

MURILO ALVES LIMA

**VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE LÂMINAS DE BAMBU COMO REFORÇO
EM ESTRUTURAS DE LAMINATED VENEER LUMBER (LVL) DE PINUS E
ADESIVO POLIURETANO À BASE DE MAMONA**

Botucatu

2022

MURILO ALVES LIMA

**VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE LÂMINAS DE BAMBU COMO REFORÇO
EM ESTRUTURAS DE LAMINATED VENEER LUMBER (LVL) DE PINUS E
ADESIVO POLIURETANO À BASE DE MAMONA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Ciência Florestal

Orientador(a): Juliana Cortez Barbosa

Coorientador(a): Elen Aparecida Martines
Morales

Botucatu

2022

L732v

Lima, Murilo Alves

Viabilidade técnica do uso de lâminas de bambu como reforço em estruturas de laminated veneer lumber (LVL) de pinus e adesivo poliuretano à base de mamona / Murilo Alves Lima. -- Botucatu, 2022
53 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Juliana Cortez Barbosa

Coorientadora: Elen Aparecida Martines Morales

1. Produtos de Bambu. 2. Construção mista. 3. Guadua angustifolia.
4. Construção de madeira laminada. 5. Poliuretanas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE LÂMINAS DE BAMBU COMO REFORÇO EM ESTRUTURAS DE LAMINATED VENEER LUMBER (LVL) DE PINUS E ADESIVO POLIURETANO A BASE DE MAMONA

AUTOR: MURILO ALVES LIMA

ORIENTADORA: JULIANA CORTEZ BARBOSA

COORDINADORA: ELEN APARECIDA MARTINES MORALES

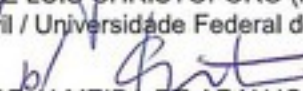
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:



Prof.ª Dr.ª JULIANA CORTEZ BARBOSA (Participação Virtual)
Engenharia Industrial Madeireira / Universidade Estadual Paulista Campus Experimental de Itapeva



Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO (Participação Virtual)
Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos



Prof. Dr. VICTOR ALMEIDA DE ARAUJO (Participação Virtual)
Grupo de pesquisa LIGNO / Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva

Botucatu, 02 de setembro de 2022

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Senbra Indústria e Comércio de Madeiras, pelas lâminas de pinus sp. doadas para o trabalho.

À minha Mãe e o Matheus, pelo apoio e aprovação da minha carreira acadêmica.

Às Prof^a. Dr^a. Juliana, Elen e Maristela, pela orientação, ensinamentos, paciência com o meu trabalho nesta dissertação.

À todos os professores e funcionários da FCA.

À todos os professores da UNESP e Universidad Nacional del Sur que tive contato virtualmente dentro do período de pandemia.

À todos os funcionários da UNESP de Itapeva.

RESUMO

O bambu é extensamente presente no território nacional e seus colmos podem ser colhidos com 5 anos de idade e em algumas espécies com 4 anos. Os colmos de bambu apresentam propriedades mecânicas equiparadas e em alguns casos superiores às inúmeras espécies de madeiras. Com a demanda de produtos sustentáveis e com a proposta do uso de madeira em estruturas, o bambu tem características físico-mecânicas semelhantes à madeira para entrar neste mercado. O presente estudo tem como objetivo avaliar se as lâminas esquadrejadas de *Guadua angustifolia* bicolor (bambu) utilizadas como reforço incrementam as propriedades mecânicas do laminated veneer lumber (LVL) de *Pinus sp.* para uso estrutural. As dimensões dos colmos de bambu foram avaliadas em espessura de parede e diâmetro interno e processadas com o uso de uma faca radial, plaina desengrossadeira e desempenadeira para formar a camada do painel com lâminas esquadrejadas. Foram produzidos LVLs com e sem revestimento de bambu para avaliar a colagem e o incremento alcançado nas propriedades de flexão. As vigas com revestimento de bambu melhoraram a resistência da estrutura e reduziram peso.

Palavras-chave: bambu; laminated veneer lumber; pinus; *Guadua angustifolia* bicolor; poliuretano.

ABTRACT

Bamboo is widely present in the national territory and its stalks can be harvested at 5 years of age and in some species at 4 years of age. Bamboo culms have mechanical properties similar to and in some cases superior to countless wood species. With the demand for sustainable products and the proposal to use wood in structures, bamboo has physical-mechanical characteristics similar to wood to enter this market. The present study aims to evaluate whether squared veneer sheets of *Guadua angustifolia* bicolor (bamboo) reinforce increase the mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) of Pinus sp. for structural use. The dimensions of the bamboo culms were evaluated in wall thickness and internal diameter and processed using a radial knife, planer and planer to form the layer of the panel with squared blades. LVLs with and without bamboo cladding were produced to evaluate the bonding and the achieved increment in the flexural properties. Bamboo-clad beams improved the strength of the structure and reduced weight.

Keywords: bamboo; laminated veneer lumber; pinus; *Guadua angustifolia* bicolor; polyurethane.

LISTA DE SÍMBOLOS

h	Altura da seção quadrada da viga no ensaio de flexão
h_o	Altura inicial do corpo de prova
$b \cdot d$	Área da seção com largura “b” e comprimento “d”
b	Base da seção quadrada da viga no ensaio de flexão
$P_{\max}$	Carga máxima no teste de cisalhamento
$F_{\max}$	Carga máxima no teste de compressão
l	Comprimento da viga entre os dois suportes
ρ_m	Densidade aparente no teor de umidade “m”
ρ_o	Densidade Seca
d	Diâmetro maior do parafuso em metros
a	Distância entre o carregamento e o suporte mais próximo
F_i	Força exercida pela prensa em Newtons
$w_2 - w_1$	Incremento da deformação na região elástica do gráfico
$w_{40} - w_{10}$	Incremento da deformação na região elástica do gráfico
$F_2 - F_1$	Incremento de carga na região elástica do gráfico tensão-deformação
$F_{40} - F_{10}$	Incremento de carga na região elástica do gráfico tensão-deformação
K'	Índice do sistema
m_m	Massa no teor de umidade “m”
m_o	Massa seca
E_c	Modulo de elasticidade a compressão paralela as fibras
$E_{m,g}$	Modulo de elasticidade geral na flexão
σ_c	Resistência a compressão paralela as fibras
τ	Tensão de cisalhamento na linha de cola
MC%	Teor de Umidade
T	Torque do Torquímetro em N.m
V_m	Volume no teor de umidade “m”
V_o	Volume seco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
2.1	Laminated Veneer Lumber (LVL)	17
2.2	Laminated Veneer Bamboo (LVB).....	18
2.3	Guadua angustifolia bicolor Londoño	19
2.4	Bambu em Sistemas Estruturais.....	20
2.5	Mercado do Bambu	20
2.6	Conclusão da Revisão Bibliográfica.....	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	Delineamento Experimental	22
3.1.1	Processamento e Análise do Material – Bambu	22
3.1.2	Processamento e Análise do Material – Pinus.....	27
3.1.3	Fabricação e Caracterização do Produto – Laminated Veener Lumber (com e sem reforço)	30
3.2	Ensaio Físicos e Mecânicos do Produto	33
3.2.1	Teor de Umidade e Densidade	34
3.2.2	Qualidade da Colagem.....	35
3.2.3	Flexão flatwise	35
3.3	Análise dos resultados	37
4	RESULTADOS.....	38
4.1	Ensaio Físicos e Mecânicos do Produto	38
4.2	Fabricação e Caracterização do Produto – Laminated Veener Lumber (com e sem reforço)	40
4.3	Processamento e Análise do Material – Bambu	40
4.4	Processamento e Análise do Material – Pinus.....	43
5	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS.....	45
	APÊNDICE A	48
	APÊNDICE B	53

1 INTRODUÇÃO

O bambu é uma matéria prima com idade de corte menor que a madeira, em uma touceira adulta pode ser colhido com 5 anos de idade (LIESE, 1998). Porém esta matéria-prima de rápido desenvolvimento no mercado formal nacional ainda é pouco explorada em comparação a sua importância comercial em outros países. O bambu engenheirado ainda se encontra em um campo emergente no uso e desenvolvimento de pesquisa para o uso em estruturas, como a sua forma laminada (SHARMA et al., 2015).

As aplicações do bambu em sistemas estruturais podem variar pela sua manufaturada, originando novos produtos e compósitos a base de sua forma roliça, laminado e desfibrado (strand woven bamboo e bamboo fiber composites). Na produção de painéis utilizando bambu laminado, o processo de conformação do bambu em lâmina plana é categorizado por esquadrejamento, prensagem com placa plana e rolo compressor.

As propriedades mecânicas da madeira de pinus apresentam valores semelhantes ao do bambu e em alguns casos superam elas, sendo um potencial substituto ou reforço mecânico aos produtos de laminated veneer lumber (LVL) presentes no comercio, conforme é apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades Físicas e Mecânicas do Pinus, Bambu e LVL Comercial

Propriedades	Madeira de Pinheiro (Pinus sp.)	Bambu	LVL Comercial
Tração Paralela às Fibras (MPa)	49 – 81	40 – 215	15,65 ± 2,34
Compressão Paralela às Fibras (MPa)	32 – 44	33 – 66	23,40 ± 4,90
Resistência a Flexão (MPa)	59 – 86	30 – 170	24,73 ± 6,25
Módulo de Elasticidade (GPa)	6,7 – 13,3	5,5 – 18	13,42 ± 1,06
Densidade Básica (kg/m³)		510 – 980	

Fonte: BORTOLETTO JÚNIOR (2008); Pereira & Beraldo (2007); “PR-L266 - VERSA-LAM® LVL, Boise Cascade Wood Products, LLC” (2022); “PR-L280(C) - LP® SolidStart® Laminated Strand

Lumber and Laminated Veneer Lumber, Louisiana-Pacific Corporation” (2021); “PR-L283 - Murphy Laminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division” (2022); “PR-L292 - Murphy Laminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division” (2021); “PR-L301 - GLOBAL Laminated Veneer Lumber, Global LVL Inc.” (2022); “PR-L307 - Murphy ConBeam LVL, Murphy Engineered Wood Division” (2021); “PR-L329 - Pacific Woodtech Preservative-Treated Laminated Veneer Lumber, Pacific Woodtech Corporation” (2022); “PR-L329(C) - Pacific Woodtech Preservative-Treated Laminated Veneer Lumber, Pacific Woodtech Corporation” (2022); “PR-L334 - West Fraser LVL Tension Lams, Sundre Forest Products Inc.” (2021); Sharma et al. (2015).

A tabela 1 apresenta valores de madeira de coníferas que são representados por espécies de 15-25 anos de idade (BORTOLETTO JÚNIOR, 2008) e o período de corte do bambu em uma touceira adulta é de 5-14 anos (LIESE, 1998). A oportunidade do ciclo de fornecimento da matéria prima frente aos desafios do processamento indica uma oportunidade de uso do recurso.

