



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

YASMIM DIAS MENDES

**POTENCIAL ADESIVO DO ÁCIDO CÍTRICO NA CONFEÇÃO DE PAINÉIS DE
LÂMINAS PARALELAS (LVL).**

BRASÍLIA
AGOSTO DE 2021

YASMIM DIAS MENDES

**POTENCIAL ADESIVO DO ÁCIDO CÍTRICO NA CONFEÇÃO DE PAINÉIS DE
LÂMINAS PARALELAS (LVL).**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

BRASÍLIA-DF,
AGOSTO DE 2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DM538p Dias Mendes, Yasmim
POTENCIAL ADESIVO DO ÁCIDO CÍTRICO NA CONFEÇÃO DE
PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS (LVL). / Yasmim Dias Mendes;
orientador Claudio Henrique Soares Del Menezzi. -- Brasília,
2021.
37 p.

Monografia (Graduação - Engenharia Florestal) --
Universidade de Brasília, 2021.

1. Adesivo bio-baseado. 2. Laminated Veneer Lumber. 3.
Livre de formaldeído. 4. Compósito Laminado. 5. Adesivo
orgânico. I. Henrique Soares Del Menezzi, Claudio, orient.
II. Título.

ANEXO FOLHA DE MENÇÃO TCC - YASMIM DIAS MENDES

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

POTENCIAL ADESIVO DO ÁCIDO CÍTRICO NA CONFEÇÃO DE PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS (LVL)Estudante: **Yasmim Dias Mendes**Matrícula: **12/0138727**Orientador: **Cláudio Henrique Soares Del Menezzi**Menção: **SS**

Aprovada por:

Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Dr. Divino Eterno Teixeira

LPF/SFB
Membro da Banca

Dra. Mirian de Almeida Costa

EFL/UnB
Membro da Banca

Brasília, 20 de agosto de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, Professor(a) de Magistério Superior da Faculdade de Tecnologia**, em 15/09/2021, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por **DIVINO ETERNO TEIXEIRA, Usuário Externo**, em 15/09/2021, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



Documento assinado eletronicamente por **Mirian de Almeida Costa, Usuário Externo**, em 15/09/2021, às 19:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unb.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7032913** e o código CRC **59E39BFA**.

Dedico este trabalho à minha mãe Raquel Dias

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me permitiu ter forças para enfrentar o desafio de chegar até aqui.

Agradeço a minha família pelo apoio emocional e financeiro, em especial a minha mãe e ao meu padrasto pela disponibilidade em ajudar e motivar na conclusão do curso, e aos meus tios que tornaram possíveis a minha conquista de equilíbrio emocional e mental para dedicação exclusiva aos estudos.

Bem como, agradeço as grandes amizades feitas durante a graduação que me proporcionaram confiança, me apoiaram acadêmica e emocionalmente. E amizades fora do curso que contribuíram enormemente para o meu crescimento e a minha felicidade.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, pela preciosa orientação, pela confiança e apoio que me foi dedicado e ao tema motivacional proposto.

Agradeço à Universidade de Brasília, assim como aos professores do Departamento de Engenharia Florestal pelo conhecimento proporcionado.

A todos, que de forma direta ou indireta, cruzaram meu caminho com contribuições que me conduziram à conclusão desse trabalho, minha eterna gratidão.

“A persistência é o caminho do êxito”
(Charles Chaplin)

RESUMO

Adesivos naturais para confecção de painéis lignocelulósicos assumiram um papel de grande importância para a indústria de forma a substituir adesivos de origem não renovável, tóxicos e onerosos, a base de formaldeído. O foco da atual pesquisa é a avaliação inicial do potencial adesivo do ácido cítrico para confecção de painéis de lâminas paralelas (LVL). São apresentados os resultados de estudos já realizados sobre o ácido cítrico como adesivo, mostrando os principais conceitos envolvidos no processo de colagem. Baseado no trabalho Del Menezzi *et al.* (2018), são descritos os procedimentos experimentais iniciais realizados e apresentada uma comparação entre eles, juntamente com os principais resultados obtidos com o uso do ácido cítrico. Foram investigadas propriedades físicas, inchamento de espessura, absorção de água, taxa de densificação e compressão; e propriedades mecânicas, resistência à flexão, à compressão e ao cisalhamento na linha de cola a partir de diferentes soluções adesivas de ácido cítrico, à temperatura de prensagem de 180°C segundo diferentes ciclos de prensagem. Os resultados dessas propriedades apresentaram-se próximos aos que a literatura consultada apresenta para painéis com adesivos naturais, mostrando que a utilização do ácido cítrico em painéis laminados de madeira tem grande potencial.

Palavras-chave: adesivo bio-baseado; *laminated veneer lumber*; livre de formaldeído; composto laminado; adesivo orgânico.

ABSTRACT

Natural adhesives for making lignocellulosic panels have assumed an important role for the industry in order to replace non-renewable, toxic, and costly formaldehyde-based adhesives. The research focuses on the initial evaluation of the adhesive potential of citric acid for production of Laminated Veneer Lumber (LVL) panels. The outcome of the studies already conducted on citric acid as an adhesive is presented, showing the main concepts involved in the adhesive bonding process. Based on the work Del Menezzi *et al.* (2018), the initial experimental procedures performed are described and a comparison between them is presented along with the main results obtained using citric acid. Physical properties were investigated; these include thickness swelling, water absorption, densification and compression rates; and mechanical properties, bending, compression and glue-line shear strengths from different citric acid adhesive solutions at a pressing temperature of 180° C according to the different pressing schedules. The results of these properties were close to those found in the literature for panels with natural adhesives, showing that the use of citric acid in laminated wood panels has great potential.

Key words: bio-based adhesive; *laminated veneer lumber*; formaldehyde-free; laminated composite; organic adhesive.

LISTA DAS FIGURAS.

Figura 1 - Equipamento de Prensagem Joos Lap 150.....	25
Figura 2 - Corpos de prova para propriedades Mecânicas.....	26
Figura 3 - Máquina universal INSTRON 4467 para realização de ensaios de flexão e compressão.....	27
Figura 4 - Painéis consolidados após programação de prensagem. Da esquerda para a direita, PT1, PT2 e PT3 (a). Vista macroscópica transversal da linha de cola no PT3 (b).	28
Figura 5 - Aspectos da ruptura dos corpos de prova PT3 após teste de $fgv, 0$	30
Figura 6 – Realização de ensaios de compressão (a) e flexão (b).	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre estudos realizados usando ácido cítrico como adesivo de painéis de partículas.	21
Tabela 2 - Comparação entre estudos realizados usando ácido cítrico como adesivo de painéis de lâminas.	23
Tabela 3 - Procedimento de prensagem dos três pré-testes.	24
Tabela 4 - Quantidade de corpos de prova para cada análise de propriedade.	29
Tabela 5 - Estatísticas descritivas das propriedades físicas de ambos os tratamentos e os resultados do teste t de <i>Student</i>	29
Tabela 6 - Estatísticas descritivas do cisalhamento na linha de cola (f_{gv} , 0, MPa) para ambos os painéis e resultado do teste t- <i>Student</i>	31
Tabela 7 . Propriedades mecânicas e físicas do LVL colado com ácido cítrico a 10% (PT3).	32
Tabela 8 - Resultados da Taxa de Densificação e de Compressão dos PTs.	33

LISTA DAS ABREVIATURAS, SIGLAS, E SÍMBOLOS.

