p. 892-896, 2005.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

MOURA, V. P. G.; MELO, J. T.; SILVA, M. A. Comportamento de procedências de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. aos nove e meio anos de idade, em Planaltina, DF, área de Cerrado. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 46, p. 52-62, 1993.

OLIVEIRA, M. P.; DANTAS, W. C. V. Evolução dos adesivos ecologicamente corretos para o setor madeireiro. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2., 2003, Belo Horizonte, **Anais...** Viçosa, MG: SIF, UFV, 2003. p. 96-104.

PEREIRA, A. F.; CARVALHO, L. S. C.; PINTO, A. C. O. Resíduo de madeira: limites e possibilidades de seu uso como matéria-prima alternativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 9., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SP: Associação de Ensino e Pesquisa de Nível Superior de Design do Brasil, 2010.

PEREIRA, A. F. ECODESIGN: a nova ordem da indústria moveleira - desafios e limites de projeto. In: MADETEC - SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA E TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA A INDÚSTRIA MOVELEIRA, 3., 2005. **Anais...** Vitória, ES: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2005.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SCHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil:** documentos n. 38. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000.

PINCELLI, A.L.P.S.M. **Efeito da termorreificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** 1999. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1999.

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

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology.** 2 ed., New York: Marcell Deckker, 2003. 1024 p.

PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R, L. Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, MG, v. 14, p. 251-258, 2008.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** Brasília: Laboratório de produtos florestais - IBAMA, 2004. Disponível em: <<http://www.mundo florestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2014.

REMADE - Revista da Madeira. Processo de fixação da madeira exige cuidados. ed. 115, julho de 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1288&subject=Adesivos&title=Processo20de20fixaE7E3o20da20madeira20exige20cuidados>. Acesso em: 8 abr. 2014.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, SP, v. 46, p. 76-85, 1993.

ROCHA, M. P. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Série didática 01. Curitiba, PR: FUPEF, 2001. 100 p.

SANTOS, G. P.; ZANUNCIO, T. V.; VINHA, E.; ZANUNCIO, J. C. Influência de faixas de vegetação nativa em povoamentos de *Eucalyptus cloeziana* sobre população de *Oxydia vesulia* (Lepidoptera: Geometridae). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 499-504, 2002.

SOUSA, J. S. **Utilização de adesivos à base de taninos de Acácia Negra e *Eucalyptus pellita* para fabricação de painéis OSB**. 2006. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

SOUSA JÚNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de Turmalina e de Paraopeba (MG)**. 2004. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. 159f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo), Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2005.

TEODORO, A. S.; LELIS, R. C. C. Colagem de madeira sólida com adesivo natural à base de tanino. **Revista da Universidade Rural, Série Ciências da Vida**, Seropédica, RJ, EDUR, v. 25, n. 1, p. 55-59, 2005.

TEREZO, R. F.; NETO, J. P. R.; AGUIAR, O. J. R. Influências de preservantes hidrossolúveis na resistência mecânica da madeira. **Revista REMADE**, nº 89, Abril de 2005. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=737&subject=PreservaC3A7C3A3o&title=InfluC3AAncia20de20preservantes20hidrossolC3BAveis20na20resistC3AAncia20mecC3A2nica20da20madeira>. Acesso em: 4 jul. 2014.

VICK, C. B. Adhesive Bonding of Wood Materials. In: **Wood handbook: wood as an Engineering Material**. Gen. Tech. Rep. FLP-GTR-113. Madison, WI: US. Department of Agriculture, Forest Science, Forest Products Laboratory. Chapter 9, p. 9-1 – 9-24. 1999.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 571-582, 2004.

YILDIZ, U. C.; TEMIZ, A.; GEZER, E. D.; YILDIZ S. Effects of the wood preservatives on mechanical properties of yellow pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. **Building and Environment**, Philadelphia, v. 39, p. 1071-1075, 2004.

APÊNDICE

A – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Tabela A.1 – Análise de variância da densidade básica da madeira tratada com a não tratada.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	1	0,00064	0,00064	0,7334 ^{ns}
Resíduo	32	0,02811	0,00088	
Total	33	0,02875		

ns: não significativo a 1% de significância.

Tabela A.2 – Análise de variância da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira tratada com a não tratada.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	1	25,28419	25,28419	26,3019**
Resíduo	32	30,76176	0,96131	
Total	33	56,04595		

**significativo a 1% de significância.

Tabela A.3 – Análise de variância da resistência ao cisalhamento na linha de cola para madeira não tratada, em função dos adesivos utilizados.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1541,05282	385,26321	222,8490**
Resíduo	80	138,30466	1,72881	
Total	84	1679,35748		

**significativo a 1% de significância.

Tabela A.4 – Análise de variância da falha na madeira não tratada após cisalhamento na linha de cola, em função dos adesivos utilizados.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	113354,25948	28338,56487	267,3687**
Resíduo	80	8479,24705	105,99059	
Total	84	121833,50652		

**significativo a 1% de significância.

Tabela A.5 – Análise de variância da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras com a resistência ao cisalhamento na linha de cola.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	1541,41549	308,28310	202,0217**
Resíduo	96	146,49504	1,52599	
Total	101	1687,91053		

**significativo a 1% de significância.