Segundo Ostapiv & Gonçalves (2011), as lâminas de bambu apresentam resultados significativos como reforço em madeiras de baixa e média densidade e em alguns casos de elevada densidade. Apresenta um importante papel em painéis sarrafeados, melhorando a amarração e a união dos sarrafos entre si, bem como a resistência à flexão dos painéis.

O presente estudo tem como objetivo avaliar se as lâminas esquadrejadas da espécie de bambu *Guadua angustifolia* bicolor promovem aumentos significativos nas propriedades mecânicas do laminated veneer lumber de *Pinus* sp. produzido neste estudo para uso estrutural.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O método de revisão de literatura foi padronizado em buscar pesquisas com as mesmas variáveis presentes nesta pesquisa e buscar temas que ajudem a fundamentar as variáveis que foram afirmadas na introdução e métodos. O método de busca realizado no dia 25 de outubro de 2022 nas plataformas Capes e Scopus com a estratégia de busca (1) “laminated veneer lumber” AND structural AND bamboo e (2) “bamboo reinforced” AND laminated.

A busca por documentos normativos que contenham a definição da nomenclatura laminated veneer lumber ou sinônimos como madeira microlaminada, lamibois e venir lamina nos documentos normativos na American Society for Testing and Materials (ASTM), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), European Standard (EN) e Bureau of Indian Standards (IS).

A busca sobre comercialização, estruturas e espécie utilizada não tiveram critério específico, utilizando sites e artigos que continham informações compatíveis com as justificativas necessárias.

2.1 Laminated Veneer Lumber (LVL)

Os documentos normativos de terminologia ASTM D9-20 (2021) e ASTM D5456-21e1 (2021) descrevem o *laminated veneer lumber* (LVL) como um compósito estrutural de madeira com lâminas orientadas primariamente ao longo do eixo longitudinal da peça, onde a espessura das lâminas sejam iguais ou menores a 0,25 in. (6,4 mm).

O documento normativo de requisitos do laminated veneer lumber estrutural do DIN EN 14374 (2005), o classifica como um compósito de lâminas de madeira com as fibras essencialmente orientadas na mesma direção, não excluindo a possibilidade da presença de cruzadas, e estabelecendo os requisitos de ser composto por no mínimo 5 lâminas de espessura igual ou menor que 6 mm, ser aprovado pelo teste de qualidade de colagem e respeitar as dimensões e tolerâncias especificadas para cada tipo de teste.

O documento normativo de requisitos da especificação do laminated veneer lumber do IS 14616 (1999), o classifica como um compósito estrutural feito de lâminas de 1,5 a 4,2 mm de espessura em camadas sucessivas alinhadas ao longo da dimensão longitudinal do compósito, podendo apresentar lâminas alinhadas de forma perpendicular à dimensão longitudinal desde que não exceda a relação 1:10 em comparação com as lâminas alinhadas ao longo da dimensão longitudinal, com qualidade de lâmina e colagem em conformes com o especificado no documento normativo.

2.2 Laminated Veneer Bamboo (LVB)

O documento normativo ASTM D5456-21e1 (2021) estabelece que o termo laminated veneer bamboo (LVB) representa um compósito de ripas (strand) de bambu, unidos lateralmente para formar uma lâmina, que são coladas em face com as fibras orientadas principalmente ao longo do eixo longitudinal para formar o produto. A menor dimensão entre os três eixos de cada elemento de ripa deve ser inferior ou igual a 6,4 mm (0,25 pol.) e comprimento médio de no mínimo 300 vezes maior que a menor dimensão entre os três eixos do elemento.

As lâminas de bambu podem ser processadas por esmagamento e costura (bundle), esquadrejamento das faces por usinagem (strand) e fatiamento em tiras (slivers). A nomenclatura normatizada na American Society for Testing and Materials (ASTM) para lâminas de bambu coladas na mesma direção ainda esta limitada para o tipo de elementos esquadrejados, deixando livre aos artigos introduzir um critério de nomenclatura.

Nomenclaturas como laminated bamboo fibrillated-veneer lumber (LBL) (Chen et al. 2014), bamboo-bundle laminated veneer lumber (BLVL) (Chen et al. 2016), bamboo-bundle/poplar veneer laminated veneer lumber (BWLVL) (Chen et al. 2017) e bamboo sliver laminated veneer lumber (BSLVL) (Chen et al. 2016) aparecem para descrever os diferentes elementos que podem compor um laminated veneer lumber.

O documento normativo da ASTM D5456-21e1 (2021) estabelece a expressão laminated veneer bamboo (LVB) que substituir o termo lumber por bamboo, mas não substituir o termo veneer por strand, como é presente em compósitos como o

laminated strand lumber (LSL), oriented strand lumber (OSL) e o parallel strand lumber (PSL), descritos no mesmo documento normativo. A inclusão e substituição dos termos são conflitantes e não são justificados na terminologia presente nos documentos normativos ASTM D9-20 (2021), ASTM D1038-19 (2019) e ASTM D1554 (2016) por se limitarem em situações de madeira ou grupo específico como madeira de conífera, excluindo elementos fora delas como o bambu.

2.3 *Guadua angustifolia* bicolor Londoño

LONDOÑO (1989) descreve a touceira e o colmo do *Guadua angustifolia* bicolor como um bambu lenhoso com espinhos e de rizoma simpodial (paquimorfo), com colmos retos de ápice arqueado e com listras amarelas e verdes quando jovem, que se tornam verde-amarelado com o tempo. Os colmos tem diâmetros de 10-12 cm e altura de 15-18 metros, com entrenós ocos e cilíndricos de 15-30 cm de comprimento. Os nós são solitários, com 2 bandas de pelos brancos ao redor da linha nodal e uma gema por nó.

Figura 1 – *Guadua angustifolia* bicolor Londoño



2.4 Bambu em Sistemas Estruturais

Uma das vantagens para o uso do bambu está na abundância do número de espécies. De acordo com Meredith (2009), há cerca de 1400 espécies de bambu espalhadas pelas regiões tropicais e subtropicais, com populações nativas em quase todos os continentes, excluindo Europa e Antártida. Com exceção da alga marinha gigante, o bambu é a planta de mais rápido crescimento do mundo.

A idade madura dos colmos de bambu para uso em sistemas estruturais se encontra na faixa de 5-14 anos de idade. Esta faixa é considerada pela vida útil de um colmo de bambu ser considerado 15 anos de idade, pelo início do espessamento das células parenquimáticas começarem em colmos de no mínimo 3 anos de idade e pela presença de um pico na taxa de amido em algumas espécies de colmos com 4 anos de idade (LIESE, 1998).

Os produtos à base de bambu em sistemas estruturais e apresentam algumas limitações que podem variar especialmente devido à sua geometria natural. Dentre as desvantagens de sua forma original, pode-se citar os seguintes aspectos: limitação do formato, existência de uma câmara oca interna, necessidade de elevado grau de manufatura, conicidade e baixo rendimento do material original quando manufaturado.

Zaal (2008 apud VAN DER LUGT, 2008) estima que o rendimento do colmo inteiro de bambu Mossô (*Phyllostachys pubescens*) e Guadua (*Guadua sp.*), desde a colheita ao produto final, é aproximadamente 32% para o laminado esquadrejado, 48% para tapetes e 56% para o scrimber/strand woven bamboo (bambu esmagado e colado), em comparação ao laminado colado de madeira nos USA, com um rendimento de aproximadamente 82% (PUETTMANN; WILSON, 2005).

2.5 Mercado do Bambu

O mercado internacional do bambu e rattan de 2014 em exportações movimentou 1830 milhões de dólares e pode ser segmentado nas seguintes categorias, em ordem decrescente e respectivos valores em dólares: piso de bambu (17,76%), brotos de bambu (15,57%), cestaria de bambu (13,17%), cestaria de rattan (9,83%), moveis de bambu & rattan (8,80%), cadeiras de bambu & rattan (6,34%), compensado de bambu (6,01%), tapetes/telas de bambu (5,79%), bambu natural (5,08%), carvão de bambu (3,82%), tranças de bambu & entrança (3,66%), papel a

base de bambu (1,80%), rattan natural (1,25%), celulose de bambu (0,6%), tapetes/telas de rattan (0,38%) e tranças de rattan e trança (0,27%) (INBAR, 2016).

No setor brasileiro, segundo dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), apresentado em International Trade Centre UNCTAD/WTO & International Tropical Timber Organization (2005), a importação brasileira de móveis de madeira no ano de 2000 foi de 346,76 milhões de dólares. Deste, 3% é representado por móveis de outros materiais como bambu e 1% por cadeiras de cana, vime e bambu. De acordo com Manhães & Silva (2008), o mercado interno brasileiro de produtos à base de bambu, em sua maioria, é disperso e pouco formal, com potencial de desenvolvimento em determinados setores, como: mudas, artesanato, construções, papel & celulose, carvão, moveis, laminação e varas de pescar.

2.6 Conclusão da Revisão Bibliográfica

O resultado da estratégia de busca de artigos com estudos semelhantes ao do presente trabalho, mostrou que o presente estudo apresenta um avanço técnico no uso de lâminas de bambu esquadrejadas reforçando lâminas de pinus no sistema de laminated veneer lumber (LVL). Os artigos encontrados utilizam lâminas de bambu prensadas e escovadas (bundles) para intercalar com as lâminas de madeira formando o laminated veneer lumber (Chen et al. 2017).

O presente estudo também traz inovação na combinação de variáveis como o sistema de produção do LVL utilizando o poliuretano a base de mamona, sistema de prensagem manual à frio com prensa de dupla rosca, uso de classificação das lâminas do LVL com o uso do documento brasileiro (ABNT NBR ISO 2426-3, 2006) e a avaliação do método do “carimbo”.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento Experimental

A descrição do delineamento experimental, processamento do material e propriedades a serem estudadas estão separadas nos seguintes tópicos:

- Processamento e Análise do Material – Lâminas de Bambu (reforço)
- Análise e Classificação do Material – Lâminas de *Pinus sp.*
- Fabricação e Caracterização do Produto – Laminated Veneer Lumber (com e sem reforço)
- Ensaios Físicos e Mecânicos do Produto

3.1.1 Processamento e Análise do Material – Bambu

Três colmos inteiros de *Guadua angustifolia* bicolor com 5 anos de idade foram coletados no dia 26 de março de 2022 na região paulista de Avaré. Em campo com o auxílio da motosserra e fita métrica, os colmos foram seccionados longitudinalmente em peças de 1,5 metros e mensurados os comprimentos os entrenós da base ao ponto mais alto do colmo. As peças com diâmetro externo superior a 50 mm foram marcadas com uma identificação do colmo e altura e foram transportadas para o laboratório de “Indústria do mobiliário e construção” da UNESP de Itapeva, onde foram mantidos na sombra para uma mudança mais suave do teor de umidade do material em contato direto com o sol e a chuva.