AA	Absorção de Água.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AC	Ácido Cítrico.
AC/A	Ácido Cítrico/Amido.
AC/S	Ácido Cítrico/Sacarose.
E_M	Módulo de Elasticidade em Flexão.
EN314-2	Norma (especifica os requisitos para classes de colagem de compensados de acordo com seus usos finais).
$E_{c,0}$	Módulo de Elasticidade à compressão paralela.
FF	Fenol Formaldeído.
$f_{c,0}$	Compressão paralela à resistência do grão.
$f_{gv,0}$	Cisalhamento na linha de cola.
f_m	Módulo de ruptura em flexão.
$f_{t,90}$	Tração perpendicular à resistência do grão.
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico (densidade).
°C	Graus <i>Celsius</i> .
CV%	Coefficiente de Variação em Porcentagem.
IC a 95%	Intervalo de Confiança a 95% de Probabilidade.
IE	Inchamento em Espessura. .
INSTRON	Testador de Tração Painel de Interface do Operador digital.
JIS.	<i>Japanese Industrial Standards</i> .
LVL	<i>Laminated Veneer Lumber</i> .
MPa	Megapascal (unidade de medida de pressão)
ns	diferença Não Significativa entre as médias.
P2	Painel de uso não estruturado para condições secas.
PT1	Pré-Teste 1.
PT2	Pré-Teste 2.
PT3	Pré-Teste 3.
TNRE	Taxa de Não-Retorno em Espessura
TUE	Teor de Umidade de Equilíbrio.
≈	Valores Aproximados.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 O ÁCIDO CÍTRICO	15
2.2 POTENCIAL DO ÁCIDO CÍTRICO EM COMPÓSITOS LIGNOCELULÓSICOS.	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5. CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

A busca por adesivos não nocivos ao meio ambiente, e por uso de madeiras reconstituídas provenientes de florestas cultivadas, em substituição às madeiras nobres são objetivos da indústria de painéis. Outro objetivo também é o barateamento dos produtos finais, e a preservação a floresta nativa de madeiras de lei. O interesse pela busca por adesivos eficazes na confecção de painéis com características ecológicas deve-se ao fato de que os adesivos convencionais são derivados de petróleo e formaldeído, os quais revelaram possuir graus de toxicidade prejudiciais à saúde. Esta é a razão pela qual a maioria dos estudos tem direcionado seu foco para experimentações de novos materiais com características que preservem o meio ambiente e a saúde humana.

Neste contexto, o ácido cítrico (AC) assume destaque por ser de origem orgânica, biodegradável e, portanto não prejudicial ao meio ambiente. Assim, a partir da última década, foram realizados estudos, utilizando o potencial do AC em confecções de painéis lignocelulósicos. Indicaram que o uso do AC como adesivo, pode reduzir o custo, e substituir um material tóxico por outro biodegradável com resultados semelhantes, ou até superiores aos de colagem com adesivo sintético convencional, além de propiciar o reaproveitamento de materiais que seriam descartados.

O uso do AC como agente adesivo é recente, e ainda pouco experimentado, para confecção de painel laminado, onde o processo de aplicação ocorre de forma diferente. Desse modo o intuito desse trabalho consiste em contribuir com a investigação do potencial do AC como adesivo e em analisar suas propriedades na confecção de painéis de madeira em LVL.

OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é apresentar o potencial uso do AC na colagem de painéis LVL, e analisar os resultados obtidos, até o momento, a partir de uma avaliação comparativa dos testes realizados pelo orientador deste trabalho, Del Menezzi, durante seu pós-doutorado na França em 2018. No presente trabalho existem dados publicados e dados inéditos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O ÁCIDO CÍTRICO

O AC foi descoberto a partir da cristalização do suco de limão, no século VIII d.C., pelo alquimista Abu Musa Jabir ibn Hayyan, e foi o primeiro ácido a ser isolado em 1784, pelo químico sueco Carl Wilhelm Scheele. A sua comercialização obteve sucesso a partir da descoberta de que o fungo *Aspergillus niger* seria um produtor eficiente de AC. Dessa forma, desde 1930, o processo da obtenção desse ácido por meio de fermentação tem sido o método mais simples e barato, substituindo a extração a partir de frutas cítricas. Em geral, sua forma comercial é um sólido branco cristalino.

Obtém-se a sua forma anidra por cristalização da solução aquosa quente, e a forma monohidratada, que se cristaliza a temperaturas abaixo de 36,6°C, também é comercializada. O AC, largamente utilizado nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, desempenha os papéis: de acidulante, conservante, fixador de gás carbônico, abrandador de água, emoliente, umectante, dentre outros usos. Cerca de 70% da produção global deste ácido é utilizada pela indústria de alimentos; ele inibe a oxidação e reequilibra a acidez do vinho, dá sabor e propriedades de tamponamento em bebidas gaseificadas, é usado em xaropes por sua alta solubilidade, aumenta a eficácia de conservantes antimicrobianos, controla o pH, reduz o processamento térmico, é empregado como agente quelante, ajudando na preservação da cor e sabor natural dos alimentos, e também atua como emulsificante em sorvetes, acidificante e antioxidante no processamento de queijos. (ARAUJO, 2017)

Em torno de 12% da produção global é utilizada pela indústria farmacêutica, e suas aplicações abrangem a produção de antiácidos, cremes dentais, agentes aromatizantes e estabilizantes. E o restante da produção global é utilizado por outras indústrias. Em sabões e detergentes ele controla o crescimento de microrganismos, ajusta o pH e, em detergentes líquidos concentrados, substitui os fosfatos (IHS, 2015).

A utilização do AC em produtos florestais, como agente reticulante, no melhoramento da resistência à umidade do papel (HORI e BIERMANN, 1994) e estabilidade dimensional do papel (ZHOU *et al.*, 1993), são os estudos mais antigos que obtiveram sucesso no uso do AC no âmbito de produtos florestais. Na junção de um ácido carboxílico com um catalizador adequado, foi possível melhorar a resistência à umidade do papel, entre outros ácidos

carboxílicos, o AC apresentou sucesso na resistência à umidade, assim como aumento de brilho e não houve perdas de força de ruptura (HORI e BIERMANN, 1994).

Estudos foram realizados com intuito de incluir o AC para potencializar a capacidade adsorvente de materiais lignocelulósicos, estes geralmente descartados em grandes quantidades, podendo ser reutilizados para remover metais tóxicos de efluentes industriais e laboratoriais. O AC inclui mais grupos carboxilas ao material lignocelulósico e, dessa forma, aumenta a capacidade de adsorção, onde potencializa a ligação aos catiônicos contaminantes, obtendo sucesso na remoção de metais tóxicos. Funcionou com a modificação química do material via esterificação, e apresentou maior capacidade de adsorção para o azul de metileno com fibras de Kenaf (SAJAB, 2011), na modificação química da serragem da madeira apresentou melhor remoção do chumbo (SILVA e FERNANDES, 2010) e, a partir da palha de soja, constatou-se ótima remoção do Cobre (ZHU, 2008).

2.2 POTENCIAL DO ÁCIDO CÍTRICO EM COMPÓSITOS LIGNOCELULÓSICOS.

O uso do AC como adesivo ecológico tem sido cada vez mais acentuado em substituição aos adesivos sintéticos que demonstraram efeitos nocivos à saúde. Os estudos realizados, ao longo da última década, revelaram eficiência no seu uso como adesivo em confecção de painéis lignocelulósicos.

Umamura *et al.* (2012a) foram os primeiros a realizarem estudo com AC como adesivo em compósito lignocelulósico. Avaliaram o experimento com a utilização de AC e pó de casca da *Acacia manghium*. A mistura de ambos foi prensada a quente a 180°C, a 4 MPa durante 10 minutos e produziu uma moldagem da casca de árvore. Foram testadas as propriedades físicas do compósito, e foi feito um experimento de espectroscopia (FTIR) que mostrou a quantidade de reações químicas. Os resultados do molde com AC forneceram valores melhores de módulo de ruptura (f_m), módulo de elasticidade (E_M) e resistência à água do que sem a aplicação do AC. O experimento para averiguar a resistência à água foi feito em repetidos tratamentos de imersão em fervura e, posteriormente, tratamento de secagem. Pelo espectro confirmou-se que a maior quantidade de formação de ligação de ésteres dos grupos carboxila do AC com os grupos hidroxila da casca da espécie, proporcionou boa adesão e boas propriedades físicas, ao teor de 20% de AC.

Umamura *et al.* (2012b) fizeram um novo experimento usando o AC, novamente, sobre o pó da casca da *Acacia manghium*. Dessa vez, alteraram a temperatura de prensagem

para 200°C, buscaram o melhor teor de AC e incrementaram testes para analisar as propriedades de resistência ao impacto, e as propriedades térmicas da madeira. Os resultados revelaram que existe um teor ideal de AC, de 20% sobre a massa da lâmina, que forneceu boas propriedades mecânicas (f_m , E_M e resistência ao impacto), e boa resistência à água. Quanto à resistência térmica, após repetir o tratamento de fervura em altos teores de AC, este foi reduzido, porém ao teor de 20% não houve alteração significativa.

