

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS GUARAPUAVA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

LUCAS ANDRE PRADO

**VIABILIDADE DO USO DAS COLAS EPI E PVAc EM
PRODUTOS NÃO ESTRUTURAIS DE MADEIRA MACIÇA DE
EUCALIPTO**

**GUARAPUAVA
2021**

LUCAS ANDRE PRADO

**VIABILIDADE DO USO DAS COLAS EPI E PVA_C EM
PRODUTOS NÃO ESTRUTURAIS DE MADEIRA MACIÇA DE
EUCALIPTO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Mecânica, como
requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Viviane Teleginski Mazur

GUARAPUAVA
2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Guarapuava
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de Engenharia Mecânica
Bacharelado em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

VIABILIDADE DO USO DAS COLAS EPI E PVAC EM PRODUTOS NÃO ESTRUTURAIS DE MADEIRA MACIÇA DE EUCALIPTO

por

LUCAS ANDRE PRADO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 22 de abril de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr^a. Viviane Teleginski Mazur
Orientadora

Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Membro titular

Sr. Anderson Amaro Turri
Membro titular

Aldo Przybysz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

-- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso --

À Maria Laura, que mesmo sem saber,
sempre me deu forças para continuar.

AGRADECIMENTOS

À empresa Araupel S/A, em especial ao Sr. Lélío Caiado Abreu Franca e ao Sr. Anderson Amara Turri, por terem estabelecido uma cooperação técnica entre a empresa e a UTFPR para a realização deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela oportunidade e infraestrutura.

À minha mãe, meu pai e meu irmão, por estarem sempre ao meu lado, pela incansável ajuda e constante confiança.

À minha namorada, pelo ombro nos momentos difíceis.

À minha orientadora, professora doutora Viviane Teleginski Mazur, pelo exemplo, pela dedicação, pela paciência e pelo ensinamento.

À técnica de laboratório Adriana e Silva da Costa e ao corpo docente da UTFPR Campus Guarapuava.

Aos meus colegas de curso e amigos.

A Deus.

"Por discordar do estado, eu estudo!"

Fabio Brazza

RESUMO

O mercado de produtos de madeira não estruturais, como guarnições, molduras, componentes de porta, pranchas, lambris, painéis colados, blanks unidos por emendas dentadas (*finger-joint*) e muito outros, é suprido em grande parte por madeira de pinus. Porém, mais recentemente, houve procura no mercado pelos mesmos produtos ofertados em madeira de eucalipto, por conta do crescimento mais rápido das mudas e das propriedades mecânicas do eucalipto. Para as indústrias que já utilizam o pinus abranjam em seu portfólio de produtos de eucalipto é necessário considerar-se o uso de adesivos e técnicas de colagem adequadas, além de uma geometria apropriada do produto, para obtenção de características mecânicas finais necessárias. Neste trabalho foi realizado um estudo de caso quanto a utilização de adesivos em madeira de eucalipto que já são amplamente utilizados em produtos fabricados em pinus. Para isso, foram realizados ensaios de tração, flexão e cisalhamento em corpos de prova em condições ambientais, após aquecimento e também fervura, colados com adesivos do tipo emulsão de acetato de polivinila (PVAc) e emulsão de isocianato polimérico (EPI), seguindo as normas internacionais ASTM D5572-95, que trata de ensaios de tração e flexão e ASTM D5751-99 que trata de ensaios de cisalhamento. Os resultados possibilitaram indicar argumentos técnicos relativos à viabilidade do desenvolvimento de novos produtos não estruturais de madeira de eucalipto em uma empresa localizada na região de Guarapuava, PR.

Palavras-chave: Madeira. Colagem. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The market for non-structural wood products, such as trimmings, frames, door components, planks, wainscoting, glued panels, blanks joined by toothed splices (finger-joint) and many others, is largely supplied by pine wood. However, more recently, there was demand in the market for the same products offered in eucalyptus wood, due to the faster growth of seedlings and the mechanical properties of eucalyptus. Industries that already use pine cover in their product portfolio, can offer eucalyptus products, but it is necessary to consider the use of adhesives and appropriate gluing techniques, in addition to an appropriate product geometry, to obtain the necessary final mechanical characteristics. In this work, a case study was carried out regarding the use of adhesives in eucalyptus wood that are already widely used in products manufactured in pine. For this, tensile, bending and shear tests were carried out on specimens under environmental conditions, after heating and also boiling, bonded with polyvinyl acetate (PVAc) emulsion type adhesives and polymeric isocyanate (EPI) emulsion, following the international standards ASTM D5572-95 for tensile and bending, and ASTM D5751-99 for shear tests. The results have made it possible to indicate technical arguments related to the feasibility of developing new non-structural products of eucalyptus wood in a company located in the region of Guarapuava, PR.

Keywords: Wood. Gluing. Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade produzida na silvicultura no estado do Paraná, em 2019.....	14
Figura 2 – Eficiências dos parâmetros de resistência para adesivos PVAc e UF.....	17
Figura 3 – Exemplo de produto obtido pelo método de MLC	18
Figura 4 – Exemplo de estrutura dentada ou <i>finger-joint</i>	19
Figura 5 – Parâmetros das emendas dentadas (<i>finger joint</i>).....	20
Figura 6 – Ganhos de resistência em tração e flexão de acordo com a inclinação dos dedos..	22
Figura 7 – Exemplo de cabeçote de fresas para emenda dentada e pastilhas com perfis diferentes	22
Figura 8 – Exemplo de fabricação de perfil utilizando matrizes.....	23
Figura 9 – Orientações de fabricação das emendas dentadas	24
Figura 10 – Polimerização do acetato de vinila.....	27
Figura 11 – Distribuição dos CPs de acordo com os ensaios, adesivo utilizado e condicionamento pré-ensaio	31
Figura 12 – Dimensões para confecção de CP: a) para ensaio de flexão, b) para ensaio de tração, c) perfil da emenda <i>finger joint</i> para ensaios de flexão e tração e d) para ensaio de cisalhamento	32
Figura 13 – Cabeçote para fresagem de emendas dentadas com as facas posicionadas	33
Figura 14 – Aplicação de adesivo em emendas dentadas.....	33
Figura 15 – Blanks antes e durante aplicação de pressão no equipamento SYSTEM TM manual	34
Figura 16 – (a) Blank finger jointed finalizado e b) raque para armazenamento e cura do adesivo	34
Figura 17 – Rolos de aplicação de adesivo nas faces dos blanks	35
Figura 18 – Painel formado por blanks de madeira.....	36
Figura 19 – Equipamento de alta frequência para prensagem e cura de painéis com adesivo PVAc	36
Figura 20 – a) Estufa utilizada nos processos de secagem e aquecimento e b) disposição das amostras	37
Figura 21 – a) Tanque de fervura com controlador de temperatura e b) processo de fervura de amostras de tração	38
Figura 22 – Máquina universal de ensaios EMIC DL 30000 M.	39
Figura 23 – Ensaio de flexão em três pontos: (a) sequência do ensaio e (b) fotografia do CP posicionado.....	40
Figura 24 – Ensaio de tração: (a) sequência do ensaio e (b) fotografia do CP posicionado	40
Figura 25 – Modos de ruptura dos corpos de prova de tração.....	41
Figura 26 – Demonstração de como o CP de cisalhamento deve ser alinhado paralelamente ao punção.....	41
Figura 27 – Ensaio de cisalhamento: (a) sequência do ensaio e (b) fotografia do CP posicionado.....	42
Figura 28 – Exemplos de curvas tensão-deformação em tração para CPs colados com adesivo EPI	44
Figura 29 – Comparação entre mínimos, máximos e médias para as diferentes condições de ensaios de tração para adesivo EPI.....	45
Figura 30 – Tipos de falha dos ensaios de tração para amostras a seco	46
Figura 31 – Exemplos de curvas tensão-deformação em flexão para CPs colados com adesivo EPI	48
Figura 32 – Comparação entre mínimos, máximos e médias para as diferentes condições de ensaios de flexão para O adesivo EPI.....	49

Figura 33 – Valores médios de tensão máxima na linha de cola para os adesivos EPI e PVAc	51
Figura 34 – Valores médios de tensão máxima na linha de cola para todos os condicionamentos dos CPs, de acordo com cada adesivo.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores máximos encontrados de propriedades das espécies <i>E. saligna</i> , <i>E. grandis</i> e <i>P. elliottii</i>	15
Tabela 2 – Classes de densidade, resistência ao cisalhamento da madeira sólida e teores de umidade	16
Tabela 3 – Valores médios de MoR e MoE para os dois adesivos e para a madeira maciça ...	17
Tabela 4 – Valores de MoR e MoE para o <i>Pinus sylvestris lipsky</i> , com adesivo PVACc e a base de poliuretano	21
Tabela 5 – Mínimos, máximos e médias de tensão máxima mensurada para as diferentes condições de ensaios de tração para o adesivo EPI.....	43
Tabela 6 – Mínimos, máximos e médias de tensão máxima mensurada para as diferentes condições de ensaios de flexão para adesivo EPI.....	47
Tabela 7 – Mínimos, máximos e médias de tensão máxima mensurada para as diferentes condições de ensaios de flexão para adesivo EPI e PVAc	50

LISTA DE SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
AF	Alta frequência
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de prova
DIN	Deutsches Institut für Normung
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPI	Emulsão polimérica de isocianato
GE	Gravidade específica
GP	Guarapuava
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LC	Linha de cola
MDI	Difenilmetano-diisocianato
MDR	Modo de ruptura
MLC	Madeira laminada colada
MoE	Módulo de elasticidade
MoR	Módulo de ruptura
PIB	Produto interno bruto
PR	Paraná
PUR	Poliuretano reativo
PVAc	Emulsão de acetato de polivinila
RF	Rádio frequência
TCC	Trabalho de conclusão de curso
TU	Teor de umidade
UF	Formaldeído de uréia
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VAM	Monômeros de vinil acetato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	O SETOR MADEIREIRO BRASILEIRO	13
2.2	EUCALIPTO E ADESIVOS EM ENSAIOS ANTERIORES.....	15
2.3	EMENDAS DENTADAS	18
2.3.1	Geometria das Emendas Dentadas	19
2.3.2	Processo de Fabricação de Emendas Dentadas	22
2.3.3	Influência da Forma de Aplicação do Adesivo em Emendas Dentadas.....	25
2.3.3.1	Influência do Tipo de Adesivo	26
2.3.4	Montagem das Emendas Dentadas.....	28
2.3.5	Cura do Adesivo.....	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	MATERIAIS	32
3.2	FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	32
3.3	CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS MECÂNICOS	37
3.3.1	Temperatura Elevada.....	37
3.3.2	Fervura.....	38
3.4	ENSAIOS MECÂNICOS	38
3.4.1	Ensaio de Flexão.....	39
3.4.2	Ensaio de Tração	40
3.4.3	Ensaio de Cisalhamento.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	ENSAIOS DE TRAÇÃO.....	43
4.1.1	Ensaio de tração: modos de ruptura.....	45
4.2	ENSAIOS DE FLEXÃO	47
4.3	ENSAIOS DE CISALHAMENTO.....	50
5	CONCLUSÃO	54
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE 1 - TRAÇÃO (EPI) A SECO	61
	APÊNDICE 2 - TRAÇÃO (EPI) EM TEMPERATURA ELEVADA	61
	APÊNDICE 3 - TRAÇÃO (EPI) APÓS FERVURA	62
	APÊNDICE 4 - FLEXÃO (EPI) A SECO	62
	APÊNDICE 5 - FLEXÃO (EPI) EM TEMPERATURA ELEVADA	63
	APÊNDICE 6 - FLEXÃO (EPI) APÓS FERVURA	63
	APÊNDICE 7 - CISALHAMENTO (EPI) A SECO	64
	APÊNDICE 8 - CISALHAMENTO (PVAC) A SECO	64
	APÊNDICE 9 - CISALHAMENTO (EPI) EM TEMPERATURA ELEVADA	65
	APÊNDICE 10 - CISALHAMENTO (PVAC) EM TEMPERATURA ELEVADA	65
	APÊNDICE 11 - CISALHAMENTO (EPI) APÓS FERVURA	66
	APÊNDICE 12 - CISALHAMENTO (PVAC) APÓS FERVURA	66

1 INTRODUÇÃO

A versatilidade da madeira permitiu que a humanidade utilizasse esse material natural em inúmeras situações. Se supõe que existam aproximadamente dez mil usos diferentes para a madeira, que vão desde produtos simples e pequenos, tais como palitos de dente, até os mais complexos, como embarcações e edifícios (DE MELLO, 2007).

O mercado florestal brasileiro não era muito desenvolvido até 1965, ano em que entrou em vigor a política de incentivos fiscais ao reflorestamento, que vigorou até 1988. Nesse período houve um aumento expressivo da área de reflorestamento no Brasil, passando de 500 mil hectares em 1964 para quase 6 milhões de hectares em 1984. As principais espécies reflorestadas foram o pinus e o eucalipto, devido à fatores desde a boa adaptação ao clima e ao solo das regiões Sul e Sudeste, até o rápido crescimento e boa qualidade da madeira em si (ANTONÂNGELO e BACHA, 1998).

No estado do Paraná, os principais produtos madeireiros industrializados são papel, celulose, carvão vegetal, madeira sólida, madeira processada e móveis (BITTENCOURT e OLIVEIRA, 2009). De acordo com o Jornal Gazeta do Povo (2017), em 2016, após crescimento de 43,9% em relação ao ano anterior, o estado do Paraná tornou-se o líder nacional na produção de madeira em tora, tanto para a indústria de papel como para a indústria de celulose. Apenas uma das empresas atuantes no estado desde 2017 realizou investimentos da ordem de R\$ 9 bilhões e hoje tem capacidade de produção de 920 mil toneladas de papel por ano (Folha de Londrina, 2020).

A importância do setor madeireiro para a economia do país pode ser observada nos números do relatório de 2019 da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). Segundo esse relatório, o Produto Interno Bruto, PIB, do setor aumentou 13% em 2018 com relação a 2017 e investiu 6,3 bilhões de reais nesse mesmo ano nas áreas florestais e industriais. O PIB setorial atingiu R\$ 86,6 bilhões (1,3% do PIB brasileiro e 6,9% do PIB industrial).

O mercado de produtos não estruturais, onde são produzidas guarnições, molduras, componentes de porta, pranchas, lambris, painéis colados, blanks unidos por emendas dentadas (*finger joint*) e muito outros, é suprido em grande parte por madeira de pinus. Porém, mais recentemente, houve procura no mercado pelos mesmos produtos ofertados em madeira de eucalipto, por conta do crescimento mais rápido das mudas e das propriedades mecânicas do eucalipto, que são melhores que as do pinus. Para as indústrias que já utilizam o pinus abranjam em seu portfólio de produtos o uso da madeira de eucalipto, é necessário considerar-se o uso

de adesivos e técnicas de colagem adequadas, além de uma geometria apropriada do produto, para obtenção de características mecânicas finais necessárias. Segundo Chans et al. (2008), não há um design específico para cada tipo de colagem de madeira e ensaios experimentais devem ser realizados em cada caso, porque ainda não há normas de controle que se apliquem a enorme gama de produtos produzidos.

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso, quanto a utilização de adesivos em madeira de eucalipto que já são amplamente utilizados em produtos fabricados em pinus. Para isso, foram realizados ensaios de tração, flexão e cisalhamento em corpos de prova em condições ambientais, após aquecimento e também fervura, colados com adesivos do tipo emulsão de acetato de polivinila (PVAc) e emulsão polimérica de isocianato (EPI), seguindo as normas internacionais ASTM D5572-95, que trata de ensaios de tração e flexão e ASTM D5751-99 que trata de ensaios de cisalhamento. Os resultados possibilitaram indicar argumentos técnicos relativos à viabilidade do desenvolvimento de novos produtos não estruturais de madeira de eucalipto em uma empresa localizada na região de Guarapuava, PR.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar as propriedades mecânicas de produtos não estruturais de madeira maciça de eucalipto com uso de adesivos EPI e PVAc, segundo as normas internacionais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensaios de resistência mecânica sob tração, flexão e cisalhamento na linha de cola dos adesivos em condições ambientes, após exposição em temperatura elevada e após fervura;
- Identificar as diferenças quanto a resistência mecânica em corpos de prova de madeira de eucalipto, colados com adesivos EPI e PVAc;
- Caracterizar o desempenho mecânico dos produtos.