Figura 2 –*Guadua angustifolia* bicolor Coletado



Foto: Murilo Alves Lima - 2022

Em laboratório, a espessura de parede e diâmetro interno da seção cortada do colmo foram mensuradas com o auxílio de um paquímetro, não sendo amostradas as regiões com espessamento próximo ao nó do colmo.

Em razão de determinar o melhor momento local para processar os colmos sem grande perda do material disponível, neste estudo foi escolhido uma peça da altura entre 4,5-6,0 metros de forma aleatória para avaliação visual de uma seção transversal em relação ao encanoamento durante a secagem. A peça foi seccionada transversalmente em oito ripas e as extremidades de cada ripa foram marcadas com tinta de carimbo e marcadas sobre uma folha em branco em intervalos de três dias até não ser observada alteração na seção transversal.

O método de avaliação nas extremidades por carimbo foi criado neste estudo com o objetivo de estimar um período de dias ótimo de secagem para iniciar a usinagem, por meio da relação entre a mudança instável do formato dos materiais lignocelulósicos recém cortados com a variação do teor de umidade.

As peças na altura que não apresentavam a presença de ramos foram seccionadas transversalmente em ripas utilizando usinagem de corte com uma máquina seccionadora com faca radial de 45°, desenvolvido por SANTOS et al. (2018) e apresentado na Figura 3. As ripas curvas foram manualmente usinadas com um facão para retirar o diafragma, as gemas, o espessamento da região nodal e o anel nodal da casca, evitando retirar a camada interna e externa do entrenó para servirem de gabarito no processo de laminação, como demonstra a Figura 4.

Figura 3 – Rachadora com Faca Radial de 45°



Figura 4 – Usinagem com Facão



As ripas curvas usinadas foram laminadas no dia 14 de abril de 2022 por fresamento com uma plaina desengrossadeira Makita 2012NB 304mm apresentada na Figura 5. Foi utilizado o material na posição entre 0 até 6 metros de altura, descartando material com presença de ramos e peças esbeltas para o manuseio com o facão. O padrão de usinagem estabelecido neste estudo visou padronizar usinar a face interna até a retirada completa da camada interna, que tem interface com a região oca do colmo, e depois a face externa até formar uma faixa central em casca.

Figura 5 – Usinagem na Plaina Desengrossadeira



A usinagem na plaina desengrossadeira foi dividida em classes de altura, usando inicialmente 28 mm para as ripas de altura até 1,5 metros, 25 mm para as ripas entre 1,5-3,0 metros e 19 mm para as ripas encontradas entre 3,0-6,0 metros. As ripas curvas usinadas foram passadas pela plaina desengrossadeira até completa o objetivo metodológico de laminação, inicialmente com a altura da classe de altura e em intervalos de 2 em 2 mm até a espessura de 5 mm e a partir dos 5 mm em passos de 1 em 1 mm até o limite de 3 mm.

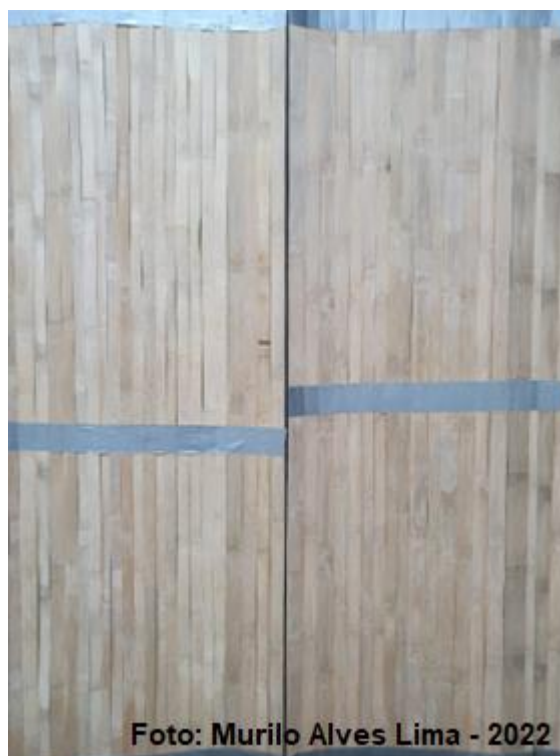
As lâminas com duas faces aplainadas foram marcadas conforme a altura de origem e as espessuras foram mensuradas com o auxílio do paquímetro, nas porções planas do comprimento para compor a média da lâmina. As lâminas foram empilhadas com o uso de tabiques de madeira com dimensões de 2x2x150 cm e avaliadas visualmente a presença de problemas de usinagem e estabilidade dimensional do material.

A estabilidade dimensional das lâminas como a presença de encanoamento após a usinagem na plaina foi analisado visualmente depois de uma semana. Noventa dias após a primeira usinagem na plaina desengrossadeira, as lâminas foram novamente usinadas em face na plaina até a espessura de 4 mm, cortadas na serra de fita em comprimento padronizado de 127 cm e usinadas lateralmente por fresamento na desempenadeira até o esquadrejamento das faces, como apresentado na Figura 6. As lâminas esquadrejadas serão justapostas lateralmente com o auxílio de uma fita adesiva para que formem conjuntos com 47 cm de largura, como apresentado na Figura 7.

Figura 6 – Usinagem Lateral na Desempenadeira



Figura 7 – Usinagem Lateral na Desempenadeira



3.1.2 Processamento e Análise do Material – Pinus

Foram adquiridas 40 lâminas de *Pinus sp.* na empresa Senbra de Senges-PR com dimensões média e desvio de $2,55 \pm 0,179$ mm na espessura, $1266,6 \pm 9,29$ mm na direção paralela às fibras e $1325 \pm 7,63$ mm na direção perpendicular às fibras. As lâminas foram transportadas para o laboratório de “Indústria do mobiliário e construção” da UNESP de Itapeva no dia 01 de junho de 2022, onde foram mantidas na sombra para evitar contato direto com o sol e a chuva, conforme apresentado na Figura 8. Nas lâminas de *Pinus sp.* foram avaliadas as suas dimensões na direção paralela e perpendicular às fibras com o auxílio de uma fita métrica e a espessura em 6 pontos por lâmina com o auxílio de um paquímetro.

Figura 8 – Lâminas de Pinus



A avaliação visual da qualidade das lâminas para a atribuição de classes foi obtida do vocabulário e classificação pela aparência superficial geral e de coníferas para madeira compensada, presente nos documentos normativos ABNT NBR ISO 2074 (2012), ABNT NBR ISO 2426-1 (2006) e ABNT NBR ISO 2426-3 (2006). O método de avaliação e classificação se baseou-se em:

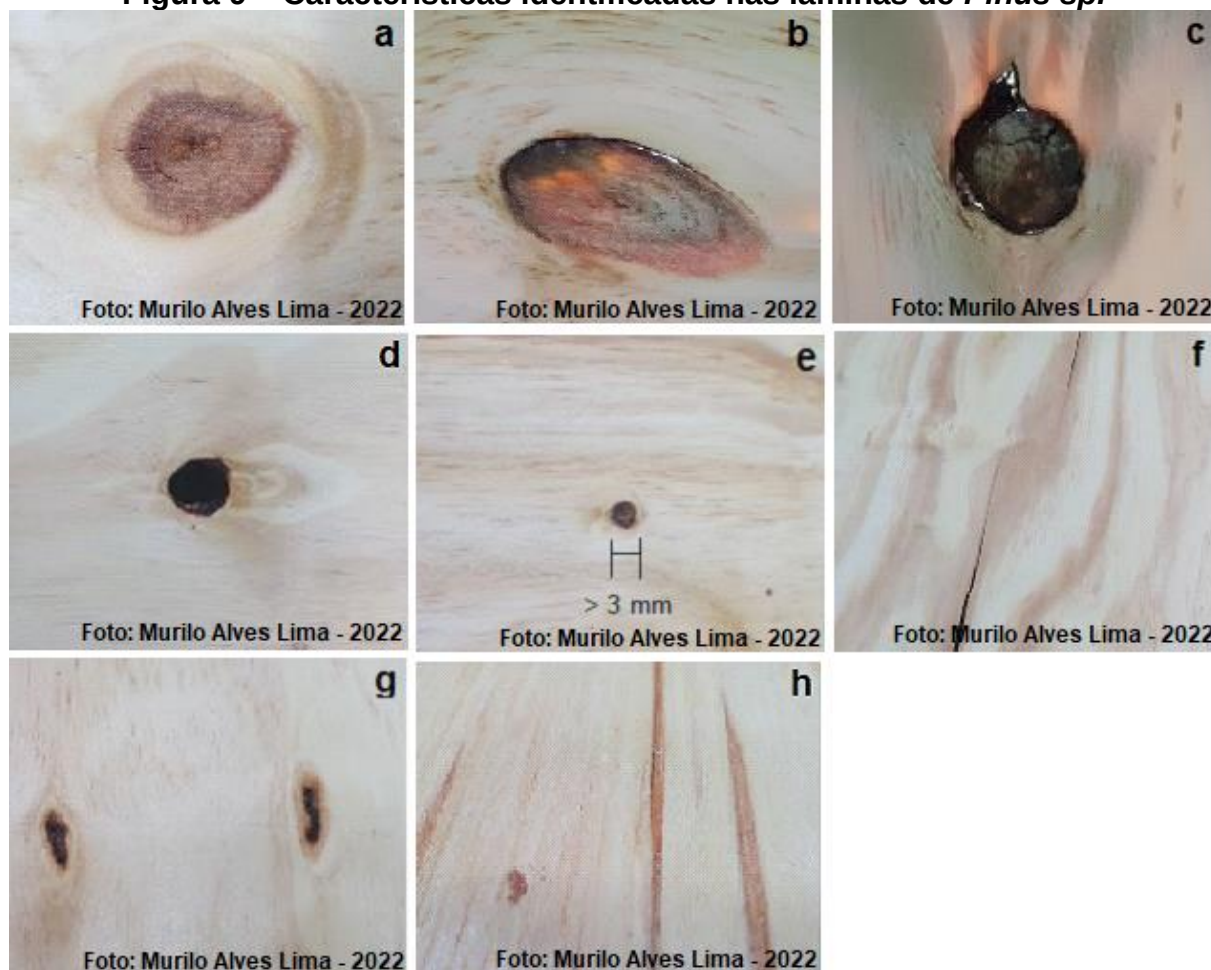
- Mensurar as dimensões do maior comprimento e largura de nó e fenda presente em cada lâmina na direção da fibra.