Umemura *et al.* (2013) elaboraram uma nova pesquisa, com a utilização da combinação de AC e sacarose (S) como adesivo em aglomerado de partículas, em que foram investigadas as propriedades mecânicas, físicas, de inchamento em espessura (IE), de resistência à água, e de resistência de ligação interna do adesivo. Foram gerados melhores resultados quando o adesivo foi constituído por 25/75 (AC/S) ao teor de 30%, mostrando que a adição da sacarose à resina potencializou a adesão de aglomerado particulado.

Posteriormente, complementando este estudo, foi feita uma investigação do efeito da densidade com as propriedades físicas do aglomerado de partículas. O resultado mostrou que o painel produzido sob a densidade de 0,80 g/cm³, prensado a 200°C, por 10 minutos, apresentou as melhores propriedades de flexão, tração perpendicular ($f_{t,90}$), e IE (UMEMURA *et al.*, 2015).

Tanto a adição de sacarose quanto a temperatura de prensagem fornecem grupos hidroxila e isto aumenta a quantidade de formação de éster. Isto porque, segundo estudo de Widyorini *et al.* (2016), painéis particulados de teca com composição adesiva somente de sacarose não apresentaram qualquer resistência à água, à temperatura de prensagem de 180°C, porém melhorou quando a temperatura subiu para 200°C. Concluindo, que para os demais experimentos, diferentes teores de AC/S, à temperatura de 200°C apresentaram-se com ótimas configurações para estabilidade dimensional, assim como em Umemura *et al.* (2015). Observou-se que o IE e absorção de água (AA), para painéis com adesivo feito somente de sacarose e painéis sem adesivo (“*binderless*”), apresentaram valores que não atenderam aos requisitos da norma JIS A 5908 (2007), e semelhantes entre si, provavelmente devido ao fato da sacarose ser mais facilmente dissolvida em água do que o AC. Outra constatação importante refere-se às diferenças nos resultados do experimento de Umemura *et al.* (2015) em aglomerado de conífera, em comparação aos resultados do trabalho em aglomerado de teca, onde o maior valor de resistência de flexão foi com adesivo composto somente de AC, e a melhor proporção mencionada por Umemura *et al.* (2015) consistiu em 25/75 (AC/S).

De forma a reduzir o consumo de recursos madeireiros e das reservas fósseis, a combinação do AC como adesivo e resíduos agrícolas que seriam descartados, apresentaram resultados satisfatórios na fabricação de painéis particulados, usando bagaço de sorgo doce. Os painéis de densidade $0,8 \text{ g/cm}^3$, prensados a 200°C por 10 minutos, apresentaram as melhores propriedades mecânicas e de resistência à água, quando as partículas passaram pelo preparo de pré-secagem, e posteriormente adicionado o AC com concentração de 20 e 30%. A resistência à flexão e o IE atenderam aos requisitos da norma JIS A 5908 (2007). Os resultados de propriedades mecânicas apresentaram semelhança aos painéis fabricados com adesivos convencionais, assim como o IE foi inferior, apresentando melhor estabilidade dimensional. (KUSUMAH *et al.*, 2016)

Widyorini *et al.* (2017) investigaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis particulados com os bambus *Dendrocalamus asper*, *Gigantochloa atroviolacea*, e *Gigantochloa apus* usando o AC como adesivo natural nos teores de 0%, 15% e 30%. Os resultados revelaram que o aumento do teor do AC poderia provocar melhora na estabilidade dimensional e, também, nas propriedades mecânicas. Observou-se que as variações nas espécies de bambu não afetaram as propriedades dos painéis. As partículas finas demonstraram maior força de ligação interna no aglomerado, além de promover uma superfície mais lisa, em relação às partículas maiores, isto porque as mais finas apresentam maior área de contato entre si. Em resumo o resultado do experimento indicou que os grupos carboxílicos do AC estavam ligados com grupos hidroxila do bambu para produzirem melhores propriedades do painel. (WIDYORINI *et al.*, 2016)

Posteriormente, para estudar o efeito da adição de amido nas propriedades do adesivo para o painel particulado de *Dendrocalamus asper*, Widyorini *et al.* (2017) testaram três espécies de amido na solução adesiva com AC, milho, *Canna edulis* Ker-Gawl e *Maranta arundinacea* L. e obtiveram resultados melhores em propriedades mecânicas, e piores em propriedades físicas, porém todos os painéis atenderam a norma JIS A 5908 (2007).

De acordo com Pizzi (2006), um estudo foi realizado para descobrir se o AC tinha capacidade de impermeabilizar a solda de madeira, e não apenas, como potencial adesivo. A resistência ao cisalhamento aumentou linearmente com o aumento do teor de AC de 5 a 20%, diminuindo ligeiramente com concentração de 40%. O autor sugere que a redução da resistência acontece depois de 20% devido ao excesso residual na linha de soldagem, onde pode ter ocorrido uma hidrólise ácida de algum constituinte da madeira.

Nakamura (2018) dissertou sobre resistência de painéis produzidos com fibras de coco-da-baía e AC, onde a melhor temperatura de prensagem foi definida a 185°C . Painéis

de coco-da-baía confeccionados com densidade $0,90\text{g/cm}^3$, tratado com 18% de teor de AC, atingiram todos os parâmetros mínimos da norma ABNT 14810 referentes ao f_m , E_M , $f_{t,90}$, IE, AA para painéis P2 (de uso não estrutural para condições secas). Também foi feita análise de resistência à deterioração de fungos, onde a adição do AC conferiu aos painéis maior resistência à deterioração por *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, principalmente, no primeiro caso, sendo reduzida a perda de massa pela metade, com teor de 12% de AC. (NAKAMURA, 2018).

É importante notar a influência de alguns fatores na eficiência do adesivo de painéis particulados, e um deles é o tempo do tratamento de pré-secagem para eliminar a umidade das partículas, antes da prensagem do painel. Syamani *et al.* (2018) encontraram resultados das propriedades físicas mais satisfatórios em 12 horas de pré-secagem do que em zero a seis horas, com 20% de AC na espécie *Imperata cylindrica*.

Ngadianto *et al.* (2018) desenvolveram um estudo em busca das características de aglomerados de partículas feito com casca de amendoim e AC como adesivo. A investigação focou nas variações do teor do AC e do tempo de prensagem com avaliação das características de aglomerado de partículas feito de casca de amendoim, incluindo a verificação de sua durabilidade aos ataques de cupins de madeira seca. O teor do AC variou na faixa de 10 a 30% sobre partículas de peso seco e tempo de prensagem variando de 10 a 15 minutos. A situação ótima ocorreu com a configuração de 30% de AC com 15 minutos de prensagem, gerando bons resultados de f_m , e de E_M , com a redução do tempo de prensagem para 10 minutos para a perda de peso e mortalidade de cupins.

Del Menezzi *et al.* (2018), os primeiros a publicarem um estudo de AC como agente adesivo na confecção de painéis laminados LVL, demonstraram que houve reações do AC com a lignina e os carboidratos constituintes da madeira devido às ligações ésteres entre as funções de ácido carboxílico do AC, e grupos hidroxila aromáticos e alifáticos existentes na madeira. Também ocorreram reações do AC com glicose e oligômeros lineares e ramificados por esterificação, que resultaram em ligações ésteres com rearranjos de lignina. Estes resultados estão de acordo com os achados revelados em diferentes painéis de madeira (UMEMURA *et al.*, 2012a; 2012b; 2015). O painel foi prensado a uma temperatura de 180°C , por uma programação de prensagem, onde as pressões variavam de acordo com os diferentes tempos de prensagem de forma a promover a consolidação e densificação do painel, com aplicação de 10% de AC. Os resultados na colagem de lâminas de madeira demonstraram o grande potencial do AC como adesivo na confecção de painéis laminados.