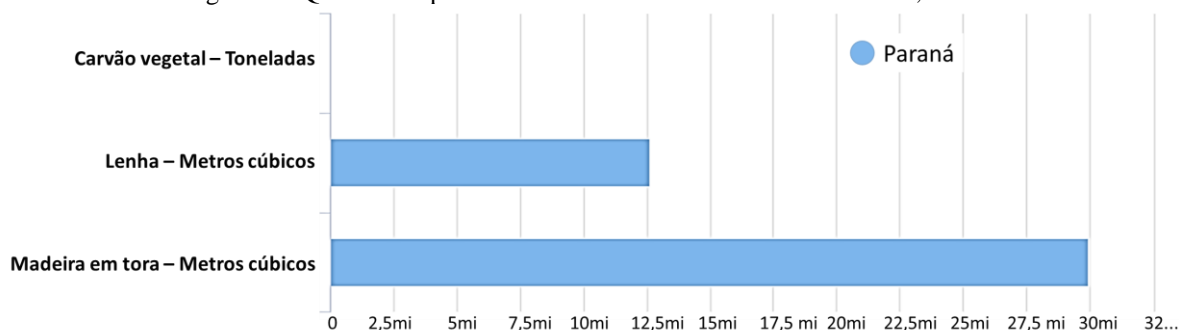
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O SETOR MADEIREIRO BRASILEIRO

Dos 519,29 milhões de hectares da cobertura florestal brasileira, 7,186 milhões correspondem às florestas plantadas (1,4% do total) e estão espalhadas em diversos estados, com destaque para Paraná, Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ABIMCI, 2013). De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (2016), a IBÁ, a área plantada de eucaliptos em 2015, correspondia a 72,18% do total florestal brasileiro, enquanto a área de pinus correspondia a 20,27% do mesmo total. O restante da área florestal era composta por gêneros com menor relevância, como a seringueira (2,94%), a acácia (2,06%), a paricá (1,15%), teca (1,12%) e a araucária (0,14%). Outras espécies correspondiam a apenas 0,08%. Ainda de acordo com a IBÁ, em seu relatório de 2019, houve um aumento na área plantada com árvores de eucalipto, de 4,6 milhões de hectares para 5,6 milhões, entre os anos de 2009 e 2018. Isso corresponde a um aumento de 21,75%. No mesmo período, o aumento foi de 87,42% (157,9 milhões de hectares em 2009 e 295.970 milhões em 2018) no estado do Paraná. Do total de empregos gerados no Brasil nos anos de 2011 e 2012, a indústria de madeira processada mecanicamente foi responsável por 0,86% e 0,88%, respectivamente (ABIMCI, 2013). Esses dados mostram a importância crescente do eucalipto para a indústria madeireira no país e, conseqüentemente, para o PIB.

A Figura 1 apresenta uma comparação do volume de produção de madeira destinada fabricação de carvão vegetal, lenha e madeira em tora, no estado do Paraná, em 2019. Esses dados são parte da pesquisa de produção da extração vegetal e da silvicultura, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). Observa-se que a produção de madeira em tora, que é utilizada para fabricação de produtos estruturais e não estruturais, papel e celulose, por exemplo, representa 70,6% do total da madeira produzida nesse ano totalizando 30 milhões de metros cúbicos.

Figura 1 – Quantidade produzida na silvicultura no estado do Paraná, em 2019



Fonte: IBGE (2019)

O mercado de produtos não estruturais, que inclui guarnições, molduras, componentes de porta, pranchas, lambris, painéis colados, blanks finger-jointed, etc., é suprido em grande parte por madeira de pinus, porém mais recentemente, começou a haver uma procura do mercado pelos mesmos produtos ofertados em madeira de eucalipto, por conta do crescimento mais rápido das mudas, bem como de propriedades mecânicas que o eucalipto proporciona. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020), afirmou no ano 2000 que os principais interessados no plantio e manejo de eucaliptos são os pequenos produtores rurais.

Uma pesquisa realizada por Kanashiro et al. (1983), indicou que no estado do Pará, uma espécie de pinus, o *Pinus caribaea*, variação *hondurensis*, apresentou crescimento médio na altura da planta de 1,55 m após dois anos de plantio, enquanto a espécie *Pinus oocarpa* cresceu apenas 0,8 m, no mesmo período. Já as espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus robusta*, apresentaram crescimento de 11,58 m, 10,28 m e 9,50 m, respectivamente, após três anos do plantio.

Para fabricação dos produtos, além das características da madeira, o tipo de adesivo utilizado é um fator importante para que as propriedades mecânicas necessárias sejam atingidas. Segundo Marra (1980), mais de 70% de todos os produtos feitos a partir de madeira, levam algum adesivo em sua fabricação. Na indústria madeireira são utilizados diferentes tipos de adesivos, incluindo emulsão de acetato de polivinila (PVAc) como a Multibond X-080®, emulsão de isocianato polimérico (EPI), poliuretano, epóxi e adesivos termoplásticos a base de resinas sintéticas. Entretanto, para que o adesivo tenha as características mecânicas desejadas de aderência após exposição a temperaturas elevadas e umidade, por exemplo, o tipo de acabamento e preparo da geometria de colagem é um fator determinante. Para se obter um design adequado, deve-se considerar os parâmetros relacionados ao tipo de madeira, tipo de adesivo e o material das barras de junção. Também é importante o controle de parâmetros

geométricos, tais como o comprimento da ancoragem, a espessura do adesivo, o diâmetro da barra e a proporções da peça de madeira. Segundo Chans et al. (2008), não há um design específico para cada tipo de adesivagem da madeira e testes destrutivos devem ser realizados em cada caso, porque ainda não há normas de controle específicas para cada produto.

2.2 EUCALIPTO E ADESIVOS EM ENSAIOS ANTERIORES

O eucalipto é uma planta da família das mirtáceas, da subfamília das leptospermeas e tem centenas de espécies diferentes, além de variedades híbridas (JOLY, 1975). Da madeira de eucalipto, os principais produtos extraídos incluem lenha, postes, moirões de cerca, construções rurais, produção de madeira serrada, fabricação de painéis, fabricação de papel e celulose (HIGA, MORA e HIGA, 2000). De acordo com Andrade (1961), quase todas as espécies de eucaliptos são originárias da Austrália, principalmente da ilha-Estado da Tasmânia, onde formavam grandes e densas florestas. Segundo Caterina (2017), o principal eucalipto plantado no Brasil atualmente é o do gênero *Eucalyptus sp.*

Algumas das características em que toras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* apresentam em relação ao *Pinus elliottii*, segundo Serpa et al. (2003), são: maior rendimento em madeira serrada, maior massa específica básica, maior resistência à flexão estática, maior resistência à compressão paralela às fibras e maior resistência da linha de cola (LC). A Tabela 1 mostra os valores máximos encontrados pelos autores para a densidade, a resistência a compressão e flexão das respectivas espécies.

Tabela 1 – Valores máximos encontrados de propriedades das espécies *E. saligna*, *E. grandis* e *P. elliottii*

	Densidade (g/cm ³)	Resistência a flexão (MPa)	Resistência a compressão (MPa)
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,69	140	70
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,66	113	55
<i>Pinus elliottii</i>	0,52	65	42

Fonte: Adaptado de SERPA et al. (2003)

Um estudo realizado por Plaster et al. (2008) testou o comportamento de juntas retas coladas de madeiras de *Eucalyptus sp.*, com dois adesivos distintos, sendo um termofixo (resorcinol-formaldeído) e outro termoplástico (PVAc). Esse estudo utilizou corpos de prova com dimensões de 300 x 65 x 20 mm, que foram colados com cerca de 300 g/m² (para ambos adesivos), utilizando pincel. As informações relacionadas ao formato dos CPs são fundamentais para que se tenha uma normalização da área de colagem, permitindo comparação de resultados.

Para a prensagem dos corpos de prova (CPs), utilizou-se uma máquina universal de ensaios, marca EMIC, modelo DL10000, com uma pressão de 12 kgf/cm². Após a cura do adesivo, foram confeccionados CPs de acordo com a norma ASTM D-905 (2008), que foram ensaiados em cisalhamento na linha de cola. A Tabela 2 mostra os valores da resistência encontrada para CP de madeira maciça, colados com resorcinol e com PVAc, divididos em três classes de densidades.

Tabela 2 – Classes de densidade, resistência ao cisalhamento da madeira sólida e teores de umidade

	Classe de densidade (g/cm³)	Resistência ao cisalhamento (kgf/cm²)
Madeira maciça	1 (0,70-0,79)	114
	2 (0,80-0,89)	132
	3 (0,90-0,99)	158
CPs colados com resorcinol	1 (0,70-0,79)	140
	2 (0,80-0,89)	132
	3 (0,90-0,99)	135
CPs colados com PVAc	1 (0,70-0,79)	139
	2 (0,80-0,89)	140
	3 (0,90-0,99)	154

Fonte: Adaptado de Plaster et al. (2008)

Plaster et al. (2008) concluíram que os valores médios de resistência ao cisalhamento em compressão utilizando os adesivos resorcinol-formaldeído e PVAc (132 e 140 MPa, respectivamente) ficaram próximos aos valores de cisalhamento da madeira maciça (132 MPa). Quanto à adesão, ambas as colas se mostraram eficientes para uso em madeira serrada de eucalipto.

Outro estudo, realizado por Shukla et al. (2020), utilizou uma espécie híbrida de eucalipto para testar o comportamento de emendas dentadas em ensaios de flexão, com aplicação dos adesivos PVAc e formaldeído de uréia (UF). Os CPs foram usinados em uma fresa comercial com as seguintes dimensões: 20 mm de comprimento dos dedos, 5 mm de passo e 0,8 mm de espessura de ponta. A aplicação de ambos os adesivos foi feita utilizando pincéis. Imediatamente após a aplicação das colas, os CPs eram submetidos a uma prensa pneumática com uma pressão final de 6 N/mm². As amostras curaram em temperatura ambiente durante pelo menos 48 horas. Os testes foram realizados por uma máquina universal de ensaios, que apresentava leituras correspondentes a cargas progressivas aplicadas sobre os corpos de prova. Foi utilizada uma velocidade de avanço do punção de cisalhamento de 2,5 mm/min. Como base de cálculo mostrado pelas Equações 01 e 02, Shukla et al. (2020) utilizaram os módulos de

ruptura (MoR) e de elasticidade (MoE) para comparar os resultados entre as duas colas e a madeira maciça, que são mostrados na Tabela 3.

$$MoR = \frac{3P'l}{2bh^2} \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{Equação 01}$$

$$MoE = \frac{Pl^3}{4Dbh^3} \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{Equação 02}$$

onde P é o limite de proporcionalidade, P' é a carga máxima em cada amostra, l é o comprimento da amostra, b é a largura, h é a espessura e D é a deflexão no limite de proporcionalidade.

Tabela 3 – Valores médios de MoR e MoE para os dois adesivos e para a madeira maciça

Adesivo		Número de amostras	Parâmetro de comparação	
			MoR	MoE
CPs maciços para controle	Valor médio	25	91,1	10404
	Desvio padrão		8,2	2033
PVAc	Valor médio	25	47,6	10318
	Desvio padrão		11,7	2285
UF	Valor médio	25	58,9	11195
	Desvio padrão		7,6	883

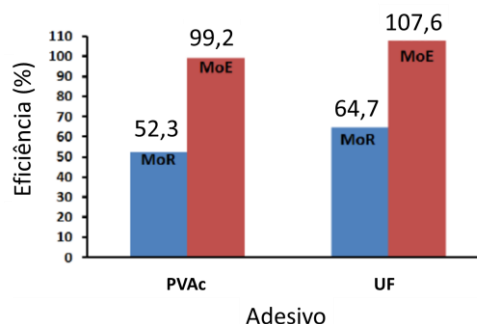
Fonte: Adaptado de Shukla et al. (2020)

Shukla et al. (2020) também calcularam a eficiência de cada parâmetro de resistência (MoR e MoE) usando a seguinte Equação 03:

$$Eficiência (\%) = \frac{\text{média do parâmetro para os CP emenda dentada}}{\text{média do parâmetro para os CP maciços}} * 100 \quad \text{Equação 03}$$

A Figura 2 ilustra o resultado encontrado por Shukla et al. (2020) para as eficiências dos parâmetros de resistências.

Figura 2 – Eficiências dos parâmetros de resistência para adesivos PVAc e UF

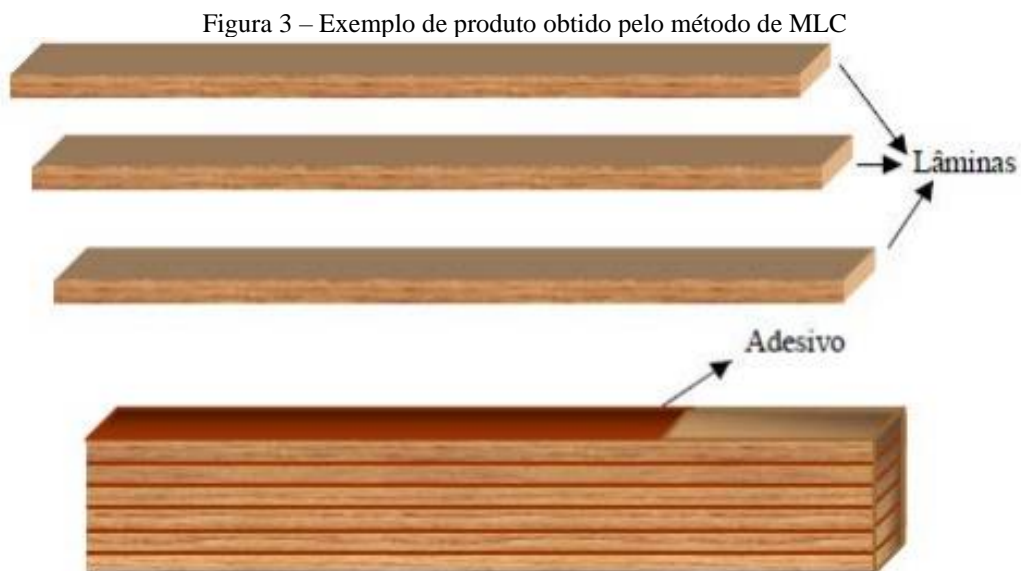


Fonte: Adaptado de Shukla et al. (2020)

A Figura 2 destaca que para ambos os adesivos, o módulo de elasticidade ficou acima de 99%, e que no caso do formaldeído de uréia, superou os 100% quando comparado com a madeira maciça do eucalipto. Segundo os mesmos autores, há vários registros de valores de eficiência de MoE maiores que 80% em emendas dentadas coladas com diversos adesivos em diferentes espécies de árvores. Ranjan et al. (2015) também reportaram valores de eficiência de MoE entre 114 e 129% para madeira de mangueira, utilizando também os adesivos PVAc e UF, porém com perfis de junta diferentes. Emendas dentadas com 10 mm de comprimento e coladas com PVAc obtiveram eficiências inafetadas, se comparadas com a madeira maciça para madeira de faia (VASSILIOU et al., 2007).

2.3 EMENDAS DENTADAS

Juntas retas (face com face), emendas dentadas e adesão de madeira laminada colada (MLC) são amplamente utilizadas industrialmente. Esse último produto trata-se de lamelas de madeira (lâminas ou tábuas) coladas com adesivos sintéticos, umas sobre as outras. Um exemplo de MLC é apresentado na Figura 3.



Fonte: Zangiácomo, 2003.