- Contar o número de nós, fendas e nós cabeça de alfinete.

- Marcar a presença de nó firme aderente (nó aderente e parcialmente aderente), nó solto ou soltadiço (nó não aderente e furo de nó), bolsões de resina, veios de resina, casca inclusa, manchas, irregularidades e outras características presentes na madeira ou causadas por organismos xilófagos.

A classificação visual das lâminas segundo os documentos normativos ABNT NBR ISO 2074 (2012), ABNT NBR ISO 2426-1 (2006) e ABNT NBR ISO 2426-3 (2006). Identificou e caracterizou os nós aderentes (a), nós parcialmente aderentes (b), nós não aderentes (c), furos de nó (d), nós cabeça de alfinete (e), fendas (f), bolsões de resina (g) e manchas (h), como é apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Características identificadas nas lâminas de *Pinus sp.*



A combinação das variáveis coletadas com os fatores limitantes de classe presentes na ABNT NBR ISO 2426-3 (2006), tornando binária as variáveis do tipo presentes e torna as dimensões do maior nó para a pior categoria de nó presente na lâmina. Assim, em cada variável presente na lâmina foi atribuída uma classe de acordo com as limitações delimitadas no documento normativo. As lâminas foram separadas e marcadas em classes (E,1,2,3 e 4) e dentro de cada classe apresenta as categorias que representa a variável limitante responsável por determinada classificação.

Em ordem crescente de qualidade dentro de uma classe, as categorias representam as variáveis de maior dimensão dos nós soltos e soltadiços, maior dimensão e número de nós firmes aderentes, presença de bolsões de resina, maior comprimento e número de fendas, número de nós cabeça de alfinete e presença de machas.

As lâminas marcadas com as suas respectivas classes e categoria foram usinadas com o auxílio da serra circular para que tivessem as dimensões 127x47 cm, retirando duas lâminas de 47 cm de largura da lâmina original, como apresentado na Figura 10. As lâminas de classificação por maior comprimento e número de fendas foram novamente avaliadas e classificadas, por ser uma variável de ocorrência após o corte das arvores e por ter atributos de classificação unidimensional na lâmina.

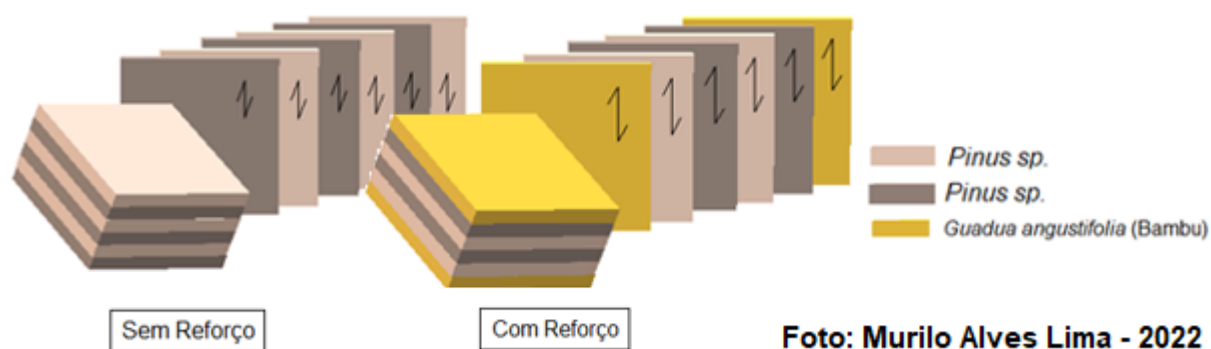
Figura 10 – Serra Circular no Corte de Lâminas de Pinus



3.1.3 Fabricação e Caracterização do Produto – Laminated Veneer Lumber (com e sem reforço)

As 40 lâminas de *Pinus sp.* com dimensão de área 1266,6x470 mm e espessura de $2,55 \pm 0,179$ mm foram ranqueadas de acordo com as classes e categorias definida para formar um painel por tratamento, totalizando 3 painéis. Os três painéis formados pelo primeiro com 20 lâminas das melhores classes de Pinus, o segundo com 20 lâminas das piores classes de Pinus e o terceiro com 18 lâminas das melhores classes de Pinus e 2 de bambu. A disposição das camadas de lâminas e construção dos painéis é demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Esquematisação da disposição das lâminas do laminated veneer lumber de *Pinus sp.*, com e sem reforço de bambu



Todas as lâminas foram coladas com a mesma orientação de fibras 0°/0°, respeitando as definições e requisitos da DIN EN 14374 (2005), com o uso do adesivo poliuretano à base de mamona, formada pela mistura na relação 1:1 do peso do polioli KDG1909 da Kehl com o isocianato AC200, conforme as recomendações do boletim técnico do fabricante.

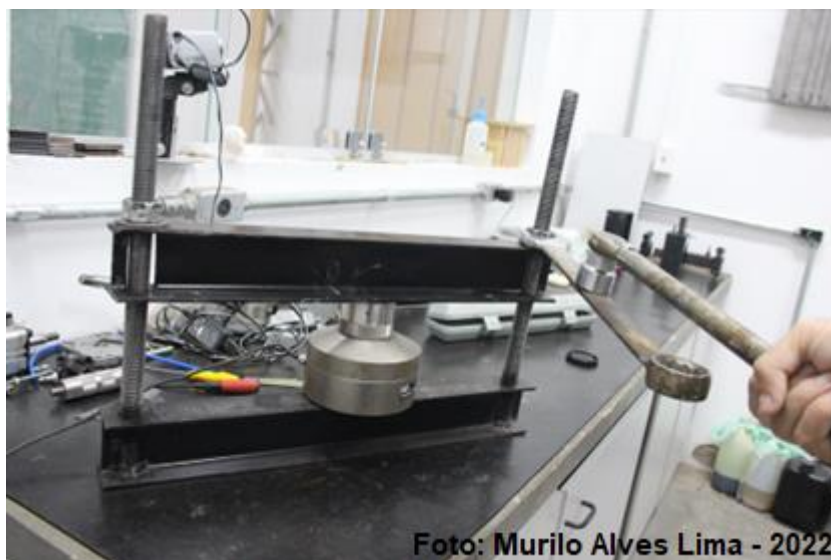
O adesivo foi distribuído em linha dupla com a gramatura de 400 g/m², o método de aplicação misturou a metade do peso necessário de cada componente para um painel e subdividir a mistura, com o auxílio de uma balança, o peso calculado com um acréscimo de 10% de resíduo para cada lâmina, com uso da espátula de silicone. Após a aplicação da primeira metade, foi misturado a outra metade e distribuído utilizando o mesmo procedimento.

As lâminas com adesivo foram prensadas entre duas placas de compensado prensa com 5 barras metálicas de 2 roscas dispostas igualmente e sob um mesmo torque para manter uma carga distribuída de aproximadamente 7 kgf/cm^2 no painel, conforme mostra a Figura 12. Cada prensa de dupla rosca foi previamente testada com auxílio de uma célula de carga de 100 kN com precisão de 10 N, padronizando um método de torque utilizando um torquímetro da marca waft com capacidade de aproximadamente 10-150 foot.pound (13,558-203,37 N.m) e uma chave de boca com uma porca soldada no centro, conforme é apresentado na Figura 13.

Figura 12 – Sistema de Prensa com Torque



Figura 13 – Teste de Performance da Prensa de Dupla Rosca



A relação torque e força de pressão no painel foi feita com a formula de BUDYNAS & J. KEITH (2016), com o índice do sistema (K') estimado na relação no valor no torquímetro e na célula de carga. A formula foi adaptada para um sistema de

duas roscas e uma única força de compressão (F_i) e o índice do sistema (K') representa o atrito no sistema e adaptação com a chave de boca, conforme mostra a equação (1):

$$2 \cdot T = K' \cdot F_i \cdot d \quad (1)$$

K' : Índice do sistema

T : Torque do Torquímetro em N.m

F_i : Força exercida pela prensa em Newtons

d : diâmetro maior do parafuso em metros

Cada painel ficou em condição sob pressão por no mínimo 12 horas e em conjunto mantidos sob pressão por quatro dias sob a sombra para completar o período de cura. Após os quatro dias, os painéis foram seccionados com o auxílio de uma serra circular para descartar 3 cm de borda nas laterais e 5 cm de borda no topo e base. Com o auxílio da serra circular e plaina desengrossadeira o painel foi esquadrejado para obter 6 corpos de prova com dimensão de 50x50x950 mm e 18 corpos de prova com dimensões de 50x50x50 mm, conforme é apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Corpos de Prova do Laminated Veneer Lumber



Foto: Murilo Alves Lima - 2022

3.2 Ensaios Físicos e Mecânicos do Produto

Os testes físicos e mecânicos que compreendem a presente pesquisa serão compostos pelas evidências de validação dos resultados e de ensaios mecânicos caracterizando as amostras. A caracterização das amostras será realizada no mesmo dia dos testes mecânicos, envolve a obtenção da tolerância dimensional, teor de umidade e densidade. Toda a metodologia da validação dos resultados será realizada conforme o estabelecido nos documentos normativos, apresentados na Tabela 01.

Tabela 2 – Metodologia da validação dos resultados

Validação dos Resultados	Documento Normativo	Nº de Corpos de Prova
Caracterização das Amostras		
Tolerância Dimensional	EN 14374 (2005)	24 (9+9+6)
Teor de Umidade	ASTM D 4442 - 92 (2003) Método B (Secundário)	6
Densidade	ASTM D 2395 – 14 Método A	

O ensaio mecânico é composto pelos testes de flexão flatwise. O teste mecânico será realizado em uma máquina universal de ensaios EMIC, com uma célula de carga de capacidade de carga de 20 kN e velocidade de deslocamento em mm/s de 0,003 vezes a altura média de cada corpo de prova no ensaio, conforme estabelecido no documento normativo, apresentados na Tabela 2.

Tabela 3 – Metodologia dos testes mecânicos

Testes Mecânicos	Documento Normativo	Nº de Amostras
Flexão <i>flatwise</i>	EN 408 (2004)	6

3.2.1 Teor de Umidade e Densidade

O teor de umidade será determinado por uma adaptação do método B (secundário) do documento normativo ASTM D 4442-92:2003, o qual as amostras serão secadas em um forno a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e mensurado o seu volume e massa, a cada 3 horas, até que o desvio entre as medições tenha uma variação menor que 1% da massa total. As medições serão realizadas por um paquímetro e uma balança com precisão conhecida de duas casas decimais depois da virgula.