Sun *et al.* (2019) investigaram o uso de AC/S em busca de configuração ótima para a produção de compensado com adesivo seco e úmido. As medições de resistência ao cisalhamento revelaram que temperatura e o tempo ótimo de prensagem a quente, a gramatura do adesivo resultante da mistura AC/S atingiram 190°C, 7 minutos, e 140g/m², respectivamente. A análise térmica mostrou a temperatura de degradação térmica e de reação endotérmica da mistura 75/25 que se mostraram inferiores quando comparadas com o uso da sacarose, ou do AC, isoladamente.

Zhao *et al.* (2019) investigaram a temperatura e tempo ótimos de prensagem e quantidade da solução adesiva 75/25 (AC/S) para confecção de painel compensado de *Populus tomentosa* Carr analisando propriedades físicas e mecânicas, sendo de 190°C/7min e 140g/m² de cola.

Assim como a sacarose, o amido é um polissacarídeo composto por numerosas glicoses. A maltodextrina, constituinte do amido, tem carbono anomérico que reage facilmente com grupos hidroxila da espécie *Paraserienthes falcataria*, escolhida por Kusumah *et al.* (2020) para novo experimento de confecção de compensado. Utilizou-se solução adesiva de ácido cítrico e amido (AC/A), onde o melhor resultado consistiu em 50:50 (AC/A) produzido sob as condições de prensagem de 180°C por 10 minutos e 5MPa, com teor do adesivo de 30%, conferindo menor delaminação e maior $f_{gv,0}$ satisfazendo a norma SNI para compensado de uso geral.

Em recente publicação Sutiawan *et al.* (2021), estudaram os efeitos do tempo e temperatura de prensagem na confecção de compensado, utilizando-se o AC como adesivo. Os compensados foram colados com 134g/m² de AC, como em Del Menezzi *et al.* (2018) e com pressão de 5 MPa com diferentes tempos e temperaturas para avaliar qual configuração apresentaria resultados melhores. Sob a temperatura de prensagem de 190°C por 10 minutos ocorreu menor delaminação e maior resistência ao cisalhamento, quando comparada com as propriedades de outros painéis de compensado. A Tabela 1, a seguir, mostra, em ordem cronológica, a comparação entre os estudos realizados usando AC como adesivo em painéis de partículas, enquanto que a Tabela 2 apresenta a comparação entre estudos realizados usando AC como adesivo de painéis de lâminas.

Tabela 1 - Comparação entre estudos realizados usando ácido cítrico como adesivo de painéis de partículas.

Referência	Tipo de Painel	Adesivo	Espécie	Prensagem	Densidade (g/cm ³)	f_m (MPa)	E_M (MPa)	$f_{t,90}$ (MPa)	Continua...	
									IE (%)	AA (%)
Umemura <i>et al.</i> , (2012a)	Molde de madeira	20% AC	<i>Acácia manghium</i>	180°C/10min	≈1,1	18,1	4900	-	-	≈25
Umemura <i>et al.</i> , (2012b)	Molde de madeira	20%AC	<i>Acácia manghium</i>	200°C/10min	≈0,98	35,8	5400	-	≈8	≈16
Umemura <i>et al.</i> , (2013)	Aglomerado	30%AC/S (25/75)	Conífera	200°C/10min	0,8	20,6	4600	1,6	11,9	-
				200°C/10min	0,6	12,5	≈2100	0,6	12	40
Umemura <i>et al.</i> , (2015)	Aglomerado	30%AC/S (25/75)	Conífera	200°C/10min	0,8	20,6	≈4600	1,6	12	21
				180°C/10min	0,8	19	≈4500	1,0	50	40
Widyorini <i>et al.</i> , (2016)	Aglomerado	10% AC	<i>Tectona grandis</i>	180°C/10min		11	≈3000	≈0,4	≈13	≈30
				200°C/10min	≈0,9	12,3	≈3800	≈0,37	≈4	≈17

Tabela 1 - Comparação entre estudos realizados usando ácido cítrico como adesivo de painéis de partículas

Referência	Tipo de Painel	Adesivo	Espécie	Prensagem	Densidade (g/cm ³)	f_m (MPa)	E_M (MPa)	$f_{t,90}$ (MPa)	Conclusão.	
									IE (%)	AA (%)
Kusumah <i>et al.</i> , (2016)	Aglomerado	10% AC	<i>Sorghum bicolor</i> L. Monech.	200°C/10min	0,8	≈19	≈4100	≈0,6	≈27	≈75
		20%				≈22	≈5270	≈0,9	≈9	≈62
		30%				≈19	≈4500	≈1,0	≈9	≈60
Widyorini <i>et al.</i> , (2016)	Aglomerado	30% AC	<i>D. asper</i> <i>G. atroviolacea</i> <i>G. apus</i>	180°C/10min	≈0,9	≈14	≈4900	≈0,49	4	15
						≈12	≈4000	≈0,39	3	13
						≈15	≈4000	≈0,42	2	12
Widyorini <i>et al.</i> , (2017)	Aglomerado	30% AC/A (85,5/12,5)	<i>Dendrocalamus asper</i>	180°C/10min	≈0,9	16,9	4600	1,21	5,9	23
Nakamura, (2018)	Aglomerado	18% AC	<i>Cocos nucifera</i> L.	185°C/10min	0,9	12,9	2241	0,43	7,16	31,2
Syamani <i>et al.</i> , (2018)	Aglomerado	20% AC	<i>Imperata cylindrical</i>	200°C/10min	0,8	6,54	3924	0,074	2,04	≈8
Ngadianto <i>et al.</i> , (2018)	Aglomerado	30% AC	Casca de Amendoim	180°C/15min	0,8	2,63	881,23	0,46	3,27	44,9

f_m : Módulo de Ruptura em flexão; E_M : Módulo de Elasticidade em flexão; $f_{t,90}$: tração perpendicular à resistência do grão; IE: inchamento em espessura; AA: absorção de água; AC: ácido cítrico; AC/S: ácido cítrico/ sacarose; AC/A: ácido cítrico/amido; ≈: valores aproximados.

Tabela 2 - Comparação entre estudos realizados usando ácido cítrico como adesivo de painéis de lâminas.

Referência	Tipo de Pannel	Adesivo	Espécie	Prensagem	Densidade (g/cm ³)	f_m (MPa)	E_M (MPa)	IE (%)	AA (%)	$f_{gv,0}$ (MPa)
Del Menezzi <i>et al.</i> , (2018)	LVL	10%AC	<i>Populus sp.</i>	180°C/20min*	0,607	101,2	1317	9,2	44,9	2,81
Sun <i>et al.</i> , (2019)	Compensado	140g/m ² AC/ S (75/25)	<i>Populus tomentosa</i> Carr	190°C/7min						0,78
Zhao <i>et al.</i> , (2019)	Compensado	140g/m ² AC/ S (75/25)	<i>Populus tomentosa</i> Carr	190°C/7min						0,99
Kusumah <i>et al.</i> , (2020)	Compensado	30% AC/A (50/50)	<i>Paraserienthes falcataria</i>	180°C/10min						1,26
Sutiawan <i>et al.</i> , (2021)	Compensado	134g/cm ² AC	<i>Anthocephalus cadamba</i> Miq.	190°C/10min	0,43	57,5	3309	4,35	60,93	0,70

f_m : Módulo de Ruptura em flexão; E_M : Módulo de Elasticidade em flexão; $f_{t,90}$: tração perpendicular à resistência do grão; IE: inchamento em espessura; AA: absorção de água; $f_{gv,0}$: cisalhamento na linha de cola; LVL: *laminated veneer lumber*; AC: ácido cítrico; AC/S: ácido cítrico/ sacarose; AC/A: ácido cítrico/ amido; \approx : valores aproximados; *: programação de prensagem.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram efetuados três testes exploratórios de painéis LVL confeccionados com AC, madeira *Populus sp.*, da família *Salicaceae*, de densidade 0,449 g/cm³, com teor de umidade de 10,3% e dimensões das lâminas de 40 x 40cm e espessura de 2-3 mm. A solução de AC foi a proporção de 1:1(água: AC), preparada e pulverizada em uma das superfícies das lâminas, até atingir a porcentagem de peso da referente lâmina de cada teste, e depois foram secas em forno a 60°C por seis horas.