Já os produtos de madeira colada com emendas dentadas são feitos com o reaproveitamento da madeira existente entre os nós da árvore ou outros defeitos. Esses pedaços são unidos por uma estrutura parecida com “dedos entrelaçados”, chamadas em inglês de *finger-*

joint. Após a colagem, a madeira unida desta forma pode apresentar resistência superior à da madeira maciça, apresentando ruptura do produto na madeira e não na junta colada (MAURO e PERES, 2010). Um exemplo de emenda dentada é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de estrutura dentada ou *finger-joint*



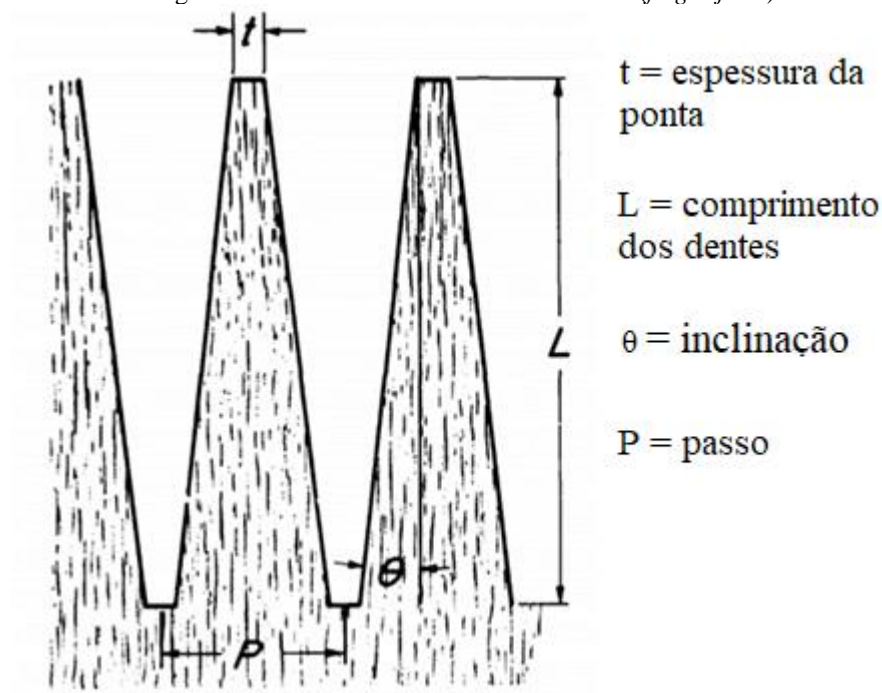
Fonte: Sviták et al. (2014)

Produtos feitos com colagem de emendas dentadas incluem materiais de moldagem em geral, como perfis e trilhos para portas e janelas, guarnições, tapumes, placas de fásia e produtos de fresagem. Segundo o *Centre Technique du Bois* (1973), o processo de colagem e a resistência final das peças são mais afetados pelas condições no tempo de cura e pela pressão aplicada durante a prensagem. Esses produtos quando livres de defeitos e envernizados e/ou pintados, geram produtos de elevado valor agregado (JOKERST, 1981).

2.3.1 Geometria das Emendas Dentadas

A geometria de uma emenda dentada é mostrada na Figura 5. A usinagem dos elementos que compõem a emenda, são os responsáveis pelo potencial de resistência da mesma. A geometria da emenda é interconectada, ou seja, quando se altera uma medida, as outras são ajustadas proporcionalmente. Isso faz com que uma maior complexidade seja adicionada aos estudos sobre os efeitos da aplicação de cargas ou força em apenas um elemento (JOKERST, 1981).

Figura 5 – Parâmetros das emendas dentadas (*finger joint*)



Fonte: Adaptado de Jokerst (1981)

Diversos autores já realizaram estudos acerca da geometria da emenda dentada e sua resistência. De acordo com Selbo (1963), Rajcan e Kozelouh (1963), Page (1959), Oberg (1961) e Blomer (1961), é importante manter as pontas das juntas finas para obter uma força máxima. São citadas duas razões para essa afirmação: pontas cegas são incapazes de transmitir tensão e as pontas das emendas causam mudanças abruptas nas seções que causam concentração de tensão, e isso, por sua vez, resulta em cargas menores do que as esperadas na falha.

No estudo de Selbo (1963), sobre a influência da geometria da emenda em relação a resistência à tração, ele concluiu alguns pontos importantes:

- Emendas dentadas, no geral, ganham mais resistência à tração com inclinação menor. Porém, a taxa de aumento decresce enquanto a inclinação diminui. O ganho de resistência foi menor quando a inclinação passou de 1:12 para 1:16, comparado com o ganho obtido quando a inclinação diminuiu de 1:8 para 1:12;
- Se a espessura da ponta e o passo se manterem constantes, a força da junta aumenta com uma inclinação mais acentuada, até certo ponto, quando a taxa de ganho de resistência passa a ser insignificante;
- Há uma boa correlação entre a área efetivamente colada e a resistência da junta. Nesse aspecto, ganham terreno emendas com dentes, dedos ou *fingers* mais longos;

- Se as condições anteriores forem atendidas, então o próximo fator a interferir na resistência da junta é a espessura da ponta. Quanto mais fina, maior será a força da emenda;
- As pontas finas das articulações, mesmo mais finas que no próprio estudo de Selbo (1963), desenvolveram resistências maiores. Caso uma força máxima seja necessária em uma utilização, como em flexão ou tração, deve-se usar pontas tão finas quanto sejam possíveis de se obter.

Özçifçi e Yapici (2007) também concluíram em seus estudos sobre influência da geometria das emendas dentadas na resistência da junta, que quando o comprimento dos dentes das emendas aumentou de 7 para 21 mm, a resistência também aumentou. Os corpos de prova com dentes mais compridos apresentavam maior resistência porque isso proporcionava uma maior área de cola efetiva. Özçifçi e Yapici (2007) ensaiaram, em flexão, corpos de prova de diferentes espécies, uma delas sendo de pinus (*Pinus sylvestris lipsky*) e utilizaram dois adesivos, um PVAc, de marca POLISAN e outro a base de poliuretano, com nome comercial de Desmodur-VTKA. Os testes foram conduzidos nas direções radial e tangencial, e as emendas dentadas tinham dedos com comprimentos de 7, 14 e 21 mm. A velocidade de descida do punção de flexão foi de 4 mm/min. Os valores dos módulos de ruptura e de elasticidade encontrados pelos autores para o pinus, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de MoR e MoE para o *Pinus sylvestris lipsky*, com adesivo PVAc e a base de poliuretano

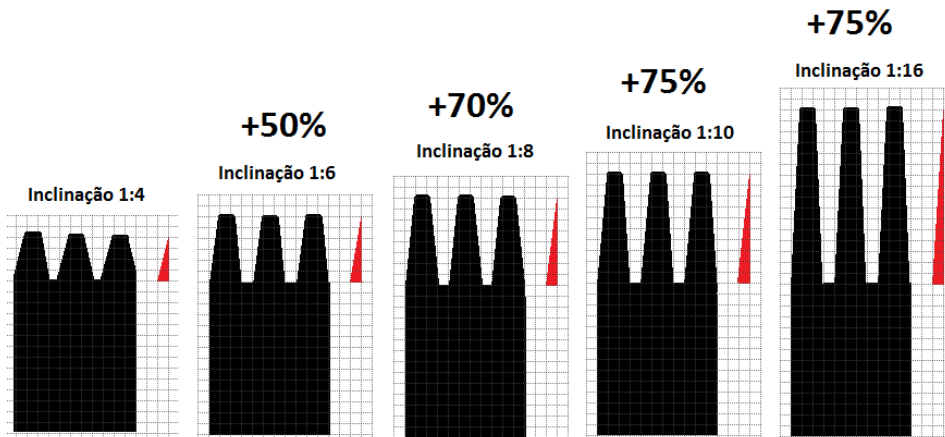
Adesivo	DIREÇÃO RADIAL			Adesivo	DIREÇÃO TANGENCIAL		
	Tamanho do dedo – L	MoR/MoE	Média dos CPs		Tamanho do dedo – L	MoR/MoE	Média dos CPs
PVAc	7	MoR	15,4	PVAc	7	MoR	16,4
PVAc	7	MoE	6865,9	PVAc	7	MoE	6879,0
PVAc	14	MoR	21,1	PVAc	14	MoR	22,2
PVAc	14	MoE	7626,0	PVAc	14	MoE	7774,6
PVAc	21	MoR	35,4	PVAc	21	MoR	36,0
PVAc	21	MoE	7994,6	PVAc	21	MoE	8102,4
D-VTKA	7	MoR	24,6	D-VTKA	7	MoR	25,2
D-VTKA	7	MoE	7991,0	D-VTKA	7	MoE	8085,0
D-VTKA	14	MoR	28,0	D-VTKA	14	MoR	29,2
D-VTKA	14	MoE	7847,3	D-VTKA	14	MoE	8344,3
D-VTKA	21	MoR	32,3	D-VTKA	21	MoR	33,6
D-VTKA	21	MoE	6664,7	D-VTKA	21	MoE	6238,6

Fonte: Adaptado de Özçifçi e Yapici (2007)

Ensaaios de tração e flexão em peças de passo e largura da ponta constante indicou que quando a inclinação dos CPs foi reduzida de 1:4 para 1:6, a resistência mecânica aumentou em 50% e uma redução maior (para 1:8) aumentou a resistência em outros 20%. Corpos de prova com inclinações de 1:10 e 1:16 obtiveram os mesmos resultados de resistência, cerca de 75%

maiores que os com juntas de inclinação 1:4 (PAGE, 1959). Esse estudo se baseou em aumentar o comprimento dos dedos das juntas, bem como a razão L/P. A Figura 6 ilustra o acréscimo de resistência mecânica das juntas dentadas encontradas por Page, com relação ao tamanho dos dentes.

Figura 6 – Ganhos de resistência em tração e flexão de acordo com a inclinação dos dedos

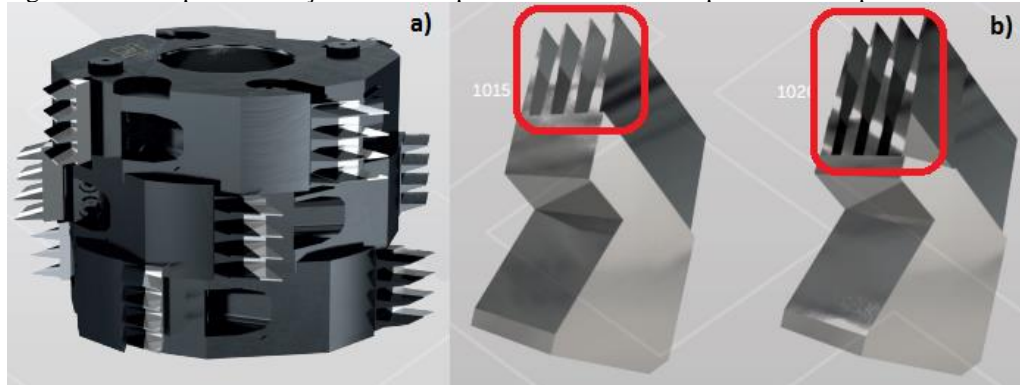


Fonte: Adaptado de Page (1959)

2.3.2 Processo de Fabricação de Emendas Dentadas

Para usinagem das emendas dentadas, são utilizadas fresas e pastilhas de corte, como mostra o exemplo da Figura 7. Enquanto na Figura 7 (a) é apresentado o cabeçote, onde são fixadas as ferramentas de corte, na Figura 7 (b) são apresentadas duas pastilhas que podem ser utilizadas no mesmo cabeçote, produzindo emendas com perfis diferentes (destaques em vermelho).

Figura 7 – Exemplo de cabeçote de fresas para emenda dentada e pastilhas com perfis diferentes



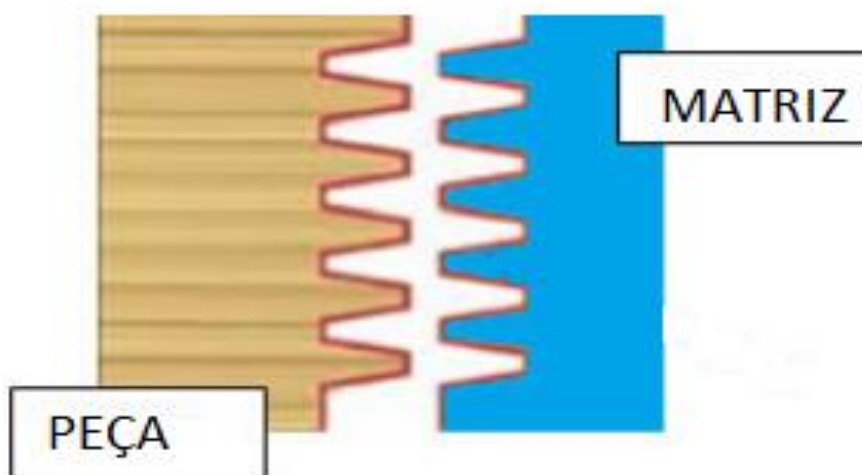
Fonte: Adaptado de Arte Diamante (2020)

No momento da usinagem das emendas, a posição da fresa deve ser cuidadosamente controlada, porque do contrário, os dedos podem ficar muito longos ou muito curtos. Se os dedos da emenda forem curtos demais, pode haver lacunas nas pontas, uma possível divisão nas suas raízes, ou ainda, um aperto excessivo no adesivo. E se forem muito longos, não terão bom contato entre as superfícies adjacentes, o que resultará em uma linha de cola fraca (JOKERST, 1981). A tolerância da usinagem do perfil também é de extrema importância, visto que poucos milésimos de polegada de diferença podem resultar em uma emenda com encaixe inadequado e com baixa resistência mecânica.

Ainda segundo Jokerst (1981), existem três métodos para fabricar o perfil da junta dentada. O mais encontrado nas indústrias usa ferramentas de corte, o segundo método utiliza matrizes, e por fim, o terceiro utiliza ambos os dispositivos. O método que utiliza ferramentas de corte, é um típico processo de fresamento, onde há uma cabeça rotatória, equipada com diversas pastilhas de corte, que atuam como facas e vão dando formato à madeira. O método que utiliza matrizes se baseia em pressionar pontas quadradas da madeira contra uma forma de metal com o formato final desejado. A matriz metálica pode ser pré-aquecida ou não.

Para Strickler (1967), um fator limitante no uso do método de formação de perfil de junta envolvendo matrizes é a gravidade específica (GE) da madeira. Por exemplo, se a gravidade específica da matriz for de 1,5, e a GE da madeira, 0,5, então o volume da madeira poderá ser reduzido até o máximo de um terço. Quanto maior a GE da madeira em questão, menos ela poderá ser comprimida sem enfraquecer seriamente suas fibras. A Figura 8 ilustra um processo de fabricação de perfil por matrizes logo após a prensagem da peça.

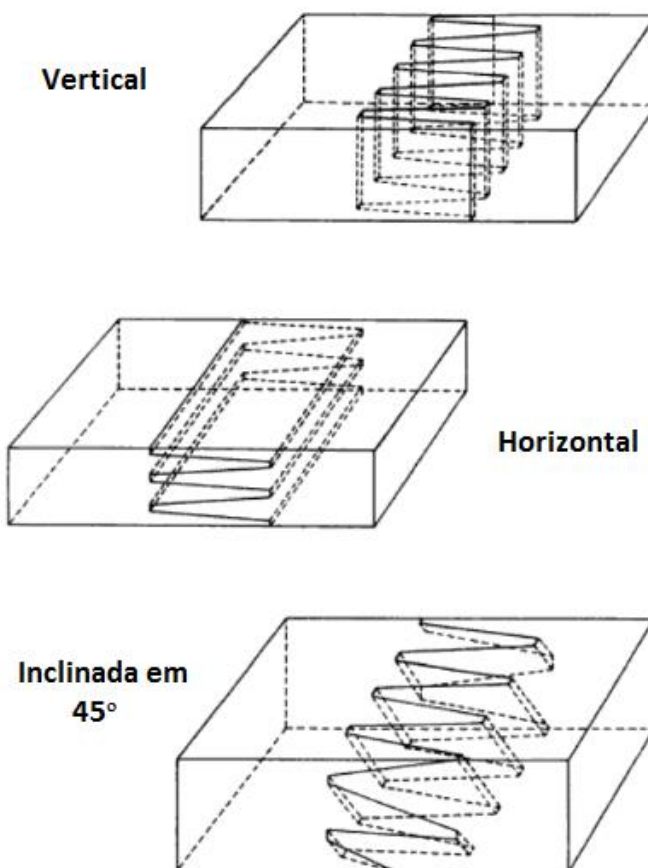
Figura 8 – Exemplo de fabricação de perfil utilizando matrizes



Fonte: Adaptado de MARINUS MACHINES (2020)

Para a manufatura de produtos de madeira com emendas dentadas, o processo de fabricação é composto por cinco etapas: seleção e preparação do material, formação do perfil da junta, aplicação da cola, montagem e cura do adesivo. Para selecionar um material adequadamente, deve-se optar por aquele que permita um perfil de junta normal, limpo, de grão reto e com densidade da madeira média ou alta. Também é importante definir o quanto um nó, ou outras imperfeições podem interferir na resistência mecânica da peça. Essas limitações devem visar a redução das interações do nó e seu desvio de grãos associado para que não causem problemas (JOKERST, 1981). Na etapa de formação do perfil, este pode ser horizontal, vertical ou com uma inclinação de 45 graus, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Orientações de fabricação das emendas dentadas



Fonte: Adaptado de Jokerst (1981)

Um dos fatores mais importantes da preparação da peça *finger jointed* é o teor de umidade (TU). Deve-se secar as peças até um TU apropriado para cada caso, antes de iniciar o processo de colagem. Usualmente, recomenda-se a secagem até o TU médio da peça em serviço. A maioria dos adesivos apresenta boa adesão com TUs entre 6 e 17%. Se a madeira

tiver um teor de umidade alto, ela pode acabar absorvendo uma fração do adesivo e deixar a emenda enfraquecida (JOKERST, 1981). Currier (1967) indica, ainda, que para alguns casos com TU maior que 20%, adição de calor para acelerar a cura do adesivo apresentou bons resultados em relação a resistência e durabilidade.

