

REAVI

AVALIAÇÃO COMPARADA DOS PARÂMETROS FÍSICO ANATÔMICOS QUE INFLUENCIAM NA COLAGEM LATERAL DE PAINÉIS DE MADEIRA DE *PINUS ELLIOTTII* E *PINUS TAEDA*

COMPARATIVE EVALUATION OF PHYSICAL ANATOMICAL PARAMETERS THAT INFLUENCE THE SIDE GLUE OF WOOD PANELS OF *PINUS ELLIOTTII* AND *PINUS TAEDA*

Adriano Bolgenhagen*
João Carlos Ferreira de Melo Júnior**
Noeli Sellin***

RESUMO

Os principais interesses despertados neste trabalho, foram as aplicações de tecnologias mais eficazes para melhorar a interação madeira-adesivo em painéis colados avaliando a estabilidade dimensional, garantido assim a qualidade dos produtos usados em móveis de *Pinus* gerados a partir do EGP (*Edge Glued Panel* - painel com colagem lateral). Tendo como objetivo avaliar a resistência e a interação madeira-adesivo da linha de cola em painéis EGP de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* colados lateralmente com adesivo a base de emulsão polimérica de isocianato (EPI). Na produção das uniões das peças de madeiras foram empregados diferentes processos de usinagem (moldureira, lixa e serra), peças com teores de umidade (8 e 15 %) e dimensões (ripas com espessura 45 e 60 mm). Foram avaliadas as propriedades físicas das espécies de madeiras dos elementos colados, avaliando colagem lateral e a colagem de topo através das uniões de topo (*finger joint*). As análises anatômicas mostraram que as duas espécies de *Pinus* não apresentaram diferenças significativas entre si ($p < 0,05$), e que fatores como a densidade da madeira e teor de umidade das ripas estudadas não influenciaram as propriedades mecânicas dos painéis. A resistência ao cisalhamento das espécies de *P. elliottii* e *P. taeda* foram de 137,03 kgf/cm² e 149,36 kgf/cm², respectivamente. A maior resistência à tração das emendas *finger joint*, (262,64 kgf/cm²) foi obtida na colagem da espécie e *P. taeda*. Analisando os requisitos das normas, todas as espécies atenderam os valores mínimos exigidos tanto de falha na madeira quanto de resistência mecânica.

Palavras-chave: móveis de *Pinus*; colagem lateral; emulsão polimérica de isocianato; propriedades mecânicas dos elementos colados

ABSTRACT

The main interests aroused in this work were the application of more effective technologies to improve the wood-adhesive interaction in glued panels, guaranteeing dimensional stability, thus ensuring the quality of products used in *Pinus* furniture generated from EGP (*Edge Glued Panel* - panel with side glue). Aiming to evaluate the strength and wood-adhesive interaction of the glue line in EGP wood panels of *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* laterally glued with an adhesive based on polymeric isocyanate emulsion (EPI). In the production of joints of wooden parts, different machining processes were used (moulding machine, sandpaper and saw), parts with

* UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville. E-mail: adrianobolgenhagen@gmail.com

** UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville. E-mail: jcmelo_wood@hotmail.com

*** UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville. E-mail: nsellin@yahoo.com.br

moisture contents (8 and 15%) and dimensions (slats with thickness 45 and 60 mm). The physical properties of the wood species of the bonded elements were evaluated, evaluating lateral bonding and end bonding through end joints (*finger joint*). The anatomical analyzes showed that the two *Pinus* species did not present significant differences between them ($p < 0.05$), and that factors such as wood density and moisture content of the studied slats did not influence the mechanical properties of the panels. The shear strength of *P. elliottii* and *P. taeda* species were 137.03 kgf/cm² and 149.36 kgf/cm², respectively. The highest tensile strength of *finger joint* seams, (262.64 kgf/cm²) was obtained by bonding the species and *P. taeda*. Analyzing the requirements of the standards, all species met the minimum values required for both wood failure and mechanical strength.

Keywords: *pinus* furniture; side gluing; isocyanate polymeric emulsion; mechanical properties of glued elements.

Data de submissão: 02 de dezembro de 2021

Data de aprovação: 07 de dezembro de 2021

Disponibilidade: DOI 10.5965/2316419010172021031

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma vasta cobertura vegetal, com destaque para as florestas Amazônica e Atlântica. Fator este que desponta o país em termos de diversidade de espécies para estudos e desenvolvimentos de culturas, visando à produção de madeira com potencial comercial (IBA, 2016).

O segmento de florestas plantadas apresenta, além da importante contribuição financeira, diversas contribuições ambientais. Apesar de não serem facilmente mensuráveis, as principais funções dos reflorestamentos são evidentes na economia, sociedade e no meio ambiente. As contribuições econômicas são do desenvolvimento econômico regional e nacional, valorização da terra e contribuição no PIB. No segmento social contribui para a geração de renda, pesquisa científica e educação ambiental para conscientização conservacionista. No aspecto ambiental corrobora para a proteção das florestas nativas e ecossistemas através das áreas de preservação permanente e reservas legais, regulação do clima e gases atmosféricos, conservação dos recursos hídricos e proteção do solo, redução do desmatamento ilegal e principalmente na redução do impacto sobre as florestas nativas (ABIMICI, 2019).

Dentre as espécies plantadas com intuito comercial no Brasil, destacam-se o *Eucalyptus* com 72,0% e *Pinus* com 20,7% do total plantado. A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMICI (2019) destaca os seguintes produtos oriundos dessa base florestal plantada: compensados; madeira serrada; lâminas; e produtos de maior valor agregado (PMVA) tais como portas, pisos, molduras, janelas, painéis sarrafeados e componentes para utilização em mobiliário.

As espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* são as principais espécies utilizadas em plantios comerciais no Brasil, uma vez que apresentaram rápido crescimento, forte reprodução

e fácil aplicação das práticas de silvicultura e de manipulação, assim suprindo a necessidade de matéria-prima das indústrias madeireiras que utilizam *Pinus* em diversos trabalhos (IBÁ, 2016).