Os resultados obtidos de PT1, PT2 e $E_{c,0}$ do PT3 não foram publicados por Del Menezzi et al. (2018), dessa forma, no presente trabalho, eles são comparados com os resultados restantes de PT3. De acordo com a Tabela 3, abaixo, somente no PT2 pulverizou-se 10% de água sobre a superfície das lâminas com AC em relação ao peso delas, antes da prensagem, de modo a umectá-las. No PT1 utilizaram-se quatro lâminas para a montagem do painel LVL, onde a face da lâmina com AC ficou de encontro com a face sem AC, ou seja, em linha simples, com exceção da última lâmina, a qual ficou de encontro com a face da penúltima lâmina aplicada com AC, caracterizando uma colagem em linha dupla, para que o AC não ficasse virado para o prato inferior do equipamento de prensagem.

Tabela 3 - Procedimento de prensagem dos três pré-testes.

Amostra	Lâminas	AC %	Água %	T°C	Tempo de prensagem e pressão aplicada			
					1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa	4ª etapa
					Tempo / MPa	Tempo / Mpa	Tempo / MPa	Tempo / Mpa
PT1	4	20	-	180	5'/1,5	10'/3	2'30''/1,5	2'30''/0,5
PT2	4	20	10	180	5'1/5	10'/3	2'30''/1,5	2'30''/0,5
PT3	5	10	-	180	5'/1,5	10'/3	2'30''/1,5	2'30''/0,5

PT: Pré-teste; AC: ácido cítrico; T°C: Temperatura em graus *Celsius*; ': minutos; '': segundos; MPa: Megapascal

No PT2, para a montagem do painel, também foram utilizadas quatro lâminas, porém todas as lâminas foram colocadas de modo que a superfície com AC de cada lâmina ficasse em contato com a superfície sem AC, e dessa forma a última lâmina ficou com a face com AC virada para o prato inferior do equipamento de prensagem. No terceiro teste, foram utilizadas cinco lâminas, também, todas as superfícies com AC ficaram de encontro com as

superfícies sem AC, com exceção da última lâmina, onde não houve aplicação de AC em nenhuma face, como é feito na produção de compensados.

Em PT1 e PT2 a solução atingiu 20% de AC, ambos em quatro lâminas; e no PT3 10% de AC em cinco lâminas. Em todos os três pré-testes, as lâminas foram prensadas a 180°C, seguindo a mesma programação: nos primeiros cinco minutos com pressão de 1,5 MPa, na segunda etapa, por 10 minutos a pressão foi de 3 MPa, posteriormente, por dois minutos e 30 segundos com pressão de 1,5 MPa, e por fim, mais dois minutos e 30 segundos e 0,5 MPa. Enfim, totalizaram-se 20 minutos de prensagem variando as pressões. Esta programação foi realizada no laboratório de prensagem com o emprego do equipamento *Joos Lap 150* (*Pfalzgrafenweiler*, Alemanha), e foi aplicada de modo a garantir a consolidação e densificação do painel. A Figura 1 mostra o equipamento de prensagem citado em foto tirada durante o pós-doutorado de Del Menezzi em 2018, assim como as demais figuras ilustradas neste trabalho.



Figura 1 - Equipamento de Prensagem Joos Lap 150

O PT1 apresentou delaminação nas lâminas onde o AC ficou face a face, em colagem em linha dupla, mas, ainda assim, foi possível retirar corpos de prova para avaliar a resistência ao cisalhamento na linha de cola ($f_{gv,0}$), o IE em 2 e 24 horas, e a AA, também, em 2 e 24 horas. O PT2 resultou em delaminação severa das lâminas, e, dessa forma, não foi possível retirar corpos de prova para avaliação de propriedades físicas e mecânicas do painel. Os resultados do PT3 foram excelentes. Não houve delaminação, e foi possível retirar corpos

de prova para avaliação de propriedades físicas e mecânicas (IE, AA, $f_{gv,0}$, de resistência à flexão e de compressão).

Dessa forma, de acordo com a quantidade e possibilidade de corpos de prova retirados, realizou-se a comparação das médias entre os tratamentos para propriedades físicas, assim como o $f_{gv,0}$. Quanto às propriedades mecânicas de flexão e de compressão foram feitas comparações com os valores encontrados na literatura consultada. Pela Figura 2, apresentada a seguir, é possível visualizar os tipos de corpos de prova usados para os ensaios.

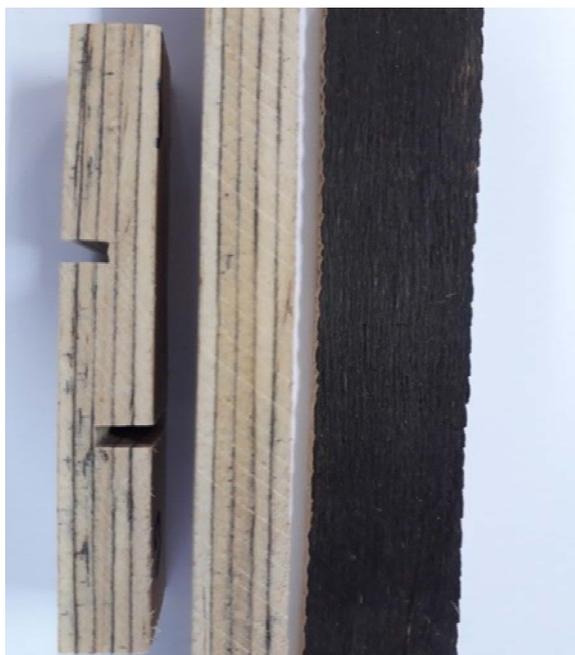


Figura 2 - Corpos de prova para propriedades Mecânicas.

Corpo de prova para teste de cisalhamento na linha de cola (esq); lateral do corpo de prova para os ensaios (meio); face da lâmina tratada com AC após a prensagem (dir).

Para avaliar as propriedades de flexão, f_m , E_M e compressão paralela à força da grã ($f_{c,0}$), conforme a norma EN408 - A1 (2012), demonstrado na Figura 3, utilizou-se a máquina de ensaio universal INSTRON 4467. As dimensões dos corpos de prova utilizados para ensaios dos painéis foram de 25 cm de largura, e o comprimento igual a 24 vezes a espessura do painel. A qualidade da colagem foi avaliada através da $f_{gv,0}$, em condições secas, de acordo com a norma EN314-1 (2004) e a qualidade de ligação conforme a norma EN314-2 (2004). Os testes de IE e AA foram realizados de acordo com os procedimentos ASTM D1037 (2009), mas a dimensão das amostras foi alterada para 25mm x 25mm x espessura.

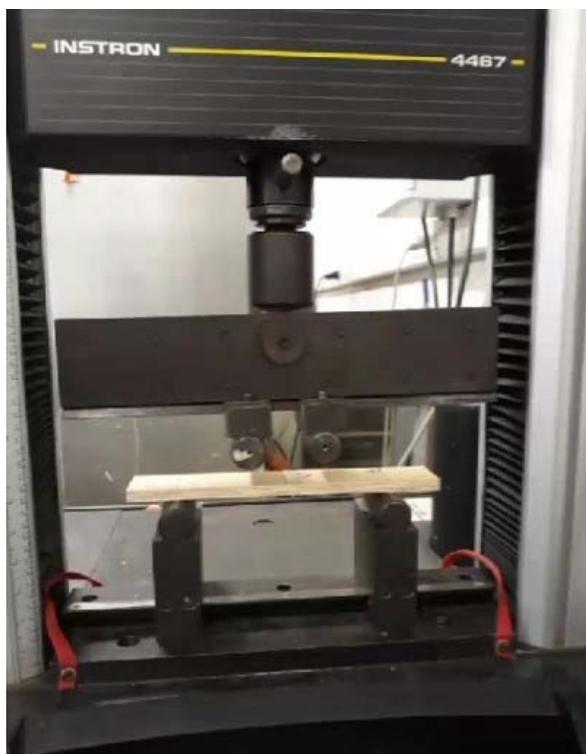


Figura 3 - Máquina universal INSTRON 4467 para realização de ensaios de flexão e compressão.

Máquina pronta para realizar o ensaio de flexão, distribuída em duas cargas para painel estruturado.