2.3.3 Influência da Forma de Aplicação do Adesivo em Emendas Dentadas

Para Campos e Lahr (2005), o processo de colagem é tão importante quanto a escolha do adesivo, visto que as características finais do produto, em se tratando de resistência à umidade e propriedades mecânicas, dependem de como se dá a adesão. Segundo Sellers Júnior (2001), na maioria dos casos, a escolha da cola adequada para certo produto, depende mais das condições de uso específicas do que do tipo de madeira. Logo, é necessário considerar, principalmente, o meio em que a estrutura será submetida, para estipular temperaturas e teores de umidade adequados.

Existem várias maneiras de aplicar cola em juntas de madeira, sejam elas emendas dentadas ou de outros tipos. Qualquer adesivo capaz de emendar madeira face a face também pode ser utilizado em emendas dentada e vice-versa. A mais simples e menos precisa delas é simplesmente banhar a face que será colada em um recipiente contendo o adesivo. Esse método não é recomendado devido à falta de controle e falta de precisão que oferece, além de gerar grande desperdício. Outro tipo de colagem comumente utilizado consiste em um tambor giratório que tem sua superfície constantemente preenchida com adesivo novo. Essa superfície tem o formato da junta a ser colada. Assim, quando a junta da madeira passa pelo tambor giratório, o adesivo é esfregado em sua superfície. Uma variação desse modo de colagem consiste de um pincel giratório, que ao passar pela junta, limpa o adesivo na superfície a ser colada (JOKERST, 1981). Um procedimento alternativo considerado por Ericsson (1975) se baseia em aplicar, separadamente, um endurecedor e uma resina por pulverização. Esse esquema permite sistemas de adesivos altamente reativos, que, caso aplicados de maneiras diferentes, poderiam ter uma vida útil muito curta.

Outro esquema para adesão de juntas é o uso de um bico extrusor com formato da emenda dentada, que quando a superfície da junta passa pelo bico, este extruda o adesivo na madeira.

Cabe mencionar que nenhum destes modelos de aplicação de adesivo é altamente satisfatório, visto que os bicos extrusores e os espalhadores podem ficar obstruídos com o

adesivo, levando a uma aplicação de cola incompleta. Essa condição exige manutenção frequente destes dispositivos (JOKERST, 1981).

2.3.3.1 Influência do Tipo de Adesivo

Ainda segundo Jokerst (1981), os fatores que mais podem implicar na escolha de um ou outro tipo de cola são: uso pretendido do produto final, propriedades físicas e mecânicas do adesivo, velocidade na qual a emenda deve ser colada, o processo de cura em si, o preço e, em alguns casos, a cor do adesivo. Vale ressaltar que geralmente um ou dois desses fatores se tornam limitadores dentre as opções disponíveis, e a partir disso, a escolha é simplificada. Geralmente, as condições de uso e/ou trabalho do produto final, já eliminam várias possibilidades de adesivos. Por exemplo, para emendas dentadas de guarnições e molduras, não se aplicam adesivos de tipo resorcinol e fenol-resorcinol, devido a sua coloração avermelhada escura ou preta.

Existem diversos tipos de cola para madeira disponíveis no mercado. Os mais utilizados em emendas dentadas, para usos gerais, são: melamina, ureia, melamina-ureia, resorcinóis, fenóis-resorcinóis, poliuretanos reativos (PUR), os termofixos e termoplásticos a base de acetato de polivinila (PVAc), e emulsão de isocianato polimérico (EPI). No contexto desse trabalho, se fez uso dos últimos dois adesivos citados, que serão apresentados a seguir.

2.3.3.2 Adesivo EPI – emulsão polimérica de isocianato

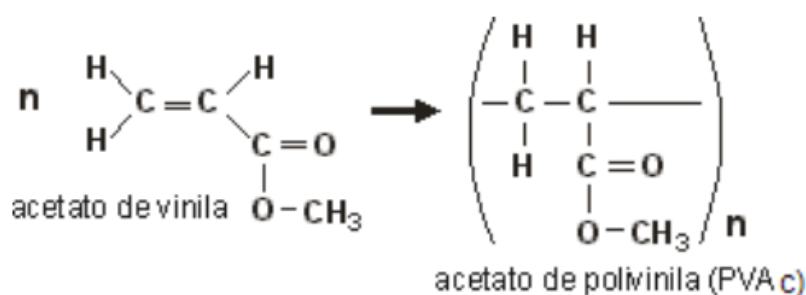
A emulsificação em água do polímero de difenilmetano-diisocianato (MDI) resulta na formação da resina conhecida como emulsão polimérica de isocianato. Essa resina deve ser ativada através da aplicação de um catalisador ou endurecedor (CONNER, 2001). Isso faz com que as colas EPI sejam produtos bi-componentes, que devem ser misturados antes do uso, atentando-se às recomendações do fabricante. Entretanto, isso não acarreta em dificuldades no trabalho com os adesivos EPI, que são amplamente utilizados na indústria.

As principais vantagens dos adesivos EPI são a alta resistência a água, temperaturas elevadas e solventes (GROSSL, 2020) e também a possibilidade de colagem de produtos plásticos e outros substratos não madeireiros. Por outro lado, sua principal desvantagem é o alto custo (FRIHART, 2005).

2.3.3.3 Adesivo PVAc – acetato de polivinila

A emulsão do PVAc se dá a partir da polimerização em água de monômeros de vinil acetato (VAM). Esses adesivos são produzidos em duas etapas: a primeira é uma reação de oxidação entre etileno e ácido acético, tendo como produto o acetato de vinila, que é usado na segunda etapa, uma emulsão aquosa, que resulta em uma dispersão aquosa de poli (acetato de vinila) (BANDEL, 1991). A Figura 10 mostra a polimerização do acetato de vinila, resultando no acetato de polivinila.

Figura 10 – Polimerização do acetato de vinila



Fonte: Mendonça (2013)

De acordo com Lopes (2008), os adesivos de acetato de polivinila são comumente conhecidos como “cola branca” e “são os adesivos mais usados pela indústria da madeira e móveis para aplicações de uso interior, e substituíram aos adesivos de base natural como as caseínas”. Os adesivos PVAc são utilizados apenas para aplicações não estruturais da indústria moveleira e/ou madeireira, em produtos como, por exemplo, emendas dentadas, painéis, laminados plásticos e de madeira, adesão de espiga e cavilha (OLIVEIRA e DANTAS, 2003).

Para Conner (2001), as emulsões de resinas PVAc produzem linhas de cola (LC) de coloração clara ou transparente e podem ser aplicadas diretamente. Elas podem ser curadas em temperatura ambiente ou em prensas de rádio frequência (RF). Quanto as suas características, as colas PVAc possuem elevada resistência a seco, baixa resistência a umidade e a altas temperaturas. Para contornar a baixa resistência, pode-se modificar a resina PVAc, adicionando outros monômeros de vinil durante a polimerização e/ou acrescentando agentes de ligações cruzadas (*cross-linking*), que aumentam a rigidez do polímero e assim, podem melhorar suas características mecânicas.

Outra análise das colas PVAc é apresentada por Heinrich (2001), que cita como vantagens o tempo reduzido de processos, pouca abrasão e transparência, são práticas de se utilizar, permitem tempo de armazenamento longo, formam uma adesão flexível, e como desvantagens, o autor cita que são termoplásticos e que são susceptíveis a fadiga.

2.3.4 Montagem das Emendas Dentadas

Após a aplicação do adesivo, o próximo passo na linha de fabricação de produtos com emendas dentadas é a montagem ou encaixe das emendas. Para esse processo, também existem diversas maneiras de execução. No primeiro deles, a pressão requerida para acoplar as juntas é fornecida por uma linha de alimentação, onde o final da linha se move mais devagar que o começo, que é onde entram as novas peças e são pressionadas contra as que já passaram por ali antes. Esse método é usado para unir juntas dentadas de forma contínua, criando longos produtos emendados.

Outro sistema faz uso de duas braçadeiras, uma móvel e outra estacionária. Enquanto a braçadeira fixa segura a peça de madeira por um lado, a braçadeira móvel encaixa outra peça, no lado oposto da junta, e move adiante, então, as duas peças de madeira, encaixadas. A esse sistema se dá o nome de *stop and go* (para e vai) e também é usado em curas de rádio frequência, que, nesse caso, as juntas coladas são posicionadas entre os eletrodos do gerador RF (JOKERST, 1981).

No chamado sistema *mini-joint*, a pressão aplicada é alta, e, após mantida por 2 ou 3 segundos, é liberada. Isso faz com que as forças de atrito entre as duas peças de madeira sejam o suficiente para fixar uma peça na outra e permitir o manuseio normal, enquanto a cura acontece em temperatura ambiente (MARIAN, 1968). Nesse sentido, independentemente de como a pressão é aplicada, é importante que ela tenha uma magnitude suficiente para forçar as duas peças juntas, e que elas permaneçam devidamente alinhadas enquanto o adesivo cura.

Em testes feitos por Pavlov (1954), observou-se que ao juntar duas emendas dentadas que tivessem uma certa pressão final após serem retiradas da prensa, a cura do adesivo poderia ser feita fora da prensa. A pressão requerida para montar uma emenda depende da viscosidade da cola e da qualidade do encaixe dos dedos. Emendas bem encaixadas apresentaram uma resistência elevada com uma pressão final insignificante. Ainda segundo Pavlov, para emendas com encaixe apropriado, as pressões finais, ou seja, após as peças saírem da prensa, devem permanecer entre 3 e 6 kg/cm². Com ângulos θ menores, a pressão também pode ser menor. E

no caso de ângulos maiores, a pressão também deve ser maior. Nesse estudo de Pavlov (1954), utilizou-se emendas dentadas com 0,012 polegadas na parte superior dos dedos, comprimento de 0,315 pol e usou inclinações que variavam entre 1:8 e 1:16.

As especificações da norma alemãs DIN 68-140 (1971), sugerem os seguintes valores mínimos de pressão para montagens de juntas *finger joint*: 120 kg/cm² para comprimentos de dedos de 10 mm e 20 kg/cm² para dedos de 60 mm. Em nenhuma circunstância a pressão deve ser menor que 10 kg/cm².

2.3.5 Cura do Adesivo

O último passo na manufatura de produtos de madeira que utilizam emendas dentadas é a cura do adesivo, onde a maioria dos adesivos podem ser curados permanecendo tempo suficiente em temperatura ambiente. Esse tempo, entretanto, pode ser reduzido com o acréscimo de calor. Por isso, muitas linhas de produção empregam algum meio de adicionar calor ao adesivo. Porém, alguns sistemas simplesmente não oferecem essa redução de tempo de cura, como por exemplo o sistema *mini-joint*. Isso porque a pressão aplicada por 2 ou 3 segundos, e a configuração correta da junta, proporcionam um aperto suficiente que permite a estrutura continuar colada enquanto processos de acabamento e corte são realizados (JOKERST, 1981).

O calor fornecido para reduzir o tempo de cura pode ser adicionado antes ou depois da aplicação do adesivo na junta (JUVONEN, VIITANIEMI, 1972). O calor fornecido antes é chamado de colagem por calor residual e consiste em aplicar o adesivo na superfície da madeira pré-aquecida. Nesse caso, o tempo disponível para aplicar pressão na junta é reduzido e a quantidade de energia térmica disponível para curar o adesivo também é limitada e isso pode reduzir o número de colantes que podem ser utilizados. Nesse contexto, deve-se tomar o cuidado de não expor os produtos a uma temperatura muito alta ou por um tempo muito longo, porque a madeira pode ser permanentemente danificada. A colagem por calor residual, em algumas situações, pode ser obtida por um custo baixo, como por exemplo, logo depois da madeira que foi prensada em matrizes para formar o perfil, da junta (JOKERST, 1981).

A colagem por calor residual também pode ser uma aliada para resolver limitações relacionadas ao TU na hora da adesão. Chow (1976) relata que alguns desses sistemas têm capacidade de apresentar boa colagem com teores de umidade altos.

Já a adição de calor após a aplicação da cola é um processo mais flexível que a colagem por calor residual. Nesse processo, a energia térmica disponível para a cura não é limitada, e o

tempo para pressionar a junta também é menos sensível, portanto, pequenos deslizes de tempo não causarão uma perda de material/produto. Por outro lado, o equipamento necessário para adicionar calor depois da aplicação do adesivo na junta apresenta custos adicionais para ser adquirido, mantido e operado (JOKERST, 1981).

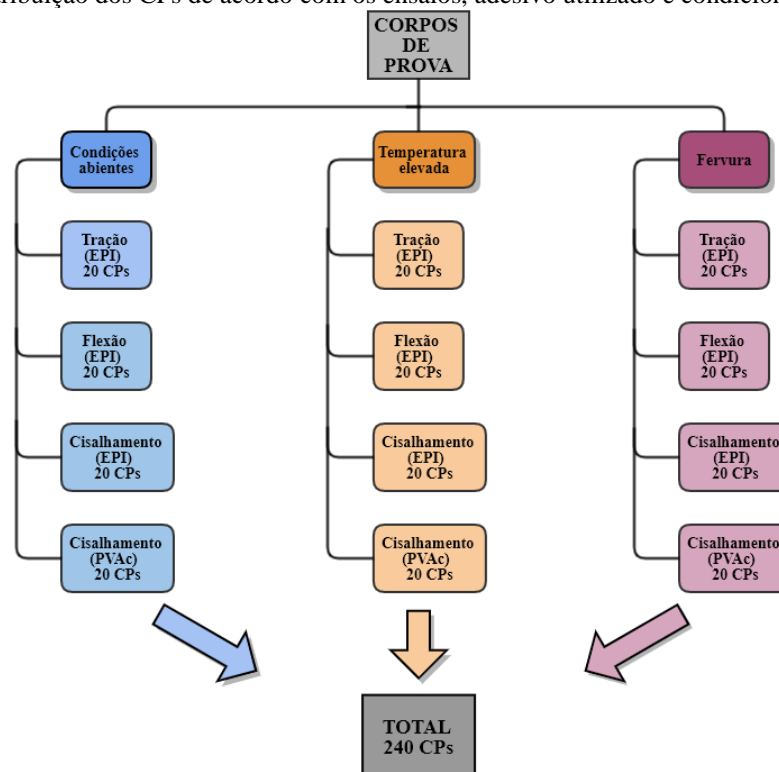
Um dos métodos mais utilizado de adição de calor após a colagem de juntas *finger joint* é o de RF, que consiste no posicionamento da junta colada entre dois eletrodos que estão conectados a um gerador RF. A polaridade dos eletrodos alterna-se rapidamente, fazendo com que as moléculas polares da cola tentem se alinhar com a constante mudança do campo magnético. Essa moléculas, no entanto, sofrem com as forças de atrito interno, que geram uma taxa de aquecimento na linha de cola. Quanto mais alta a frequência e mais forte o campo magnético, maior será a taxa de aquecimento (KOVALCHUK et al., 1961).