A madeira in natura possui algumas limitações para as aplicações nas indústrias, principalmente, pela característica anisotrópica da sua matéria. Dentre elas, pode-se citar a estrutura biológica da madeira, a composição química, as interações provenientes das condições climáticas no período de desenvolvimento, as técnicas de processamento, as limitações dimensionais e os defeitos naturais que afetam principalmente as propriedades físicas e mecânicas das peças de madeira (ALMEIDA, 2013; PRADO, 2021). Segundo Almeida (2013), ao contrário das maiores das causas que influenciam a colagem e seu desempenho, os parâmetros relacionados às características da madeira, várias vezes, não podem ser mudados por causa da sua origem biológica.

O xilema secundário é um tecido vegetal formado por uma sequência de atividades mitóticas do câmbio, termo este que é usado para designar a palavra madeira (MELO JR., 2012). De acordo com Fogaça (2014) são estes elementos que determinam a densidade da madeira, cujo elemento é uma das principais características que influenciam a determinação dos parâmetros de colagem. A propriedade de resistência mecânica das juntas coladas das madeiras se relaciona com a condição de movimentação do adesivo para o interior da estrutura da madeira. Portanto, a ação da anatomia da madeira no funcionamento da colagem está relacionada à porosidade, à densidade e à permeabilidade (FOGAÇA, 2014; IWAKIRI *et al.*, 2017b).

De acordo com Almeida (2013), além da porosidade e presença dos extrativos naturais, a grã da madeira (orientação e paralelismo dos elementos celulares verticais constituintes do lenho em relação ao eixo principal do tronco da árvore ou peças de madeira) reduz a resistência ao cisalhamento da linha de cola quando esta não está paralela às forças de ligação da união e a resistência será maior quando a grã se encontrar na mesma direção da força aplicada.

A textura superficial grosseira da madeira absorve elevada quantidade de cola, resultando numa baixa resistência. Por outro lado, madeira com densidade muito alta e superfície muito lisas não possibilitam a interação suficiente do adesivo, resultando em linha de cola bastante fraca (PRATA, 2010).

A partir do emprego das tecnologias de colagem da madeira é possível ampliar as aplicações desse material. A fabricação de painéis reconstituídos aumenta a qualidade e reduz o impacto na relação custo benefício, pois permite um aumento da dimensão útil do painel, melhora na estabilidade mecânica e dimensional do material (IWAKIRI *et al.*, 2017b).

Segundo Prata (2010), a reconstituição desses painéis colados faz com que a indústria madeireira ganhe destaque no caráter ambiental a partir do aproveitamento da matéria-prima, reduzindo os impactos da escassez das madeiras comerciais e fomentando o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor, como por exemplo, a produção dos painéis EGP (da abreviação do termo em inglês, *Edge Glued Panel*).

Conforme Lopes *et al.* (2013), cerca de 70% dos produtos da indústria madeireira utilizam tecnologias de colagem, o que explica a crescente substituição da madeira maciça por artigos derivados como painéis com colagem lateral e emendas *finger joint* (pequenos dentes, com encaixe macho-fêmea, que unem duas peças de madeira).

No mercado nacional, os painéis com colagem lateral são fabricados a partir de peças de madeira de *Pinus* e *Eucalyptus* na sua maioria, e empregam adesivos como poliacetato de

vinila (PVAc) e emulsão polimérica de isocianato (EPI) (ALMEIDA, 2013; CARVALHO, 2016, TRIANOSKI, et al 2020).

Com o aumento da conscientização ambiental e a busca pela redução dos custos envolvendo as matérias-primas do setor madeireiro, o processamento de madeira secundária é uma necessidade e apresenta-se como um desafio para o desenvolvimento de alternativas na substituição da madeira in natura (ABIPA, 2017; MOTTA *et al.*, 2014). Desse modo, o aprimoramento de técnicas de processamento pela indústria inclui melhorias que envolvem o plantio, o manejo e o beneficiamento dessa matéria-prima (ALMEIDA, 2013; BILA, 2014; FONTE, 2016).

Porém, para confecção produtos PMVA é importante que seja avaliada primeiramente a capacidade de adesão dessas madeiras. Neste sentido, estão sendo realizadas pesquisas de interesse no conhecimento entre a interação da gramatura e o tipo de adesivo, visando a análise do efeito significativo nos valores de resistência ao cisalhamento (BIANCHE, 2014; PRATA, 2010). Outra linha de pesquisa bastante estudada relaciona o tipo de adesivo utilizado e seu efeito na resistência ao cisalhamento das emendas colada (BIANCHE, 2014; TRIANOSKI, 2012).

De acordo com Bianche (2014), a grande maioria dos painéis de madeiras colada é empregada para os setores do mobiliário e construção civil. Especificamente para EGP de *Pinus* usado na indústria moveleira, o principal interesse despertado é o acréscimo de conhecimentos científicos de produção eficazes para melhorar a interação madeira-adesivo no desenvolvimento de painéis com maior estabilidade dimensional e resistência mecânica, garantido assim a qualidade de seus produtos.

Contudo, este procedimento ainda apresenta pontos que merecem aprimoramentos técnicos, visando avaliar aspectos que afetam o processamento desses painéis na indústria, tais como, a influência dos anéis de crescimentos da madeira na orientação da formação dos painéis, o tratamento das tensões da madeira de *Pinus* jovem para que sejam inertes nos processos de colagem, as características ambientais do processo que devem ser controladas a fim de se garantir a estabilidade da colagem, além de avaliações da qualidade superficial da madeira usinada para que se atinja a resistência de linha de cola desejada.

A maioria desses testes de resistências de juntas coladas preveem simular as piores condições de uso de cada produto, assim também como as piores condições ambientais de transporte e acomodação (ALMEIDA, 2013).

De acordo com os estudos de Prata (2010), para avaliar a qualidade da colagem de painéis EGP formados com madeiras de espécies de *Pinus* tropicais são usadas as normas EN 13353 (2008) e ASTM D5572 (2006).