As análises de resistência à água (IE e AA) são realizadas em 2 e 24 horas, de forma a atender o objetivo para fim do uso pretendido. A análise em 2 horas corresponde à exposição do painel a uma água eventual e esporádica, como a utilização de painéis em ambientes internos, que tenham contatos rápidos com a água. Já o teste em 24 horas analisa se o material final apresenta avaria em possíveis contatos mais duradouros com a água, como em ambiente externo.

Para os ensaios físicos, IE e AA em 2 horas e 24 horas e a avaliação da qualidade do adesivo pela $f_{gv,0}$, foram determinadas as principais estatísticas descritivas, e foram comparadas as médias entre o PT1 e PT3 pelo teste t de *Student*. Para ensaios de flexão e compressão do PT3, o estudo foi comparado com a literatura consultada, assim como a taxa de densificação e compressão de todos os pré-testes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os painéis confeccionados apresentaram densidades de 0,820; 0,725 e 0,605g/cm³ de PT1 a PT3, respectivamente, e coloração castanha escura em decorrência da reação do AC com os componentes da madeira, como é possível visualizar nas Figuras 4a e 4b, apresentadas a seguir. A face da lâmina tratada com AC e virada para prensa, no caso do PT1, apresentou coloração mais escura que nos demais pré-testes. No PT2, o AC migrou de uma face para a outra, também apresentando uma coloração mais escura que o PT3.

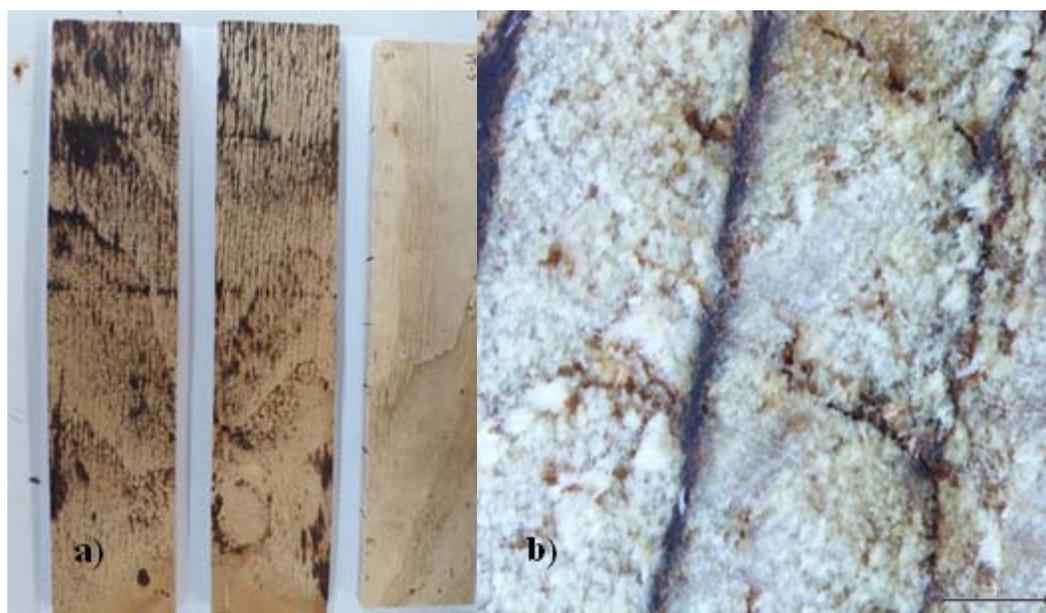


Figura 4 - Painéis consolidados após programação de prensagem. Da esquerda para a direita, PT1, PT2 e PT3 (a). Vista macroscópica transversal da linha de cola no PT3 (b).

Como mencionado anteriormente, considerando a quantidade e possibilidade de corpos de prova retirados, exemplificados na Tabela 4, a comparação das médias entre os tratamentos para propriedades físicas, propostas, foram feitas apenas entre o PT1 e PT3, assim como o $f_{gv,0}$, enquanto que as propriedades mecânicas de flexão e compressão foram comparadas com a literatura consultada, já que foi possível fazer testes somente com o painel PT3 que obteve maior sucesso. O PT3 mostrou resultados excelentes e, dessa forma, somente dele foram feitos testes de análise química encontradas em Del Menezzi *et al.* (2018).

Tabela 4 - Quantidade de corpos de prova para cada análise de propriedade.

Propriedades	Nº de corpos de prova	
	PT1	PT3
$f_{gv,0}$	4	6
Flexão	-	3
Compressão	-	3
IE	5	12
AA	5	12

$f_{gv,0}$: Cisalhamento na linha de cola; IE: inchamento em espessura; AA: absorção de água; PT: pré-teste.

Houve diferença significativa entre os IEs em 2 horas e em 24 horas, apresentado na Tabela 5, abaixo. Em comparação com outro experimento com *Populus sp.* e adesivo convencional, o valor de IE do PT3 ficou um pouco acima, mas a AA em 24 horas foi inferior, como também de PT1. (BAL, 2016)

Tabela 5 - Estatísticas descritivas das propriedades físicas de ambos os tratamentos e os resultados do teste t de *Student*.

Propriedades	Tratamento do painel	Média	Desvio padrão	CV%	Teste t Student
IE em 2 horas (%)	PT1	11,30	3,54	31,35	
	PT3	5,79	0,65	11,14	*
IE em 24hrs (%)	PT1	19,07	4,67	24,50	
	PT3	9,20	0,84	9,10	*
AA em 2hrs (%)	PT1	23,89	3,01	12,61	
	PT3	25,25	2,01	7,97	Ns
AA em 24hrs (%)	PT1	46,84	3,74	7,99	
	PT3	45,81	2,09	4,57	Ns

IE: inchamento em espessura; AA: absorção de água; CV%: coeficiente de variação em porcentagem; *: diferença significativa; ns: diferença não significativa entre as médias.

De acordo com Del Menezzi (2006), o IE em painéis de madeira é ocasionado pela adsorção de água e, também, é provocado pela liberação das tensões de prensagem. Essas tensões estão diretamente relacionadas com a pressão de prensagem e com a taxa de

compactação do painel, ou seja, no experimento de Bal (2016), para *Populus sp.*, empregou-se uma pressão de 7 MPa, enquanto que no presente trabalho aplicou-se uma programação de prensagem sob diferentes pressões (1,5 MPa; 3MPa; 1,5MPa e 0,5 MPa). Além disso, é importante ressaltar que a quantidade e os adesivos aplicados foram diferentes, enquanto Bal (2016) aplicou 200 g/m³ do adesivo Fenol Formaldeído (FF), no presente trabalho foi aplicado 134g/m² de AC como agente adesivo. A quantidade contribuiu para a sua impermeabilização minimizando, dessa forma, o IE.

Segundo recente publicação de AC como adesivo em compensados de *Anthocephalus cadamba* Miq, Sutiawan *et al.* (2021), a mesma quantidade de AC (134 g/m²) foi utilizada tal como Del Menezzi *et al.* (2018), utilizando-se três lâminas para a confecção do compensado, a uma pressão de 1,3 MPa por 10 minutos, testando diferentes temperaturas, obtendo o melhor resultado em 190°C, e seus resultados para IE e AA, ambos em 24 horas, foram 4,35% e 71,52%, respectivamente, apresentando menor IE e maior AA do que PT3.

Quanto aos altos valores de IE no PT1 (11,30% em 2 horas, e 19,07% em 24 horas) superiores ao PT3, cabe sugerir que a quantidade de AC aplicada como adesivo contribuiu para a diferença significativa nos resultados, assim como o fato da delaminação ter ocorrido entre as lâminas que ficaram face a face com o AC no PT1.

Não houve diferença significativa de $f_{gv,0}$ entre o PT1 e PT3 e ambos excederam o mínimo exigido pela norma EN314-2 (2004) (1 MPa). Na Figura 5 é possível visualizar os aspectos dos corpos de prova de PT3 após $f_{gv,0}$.



Figura 5 - Aspectos da ruptura dos corpos de prova PT3 após teste de $f_{gv,0}$.

O PT1 apresentou uma média maior em termos de $f_{gv,0}$ do que o PT3, como demonstrado na Tabela 6, apresentada, a seguir. O coeficiente de variação do PT3 foi baixo. Já o do PT1 ficou alto, podendo indicar que a quantidade de corpo de provas foi limitada para o experimento, já que obtiveram dois corpos de prova a menos que o PT3.