3 METODOLOGIA

Foram realizados ensaios de tração, flexão e cisalhamento em corpos de prova de madeira de *Eucalyptus spp*, utilizando dois tipos de adesivos, sendo um a base de emulsão polimérica de isocianato (EPI) comercializado como ReactITE EP-925, e outro a base de acetato de polivinila (PVAc) comercializado como Multibond X-080, nas condições: a) em temperatura ambiente; b) após exposição em temperatura de 104°C por 6 horas e; c) após ciclos de fervura das amostras. Os materiais necessários, bem como equipamentos necessários para fabricação dos corpos de prova foram cedidos por uma empresa do ramo madeireiro da cidade de Guarapuava, PR, mediante um Termo de Cooperação Técnica.

Os ensaios de tração e flexão se deram apenas com o uso da cola EPI, enquanto que para os ensaios de cisalhamento, utilizaram-se ambos os adesivos. Para cada uma dessas situações, foram confeccionados 20 corpos de prova, conforme indicado pelas normas ASTM D5572-95 (2005) e ASTM D5751-99 (2005). A Figura 11 mostra a distribuição dos CPs, de acordo com cada tipo de ensaio e cada condição pré-ensaio, além do adesivo utilizado.

Figura 11 – Distribuição dos CPs de acordo com os ensaios, adesivo utilizado e condicionamento pré-ensaio



Fonte: Autoria própria (2021)

3.1 MATERIAIS

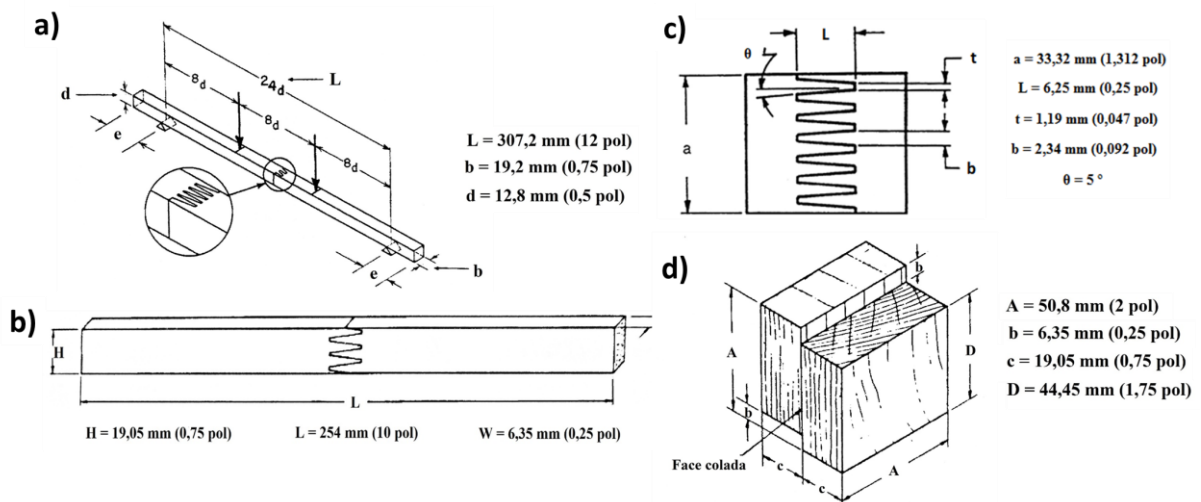
Para a fabricação dos CPs, foi usada madeira de *Eucalyptus spp*, com uma densidade média de 556,3 kg/m³ e com teor de umidade de 10,09%. Esse valor de TU é o requerido pelas normas, que exigem TU entre 8% e 14%, mas preferencialmente dentro do intervalo de 10% a 12% de umidade. Para usar outros valores de TU, tais valores devem ser especificamente recomendados pelo fabricante do adesivo.

Todos os CPs, independentemente do ensaio ao qual foram destinados, devem apresentar as seguintes características: ser livres de nós e podridão, livres de defeitos de usinagem, tais como grãos lascados, pontas duplas, marcas de polimento e compressão do rolo de alimentação e marcas grosseiras das facas de usinagem. Também devem ser livres de efeitos de secagem indesejados, devem ter corte plano de grão e suas superfícies devem ser aplainadas no mesmo dia da aplicação dos adesivos.

3.2 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A norma técnica seguida para confeccionar os CP para ensaio de flexão é a americana ASTM D5572-95 (2005). Os corpos de prova para flexão foram confeccionados com as dimensões apresentadas na Figura 12. No caso do valor e , a norma exige que seja de pelo menos uma polegada, ficando a medida total a critério dos responsáveis pelos CPs.

Figura 12 – Dimensões para confecção de CP: a) para ensaio de flexão, b) para ensaio de tração, c) perfil da emenda *finger joint* para ensaios de flexão e tração e d) para ensaio de cisalhamento



Fonte: Adaptado de ASTM D5572-95 (2005) e D5751-99 (2005)

Para fabricação dos corpos de prova, partiu-se de peças chamadas blanks, produzidos industrialmente, partindo-se de troncos de eucaliptos, que foram descascados e serrados. A madeira é serrada em pedaços menores, retirando os nós e possíveis partes de madeira danificada. Esses pedaços tinham comprimentos variados com altura e largura de 42 x 75 mm. Os pedaços de comprimento variado seguem para um equipamento industrial, marca SYSTEM TM, manual, que realiza várias etapas no processamento, iniciando com a etapa de fresamento das emendas dentadas nos dois lados da peça de madeira, formando o perfil final. A Figura 13 mostra o cabeçote da fresa, com várias facas posicionadas para a usinagem das juntas dentadas. Não foi possível obter imagens da fresa em operação por questões de segurança.

Figura 13 – Cabeçote para fresagem de emendas dentadas com as facas posicionadas



Fonte: Autorial própria (2020)

Um recipiente contendo o adesivo alimenta continuamente o pente de aplicação por extrusão que possui o perfil *finger joint* adequado e que aplica quantidades constantes de adesivo na emenda. A Figura 14 mostra uma fotografia da etapa de aplicação do adesivo nas juntas, onde é possível observar o pente, destacado com um oblongo em amarelo e a mangueira de alimentação do adesivo é indicada pela seta em azul.

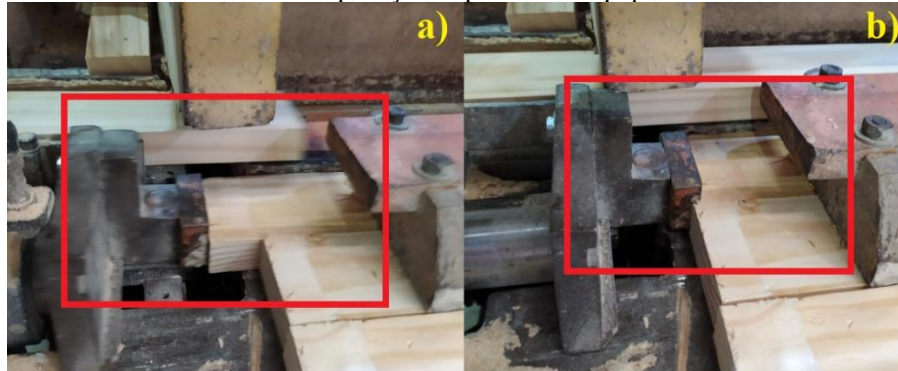
Figura 14 – Aplicação de adesivo em emendas dentadas



Fonte: Autorial própria (2020)

Os pedaços de madeira já com a cola são encaixados manualmente por uma pessoa do setor que os coloca em uma esteira lateral do equipamento, onde a velocidade de entrada é menor que a de saída. Devido a isso, as peças são forçadas umas contra as outras, unindo-se pelas emendas dentadas. O produto das três etapas é um blank de eucalipto, que consiste de uma peça longa de madeira unida por *finger joint*, com 42 mm de altura e 75 mm de largura, com comprimento maior que um metro. O blank segue, ainda no mesmo equipamento, para a etapa de prensagem, onde uma das extremidades é fixada e a outra é pressionada durante 6 segundos a 80 bar. A Figura 15 (a) mostra o momento em que o blank está prestes a ser prensado e a Figura 15 (b) mostra o blank durante a aplicação de pressão.

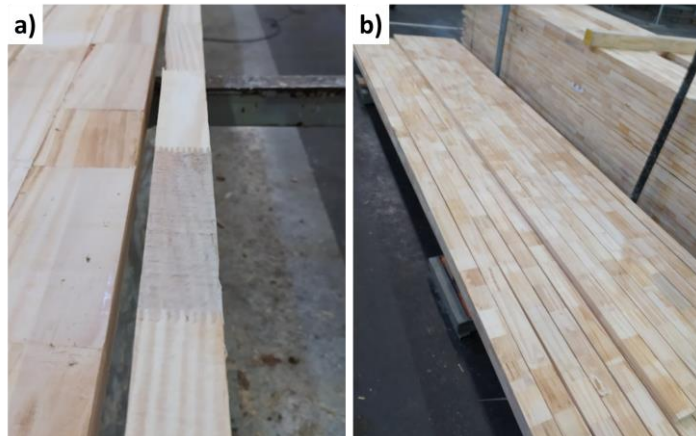
Figura 15 – Blanks antes e durante aplicação de pressão no equipamento SYSTEM TM manual



Fonte: Autoria própria (2020)

Este valor de pressão é utilizado para bitolas de 42 x 75 mm, segundo instruções do fabricante do equipamento. Os blanks finalizados são mostrados na Figura 16 (a), quando estão prontos para serem transferidos para um raque, mostrado na Figura 16 (b), onde a cura do adesivo ocorre em temperatura ambiente, pelo período de 48 horas.

Figura 16 – (a) Blank finger jointed finalizado e b) raque para armazenamento e cura do adesivo



Fonte: Autoria própria (2020)

A partir desses blanks os corpos de prova para os ensaios de tração e flexão foram cortados manualmente com serra do tipo serrafita com as dimensões mostradas na Figura 12. Para os CPs dos ensaios de cisalhamento os blanks foram transferidos para outros equipamentos industriais para realizar a união lateral, formando painéis, onde são dois elementos de madeira colados face-a-face.

Para aplicação dos adesivos, tanto EPI como PVAc, dois rolos são utilizados no processo de união dos blanks face-a-face, sendo que o rolo superior é constantemente alimentado com o adesivo. A Figura 17 mostra os rolos de aplicação de adesivo nas faces dos blanks em operação.

Figura 17 – Rolos de aplicação de adesivo nas faces dos blanks



Fonte: Autoria própria (2020)

Dependendo do tipo de adesivo, os blanks foram processados a partir deste ponto de forma diferente. Corpos de prova unidos com o adesivo EPI utilizaram razão de aplicação de 284 g/m^2 , e foram transferidos para um equipamento chamado Carrossel, que gira o CP em quatro posições diferentes, a fim de prensar os blanks, superior e lateralmente, de maneira adequada. A pressão lateral no Carrossel foi de 80 bar, enquanto a superior foi de 100 bar. Os painéis permanecem no equipamento para a cura inicial durante 25 minutos, que é o tempo total do ciclo da máquina. Após esse processo, os painéis permanecem em raques, em temperatura ambiente por 48 horas. A Figura 18 mostra um painel formado por blanks após o processo de cura. Esses painéis foram cortados com serrafita nas dimensões mostradas na Figura 12.

Figura 18 – Paineis formados por blanks de madeira



Fonte: A autoria própria (2020)

Já os CPs de cisalhamento que levavam o adesivo PVAc, com razão de aplicação de 258 g/m^2 , foram transferido para um equipamento de alta frequência (AF) para o processo de cura. Neste equipamento, os eletrodos AF foram posicionados nos dois lados das linhas de cola (LC) para promover seu aquecimento, como descrito por Kovalchuk et al. (1961) no item 2.3.6 desse trabalho. O aquecimento durou cinco minutos, aplicando-se concomitantemente pressão lateral de 75 bar, enquanto a superior foi de 65 bar. A Figura 19 mostra um painel de blanks dentro do equipamento de AF, onde foi prensado e passou pelo processo de aquecimento em alta frequência. Depois deste processo, os painéis seguiram para raques, onde permaneceram em temperatura ambiente por 48 horas para cura total do adesivo. Os painéis obtidos desta maneira foram cortados com serra-fita nas dimensões mostradas na Figura 12.

Figura 19 – Equipamento de alta frequência para prensagem e cura de painéis com adesivo PVAc



Fonte: A autoria própria (2020)

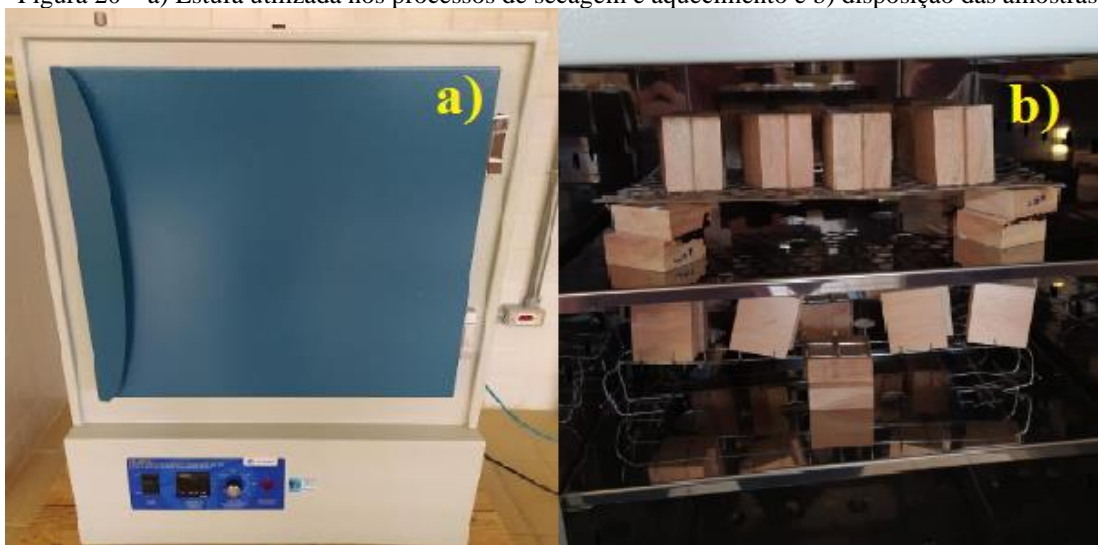
3.3 CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos foram realizados em corpos de prova nas condições de temperatura ambiente, após exposição em temperatura elevada e após fervura. Os CPs que foram ensaiados como recebidos, ou seja, em temperatura e umidade ambiente, chamados à seco, não tiveram preparos adicionais e foram numerados sequencialmente com a sigla D.01 até D.20 (D do inglês *dry* – seco).

3.3.1 Temperatura Elevada

Preparou-se a estufa marca TECNAL, modelo TE 394/1, Figura 20 (a), para acomodar os 20 CPs de cada ensaio, os quais foram realizados um por vez, de maneira que todas as superfícies dos CPs ficassem livres, em contato com o ar quente dentro da estufa, como mostra a Figura 20 (b). Os CPs foram mantidos à 104°C (± 1) durante 6 horas. Os CPs foram numerados sequencialmente com a sigla ET.01 até ET.20 (ET do inglês *elevated temperature* – temperatura elevada). Passado esse tempo, os CPs foram ensaiados a quente, sendo retirados um a um da estufa, apenas no momento em que seria realizado o ensaio.

Figura 20 – a) Estufa utilizada nos processos de secagem e aquecimento e b) disposição das amostras



Fonte: Autoria própria (2020)

3.3.2 Fervura

As amostras foram imersas água potável em estado de fervura, durante 4 horas, a uma distância de pelo menos duas polegadas da superfície, em um recipiente de 40 litros, equipado com um controlador de temperatura, marca NOVUS. A Figura 21 (a) mostra o tanque de fervura e o controlador de temperatura, enquanto a Figura 21 (b) mostra o processo de fervura.