A adaptação do método consiste na substituição dos sacos plásticos individuais, por bacias envolvidas por sacos climatizada em estufa sob uma temperatura de 60°C para transportar as peças em conjunto e evitar o esfriamento dos corpos de prova por convecção com o ambiente, conforme é apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Método de Determinação do Teor de Umidade e Densidade



A determinação da densidade ocorrerá de acordo com o método A de volume por mensuração do documento normativo ASTM D2395-17, previamente marcando linhas com o uso de lápis nas três direções que foi realizado a mediação para os dados não sofrerem desvio por instabilidade dimensional do corpo de prova. Conforme as equações de teor de umidade (2), densidade aparente (3) e densidade seca (4) foram apresentadas:

$$MC\% = \frac{(m_m - m_o) \cdot 100}{m_o} \quad (2)$$

$$\rho_m = \frac{m_m}{V_m} \quad (3)$$

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \quad (4)$$

MC% = Teor de umidade (%)

m_m = Massa no teor de umidade (g)

m_o = Massa no estado anidro teórico (g)

ρ_m = Densidade no teor de umidade (g/cm³)

ρ_o = Densidade no estado anidro teórico (g/cm³)

V_m = Volume no teor de umidade (cm³)

V_o = Volume no estado anidro teórico (g)

3.2.2 Qualidade da Colagem

O teste de qualidade de cola segue a norma DIN EN 14374:2004 – Laminated Veneer Lumber Estrutural, anexo B. A norma estabelece que após o pré-tratamento, que será realizado no painel, deve-se obedecer a sequência das seguintes etapas:

- Imersão de pelo menos 4 horas em água fervente;
- Secagem em ambiente ventilado por pelo menos 16 horas à 60°C;
- Imersão por pelo menos 4 horas em água fervendo e finalmente;
- Resfriamento em temperatura ambiente por pelo menos 2 horas.

Os painéis serão processados com o auxílio da serra circular e da serra de fita para conformar as amostras no tamanho padrão (Figura 13) para serem testados em uma máquina universal de ensaio.

3.2.3 Flexão flatwise

A determinação do módulo de elasticidade e da resistência a flexão ocorrerá de acordo com a metodologia descrita no documento normativo DIN EN 408:2004, Structural timber and glued laminated timber.

As amostras de laminated veneer lumber com e sem reforço de bambu, apresentam as proporções de 1:19 da altura e comprimento do sistema de carga

esquematizado pela Figura 16. Caso as lâminas tenham 3 mm de espessura, as peças serão dimensionadas em 5x5x95 cm, as duas lâminas externas (bambu) representarão 23,5% da inércia da peça no sistema flatwise. O cálculo do módulo de elasticidade e resistência a ruptura são apresentados na equação (5 e 6).

Figura 16 – Ensaio de Flexão Flatwise



$$E_{m,g} = \frac{l^3 \cdot (F_2 - F_1)}{b \cdot h^3 \cdot (w_2 - w_1)} \cdot \left[\left(\frac{3 \cdot a}{4 \cdot l} \right) - \left(\frac{a}{l} \right)^3 \right] \quad (5)$$

$$f_m = \frac{a \cdot F_{\max}}{2 \cdot W} \quad (6)$$

l = Distância entre apoios (mm)

F_2 = Força no ponto de 40% da força máxima (N)

F_1 = Força no ponto de 10% da força máxima (N)

b = Dimensão na área de seção que esta perpendicular à força de carga (mm)

h = Dimensão na área de seção que esta paralela à força de carga (mm)

a = Distância entre o ponto de carga e o ponto de apoio mais próximo (mm)

w_2 = Deformação da peça no ponto de 40% da força máxima (mm)

w_1 = Deformação da peça no ponto de 10% da força máxima (mm)

$F_{\max}$ = Força máxima (N)

W = Modulo da seção (mm³)

3.3 Análise dos resultados

As propriedades do laminated veneer lumber com e sem reforço serão avaliadas individualmente e em conjunto através de índices de material apresentados por ASHBY (1999) para avaliar uma viga leve e rígida para trabalhar em sistemas de rigidez fixa com o objetivo de minimizar massa, conforme é apresentado na equação (7).

$$M = \frac{E^{1/2}}{p} \quad (7)$$

M = Índice do material para vigas leves e rígidas.

p = Densidade (kg/m³).

E = Módulo de Elasticidade (GPa).

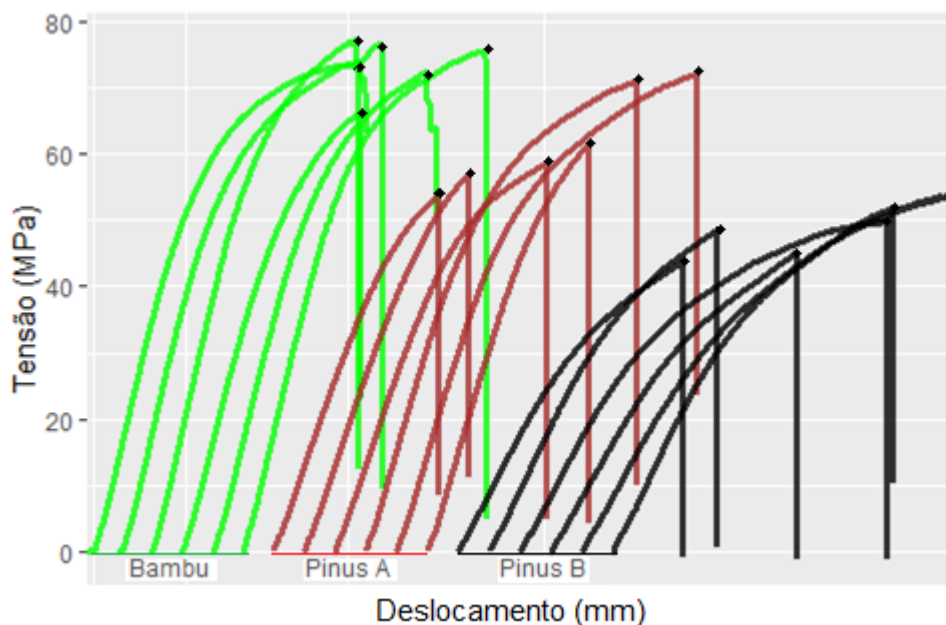
As análises foram realizadas pelo programa RStudio e passaram previamente por uma avaliação descritiva e paramétrica para determinar o método de comparação.

4 RESULTADOS

4.1 Ensaio Físicos e Mecânicos do Produto

O comportamento mecânico na flexão dos três *Laminated Veneer Lumber* (LVL) produzidos pode ser visualizado na Figura 17, sendo "Bambu" o nível de tratamento composto por 2 lâminas de bambu na extremidade e 18 lâminas de pinus da melhor classe, "Pinus A" o nível de tratamento composto de 20 lâminas de pinus da melhor classe e "Pinus B" o nível composto por 20 lâminas de pinus da pior classe.

Figura 17 – Relação Tensão e Deformação do LVL



As propriedades mecânicas de resistência a ruptura e módulo de elasticidade foram validadas para os testes paramétricos por causa dos dados apresentarem normalidade segundo o teste de Shapiro-Wilk, homoscedasticidade segundo o teste de Levene e não foi observado outliers nos resíduos. Com ressalva para a diferença no coeficiente de variação do "Pinus A" com os outros dois níveis de tratamento.

A análise de variância (Anova) e o teste de comparação de médias de Tukey identificação diferença significativa para a resistência de ruptura e módulo de elasticidade, conforme pode ser visto nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Resistência a Ruptura do LVL

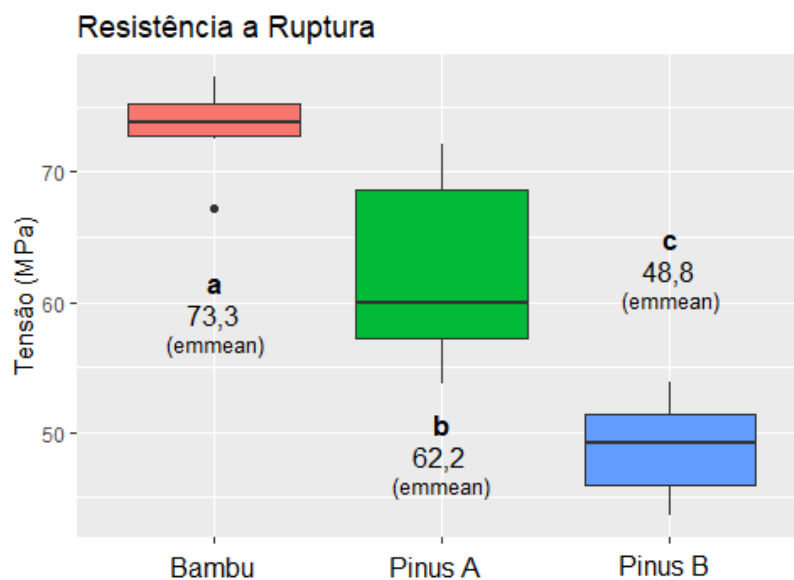
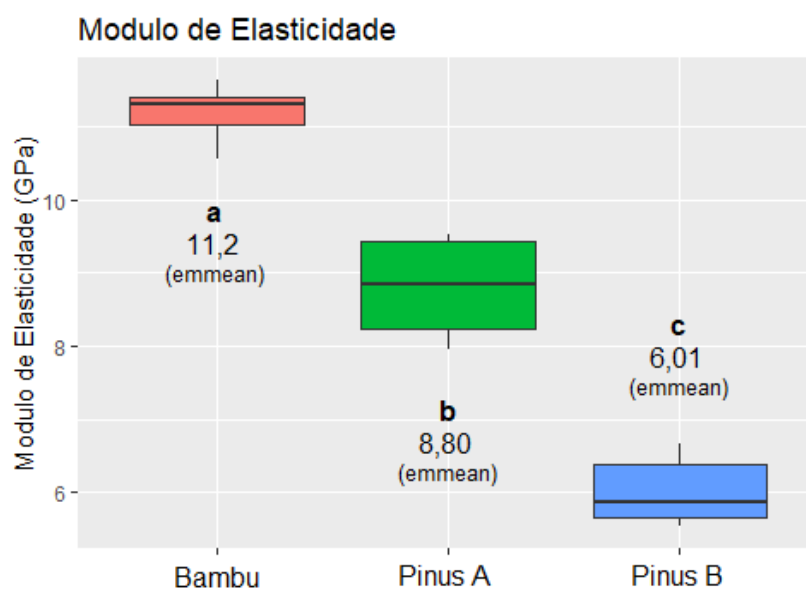


Figura 19 – Modulo de Elasticidade do LVL



Os níveis de tratamento “Bambu”, “Pinus A” e “Pinus B” apresentaram respectivamente módulos de elasticidade médios de 11,2 GPa, 8,8 GPa e 6,01 GPa e densidades no teor de umidade aparente de 671,81 kg/m³, 633,77 kg/m³ e 616,71

kg/m³. Com base nos valores médios, o índice de material para viga leve nos produtos seriam respectivamente 0,004982 para o "Bambu", 0,004681 para o "Pinus A" e 0,003973 para o "Pinus B". Em valores médios, o índice apresenta que o uso de bambu minimiza massa da estrutura no uso como viga com rigidez especificada.