O presente trabalho buscou estudar algumas variáveis de processo na produção moveleira do painel EGP (espécies de *Pinus*, teor de umidade, largura das ripas, emendas e tipos de processo de usinagem gerador de acabamento para a colagem) visando avaliar a influência de cada uma delas na busca de melhor estabilidade de colagem, tendo em vista que na maior parte dos trabalhos ligados à produção de painéis de madeira reconstituída o estudo fica restrito da somente à resistência das linhas de cola, aos tipos de adesivos usados visando a busca de melhoria no desempenho mecânico do EGP.

Por essa razão, este trabalho propôs avaliar a resistência e a interação madeira-adesivo da linha de cola em painéis de madeira de *Pinus* das duas espécies mais comuns usadas na indústria (*Pinus elliottii* e *Pinus taeda*) visando contribuir para determinação dos parâmetros

que mais influenciam à obtenção de painéis que atendida à expectativa de qualidade exigida pelo mercado consumidor de móveis.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No estudo foram usadas madeiras das espécies *Pinus elliottii* e *taeda* em condições paramétrica similares e idade de corte de 15 anos, com corte tangencial e diâmetro na altura do peito (DAP) aproximado de 25 cm. Secas em estufa com ventilação forçada (4,0 m/s) e acondicionadas em três estágios de 24 horas : 45, 50 e 60 ° C, obtendo teor médio de umidade entre 8 e 15%.

Cada lote para investigação foi de 10 m³ de onde foram retiradas 100 ripas para cada espécie de *Pinus*, medindo 1000 x 68 x 25,4 mm (ABNT NBR 7190, 1997). Essas madeiras foram submetidas ao processo de fabricação da empresa Móveis Rudnick S.A., formando painéis seriados de produção de móveis para exportação com colagem lateral (EGP) e topo do tipo *finger joint*. A madeira foi recebida e acondicionada em um depósito com temperatura e umidade controlada, usinada mecanicamente em processos com moldureira fresadora, lixa e serra, produzindo peças com as faces acabadas, com dimensões finais de 45 mm e 60 mm de largura e comprimento abaixo de 600 mm. Para determinação do número de amostras dos ensaios, foi utilizada NBR 7190 (1997).

Na fabricação dos painéis EGP, empregou-se gramatura de cola de 220 g/m² e proporção de mistura 10/1 da cola EPI 1975 e catalisador 1993 (fabricante Akzo Nobel). Formação de painel recebendo pressão dos pratos laterais e superiores 40 e 100 BAR com ciclo de 89 segundos em prensa de alta frequência.

O planejamento experimental foi realizado a partir da análise do processo de fabricação onde as variáveis selecionadas foram: espécie de madeira - (2 espécies de *Pinus* – *elliottii* e *taeda*), tipo de corte (Tangencial), teor de umidade da madeira (8 e 15%), processo de usinagem (lixa, moldureira, serra), largura da ripa (45 e 60 mm) e sistema de colagem (lateral e *finger joint*).

As análises das madeiras foram de forma macroscópica e microscópica por meio dos cortes histológicos e de material macerado, foi utilizado um micrótomo de deslize Zeiss Hyrax S30, espessura de 20 µm, em corte : transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial (FOGAÇA, 2014) e visualizados em microscópio Olympus CX31e os elementos da anatomia descritiva da espécie, seguiram a metodologia de IAWA Committee (1989).

Para a definição das propriedades físicas das madeiras seguiram COPANT 461 (1972) e COPANT 462 (1972).

A densidade foi determinada seguindo n amostral da NBR 14660 (2004) e método da balança hidrostática, conforme descrito na norma NBR 11941 (2003). O teor de umidade em base de massa úmida dos corpos de prova utilizados nos experimentos foi determinado por termo gravimetria em estufa, ABNT NBR 14929 (2017). O pH das madeiras foi determinado utilizando um pHmetro de Bancada 94V Q400AS Quimis e norma TAPPI 252 om-12 (2012).

As forças das tensões da secagem foram avaliadas conforme a metodologia descrita por Pratt (1974). Para cada espécie de *Pinus*, foram utilizados 25 corpos de prova do centro da tábua. Todas as superfícies das peças usinadas foram submetidas à medição da rugosidade “Ra” (rugosidade média) e “Rz” (altura máxima do perfil de rugosidade). Foi utilizado um

rugosímetro eletromecânico, marca Taylor Hobson, modelo SURTRONIC 25, com ponta esférica de diamante com diâmetro 0,2 mm (ABNT NBR 4287, 2002).

Para o teste de cisalhamento na linha cola foi realizada adaptação das normas ASTM D 5751 (1999) e a ABNT NBR 7190 (1997) uma vez que os corpos de provas foram retirados de painéis dimensionais comerciais. A resistência da lâmina de cola à tração normal da madeira seguiu procedimento descrito pela norma ABNT NBR 7190 (1997) e os corpos de prova usados para tração da emenda finger seguiram os parâmetros descritos na norma ASTM 5572 (2006), submetidos à ao pré-tratamento à seco.

Para cada variável considerada foram obtidas a média e o respectivo desvio padrão. Seguido o teste da normalidade dos dados de Shapiro-Wilks, foram aplicados os testes t de Student e o teste de Kruskal-Wallis, respectivamente para dados referentes à anatomia e às propriedades físicas da madeira com ou sem distribuição normal. Os testes consideram o nível de significância de $\alpha \leq 0,05$.

Foi utilizada a análise de componentes principais (PCA) para determinar a maior variância entre as variáveis selecionadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R studio com interface ao pacote R commander.

3 RESULTADOS

3.1 CARATERÍSTICAS MACRO E MICROSCÓPICAS

A madeira do *P. elliottii* apresenta cerne e alborno bastante indistintos, com coloração amarela, grã direita, textura média grossa, anéis de crescimento definidos e crescimento excêntrico. No *P. taeda* o cerne e alborno são indistintos, coloração amarela clara, grã direita, textura média a grossa, anéis de crescimento definidos e crescimento bastante excêntrico. As propriedades organolépticas e os caracteres gerais das duas espécies apresentam características macroscópicas muito similares entre si, pois pertencem ao mesmo gênero (KLOCK, 2000).

Na Tabela 1, estão apresentadas as características microscópicas das duas espécies, onde estão apresentados os valores médios do comprimento dos traqueídeos, espessura da parede do lenho juvenil e tardio, tamanho do raio e pontoações.