Figura 21 – a) Tanque de fervura com controlador de temperatura e b) processo de fervura de amostras de tração



Fonte: Autorial própria (2020)

Após a fervura, as amostras foram colocadas na estufa (Figura 20 (a)), à 63 °C durante 20 horas, com circulação de ar para fora, para retirada de umidade. O processo de fervura foi repetido e depois os CPS foram resfriados em água corrente, durante 01 hora, ficando prontas para serem ensaiadas. Receberam numeração sequencial de B.01 até B.20 (B do inglês *boiled* – fervido).

3.4 ENSAIOS MECÂNICOS

Para todos os ensaios mecânicos, utilizou-se máquina universal de ensaios EMIC DL 30000 M, conectada a um micro computador com o software TESC400, o qual permite configurar o ensaio, realizar leituras e apresentar os resultados dos ensaios realizados. A Figura 22 mostra a máquina universal de ensaios EMIC, do Laboratório Multiusuário de Materiais (LabMulti Materiais), da UTFPR, Câmpus Guarapuava.

Figura 22 – Máquina universal de ensaios EMIC DL 30000 M.



Fonte: Autoria própria (2020)

A norma ASTM D5572-95 (2005) prevê alguns requisitos para realização dos ensaios. Em todos os casos, a aplicação da carga deve ser uniforme e linear, a atmosfera onde se encontra o equipamento deve interferir minimamente nas condições pré-impostas aos CPs que foram processados em temperaturas elevadas e fervura. Para os ensaios de flexão e tração, a capacidade mínima é de 1000 kgf (2200 lbf) em compressão e tração, respectivamente, com velocidade de movimento do punção ou da garra de 12,7 mm/min (0,5 pol/min). Na tração, é necessário que o conjunto de garras para fixação tenha pelo menos 63,5 mm (2,5 pol) de comprimento e largura de 19 mm (0,75 pol).

Um paquímetro Mitutoyo, com precisão de 0,05 mm foi utilizado para aferir as dimensões dos corpos de prova, valores estes que foram introduzidos no software para realização de cálculos de resistência.

3.4.1 Ensaios de Flexão


A norma ASTM D5572-95 (2005) necessitou de adequações à disponibilidade de acessórios disponíveis, sendo que foi realizado um ensaio de flexão de três pontos, onde um punção móvel aplica carga no centro do CP, com distância constante entre os dois pontos de apoio (L) de 265 mm e velocidade de avanço do punção de flexão de 12,7 mm/min. A sequência do ensaio é mostrada na Figura 23(a). A Figura 23(b) mostra mostra um corpo de prova de flexão posicionado na EMIC, pronto para ser ensaiado.

Figura 23 – Ensaio de flexão em três pontos: (a) sequência do ensaio e (b) fotografia do CP posicionado

a)

- Montar acessórios para ensaio de flexão de três pontos na fixando-o adequadamente;
- Realizar o setup do equipamento conforme procedimentos do laboratório de ensaios mecânicos;
- Medir com paquímetro a largura e a altura de cada CP, registrar os valores no TESC400, conforme a numeração sequencial dos CPs;
- Posicionar o CP para o ensaio, seguindo a sequência de numeração;
- Realizar o ensaio até a ruptura de cada CP, utilizando velocidade de avanço do punção de flexão de 12,7mm/min;
- Tabelar os dados apresentados pelo TESC400.

b)



Fonte: Autoria própria (2020)

3.4.2 Ensaio de Tração


O ensaio de tração foi realizado com garras de fixação pneumáticas e velocidade de avanço da garra de 12,7 mm/min. A sequência do ensaios é mostrada na Figura 24 (a) e a Figura 24 (b) mostra uma fotografia de um corpo de prova posicionado, pronto para realização do ensaio de tração.

Figura 24 – Ensaio de tração: (a) sequência do ensaio e (b) fotografia do CP posicionado

a)

- Realizar o setup do equipamento conforme procedimentos do laboratório de ensaios mecânicos;
- Marcar os CPs com caneta na posição de fixação nas garras;
- Medir com paquímetro a largura, comprimento e espessura, registrar os valores no TESC400, conforme a numeração sequencial dos CPs;
- Posicionar o CP para o ensaio, seguindo a sequência de numeração;
- Realizar o ensaio até a ruptura;
- Tabelar os dados apresentados pelo TESC400;
- Analisar e registrar o modo de ruptura de cada CP.



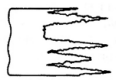

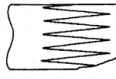
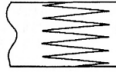
b)



Fonte: Autoria própria (2020)

A norma indica que após o ensaio de tração a região onde houve ruptura seja comparada à Figura 25 para identificação do seus modos de ruptura (MDR), que podem indicar falha da madeira ou não.

Figura 25 – Modos de ruptura dos corpos de prova de tração

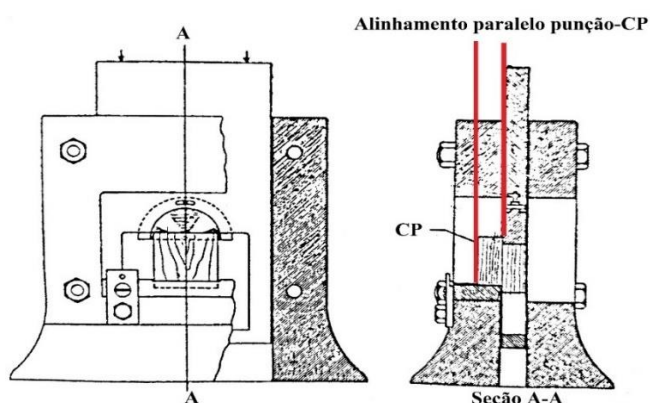
MDR	Descrição	Exemplo
1	Falha majoritariamente na superfície da linha de cola com rara falha na madeira de qualquer gênero (falha na madeira <70%)	
2	Falha majoritariamente na superfície da linha de cola com boa falha de cisalhamento da madeira (falha da madeira >70%)	
3	Falha principalmente no perfil da junta, mas com algumas falhas nas raízes ou nas pontas dos dedos. Em geral, boa falha de cisalhamento da madeira ao longo da superfície do perfil da junta	
4	Maior parte das falhas acontecendo nas raízes da junta com alta falha geral da madeira. Poucas falhas de qualquer gênero acontecendo ao longo do perfil da junta	
5	Falha começando na junta (provavelmente devido a um ponto de aumento de tensão) e progredindo para longe da junta. Essencialmente, 100% de falha da madeira.	
6	Fratura ocorrendo longe da junta, sem ser influenciada por ela. Completa falha da madeira.	

Fonte: Adaptado de ASTM D5572-95 (2005)

3.4.3 Ensaios de Cisalhamento

De acordo com a norma, o punção de carga deve estar paralelo ao CP, para que haja distribuição de cisalhamento na superfície de cola, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Demonstração de como o CP de cisalhamento deve ser alinhado paralelamente ao punção



Fonte: Adaptado de ASTM D5751-99 (2005)


A norma ASTM D5572-95 (2005) necessitou de adequações quanto aos acessórios disponíveis, sendo que foi realizado um ensaio de cisalhamento em um dispositivo desenvolvido na UTFPR-GP, mostrado na Figura 27 (b). A velocidade de descida do punção foi de 12,7 mm/min (0,5 pol/min). A sequência do ensaios é mostrada na Figura 27 (a).

Figura 27 – Ensaio de cisalhamento: (a) sequência do ensaio e (b) fotografia do CP posicionado

a)

- Realizar o setup do equipamento conforme procedimentos do laboratório de ensaios mecânicos;
- Medir com paquímetro as dimensões do CP, de acordo com a Figura 13: A, c, (D-b), registrar os valores no TESC400, conforme a numeração sequencial dos CPs;
- Posicionar o CP para o ensaio, seguindo a sequência de numeração, de maneira a respeitar o alinhamento paralelo com o punção de cisalhamento;
- Realizar os ensaios até as fraturas do CP;
- Tabelar os dados apresentados pelo TESC400.

b)

A fotografia mostra um equipamento de ensaio de cisalhamento. Um punção vertical está posicionado sobre uma amostra (CP) que está sobre uma base circular vermelha. O equipamento é montado em um suporte metálico. O fundo da imagem é uma parede de azulejos brancos.

Fonte: Autoria própria (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova de *Eucalypto spp* nas três diferentes condições de preparo descritas no item materiais e métodos. No primeiro grupo, na condição a seco, tem amostras que permaneceram em temperatura ambiente desde a fabricação do corpo de prova até o ensaio. O segundo grupo, chamado temperatura elevada, corresponde as amostras que permaneceram a 104°C por 6 horas. As amostras do terceiro grupo, chamado fervura, são aquelas amostras que passaram pelos ciclos de fervura e aquecimento. Inicialmente são mostrados os ensaios de tração e flexão que foram realizados para adesivo o EPI e na sequência, os resultados do cisalhamento para adesivos PVAc e EPI, de forma comparativa.

4.1 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os valores de tensão máxima para os ensaios de tração para o adesivo EPI são apresentados na Tabela 5. Estão indicados também os menores e maiores valores mensurados, bem como a média calculada para amostras ensaiadas nas três condições de preparo.

Tabela 5 – Mínimos, máximos e médias de tensão máxima mensurada para as diferentes condições de ensaios de tração para o adesivo EPI

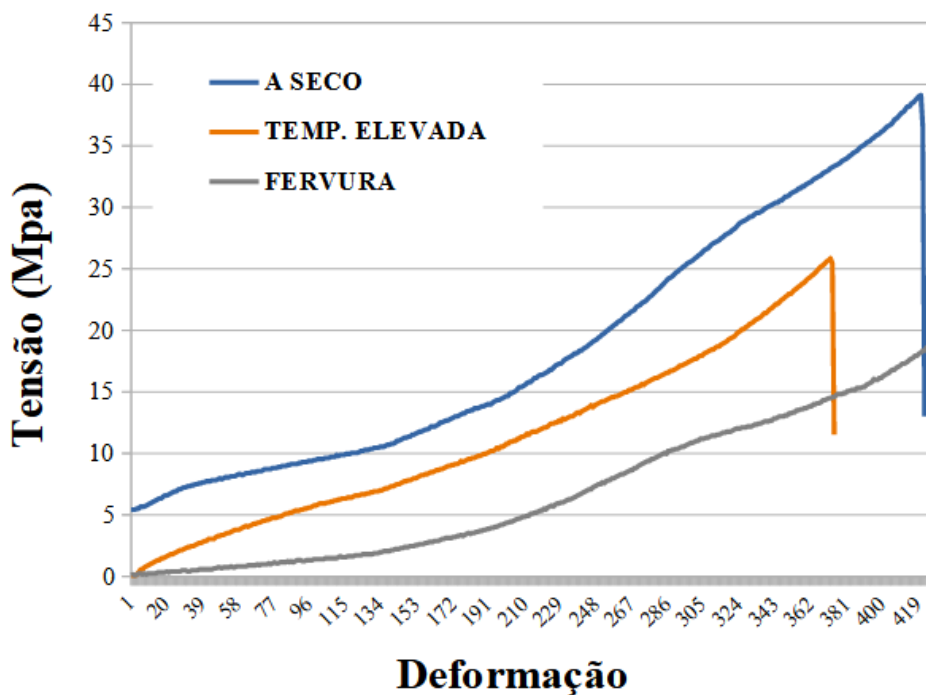
Adesivo	Condições	Tensão Máxima (MPa)			
		Mínimo	Máximo	Média	D.P.
EPI	A seco	24,75	50,82	38,37	8,867
	Temp. elevada	15,31	36,79	26,28	5,918
	Fervura	11,02	27,77	18,84	3,813

Fonte: Autorial própria (2021)

A média de tensão máxima encontrada para os CPs ensaiados a seco com cola EPI foi de aproximadamente 38 MPa. No ensaio de temperatura elevada, o valor médio foi de ~26 MPa e no ensaio de fervura ~18 MPa. Isso indica que o processo de aquecimento a 104°C causa deterioração média de 31,5% na tensão máxima suportada pelo material. A fervura causou deteriorações ainda mais significativas, reduzindo o valor de tensão máxima suportada em 50,1% em relação ao material a seco. Esse comportamento é explicado pelo fato de que tanto o adesivo como a madeira são afetados por umidade e temperatura.

A Figura 28 mostra exemplos de curvas de tensão-deformação em tração para CPs com valores de tensão máxima próximos ao valor médio. Foram tomados 3 CPs, um para cada tipo de preparo, para efeitos de comparação.

Figura 28 – Exemplos de curvas tensão-deformação em tração para CPs colados com adesivo EPI



Fonte: Autoria própria (2021)

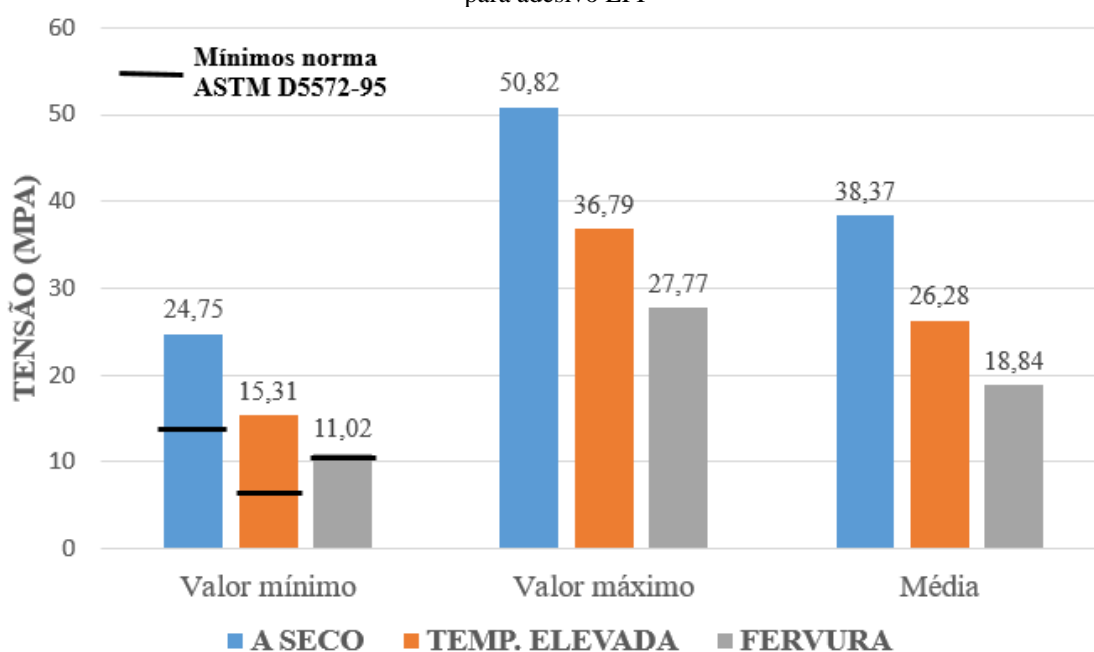
Observa-se que a falha que ocorre na madeira submetida a tração é abrupta, ou seja, não apresenta escoamento no gráfico tensão-deformação. A diferença entre os valores de tensão máxima e tensão de ruptura não foi superior a 0,3 MPa em todos os ensaios realizados, por isso a discussão foi baseada nos valores de tensão máxima.

Os dados quantitativos dos ensaios de tração permitem comparação com os valores mínimos exigidos pela norma de 6,9 MPa em temperatura elevada (pior caso), sendo que todos os resultados obtidos nos ensaios, independente da condição de preparo foram acima desse valor, mesmo os valores mínimos mensurados. O menor resultado individual foi de 11,02 MPa, encontrado no ensaio de fervura. Sendo atendida a norma, pode-se considerar o uso de produtos de eucalipto com adesivo EPI em ambientes de exposição ao calor e a umidade, como em aplicações externas, por exemplo.