4.2 Fabricação e Caracterização do Produto – Laminated Veneer Lumber (com e sem reforço)

O teste de performance do método de prensa utilizando a prensa de dupla rosca com a célula de carga, apresentou índices de K' com média de 0,1432, mínimo de 0,1236, máximo de 0,1672 e desvio padrão de 0,0133. Os dados amostrados não apresentaram outliers e apresentaram normalidade segundo teste de Shapiro-Wilk e normalidade nos resíduos, conforme mostra o Anexo B.

O valor colocado no torquímetro no sistema "torquímetro-chave-de-boca-porca" foi de 100 *foot.pounds* (135,582 N.m), sendo que o valor real do torque no sistema "torquímetro-chave-de-boca-porca" não foi calculado. Com a relação do sistema com a carga incidente, foi estimado uma pressão em média de 6,41 kgf/cm², com máximo de 7,43 kgf/cm² e mínimo de 5,50 kgf/cm². Algumas vigas e rosca não suportaram o torque utilizado, apresentando sinais de deslocamento da viga em relação à rosca e deformação na lateral da viga e da própria rosca.

4.3 Processamento e Análise do Material – Bambu

Os três colmos de *Guadua angustifolia* bicolor colhidos, os dados apresentaram uma altura máxima de 16 metros e diâmetro externo maior que 50 mm nas posições de 10,5 a 12 metros de altura. O Comportamento das variáveis comprimento dos entrenós, espessura de parede e diâmetro interno em relação à altura do colmo pode ser visto nas Figuras 15, 16 e 17. O comportamento das variáveis influenciam no processamento do material, como o comprimento dos entrenós influencia no número de nós e diafragmas retirados no pré-processamento por altura, a espessura de

parede que limita a obtenção de lâminas e o diâmetro interno que limita o uso da rachadora e aumenta a perda de material na plaina.

Figura 20 – Localização em Altura dos Valores do Comprimento do Entrenó

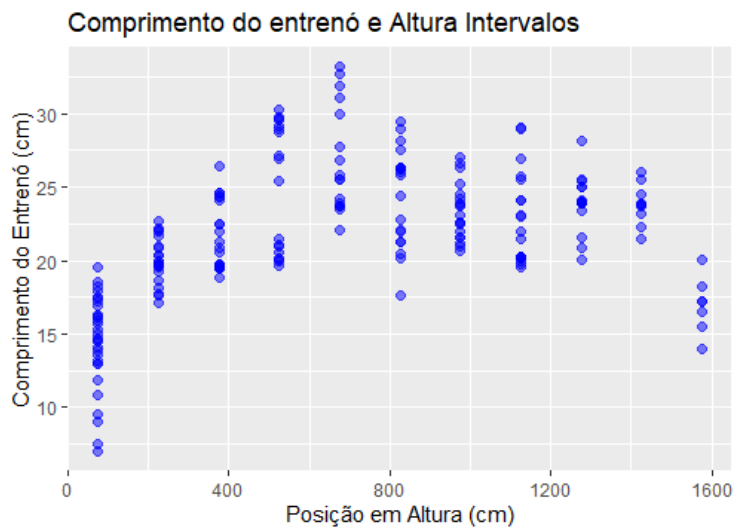


Figura 21 – Localização em Altura dos Valores de Espessuras de Parede

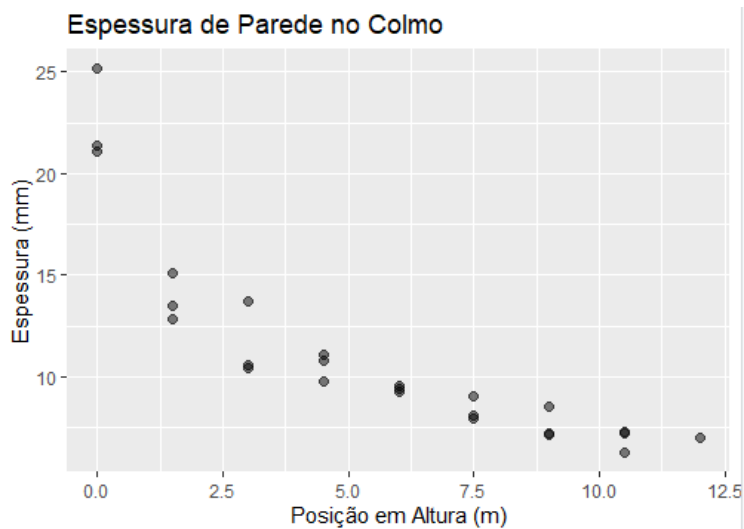
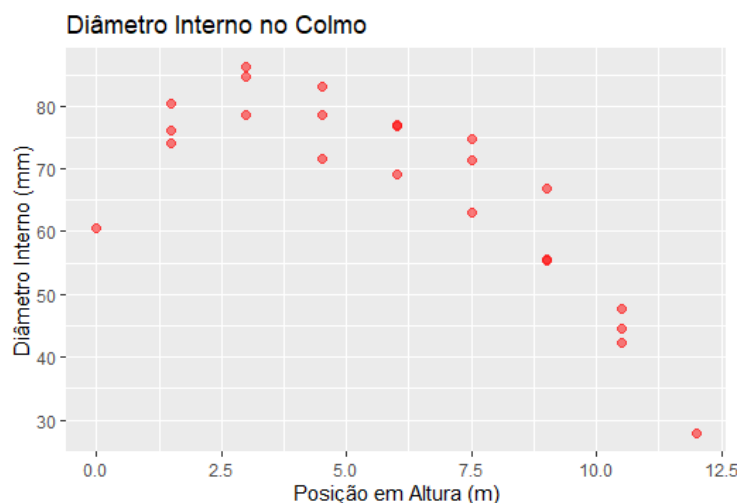


Figura 22 – Localização em Altura dos Valores de Diâmetro Interno

A plaina desengrossadeira Makita 2012NB 304mm com o método de usinagem das ripas apresentou uma diferença entre o menor valor médio da espessura de parede natural das peças e a espessura das lâminas usinadas na plaina de $5,507 \pm 0,985$ mm. Todas as lâminas originadas na altura entre 0 até 3 metros foram usinadas, 12,5% das lâminas da altura 3 - 4,5 metros e 54,16% entre 4,5 – 6 metros foram perdidos por não conseguirem retirar uma faixa completa da camada externa e interna durante a usinagem.

Um dia após a usinagem na plaina desengrossadeira, as lâminas usinadas apresentaram um encanoamento observado apenas nos entrenós que mantinha a casca na lateral e a camada interna no centro da peça, conforme pode ser visualizado na Figura 18. Os entrenós presentes nas extremidades mantidas o formato plano da usinagem na plaina desengrossadeira, indicando que a visualização do comportamento da secagem nas extremidades da ripa pode não ser eficiente, conforme foi proposto neste estudo com a avaliação visual com a tinta de carimbo.

Figura 23 – Encanoamento do Entrenó Central da Peça de Bambu após Usinagem na Plaina Desengrossadeira

4.4 Processamento e Análise do Material – Pinus

A classificação visual das lâminas na dimensão 1266x1325 mm e a revisão após o corte para as dimensões de 1266x470 mm, com as categorias criadas e ranqueadas da melhor para pior qualidade, como a presença de manchas (6), número de nós cabeça de alfinete (5), comprimento e número de fendas (4), presença de bolsões de resina (3), maior dimensão e número de nós soltos e soltadiços (2) e maior dimensão e número de nós firmes aderentes (1). A distribuição das lâminas para cada painel pode ser vista na tabela 3.

Tabela 4 – Metodologia dos testes mecânicos

Painel	Classe e Categoria de Lâminas Posicionadas no Painel	Nº de lâminas
Pinus (Melhor Qualidade)	A6; A4; A4; A4; A4; B4; B4; B45; B3; B34; B34; B34; B3; B4; B4; A4; A456; A45; A5; A6	20
Bambu + Pinus (Melhor Qualidade)	Bambu; A4; A4; A456; A4; B4; B456; B45; B3; B34; B34; B34; B3; B4; B4; A4; A456; A45; A5; Bambu	20
Pinus (Pior Qualidade)	B34; B234; B23; C1; C1; C14; D4; D4; D4; D4; D1; D4; D4; D4; D4; C1; C1; C2; B234; B345	20

5 CONCLUSÃO

O Laminated Veneer Lumber (LVL) de pinus reforçado com *Guadua angustifolia* bicolor e unidos com o adesivo poliuretano à base de mamona é uma opção válida para o uso em estruturas de viga, por apresentar a vantagem de minimizar a massa do elemento estrutural, sob um módulo de elasticidade fixo, comparado ao painel com somente pinus e por apresentar uma idade de corte menor que a madeira de pinus, conforme é citado na revisão de literatura.

O processamento do *Guadua angustifolia* bicolor na linha de processamento “faca radial 45° - facão - plaina de desengrossadeira – desempenadeira” apresentou um aproveitamento de até 6 metros do colmo inteiro, limitado pela relação faca radial 45° e plaina desengrossadeira. Podendo obter outros valores de rendimento com o uso de faca radial com outras angulações ou uso de outro maquinário laminador. O trabalho na desempenadeira apresentou caráter artesanal, precisando de adaptações ou suportes para a industrialização.

A classificação das lâminas de pinus usando os documentos normativos ABNT NBR ISO 2074 (2012), ABNT NBR ISO 2426-1 (2006) e ABNT NBR ISO 2426-3 (2006) adaptados à uma classificação binária de sim ou não das variáveis de critério subjetivo (pouco, muito etc) apresentaram resultados significativos na tensão de ruptura e módulo de elasticidade do produto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 9-20**: *Standard terminology relating to wood and wood-based products*. West Conshohocken: ASTM, 2021.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 2395-14**: *Density and specific gravity (relative density) of wood and wood-based materials*. West Conshohocken: ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 4442-92**: *Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials*. West Conshohocken: ASTM, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 5456-21e1**: *Standard specification for evaluation of structural composite lumber products*. West Conshohocken: ASTM, 2021.

ASHBY, Michael F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Ed. Butterworth Heineman 1999.

BERALDO, A.; PEREIRA, M. A. DOS. **Bambu de Corpo e Alma**. 1. ed. Bauru, SP: Canal6, 2007.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii*. **Scientia Florestalis**, v. 36, n. 79, p. 237–243, set. 2008.