Tabela 1 – Médias e desvio padrão das características microscópicas das madeiras das espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Variável	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>
Comprimento do traqueídeo (μm)	2596,11 \pm 429,88 ^a	2786,17 \pm 130,20 ^b
Espessura da parede do lenho juvenil (μm)	4,12 \pm 1,14 ^a	5,03 \pm 1,46 ^b
Espessura da parede do lenho tardio (μm)	5,13 \pm 1,06 ^a	7,24 \pm 1,79 ^a
Tamanho do raio – altura (μm)	23,72 \pm 6,45 ^a	24,91 \pm 5,00 ^b
Tamanho das pontoações (μm)	36,29 \pm 6,62 ^a	36,23 \pm 7,38 ^b

Fonte: Elaborado pelos autores.

*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de $\alpha \leq 0,05$ pelo teste de Kruskal-Wallis.

Verifica-se da Tabela 1 que nas duas espécies de *Pinus*, os traqueídeos são elementos relativamente grandes quando comparados aos outros elementos microscópicos estudados. No *P. elliotti*, os traqueídeos apresentaram valores médios de 2596,11 μm , ligeiramente menores que os comprimentos encontrados para os mesmos elementos do *P. taeda* de 2786,17 μm . Essas variações no comprimento dos traqueídeos também foram encontradas por Trianoski (2012). Dentre as sete espécies estudadas pelo autor, o *Pinus caribaea bahamensis* apresentou o maior comprimento de traqueídeos, com valor médio de 3260,00 μm , enquanto, o *P. taeda* apresentou o menor comprimento médio, de 2290,00 μm .

Comparando duas espécies de *Pinus*, Lopes *et al.* (2013) observou que o *P. elliottii* apresentou um comprimento médio de 3702,37 μm , e o *P. taeda* apresentou de 3742,04. De acordo com Trianoski (2012), o comprimento dos traqueídeos são influenciados pelas divisões que ocorrem no câmbio, assim como, pelas altas taxas de hormônios e pelas ótimas condições de produção celular, otimizadas pelas rápidas divisões celulares, gerando assim elementos mais alongados.

De acordo com Lopes *et al.* (2013) e Trianoski (2012), os o comprimento desses elementos também está associado a fatores como, condições genéticas de cada espécie, diâmetro e altura da árvore, resulta da diferença entre os lenhos juvenil e tardio.

A espessura das paredes desses elementos ficou compreendida entre os valores médios das paredes do lenho juvenil de 4,12 μm (*P. elliottii*) e 5,03 μm (*P. taeda*), enquanto, os valores encontrados para a espessura média dos traqueídeos no lenho tardio foram de 5,13 μm (*P. elliottii*) e 7,24 μm (*P. taeda*). Ao se avaliar o aumento da espessura da parede entre os lenhos juvenil e tardio, observa-se que ocorre um aumento no espessamento com o aumento da idade. Observações similares foram feitas em estudo de Klock (2000), nos quais a espessura média dos traqueídeos no lenho juvenil foram de 5,61 a 7,48 μm (*P. elliottii*) e de 5,69 a 7,60 μm (*P. taeda*), enquanto, a espessura média dos traqueídeos no lenho tardio foram de 7,78 a 10,04 μm (*P. elliottii*) e de 7,44 a 11,02 μm (*P. taeda*).

Trianoski (2012) encontrou nos seus estudos maior valor médio, de 9,80 μm , na espessura das paredes para a espécie de *Pinus oocarpa*. Estatisticamente, este resultado foi o maior encontrado nos seus estudos. Enquanto, a menor espessura foi apresentada pela espécie de *Pinus chiapensis*, com valor médio de 6,89 μm , sendo estes valores próximos aos encontrados no presente trabalho.

O tamanho das pontoações encontradas foram de 36,29 μm e 36,23 μm , para o *P. elliottii* e *P. taeda*, respectivamente. Lopes *et al.* encontrou pontoações areoladas do lenho inicial, com média de 29,2 μm de diâmetro tangencial no *P. elliottii* e pontoações areoladas do lenho inicial com média de 30,5 μm de diâmetro no *P. taeda*.

3.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

A densidade específica do *Pinus elliottii* apresentou-se uniforme, sendo encontrado valor médio de 0,489 g/cm^3 , para o *Pinus taeda*, encontrou-se o valor médio de 0,410 g/cm^3 . Os valores estes similarmente encontrados por pesquisadores em estudos com as mesmas espécies, Almeida (2013) obteve em seus estudos, densidade da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 0,320 g/cm^3 . Quanto menor for a densidade da madeira, maior será a porosidade da estrutura, e consequentemente maior será a

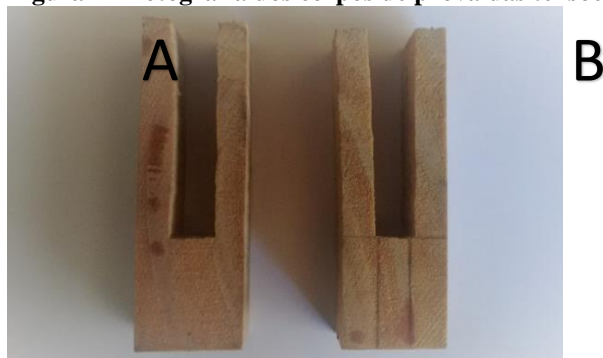
coesão do processo de colagem, porque o adesivo terá mais facilidade de penetrar na estrutura da madeira (FOGAÇA, 2014).

Os resultados obtidos para retratabilidade volumétrica do *Pinus elliottii* e do *Pinus taeda*, foram de 8,64 % e 8,91 %. Em relação a essa propriedade, os valores médios variam dentro de uma conformidade, conforme apresentado por Klock (2000), que afirma que em espécies de *Pinus* é comum encontrar contrações de até 12%.

Os coeficientes de variação apresentados pelas espécies para variação volumétrica estão próximos a 10%. Em estudos de Trianoski (2012), comparando a estabilidade dimensional de sete espécies de *Pinus*, foram obtidas contrações volumétricas de 10,64 % para o *Pinus taeda*. A retratabilidade volumétrica é uma propriedade física de grande relevância, a qual é responsável pela alteração dimensional da madeira nos processos de colagem e secagem.