Comprando-se a variação entre os valores máximos e mínimos apresentados na Figura 29, a amostra à seco variou 48,7%, enquanto nos ensaios após exposição a 104°C e após os ciclos de fervura variou 41,6% e 39,7%, respectivamente. A norma ASTM D5572-95 demanda

que sejam ensaiados 20 corpos de prova para cada condição de preparo dos CPs para compensar tal dispersão. A variação de máximos e mínimos é relacionada à variação das propriedades da madeira, que é um material natural. Segundinho et al. (2017) também verificaram variação em seus resultados de ensaios, atribuindo o fato a variabilidade nos corpos de prova devido a diferentes concentrações de regiões de cerne e alburno, lenho juvenil e adulto.

Figura 29 – Comparação entre mínimos, máximos e médias para as diferentes condições de ensaios de tração para adesivo EPI



Fonte: Autoria própria (2021)






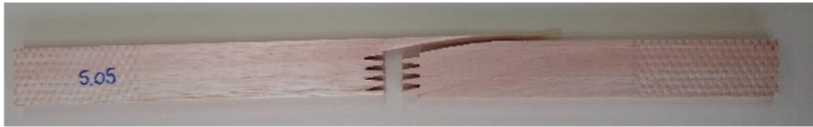

Outro fator que pode ter contribuído para essa variação é o modo de aplicação do adesivo, que se dá por um pente no formato do dente (*finger joint*) sendo que a cola é constantemente extrudada nas peças de madeira. A aplicação pode ter variações, permitindo que o adesivo seja aplicado de maneira desuniforme na área de colagem, devido a obstruções no sistema alimentador. Essas obstruções são causadas quando a cola seca no interior das mangueiras de condução ou nas saídas de aplicação.

4.1.1 Ensaios de tração: modos de ruptura

Os modos de falha dos ensaios de tração para as amostras ensaiadas na condição a seco foram analisados e comparados com a norma, conforme já apresentado na Figura 25, no

capítulo materiais e métodos. A Figura 30 mostra o número do modo de falha (de 1 ao 6), uma fotografia de uma amostra que apresentou o modo correspondente e a incidência indica o número de vezes que esse modo foi observado nos ensaios realizados. Observou-se pelo menos uma incidência de cada modo, mesmo que combinado, como foi o caso dos modos 1 e 5, bem como 1, 5 e 6.

Figura 30 – Tipos de falha dos ensaios de tração para amostras a seco

Modo de Falha	Fotografia do corpo de prova	Incidência
1		8
2		2
3		1
4		2
6		4
1, 5		1
1, 5, 6		2

Fonte: Autoria própria (2021)

Em relação a incidência, o modo de falha 1 foi o mais comum, aparecendo em 40% dos casos. Este modo de falha caracteriza o rompimento na linha de cola, sem haver danos a madeira. Já no modo de falha 2 a falha ocorre na superfície da linha de cola e ocorre falha de cisalhamento na madeira. Isso pode ser observado na Figura 30, onde os dedos (finger joint) apresentam aspecto serrilhado, ocorrendo em 2 amostras, representando 10% dos corpos de prova ensaiados.

Já o modo de falha 3 tem como característica a ruptura na raiz de algumas pontas dos dedos, mas em geral, a falha de cisalhamento ocorre ao longo da linha de cola. Na Figura 30 é

indicada a fotografia da única amostra (5%) que apresentou este modo de falha, com ruptura completa de um dos dedos e lascamento parcial de um segundo dedo. O modo de falha 4 é similar, mas a ruptura afeta a maior parte dos dedos, com arrancamento ou lascamento, sendo observado para 10% dos casos.

O modo 5 não ocorreu isoladamente em nenhuma amostra, mas apareceu combinado com o modo 1 para apenas uma amostra (5%) que é mostrada na Figura 30. Neste caso, além do rompimento na linha de cola sem dano aos dentes, que é o modo 1, também se observa uma lasca que começa na junta e progride para longe, ao longo do corpo de prova. A norma (ASTM, 1999) indica que possivelmente algum ponto de concentração de tensão existente na madeira é responsável por gerar este tipo de propagação. Ainda de forma combinada, o modo 5 aparece com o modo 1 e com o modo 6, onde uma fratura longe da junta também ocorre, havendo falha completa da madeira. 10% das amostras ensaiadas apresentaram essa combinação.

O modo de falha 6 ocorreu em 20% dos casos, que é aquele onde a ruptura ocorre longe da junta colada e próxima à mordedura da garra para fixação e realização do ensaio.

4.2 ENSAIOS DE FLEXÃO

Os valores mínimos, máximos e médios de tensão máxima mensurados nos ensaios de flexão para todos os corpos de prova com cola EPI, ensaiados nas diferentes condições são apresentados na Tabela 6, bem como o desvio padrão é indicado.

Tabela 6 – Mínimos, máximos e médias de tensão máxima mensurada para as diferentes condições de ensaios de flexão para adesivo EPI

Adesivo	Condições	Tensão Máxima (MPa)			
		Mínimo	Máximo	Média	D.P.
EPI	A seco	29,37	78,24	54,08	13,91
	Temp. elevada	24,45	52,19	39,06	8,29
	Fervura	13,99	42,97	28,95	9,26

Fonte: Autoria própria (2021)

No ensaio a seco em flexão, o valor médio da tensão máxima das 20 amostras ensaiadas foi de aproximadamente 54 MPa, corroborando o valor encontrado por Vega et al.

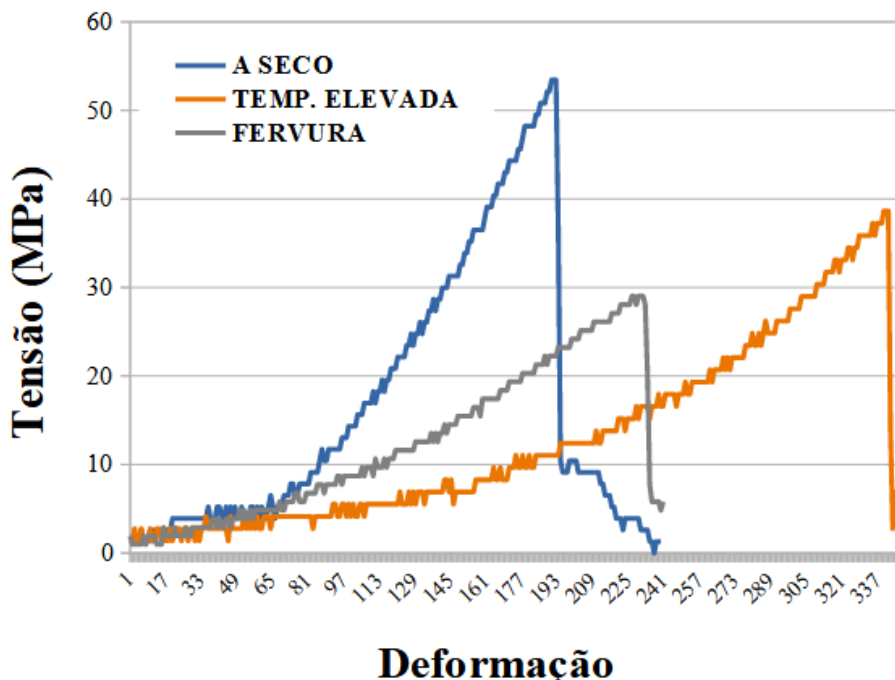
(2020), de 56,47 MPa, que também utilizou adesivo EPI em madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, cultivado no Uruguai) com 12% de teor de umidade.

Em relação ao ensaio a seco, houve uma redução significativa para 39,06 MPa, que representa uma queda de mais de 27% na tensão máxima suportada pelo material após exposição à 104°C por 6 horas. Se comparamos a redução de tensão máxima que o aquecimento gerou no ensaio de tração, que foi apresentado no item 4.1 como 31,5%, o aquecimento dos CPs teve um impacto menor na deterioração das propriedades da madeira em flexão.

Após os ciclos de fervura, houve uma redução de 46,5% na tensão máxima em flexão, quando comparada ao material ensaiado a seco. Na tração, a redução observada foi de 50%, indicando que tanto para tração como para flexão a exposição aos ciclos de aquecimento e fervura reduz pela metade a resistência dos corpos de prova.

A Figura 31 mostra exemplos de CPs com valores próximos ao valor médio de tensão máxima atingidas durante o ensaio de flexão. Foram tomados 3 CPs representando o valor médio, um para cada tipo de preparo, para se ter uma comparação.

Figura 31 – Exemplos de curvas tensão-deformação em flexão para CPs colados com adesivo EPI

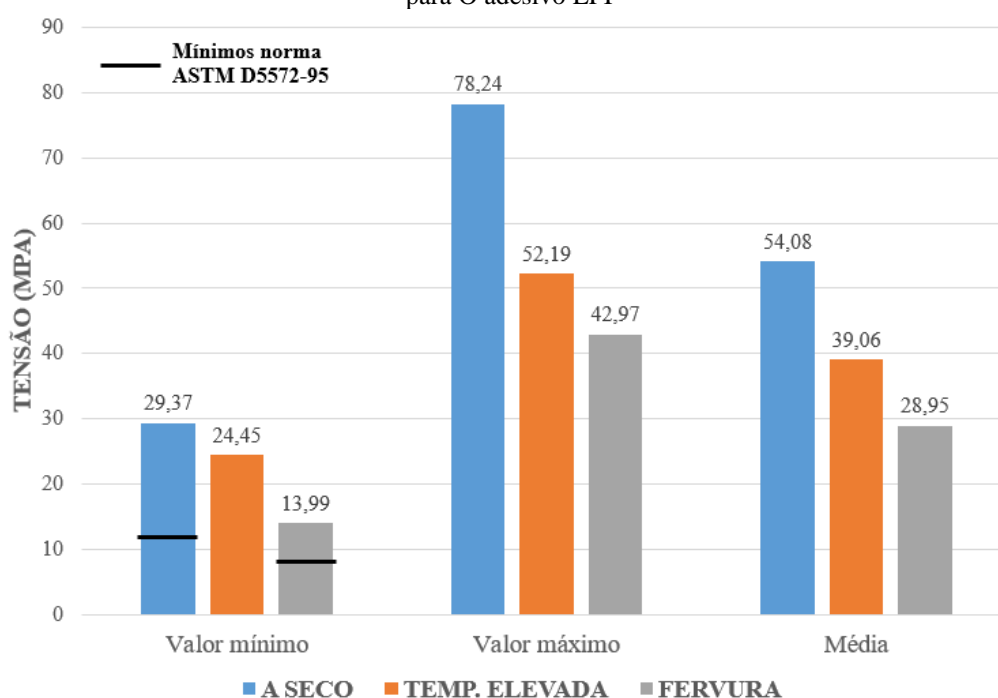


Fonte: Autoria própria (2021)

No ensaio de flexão, a falha abrupta, sem escoamento, também é observada, de forma similar ao ensaio de tração. Outro comportamento que foi observado tanto em tração como em

flexão é a diferença na resistência máxima média do adesivo EPI em relação as diferentes condições. A Figura 32 apresenta o gráfico com os valores médios, onde no ensaio a seco o valor mensurado em flexão foi 54,08 MPa, que após aquecimento foi reduzido para 39,06 MPa (redução de 27,7%) e os ciclos de fervura reduziram a tensão máxima suportada para 28,95 MPa (redução de 46,5% em relação ao ensaio a seco). Isso indica que condições de temperatura e umidade combinadas são fatores determinantes das propriedades mecânicas madeira de eucalipto colada com adesivo EPI.

Figura 32 – Comparação entre mínimos, máximos e médias para as diferentes condições de ensaios de flexão para O adesivo EPI



Fonte: Autoria própria (2021)

Assim como nos ensaios de tração, o adesivo EPI superou os valores mínimos de tensão exigidos pela norma (ASTM, 1999) nos ensaios de flexão, conforme está indicado pela linha preta destacada na Figura 32. Tais valores são, respectivamente, para os ensaios a seco e após fervura, 13,8 e 9,7 MPa. O valor mínimo para o ensaio em alta temperatura não é informado na norma (ASTM, 1999).

O valor médio de tensão máxima em flexão a seco foi quase 4 vezes superior ao valor estipulado pela norma responsável para produtos não estruturais. Isso indica que o eucalipto colado com o adesivo EPI, além de atender os requisitos para usos não estruturais, pode ser uma boa opção para alguns usos estruturais, como em paredes de *steel frame*, por exemplo.

4.3 ENSAIOS DE CISALHAMENTO

Os ensaios de cisalhamento foram feitos utilizando os dois adesivos (PVAc e EPI) e também foram ensaiados a seco, em temperatura elevada e após fervura, com 20 CPs para cada condição, conforme exigido na norma ASTM D5751-99 (ASTM, 1999). Os resultados das tensões máximas e tensões máximas na linha de cola são apresentados na Tabela 7. Foram indicados os valores máximo, mínimo e médio, bem como o desvio padrão correspondente em cada ensaio.

Tabela 7 – Mínimos, máximos e médias de tensão máxima mensurada para as diferentes condições de ensaios de flexão para adesivo EPI e PVAc

Adesivo	Condições	Tensão Máxima (MPa)				Tensão na linha de cola (MPa)			
		Mínimo	Máximo	Média	D.P.	Mínimo	Máximo	Média	D.P.
EPI	A seco	4,81	11,03	9,01	1,72	2,25	5,45	4,28	0,78
	Temp. elevada	3,97	10,73	7,79	1,68	1,73	5,03	3,53	0,78
	Fervura	1,65	8,48	5,99	1,49	0,81	4,72	3,04	0,83
PVAc	A seco	2,68	12,6	6,63	2,324	1,58	7,08	3,74	1,32
	Temp. elevada	1,84	8,19	4,61	1,455	1,02	4,51	2,57	0,81
	Fervura	0	3,73	0,88	1,018	0	2,19	0,52	0,59

Fonte: Autoria própria (2021)

Os resultados variaram conforme as condições dos ensaios e o adesivo utilizado. A cola EPI apresentou resistência superior em todos os ensaios em relação à PVAc, com destaque para os testes após fervura, onde o adesivo EPI apresentou tensão máxima média 6,8 vezes superior à cola PVAc (médias de 5,99 e 0,88 MPa, respectivamente). O mesmo se observou na tensão máxima na linha de cola, onde o adesivo EPI resistiu a 3,04 MPa em média, 5,8 vezes mais que o PVAc, que obteve o valor médio de 0,52 MPa.

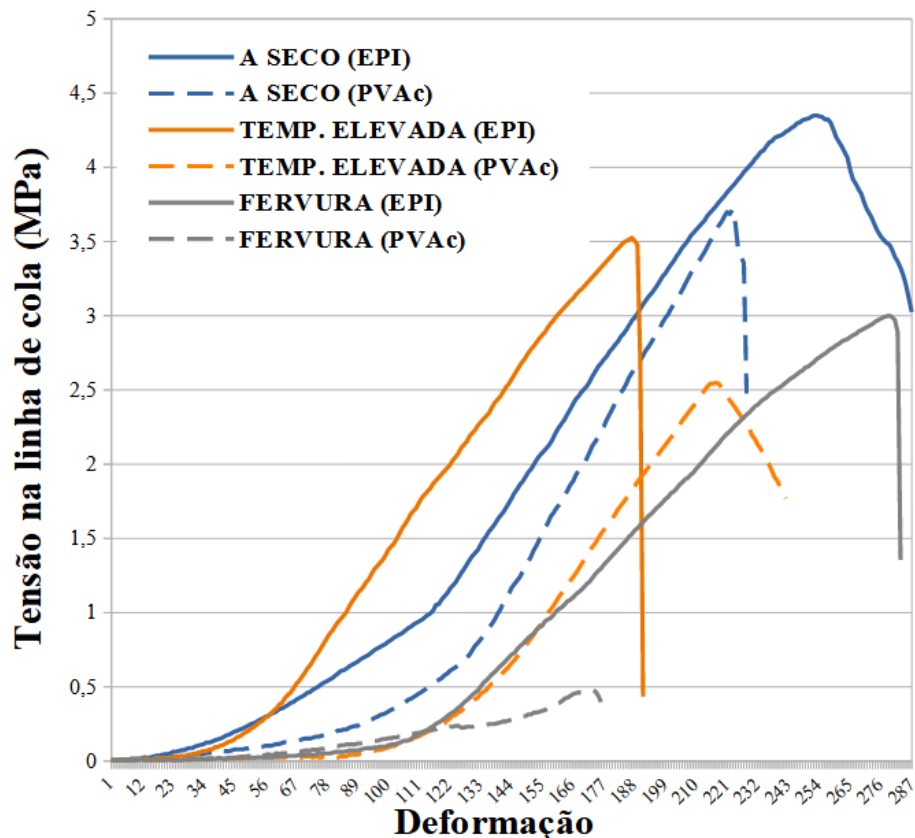
O adesivo PVAc, testado em fervura, apresentou valores mínimos de 0 MPa nas duas tensões, pois três dos 20 CPs descolaram durante o processo de fervura. Isso mostra que o adesivo PVAc não é indicado para ser utilizado em aplicações a úmido.