BUDYNAS, R. G.; J. KEITH, N. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

BUREAU OF INDIAN STANDARDS. IS 14616: *laminated veneer lumber – specification*. New Delhi. 1999.

CHEN, F. et al. Effect of laminated structure design on the mechanical properties of bamboo-wood hybrid laminated veneer lumber. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 75, n. 3, p. 439–448, 1 maio 2017.

CHEN, F. et al. Evaluation of the uniformity of density and mechanical properties of bamboo-bundle laminated veneer lumber (BLVL). *BioResources*, v. 9, n. 1, p. 554–565, 2014.

CHEN, F. et al. The bending properties of bamboo bundle laminated veneer lumber (BLVL) double beams. *Construction and Building Materials*, v. 119, p. 145–151, 30 ago. 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **DIN EN 408:Structural timber and glued laminated timber**. Brussels. 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **DIN EN 14374: Structural laminated veneer lumber**. Brussels. 2005.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE UNCTAD/WTO (ITC) & INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO). **International wooden furniture markers: A review**. Geneva: ITC/ITTO, 2005 xxxii, p. 233.

HAKKARAINEN, J. et al. **LVL handbook Europe**. 2. ed. Finland: Federation of the Finnish Woodworking Industries, 2020.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. 1. ed. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 1998.

LONDOÑO, X. Una nueva variedad de Guadua angustifolia Kunth de Colombia. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 17(65), p. 379–381, 1989.

MANHÃES, A. P. & SILVA, J. A. **Caracterização da Cadeia Produtiva do Bambu no Brasil: Abordagem Preliminar**. Dissertação (Graduação – Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 32 p.

MEREDITH, T. J. **Timber Press pocket guide to bamboo**. 1. ed. London: Timber Press Inc., 2009.

PR-L266 - VERSA-LAM® LVL, Boise Cascade Wood Products, LLC. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 23 out. 2022.

PR-L280(C) - LP® SolidStart® Laminated Strand Lumber and Laminated Veneer Lumber, Louisiana-Pacific Corporation. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 23 out. 2022.

PR-L283 - MurphyLaminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PR-L292 - Murphy Laminated Veneer Lumber, Murphy Engineered Wood Division. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PR-L301 - GLOBAL Laminated Veneer Lumber, Global LVL Inc. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PR-L307 - Murphy ConBeam LVL, Murphy Engineered Wood Division. . Tacoma: [s.n.]. Disponível em: <www.apawood.org>. Acesso em: 24 out. 2022.

PUETTMANN, M. E.; WILSON, J. B. GATE-TO-GATE LIFE-CYCLE INVENTORY OF GLUED-LAMINATED TIMBERS PRODUCTION. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. Corrim Special, p. 99–113, dez. 2005.

SANTOS, T. O. DOS et al. UTILIZAÇÃO DE AÇOS RECICLÁVEIS NA FABRICAÇÃO DE FACAS RADIAIS PARA CORTE LONGITUDINAL DE BAMBU. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 15, n. 1, p. 15–21, mar. 2018.

SHARMA, B. et al. Engineered bamboo: State of the art. **Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials**, v. 168, n. 2, p. 57–67, 1 abr. 2015.

SHARMA, B.; GATÓO, A.; RAMAGE, M. H. Effect of processing methods on the mechanical properties of engineered bamboo. **Construction and Building Materials**, v. 83, p. 95–101, 15 maio 2015.

TRADE OVERVIEW 2014. **Bamboo and Rattan Products in the International Market**. INBAR – International Network for Bamboo & Rattan. Dec, 2016.

VAN DER LUGT, P. **Dutch Design meets Bamboo as a Replicable Model Design Interventions for Stimulating Bamboo Commercialization**. Delft: VSSD, 2008.

APÊNDICE A – Visualização de Encanoamento com o Teste do Carimbo

A avaliação visual das extremidades na peça de altura 6 – 7,5 metros não mostraram diferença ao longo das observações do dia 08/04 até 23/04. Esta estabilidade dimensional não teve relação ao teor de umidade da peça e seu comportamento após o processamento por laminação.