As forças das tensões ocasionadas pela secagem foram avaliadas conforme a metodologia descrita por Pratt (1974) e são mostradas pela Figura 1. Não foram observadas tensões acentuadas de secagem na madeira das duas espécies. Neste caso, apesar da madeira apresentar um gradiente de umidade que varia de 8 a 15 %, o teste de garfo não demonstrou tensões de secagem.

Figura 1 - Fotografia dos corpos de prova das tensões do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.



Fonte: Elaborado pelos autores, conforme a metodologia descrita por Pratt (1974).

Legenda:

- A. Corpo de prova para tensões de secagem pelo teste do garfo da espécie de *P. elliottii*.
- B. Corpo de prova para tensões de secagem pelo teste do garfo da espécie de *P. taeda*.

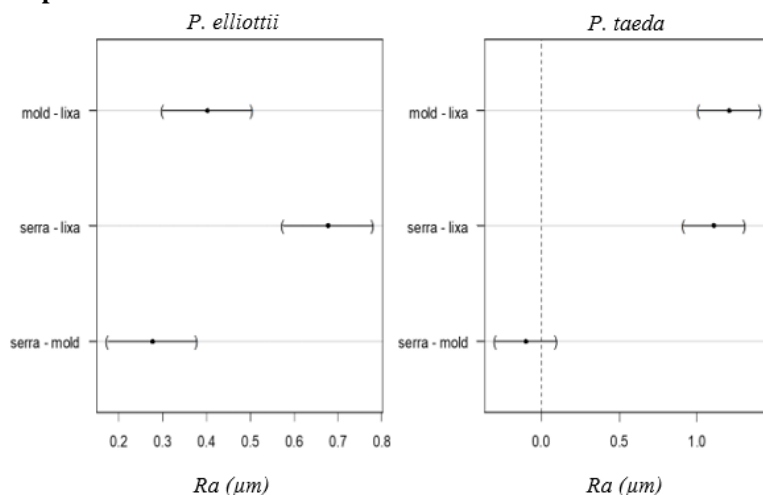
O teor de umidade médio obtido variou na faixa de 7,82 e 15,02% para o *Pinus elliottii* e de 7,98 e 15,16% na espécie *Pinus taeda*, estes coerentes ao padrão requerido. O pH encontrado nas madeiras de *Pinus elliottii* e *taeda* foram de 4,81 e 4,95. Almeida (2013), em estudos com a madeira da espécie de *Pinus elliottii*, encontrou um valor médio de 3,51. Para que não ocorra a degradação da madeira, o pH do adesivo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11 (TRIANOSKI, et al, 2020).

As tensões de secagem estão associadas ao percentual de umidade da madeira e a alta velocidade empregada no processo de secagem (PINHEIRO, 2014). As forças das tensões foram avaliadas conforme a metodologia descrita por Pratt (1974) e não foram observadas tensões acentuadas nas duas espécies. Neste caso, apesar da madeira apresentar um gradiente de umidade que varia de 8 a 15 %, o teste de garfo não demonstrou tensões de secagem.

3.3 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Quando analisadas as rugosidades geradas em cada processo de usinagem nas duas espécies de *Pinus*, é possível observar que houve diferenças significativas e processo de corte com serra apresentaram maiores valores médios. No Gráfico 1 está apresentado o comparativo das duas espécies em relação à rugosidade gerada na usinagem, consequente da ANOVA e diligente ao teste de Tukey com grau de confiança de 95 %.

Gráfico 1 - Comparativo par a par da rugosidade gerada nos processos de lixa, moldureira e serra das duas espécies de *Pinus*.



Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível verificar através do gráfico 1, que houve diferença significativa nos três processos inerentes à espécie de *P. elliottii*. Os processos que envolvem a serra, tendem a proporcionar maior rugosidade. Para a espécie de *P. taeda* ocorreu diferença significativa apenas entre os processos moldureira-lixas e moldureira-serra, enfatizando madeira macia e menos resistente às ações mecânicas externas (PRATA, 2010).

3.4 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS JUNTAS COLADAS

Os maiores valores encontrados para o cisalhamento paralelo a linha de cola nas espécies de *Pinus elliottii* e *taeda* foram 137,030 kgf/cm² e 149,360 kgf/cm² foram obtidos no processo de lixamento, com ripas de 45 mm e umidade de 15%. A predominância dos melhores resultados foi para a espécie *Pinus taeda*, contudo ambas espécies de madeira atenderam os requisitos mínimos estabelecidos em norma ASTM D 5751 (1999).

Os melhores resultados encontrados em painéis de *P. taeda* nos estudos de Lopes *et al.* (2013) foram 77,80 kgf/cm². Iwakiri *et al.* (2017), avaliando a resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano em *Pinus elliottii*, obtiveram resistência ao cisalhamento, na etapa a seco de 65,77 kgf/cm².

A maior deformação de ruptura encontrada para as amostras foi de 10,22 mm na espécie de *Pinus elliottii* para painéis com ripas de 45 mm, umidade de 15%, processo de lixamento, valor este abaixo do exigido em norma NBR 7190 (1997). Foi de 1100,320 N a força máxima

no cisalhamento da linha de cola do processo com lixa ripas de 45 mm e com teor de umidade de 8%, este sendo o melhor resultado.

Os maiores valores encontrados para a resistência da linha de cola foram para *Pinus taeda* de 33,92 kgf/cm² e 28,44 kgf/cm², e foram obtidos no processo de lixamento das ripas de 45 mm de espessura e com teor de umidade de 8%. A deformação na tração variou de 0,190 a 0,327 mm nas duas espécies.

3.5 RESISTÊNCIA DA EMENDA DENTADA DO TIPO *FINGER JOINT*

A avaliação da qualidade da colagem das emendas *finger joint*, foi realizada a partir dos resultados dos ensaios de resistência à tração com pré tratamento à seco de acordo com a norma ASTM 5572 (2006), onde os corpos de prova foram submetidos à tração à seco referente à etapa de classificação de cola visando atingir requisitos mínimos de resistência à tração estática.