Os dois pré-testes atingiram valor de $f_{gv,0}$ superior aos resultados encontrados na literatura consultada, nos trabalhos com AC, AC/A e AC/S em compensados de 0,70 MPa, 1,265 MPa e 0,78 Mpa, respectivamente (SUTIAWAN *et al.*, 2021; KUSUMAH *et al.*, 2020; SUN *et al.*, 2019). Isto pode ser explicado pelas diferenças entre LVL e compensado, pois no LVL a colagem é feita entre duas lâminas de direção paralela às fibras, e no compensado a colagem fica entre uma lâmina de direção paralela às fibras, e outra na direção perpendicular às fibras. Dessa forma, a resistência ao cisalhamento perpendicular é superior ao cisalhamento paralelo às fibras. Por fim, a ligação direciona-se para o rompimento na madeira e não na linha de cola (DE MENDONZA *et al.*, 2017).

Tabela 6 - Estatísticas descritivas do cisalhamento na linha de cola ($f_{gv,0}$, MPa) para ambos os painéis e resultado do teste t- *Student*.

Estatística descritiva	Tipo de Painel	
	PT1	PT3
Média (MPa)	3,06	2,81
Desvio Padrão	0,34	0,29
CV (%)	23,08	10,39
Teste t de <i>Student</i>	ns	

CV%: coeficiente de variação em porcentagem; ns: diferença não significativa entre as médias ao nível de 5% de significância.

O f_m , o E_M e a $f_{c,0}$ foram semelhantes ou superiores às encontradas na literatura consultada para LVL colados com adesivo convencional. Todas as amostras de flexão falharam na tração no lado inferior do painel, como é demonstrado na Figura 6 (b). A ilustração do ensaio de compressão, Figura (a), demonstra o comportamento que os corpos de prova do PT3 tiveram, porém não corresponde ao PT3.

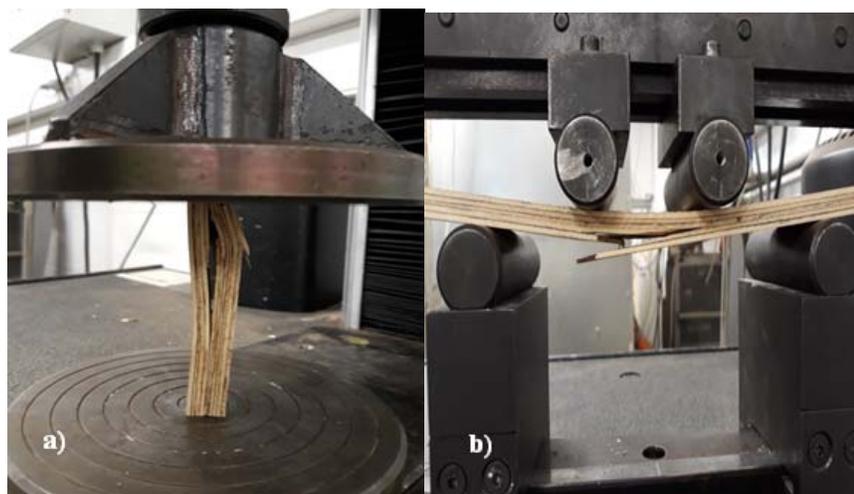


Figura 6 – Realização de ensaios de compressão (a) e flexão (b).

O intervalo de valores para módulo de elasticidade em compressão paralela ($E_{c,0}$) para painel LVL, realizado no experimento de Youngquist et al., (1984), foi de 11.860 MPa a 14.400MPa. Porém utilizou-se a espécie Douglas-fir, cuja densidade dos painéis confeccionados com 4 a 8 lâminas foi de aproximadamente 0,54g/cm³ e a espessura do painel de 19 mm. No presente trabalho, o resultado de $E_{c,0}$ é inferior ao da espécie mencionada (4.172 MPa), de um painel com densidade superior (0,670g/cm³) e espessura inferior (10,5mm). E pela Tabela 7 é possível visualizar que $E_{c,0}$ possui um valor de desvio padrão alto. Porém os valores de f_m (33,78 MPa – 86,18 MPa) e E_M (8960 MPa – 19240 MPa) encaixam-se no intervalo apresentado pelo Laboratório de Produtos Florestais. (ROSS, 2010)

Tabela 7. Propriedades mecânicas e físicas do LVL colado com ácido cítrico a 10% (PT3)

	f_m (MPa)	E_M (MPa)	$f_{c,0}$ (MPa)	$E_{c,0}$ (MPa)	TNRE (%)	Densidad e (g/cm ³)	TUE (%)
Média	101,22	13176,79	54,33	4172,56	2,59	0,607	9,01
Desvio Padrão	7,45	403,81	4,54	1042,07	0,77	10,9	0,54

f_m : módulo de ruptura em flexão; E_M : modulo de elasticidade em flexão; $f_{c,0}$: compressão paralela à grã; $E_{c,0}$: módulo de elasticidade à compressão paralela; TNRE: taxa de não-retorno em espessura; TUE: teor de umidade de equilíbrio.

Fonte: Tabela elaborada pelo autor a partir de Del Menezzi *et al.* (2018), exceto $E_{c,0}$ que é informação nova que não foi publicada.

Kurt *et al.* (2012), produziram LVL com o adesivo FF de três clones híbridos de *Populus sp.* e encontraram valores entre 46,4 MPa e 57,98 MPa de $f_{c,0}$. Wang *et al.* (2015) também utilizaram o adesivo FF e o f_m variou de 79,9MPa a 90,5 MPa, enquanto que o E_M foi de 8.362 Mpa a 9.185 MPa para LVL não reforçado de *Populus sp.* Rahayu *et al.* (2015) realizaram pesquisa sobre a utilização de novas cultivares de *Populus sp.* para produção de LVL, usando adesivo acetato de polivinila, chegando a resultados entre 47,4 MPa a 64,8 MPa de f_m e 7.250 MPa a 10.312 MPa de E_M . Bal (2016), encontrou 66,1 MPa para f_m e 5.433 MPa para E_M . Recentemente, foi feita uma pesquisa utilizando AC como adesivo para compensado de *Anthocephalus cadamba* Miq e os melhores valores foram de 57,51 MPa e 3.309 MPa para f_m e E_M , respectivamente. (SUTIAWAN *et al.*, 2021)

Tendo em vista que os resultados de f_m e E_M com adesivos sintéticos para o mesmo tipo de painel (LVL) e a mesma espécie de madeira foram inferiores ao experimento de Del Menezzi *et al.* (2018), é possível afirmar que para o ensaio de flexão, o AC como adesivo na produção de LVL se saiu melhor. Assim como os resultados de flexão também foram superiores ao experimento com AC na confecção de compensado.

Os fatores que afetam a taxa de densificação são o nível de pressão do processo da prensagem e a quantidade de adesivo. Consequentemente, as taxas de densificação foram determinadas para serem maiores do que os valores da taxa de compressão. (BAL, 2016) Os valores de taxa de densificação do PT1 E PT2 foram bem superiores ao do PT3, como é mostrado na Tabela 8, abaixo. Isto pode implicar que, como os três tratamentos obtiveram a mesma programação de prensagem, o diferencial foi em relação à porcentagem de AC aplicada nas lâminas, onde PT1 e PT2 foram feitos com 20% de AC, enquanto que no PT3 foi feito com 10% de teor de AC. O valor da taxa de densificação do PT3 foi superior ao encontrado pelo experimento de Bal (2016) na confecção de painel LVL *Populus sp.*, usando adesivo convencional, porém próximos (23,1%), e o resultado da taxa de compressão também foi superior (10,3%).

Tabela 8 - Resultados da Taxa de Densificação e de Compressão dos PTs.

Tratamento	TxD (%)	TxC (%)
PT-1	56,7	40,5
PT-2	45,6	37,4
PT-3	27,0	24,3

PT: pré-teste; TxD (%): taxa de densificação em porcentagem; TxC (%): taxa de compressão em porcentagem.

fator que influencia tanto a taxa de compressão como a taxa de densificação é a densidade da madeira; quanto maior a densidade da madeira, menores devem ser estes resultados, ou seja, uma madeira com a densidade maior do que a da madeira de *Populus sp.*, certamente apresentaria taxa de compressão e densificação inferiores.