Figura 24 – Dia 08/04/2022 – Extremidades da peça de altura número 5 do colmo 3

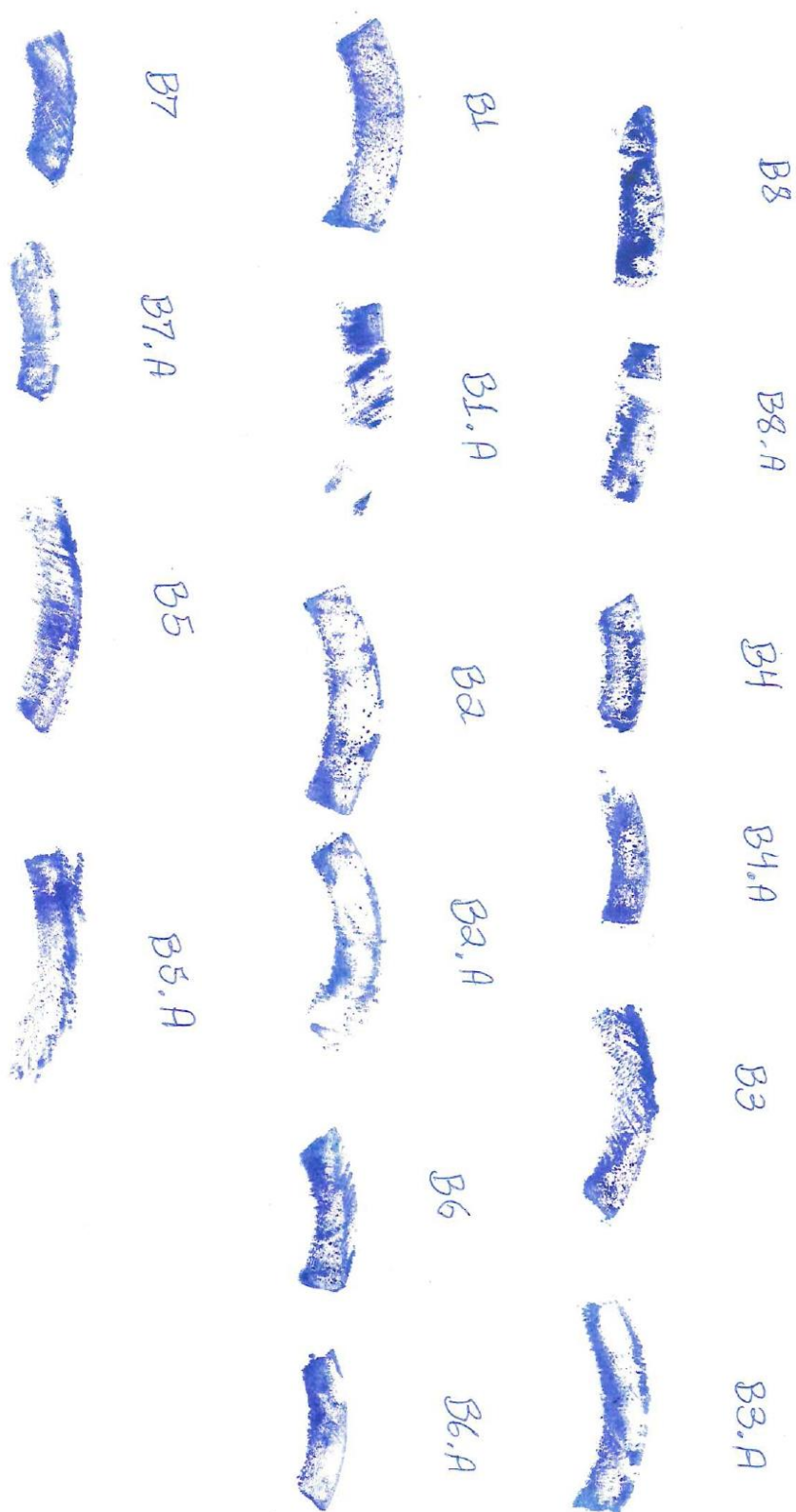


Foto: Murilo Alves Lima - 2022

Figura 25 – Dia 11/04/2022 – Extremidades da peça de altura número 5 do colmo 3

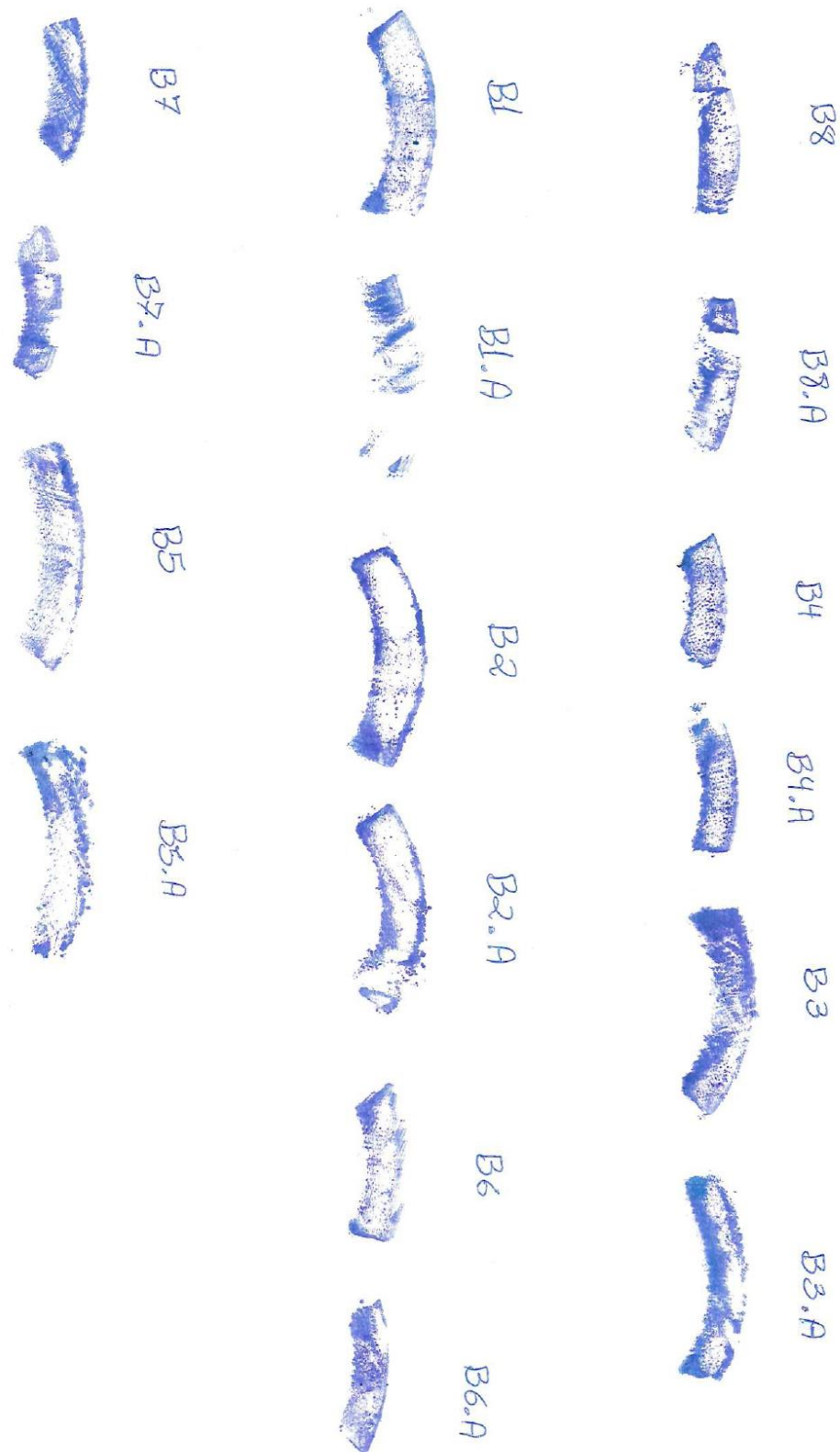


Foto: Murilo Alves Lima - 2022

Figura 26 – Dia 20/04/2022 – Extremidades da peça de altura número 5 do colmo 3

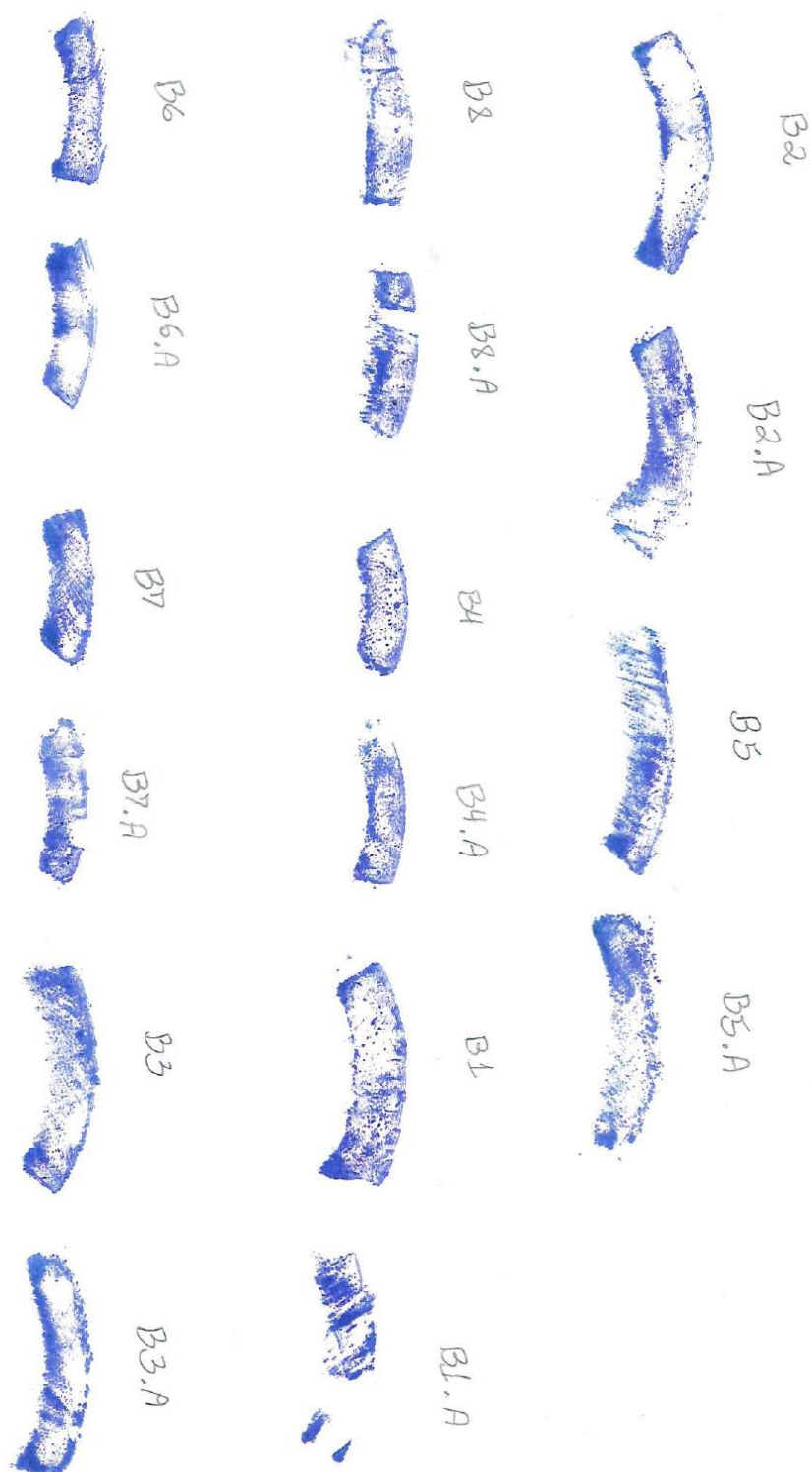
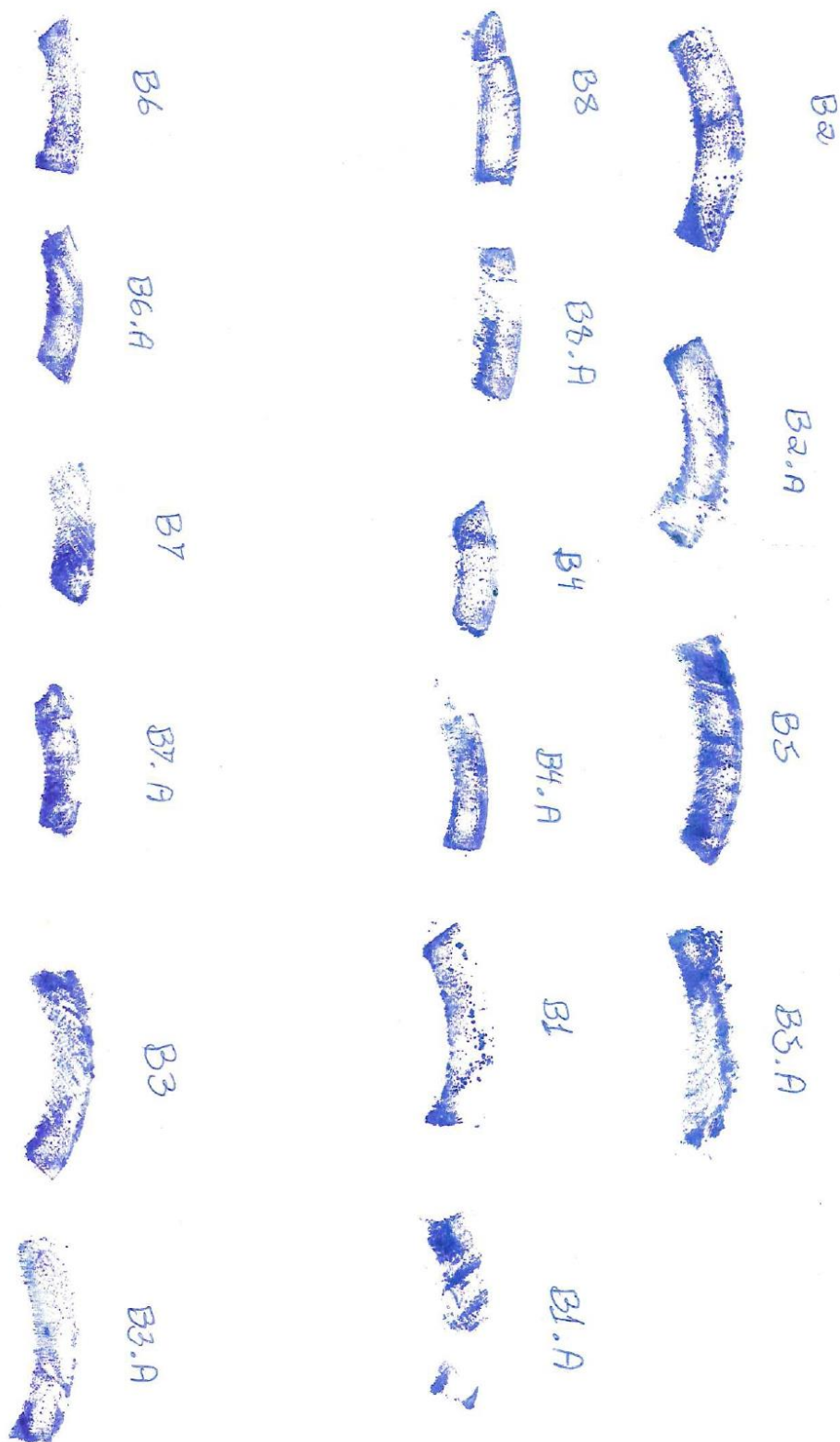


Figura 27 – Dia 23/04/2022 – Extremidades da peça de altura número 5 do colmo 3



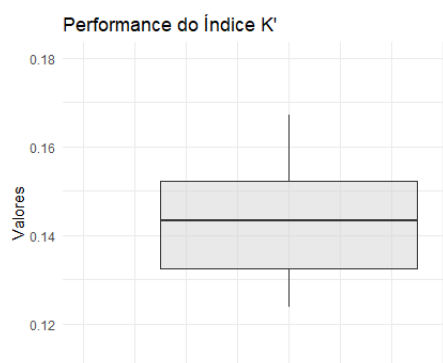
APÊNDICE B – Teste de Performance da Prensa de 2 Roscas e a Célula de Carga

Utilizando a formula de BUDYNAS & J. KEITH (2016) para determinar o índice K', com base no teste de performance da prensa conforme é apresentado na tabela apêndice B. As análises dos valores de K' não apresentaram diferença entre os valores dos torques usados, podendo utilizar o índice K' como um valor geral para o sistema que independe do torque.

Tabela Apêndice B – Teste de Performance da Prensa de Dupla Rosca

Prensa	Torque (foot.pounds)	Força N	Prensa	Torque (foot.pounds)	Força N
1	20	17270	4	40	25540
2	20	13320	5	40	30180
3	20	15620	1	60	42220
4	20	13870	2	60	42360
5	20	13980	3	60	50070
1	40	29790	2	80	57400
2	40	31550	3	80	65850
3	40	34160			

O coeficiente de variação dos dados foi de 0,000177, o teste de Shapiro-wilk apresentou normalidade nos dados com p-valor de 0,6591, os dados não apresentaram outliers e os resíduos apresentaram normalidade dentro dos limites aceitável, como pode ser visto nos gráficos do boxplot e resíduo.



Response residuals vs. fit