Dentre dos parâmetros avaliados, a espécie que apresentou o maior valor (262,640 kgf/cm²) de resistência à tração das emendas *finger joint* foi a espécie e *Pinus taeda*, com ripas de 45 mm, teor de umidade de 15% e processo de serra.

Os resultados obtidos para as emendas *finger joint* para o ensaio de tração, foram comparados com o valor mínimo de resistência à tração estipulados na norma ASTM 5572 (2006), de 140,720 kgf/cm², para os ensaios realizados na condição seca, demonstrando assim que os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo do padrão mínimo exigido.

A força máxima aplicada no momento de ruptura é bastante significativa. A força de rompimento aplicada foi de 3211,34 N em uniões finger oriunda do processo com serra, ripa de 60 mm, teor de umidade de 8% para a espécie de *Pinus taeda*.

3.6 RESISTÊNCIA TÉRMICA DA COLAGEM

As médias referentes ao percentual de falha das juntas coladas com o adesivo EPI nas duas espécies de *Pinus*, especificados pela norma ASTM D 3110 (ASTM, 1994).

Dentre as variações estudadas (espécie de madeira, tipo de processo de usinagem, espessura da ripa e teor de umidade), é possível verificar na avaliação da resistência térmica da linha de colagem, o melhor resultado foi de 0,05 % de abertura total, para painéis EGP de *Pinus* formados pelo processo de serra, com teor de umidade de 15 % e ripas de 45 mm. O pior resultado foi de 3,91 %, para painéis EGP de *Pinus* formados pelo processo de serra, com teor de umidade de 8 % e ripas de 45 mm. Neste caso, houve uma tendência de aumento de abertura de linha de cola com o aumento da temperatura.

Na avaliação da resistência térmica da linha de colagem para o *Pinus taeda*, o melhor resultado encontrado foi a não ocorrência de abertura de linha de cola em duas classificações diferentes, sendo a primeira, para painéis de formados pelo processo de lixa, com teor de umidade de 15 % e ripas de 45 mm, e a segunda, para painéis de formados pelo processo de moldureira, com teor de umidade de 8 % e ripas de 60 mm. O pior resultado foi de 1,90 %, para os painéis EGP de *Pinus* formados pelo processo de moldureira, com teor de umidade de 8 % e ripas de 45 mm, os quais apresentaram aumento na abertura de linha de cola a 80 °C.

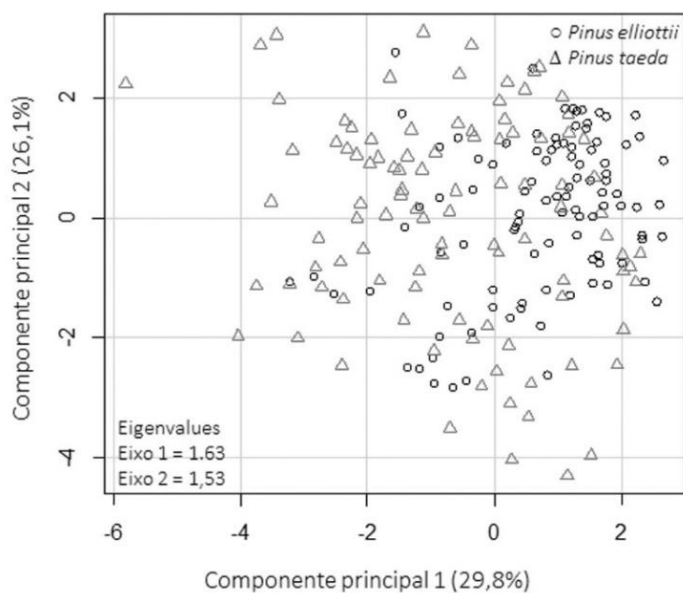
De acordo com Lopes *et al.* (2013), fatores associados a pressão de prensagem, densidade da madeira e tipo de adesivo empregado são relevantes para obtenção de melhores resultados de resistência da linha de cola.

Conforme os registros do Laboratório de Tecnologia da Madeira e Mobiliário (LTMM), diversas amostras com colagem testadas têm apresentado valores médios de aberturas inferiores a 10%, valor este considerado satisfatório tomando-se como referência o método de ensaio e os resultados que apresentaram 0,71 % de abertura de linha de cola, abaixo do padrão de referência.

3.6 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

Com a análise de componentes principais foi possível construir os gráficos bidimensionais contendo a informação estatística relevantes para cada processo de fabricação (moldureira, lixa e serra). A análise de componentes principais (PCA), referente ao processo de molduramento, mostrou que os dois primeiros eixos explicaram 55,9 % da variância total dos dados (Gráfico 2 e tabela 2). A variável de força máxima à tração foi mais relacionada ao eixo principal 1, que explicou 29,8 % da variância. As variáveis de força máxima finger e tensão finger estiveram mais relacionadas ao eixo principal 2, que explicou 26,1 % da variância.

Gráfico 2 - Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com moldureira em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *taeda*. Os dois primeiros eixos principais explicam 29,8 % e 26,1 % da variância dos dados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

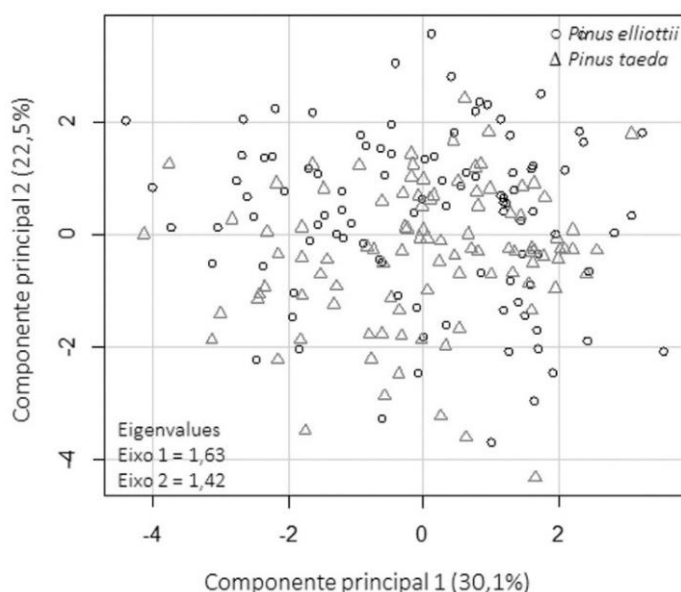
Tabela 2 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com moldureira em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *taeda*.