5. CONCLUSÃO

Foram realizados três testes exploratórios usando o ácido cítrico como adesivo na confecção de painéis LVL, porém devido a delaminação ocasionada em dois pré-testes, a retirada de corpos de prova foi limitada e somente o pré-teste 3 obteve sucesso na colagem de lâminas de madeira. Todos os painéis apresentaram uma coloração castanha escura na linha de cola.

O uso do AC como agente adesivo na colagem de lâminas de madeira para obtenção de LVL demonstrou possuir grande potencial. A combinação da programação de prensagem, com temperatura de 180°C, e com a aplicação de AC no teor de 10%, apresentou os melhores resultados para propriedades físicas e mecânicas de painel, quando comparada aos demais testes, e atendeu ao mínimo exigido pela norma europeia EN314-2 (2004). As propriedades mecânicas foram superiores, ou semelhantes às encontradas na literatura consultada para colagem de painel LVL com adesivo convencional, assim como os valores das propriedades físicas e a taxa de densificação. Também apresentou valores superiores de propriedades mecânicas que os demais trabalhos com AC na confecção de compensados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTMD 1037 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials**; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA, 2009.
2. ARAUJO, E. M. R. **Extração Líquido-Líquido de Ácido Cítrico**: Estudo em Bancada e em Coluynas Mecanicamente Agitadas., Belo Horizonte, Julho 2017. tese de doutorado.
3. BAL, B.C. Some technological properties of laminated veneer lumber produced with fast-growing Poplar and Eucalyptus. **Maderas Cienc. Technol.** 2016, 18, 413–424.
4. DEL MENEZZI, C. H. S. Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, consequências e prevenção. Brasília-DF: UnB, 2006. 37 p. (**Comunicações Técnicas Florestais**), v. 8, n. 2. 2006.
5. DEL MENEZZI, C. Reactions with Wood Carbohydrates and Lignin of Citric Acid as a Bond Promoter of Wood Veneer Panels. **Polymers**, 10, 2018. doi:10.3390/polym10080833.
6. DE MENDOZA BORGES, Pedro Hurtado *et al.* Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados e laminated veneer lumber (LVL). **Nativa**, v. 5, p. 588-593, 2017.
7. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard. **EN 314-1** Plywood—Bond Quality—Test Methods; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2004.
8. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard **EN 314-2** Plywood—Bond Quality—Requirements; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2004.
9. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard **EN408:A1** Timber Structures—Structural Timber and Glued Laminated Timber—Determination of Some Physical and Mechanical Properties; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2012.
10. HORI, D.; BIERMANN, C. J. Applications of Durable Press Treatment to Bleached Softwood Kraft Handsheets, **Agris**. 77, 1994. 135-140.
11. IHS Markit – IHS. (2020) **Citric acid. Chemical Economics Handbook**. Disponível em: <http://www.ihs.com/products/citric-acid.chemical-economics.handbook.html> Acessado em 29/07/2021.
12. JIS **A5908-2003** (2007) Particleboard (in Japanese). Japanese Standards Association, Tokyo, Japan, pp 741
13. KURT, R. *et al.* Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing using three hybrid poplar clones. **Turk. J. Agric. For.** 2012, 36, 237–245.

14. KUSUMAH, S. *et al.* Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard I: Effects of pre-drying treatment and citric acid content on the board properties. **Industrial Crops and Products**, n. 84, p. 34-42, 2016.
15. KUSUMAH, S. S. *et al.* **Investigation of eco-friendly plywood bonded with citric acid–starch based adhesive.** In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. p. 012009.
16. NAKAMURA, A. P. D. **Propriedades de painel biocompósito produzido com fibras de coco-da-baía e ácido cítrico como adesivo.** Universidade de Brasília. [S.l.], p. 118. 2018. Dissertação de mestrado em ciencias florestaisw.
17. NGADIANTO, A. *et al.* Characteristics of particleboard made of peanut shell. **Journal Belantara**, 1, n. 2, 2018. 77-88. DOI: <https://doi.org/10.29303/jbl.v1i2.73>.
18. PIZZI, A. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. *Journal of Adhesion Science and Tecnology*, 20, Janeiro 2006. 829-846.
19. RAHAYU, I. *et al.* **Ten new poplar cultivars provide laminated veneer lumber for structural application.** *Annals of Forest Science. Sci.* 2015, 72, 705–715.
20. ROSS, Robert J. *et al.* **Wood handbook: wood as an engineering material.** USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., v. 190, 2010.
21. SAJAB, M. E. A. Citric acid modified kenaf fibers for removal methylene blue from aqueous solution. **bioresource tecnologies**, v. 102, n. 15, p. 7237-7243, 11 Maio 2011.
22. SILVA, M. L.; FERNANDES, N. S.. Análise da Serragem de Madeira utilizada como adsorvente dos metais Cr³⁺ e Pb²⁺ de resíduos laboratoriais. **Revista Publica.**, v. 6, n. 1, 2010.
23. SNI 2000 **SNI 01-5008.2-1999**: Kayu lapis dan papan blok penggunaan umum. Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
24. SUN, Shijing; ZHAO, Zhongyuan; UMEMURA, Kenji. Further exploration of sucrose-citric acid adhesive: Synthesis and application on plywood. **Polymers**, v. 11, n. 11, p. 1875, 2019.
25. SUTIAWAN, J. *et al.* Influence of different hot-pressing conditions on the performance of eco-friendly jaban plywood bonded with citric acid adhesive. **Wood Material Scienc e & Engineering.**, 10 Fevereiro 2021.
26. SYAMANI, F.A.*et al.* **Effect of pre-drying time and citric acid content on Imperata cylindrica particleboards properties.** IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2018, 209, 01203.

27. UMEMURA, K.; SUGIHARA, O.; KAWAI, S. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard. **Journal of Wood Science**, 3, n. 59, 203- 208, 2013.
28. UMEMURA, K.; SUGIHARA, O.; KAWAI, S. Investigation of a new natural adhesive composed of citric acid and sucrose for particleboard II: effects of board density and pressing temperature. **Journal of Wood science**, 61, 40-44, 2015
29. UMEMURA, K.; UEDA, T.; KAWAI, S. (2012b). Characterization of wood-based molding bonded with citric acid. **Journal of Wood Science**, 58, 28-45, 2012b.
30. UMEMURA, K., UEDA, T., MUNAWAR, S., & KAWAI, S. (2012a). Application of citric acid as natural adhesive for wood. **Journal of Applied Polymer Science**, 123, 1991-1996, 2012a.
31. WANG, J. *et al.* Evaluation of mechanical properties of reinforced poplar laminated veneer lumber. **BioResources** 2015, 10, 7455–7465.
32. WIDYORINI, R. *et al.* Bonding Ability of a New Adhesive Composed of Citric Acid-Sucrose for Particleboard, **BioResources** 2, n. 11, 2017. 4526-4535.
33. WIDYORINI, R. *et al.* Manufacture and properties of citric acid-bonded particleboard made from bamboo materials. **Eur. J. Wood Wood Prod.** 2016, 74, 57–65.
34. WIDYORINI, R. *et al.* Effect of starch addition on properties of citric acid-bonded particleboard made from bamboo. **BioResources** 2017, 12, 8068–8077.
35. YOUNGQUIST, J. A.; LAUFENBERG, T. L.; BRYANT, Ben S. End jointing of laminated veneer lumber for structural use. **Forest Products Journal**, v. 34, n. 11-12, p. 25-32, 1984.
36. ZHAO, Z. *et al.* Further Exploration of Sucrose–Citric Acid Adhesive:Investigation of Optimal Hot-Pressing Conditions for Plywood and Curing Behaviorr. **Polymers**, 2019.
37. ZHOU, Y. J.; AL, E. Wet Reinforcing of Paper and Board by Novel crosslinking chemicals. **BioResources** 1993. 1045-1072.
38. ZHU, B.; FAN, T.; ZHANG, D. Adsorption of copper ions from aqueous solution by citric acid modified soy bean straw. **Journal of Hazardous materials.**, 153, 2008. 300-308.