Componentes de carga	Componente 1	Componente 2
Deformação ao cisalhamento	0,04	-0,17
Deformação Finger	-0,35	-0,29
Deformação à tração	-0,28	0,15
Força máxima ao cisalhamento	0,24	-0,40
Força máxima Finger	-0,36	-0,46
Força máxima à tração	-0,46	0,21
Tensão ao cisalhamento	0,25	-0,41
Tensão Finger	-0,36	-0,46
Tensão à tração	-0,44	0,20
Desvio padrão	1,63	1,53
Porcentagem do total da variância explicada (%)	29,8	26,1

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise de componentes principais (PCA), referente ao processo de serra, mostrou que os dois primeiros eixos explicaram 52,6 % da variância total dos dados (Gráfico 3 e tabela 3). As variáveis de força máxima finger e tensão finger foram as mais relacionadas ao eixo principal 1, que explicaram 30,1 % da variância. As variáveis de força máxima à tração e tensão à tração estiveram mais relacionadas ao eixo principal 2, com 22,5 % da variância.

Gráfico 3 - Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com serra em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *taeda*. Os dois primeiros eixos principais explicam 30,1 % e 22,5 % da variância dos dados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

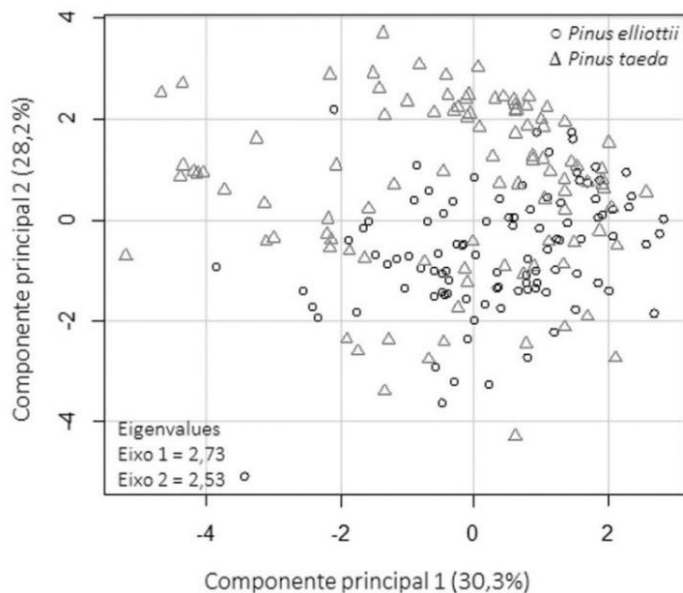
Tabela 3 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com serra em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *taeda*.

Componentes de carga	Componente 1	Componente 2
Deformação ao cisalhamento	0,14	-0,17
Deformação <i>Finger</i>	-0,34	0,09
Deformação à tração	-0,04	0,03
Força máxima ao cisalhamento	-0,38	-0,28
Força máxima <i>Finger</i>	-0,53	0,03
Força máxima à tração	0,08	-0,62
Tensão ao cisalhamento	-0,38	-0,28
Tensão <i>Finger</i>	-0,52	0,07
Tensão à tração	0,07	-0,63
Desvio padrão	1,63	1,42
Porcentagem do total da variância explicada (%)	30,1	22,5

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise de componentes principais (PCA), referente ao processo de lixa, mostrou que os dois primeiros eixos explicaram juntos 58,5 % da variância total dos dados (Gráfico 4 e tabela 4). A variável de deformação *finger* foi a mais relacionada ao eixo principal 1, que explicaram 30,3 % da variância. As variáveis de força máxima *finger* e tensão *finger* estiveram mais relacionadas ao eixo principal 2, que explicou 28,2 % da variância.

Gráfico 4 - Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com lixa em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *taeda*. Os dois primeiros eixos principais explicam 30,3 % e 28,2 % da variância dos dados, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com lixa em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *taeda*.

Componentes de carga	Componente 1	Componente 2
Deformação ao cisalhamento	0,20	0,18
Deformação <i>finger</i>	-0,43	-0,28
Deformação à tração	-0,31	0,18
Força máxima ao cisalhamento	0,32	-0,37
Força máxima <i>finger</i>	-0,35	-0,44
Força máxima à tração	-0,33	0,24
Tensão ao cisalhamento	0,32	-0,37
Tensão <i>finger</i>	-0,30	-0,49
Tensão à tração	-0,34	0,25
Desvio padrão	1,65	1,59
Porcentagem do total da variância explicada (%)	30,3	28,2

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pela análise das componentes principais que representam combinações lineares de um grupo de variáveis sob estudo é possível verificar que os resultados dos ensaios apresentaram maior variância nos eixos ortogonais 1 e 2.

A variância acumulada dos dois primeiros eixos foi de 55,9 % para o processo com moldureira, 52,6 % para processo com serra e 58,5 % para processo com lixa. Nos três processos, a força máxima *finger* foi a variável mais relacionada aos melhores resultados na resistência mecânica de painéis sarrafeados.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi avaliada a influência de alguns parâmetros de produção que interferem na interação madeira-adesivo e adesão da linha de cola em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* colados lateralmente com adesivo a base de emulsão polimérica de isocianato (EPI), visando a resistência mecânica da linha de cola.

Por meio das análises empregadas foi possível identificar as variáveis do processo que apresentam melhor comportamento para a colagem dos painéis EGP. Com base nas análises realizadas e nos resultados avaliados, pode-se concluir que a espécie de *Pinus elliottii* é mais densa, quando comparada com a espécie de *Pinus taeda*, porém a diferença de densidade não é significativa para as resistências mecânicas avaliadas.

Em decorrência da menor massa específica, as amostras de *Pinus taeda* apresentam maior permeabilidade, mostrando dessa forma melhor ancoramento mecânico e adesão das juntas coladas.

As duas espécies de *Pinus* apresentam traqueoides com elevado comprimento, diâmetro de lume mediano e parede celular espessa, permitindo uma ancoragem adequada para adesivos EPI.

As duas espécies de madeira apresentaram características físicas adequadas para a utilização em produtos colados e para a produção de painéis colados lateralmente.

As duas espécies de madeira foram classificadas com boa estabilidade dimensional. Quando comparada histologicamente a espécie de *Pinus elliottii* ao *Pinus taeda* a diferença não é acentuada para a produção de painéis EGP.

REAVI

As espécies estudadas apresentaram teor de umidade médio que variaram de 7,82 até 15,16 %, faixa está considerada dentro de um limite recomendado pelo fabricante de adesivo, porém em função destes valores estarem numa faixa próxima, não influenciou significativamente o processo de colagem.

A rugosidade superficial da madeira mostrou-se importante na avaliação da qualidade do produto final. Em superfícies mais lisas, originadas de processos como o de lixamento, a adesão foi menor, assim os processos de usinagem com serra tendem a proporcionar melhores resultados na colagem, por apresentarem rugosidade superficial maior.

Para a indústria, o processamento com o auxílio de serra torna o processo produtivo mais eficiente, principalmente, em relação à quantidade de peças produzidas por hora ser maior que nos processos de lixamento e molduramento e o custo de operação ser menor.

As ripas com 60 mm apresentaram melhores resultados de resistência a adesão. Para a produção dos painéis, esse fator também desponta como vantagem competitiva operacional quando comparada com a dimensão de 45 mm, uma vez que é possível reduzir a etapa de desdobro e colagem em ¼ de tempo e trabalho.

Na colagem de topo, a preferência é dada para produção de painéis com emenda *finger joint* pelo fato de ocorrer a melhor distribuição de tensões mecânicas.

Analisando os quesitos das normas e os valores de encontrados em trabalhos disponíveis na literatura, as duas espécies apresentaram valores mínimos exigidos tanto de falha na madeira quanto de resistência mecânica.

A utilização das duas espécies atende a expectativa de qualidade exigida pelo mercado consumidor. Porém, a espécie de *Pinus taeda* apresentou melhor resistência mecânica aos esforços mecânicos, processada com serra, ripa de 60 mm e emendas de topo.

REFERÊNCIAS

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – **Estudo setorial 2019 da indústria de madeira processada mecanicamente**. Curitiba, 2019.

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Estudo setorial** Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 04/06/2020.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade**. NBR ISO 4287 – 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – Amostragem e preparação para análise**. NBR 14660. 2004. 18 p

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – Determinação da densidade básica**. NBR 11941. 2003. 24 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos**. NBR 14929. 2017. 17 p.

REAVI

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de estruturas de madeira**. NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5572: **Standard Specification for Adhesives Used for *Finger joints* in Nonstructural Lumber Products**. 2006.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5751 – 99: (rev 2005) **Standard specification for adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products**. Pennsylvania, 1995. 11 p.

BIANCHE, J. J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura**. Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2014. Tese de doutorado.

BILA, N. F. **Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 2014.

CARVALHO, M. Z. **Abordagem multivariada do comportamento das propriedades físico-químicas e caracterização de adesivos naturais à base de taninos**. Lavras: UFLA, 2016. 135 p. Tese de doutorado.

COPANT - Comisión Panamericana de Normas Técnicas – Norma 461- **Maderas: método de determinación del peso específico aparente**, 1972 (COPANT 30: 1-004, 1971)

COPANT - Comisión Panamericana de Normas Técnicas – Norma 462- **Maderas: método de determinación de la contracción**, 1972 (COPANT 30: 1-004, 1971)

FOGAÇA, A. P. **Determinação da qualidade de colagem e desempenho mecânico de painéis EGP comerciais. Trabalho de conclusão de curso** (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Itapeva, 2014.

FONTE, A. P. N. **Utilização da madeira de *cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2016.

IAWA COMMITTEE. **List of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin, v. 10, p. 220-332, 1989.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Indicadores de desempenho de árvores plantadas – ano base 2016**. 80 p. – Brasília, DF, 2016

IWAKIRI, S.; BILA, F. N.; TRINOSKI, R.; PRATA, G. J. Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **FLORESTA**, [S.l.], v. 46, n. 4, p. 455-464, jan. 2017. ISSN 1982-4688.

KLOCK, U.; **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 291f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000b.

LOPES, M. C.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; TANOBE, V. O. A.; CHINASSO, C. A. F.; ROSSO, S. **Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos**. CERNE [online]. 2013, vol.19, n.4, pp.613-619. ISSN 0104-7760.

MELO JR.; J. C. F. **Anatomia de madeiras históricas: um olhar biológico sobre o patrimônio cultural**. Joinville: Editora UNIVILLE, 2012.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C.; VIDAURRE, G. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*) evaluation of the shear strength of bonded joints of teak wood (*Tectona grandis*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 615-621, 2014.

PINHEIRO, C. **Efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de *Pinus elliottii***. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

PRADO, Lucas Andre. **Viabilidade do uso das colas EPI e PVAC em produtos não estruturais de madeira maciça de eucalipto**. 2021. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* Tropicais para produção de painéis colados lateralmente (edge glued panels – EGP)**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, 2010.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Building Research Establishment, 1974, 152p.fl

RANJAN, M.; KHALI, D.P.; ISMITA, N.; KISHANKUMAR V.S.; Gupta, S. Effect of adding Urea Formaldehyde in Polyvinyl acetate on the bending properties of *Finger jointed* Wood sections. **International Archive of Applied Sciences and Technology**. 2019

TAPPI – Technical Association Of The Pulp And Paper Industry. TAPPI 252. **pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard**. Atlanta. 2012.

REAVI

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos.** 2012. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TRIANOSKI, Rosilani; IWAKIRI, Setsuo y BONDUELLE, Ghislaine Miranda. **Qualidade das juntas coladas de madeira de cinco espécies de *Eucalyptus* com adesivos acetato de polivinila e resorcina-formaldeído.** Madera bosques [online]. 2020, vol.26, n.3