Nos demais ensaios a seco e em temperatura elevada, a variação da resistência entre os dois adesivos foi menor. No ensaio a seco, a cola EPI obteve média de tensão máxima 35,9% maior que a cola PVAc (9,01 e 6,63 MPa, respectivamente). A mesma comparação para os ensaios sob alta temperatura resultou em uma resistência 69% maior para a cola EPI (7,79 MPa, contra 4,61 MPa da cola PVAc). Em relação à linha de cola, o adesivo PVAc foi 14,4% inferior

ao EPI (3,74 e 4,28 MPa, respectivamente) no ensaio a seco e também apresentou resistência ao cisalhamento 37,4% menor na média das amostras que passaram pela fervura.

Essas variações podem ser melhor observadas na Figura 33, obtida através da seleção de amostras representativas com valores aproximados das médias das tensões máximas na linha de cola.

Figura 33 – Valores médios de tensão máxima na linha de cola para os adesivos EPI e PVAc

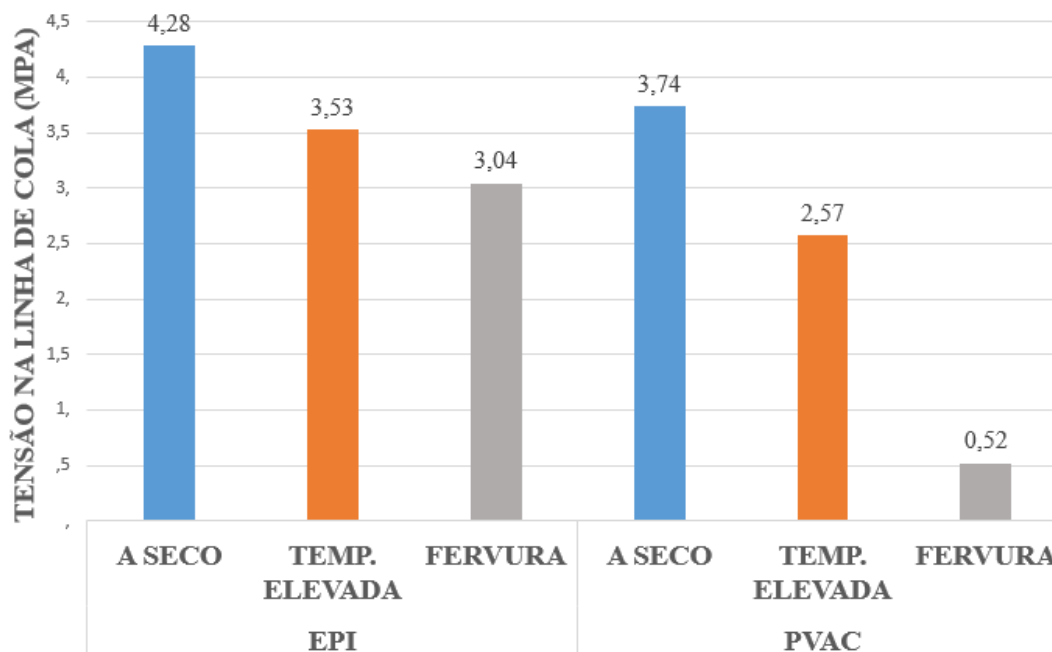


Fonte: Autoria própria (2021)

Essa comparação permite notar como o tipo de cola (EPI ou PVAc) é influenciado pelas condições de preparo dos CPs. Para o ensaio a seco, nota-se que a resistência da EPI é maior. De fato, o valor da tensão máxima da amostra a seco de PVAc é similar ao CP de EPI que foi submetido a elevada temperatura. O efeito significativo da umidade no adesivo PVAc fica evidente ao se comparar a tensão máxima suportada pelo material.

A Figura 34 apresenta o comparativo entre as médias de tensão máxima na linha de cola para os dois adesivos analisados. Nesse gráfico fica mais nítida a deterioração do adesivo PVAc quando submetido à fervura, em relação ao mesmo adesivo ensaiado a seco.

Figura 34 – Valores médios de tensão máxima na linha de cola para todos os condicionamentos dos CPs, de acordo com cada adesivo.



Fonte: Autoria própria (2021)

Em ensaios de cisalhamento a seco, utilizando adesivo PVAc, Vital et al. (2006) encontraram os valores de tensão máxima na linha de cola de 8,49 MPa (86,6 kgf/cm²) e 9,32 MPa (95,03 kgf/cm²) para corpos de prova extraídos de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente. Em outro estudo, Lopes et al. (2013) utilizaram madeira de *Pinus taeda* para obter CPs e ensaiá-los em cisalhamento a seco e a úmido, de acordo com as normas europeias EM 204 e EM 205. Nesse experimento, os autores utilizaram três adesivos, dos quais dois eram o EPI e o PVAc. Nos ensaios a seco, a cola EPI teve média de tensão máxima na linha de cola de 7,63 MPa e a PVAc, de 7,21 MPa. Já nos ensaios a úmido, as tensões médias foram de 2,91 e 1,91 MPa, para os adesivos EPI e PVAc, respectivamente. Apesar de ter sido utilizado uma madeira diferente, os valores encontrados por Lopes et al. (2013) corroboram com os valores obtidos no presente trabalho, visto que para a cola à base de acetato de polivinila, a resistência na linha de cola foi sempre inferior em relação ao adesivo de emulsão de isocianato polimérico.

Lopes et al (2013) também obtiveram valores significativamente inferiores ao comparar a resistência da cola PVAc dos ensaios a seco em relação aos ensaios a úmido. Numericamente, a média dos CPs ensaiados a seco foi 3,77 vezes mais resistente que os ensaiados a úmido. Também para o adesivo EPI, os autores encontraram uma queda significativa na resistência, porém menos acentuada, bem como ocorreu nos ensaios deste

trabalho. Isso indica que ambos os adesivos sofrem desgaste quando expostos à água, e essa diminuição de resistência é maior para o adesivo PVAc. Um efeito similar foi observado para o adesivo EPI que se degrada (a uma taxa menor) tanto quanto exposto à água quanto a altas temperaturas. Isso pôde ser observado tanto em cisalhamento, quanto em flexão e tração, conforme mostrado neste trabalho. Mas é importante destacar que a taxa de redução da resistência do adesivo EPI foi menor quando comparada a redução observada no PVAc após exposição a água e temperatura.

5 CONCLUSÃO

Os ensaios de tração para a madeira de *Eucalyptus spp* colada com o adesivo EPI, indicam que a resistência máxima suportada pelo material a seco é 46% maior do que para o material exposto a 104°C por 6 horas e 103,7% maior do que o material exposto a ciclos de fervura e aquecimento. Isso indica que a temperatura tem potencial de degradação das propriedades adesivas da cola EPI e da resistência mecânica da madeira, o que é agravado pela exposição a umidade. Entretanto, todas as amostras ensaiadas obtiveram desempenho superior ao mínimo requerido pela norma técnica internacional ASTM D5751-99, o que indica que a cola EPI pode ser utilizada em madeira *Eucalyptus spp* em condições de temperatura elevada e umidade mantendo desempenho satisfatório.

De forma similar aos resultados observados nos ensaios de tração, a resistência da madeira eucalipto unida com adesivo EPI apresentou redução quando submetida a flexão após exposição a temperatura de 104°C e após ciclos de fervura. Por outro lado, os ensaios de flexão foram os que obtiveram maiores valores médios de resistência, tanto a seco, quanto em temperatura elevada ou fervura (aproximadamente 54, 39 e 29 MPa, respectivamente). Isso indica que esse adesivo é adequado para utilizações que submetem o material a esforço de flexão, em qualquer uma das condições experimentadas. Além disso, devido a elevada resistência que o material apresentou pode haver a possibilidade de sua utilização como produto estrutural.

Em relação aos esforços de cisalhamento, a cola EPI apresentou melhores resultados quando comparada com a PVAc. A degradação das propriedades adesivas do material observadas nos ensaios de tração e flexão foram mais uma vez confirmadas nos testes de cisalhamento, para ambos os adesivos. Nesse aspecto, porém, o adesivo PVAc se mostrou inadequado para uso em condição de umidade, sendo que alguns corpos de prova chegaram a se soltar durante o próprio processo de fervura, inviabilizando os ensaios. Em média, a resistência na linha de cola do adesivo EPI foi 14,44% maior que a do PVAc em cisalhamento seco, 37,35% maior em condições de temperatura elevada e 484,6% maior para uso sob exposição a umidade, o que reafirma a inaptidão do adesivo PVAc para uso em ambientes úmidos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Verificar a influência das características da madeira na resistência mecânica, tais como densidade e umidade;
- Realizar ensaios em corpos de prova fabricados em outras espécies de madeira, tais como pinus reflorestado e comparar os resultados de resistência mecânica;
- Realizar ensaios em corpos de prova utilizando outros tipos de adesivos em *Eucalyptus spp* e em outras espécies de madeiras;
- Realizar ensaios de flexão, tração e cisalhamento para a espécie *Eucalyptus spp* utilizando os mesmos adesivos, visando normas para aplicações estruturais.

REFERÊNCIAS

- ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo Setorial 2013: ano base 2012**. Curitiba, 2013. 127 p.
- ANDRADE, E. N. de. **O eucalipto**. 2 ed. Jundiaí, Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 665p.
- ANTONANGELO, Alessandro; BACHA, Carlos José Caetano. **As Fases da Silvicultura no Brasil**. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 207-238, jan. 1998. ISSN 1806-9134. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/view/721/8086>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5572 - 95**: Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products. 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5751 - 99**: Standard Specification for Adhesives Used for Laminate Joints in Nonstructural Lumber Products. 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 905**: Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading. 2008.
- ARTE DIAMANTE. **Catálogo de produtos**. 2020. Disponível em: <<https://www.artediamante.com.br/linha-finger-joint/>> Acesso em: 15 ago. 2020.
- BANDEL, A. **Adhesivos y tecnología del encolado en la industria de la madera**. Rib&s – Milano, Milão, 1991.
- BITTENCOURT, Luciana Polli; OLIVEIRA, Gilson Batista de. **A indústria madeireira paranaense nos anos recentes**. Revista das Faculdades Santa Cruz, v. 7, n. 1. 2009. 10 pgs.
- BLOMER, A. **A contribution to the theory and design of glued joints In timber 16 engineering construction, with particular reference to spliced and dovetailed glued timber joints**. Die Bautechnik 38(10):325-350, 1961.
- CALIL NETO, C. et al. **Avaliação da resistência ao cisalhamento e a delaminação em madeira laminada colada**. Ciência Florestal, v. 24, p. 989-996, 2014. DOI: 10.5902/1980509816612
- CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. **MDF produzido com fibras de pinus utilizando uréia-formaldeído**. Revista da Madeira, edição nº 88, de março de 2005. 2005. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=707&subje>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- CATERINA, Giulia Lembo. **Curvas de crescimento de Eucalyptus spp em plantios de diferentes espaçamentos**. 2017. 84 páginas. Tese – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, Botucatu, 2017.

Centre Technique du Bois (CTBA). **Technical and economic study of finger-jointing**. Book No. 92. Paris, France [in French]. 1973. p. 48.

CHANS, D. Otero; CIMADEVILA, J. Estévez; GUTIÉRREZ, E. Martín. **Glued joints in hardwood timber**. International Journal of Adhesion & Adhesives. 2008.

CHOW, Suezone. **Method of joining bodies of green lumber by finger joints**. U. S Pat. 1976.

CONNER, A. H. **Wood: Adhesives**. Encyclopedia of Materials: Science and Technology. USA: Elsevier Science, 2001.

CURRIER, R. A. **Finger jointing at high moisture content**. Forest Products Journal. 6 pgs. 1967.

DE MELLO, Roberto Lecomte. **Projetar em madeira: uma nova abordagem**. 2007, 195 páginas. Dissertação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2007.

DEUTSCHES INSTITUT FUER NORMUNG. **DIN 68-140 - Wood joints: dovetail joints as longitudinal joints**. 1971.

ERICSSON, H. **A new method for the separate application of resing and hardener for finger-jointing**. Paperi ja Puu 57(1). 1975.

FRIHART, C. R. **Wood adhesion and adhesives**. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Editado por Roger M. Rowell. Boca Raton: CRC Prews, 2005.

GROSSL - Fabricante de adesivo de Emulsão Poliméricas de Isocianato. 2020. Disponível em: < <https://grossl.com.br/produto/adesivos-para-madeira/reactite-ep-940/>>. Acesso em: 05 out. 2020.

HEINRICH, H. **Other woodworking adhesives. Wood Adhesion and Glued Products**, COST Action E13 WG 1, Editado por Manfred Dunky, 2001.

HIGA, Rosana Clara Victoria; MORA, Admir Lopes; HIGA, Antonio Rioyei. **Plantio de Eucalipto na Pequena Propriedade Rural**. 24 páginas. EMBRAPA Florestas, Curitiba, 2000.

Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2019**. Brasília, DF, 2019. 80 p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 12 ago. 2020.

Instituto Brasileira de Árvores. IBA. **Relatório Ibá 2016**. Indústria Brasileira de Árvores. Brasília, DF, 96 p. 2016.

JOKERST, R. W. **Finger-jointed wood products**. Research Paper FPL-382. United States Department of Agriculture. Forest Service. Madison: Forest Prod Lab; Wisconsin, 27 p. 1981.

JOLY, A. B. **Botânica, introdução à taxonomia vegetal**. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1975. 777p.

JUVONEN, R.; VIITANIEMI, P. **Pre-heating in finger-jointing of sawn timber**. Paperi ja Puu. 1972.

KANASHIRO, Milton; YARED, Jorge Alberto Gazel; MARQUES, Luciano Carlos Tavares; BRIENZA JÚNIOR, Sílvio. **Ensaio comparativo de espécies/procedências do gênero *Eucalyptus* e *Pinus***. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, EMBRAPA. 1983.

KOVALCHUK, L. M.; BELOZEROVA, A. S.; PARINI, E. R. **Gluing end jointed pieces with RF heating**. Woodworking Industries. 1961.

LOPES, Merielen de Carvalho. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. Tese de pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, 2008.

LOPES, Merielen de Carvalho; MUNIZ, Graciela Inês Bolzon de; MATOS, Jorge Luis Monteiro de; TANOBE, Valcineide Oliveira de Andrade; CHINASSO, Carlos Augusto Fernandes; ROSSO, Silvana. **Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos**. Cerne, v. 19, n. 04, p. 613-619. Lavras, Minas Gerais, 2013.

MARIAN, Joseph Eric. **A new procedure for wood finger-jointing and its principles**. Holz als Roh-Werkstoff. 1968.

MARINUS MACHINES. **Powermax Finger Jointer Advanced Adhesive System**. Disponível em: <<https://marinus-powermax.com/powermax-fingerjoint-defecting-saw/powermax-finger-jointer-advanced-adhesive-system/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

MARRA, G. G. **The role of adhesion and adhesives in products industry**. In: WOOD ADHESIVES RESEARCH, APPLICATION AND NEEDS. Washington, DC. 1980.

MAURO, I. M. J., PERES, R. R. **Avaliação de linhas de colagem de juntas de finger joint utilizando madeiras de *Pinus taeda* e *Tectona grandis***. Universidade de Contestado, 2010.

MENDONÇA, Adrienne. **Polímeros**. 2013. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/adriannemendonca/polimeros-19271351>>. Acesso em: 06 out. 2020.

OBERG, J. C. **The new vs. the old in finger joints**. Wood and Wood Products (5):35, 1961.

OLIVEIRA, M. P.; DANTAS, W. C. V. **Evolução dos adesivos ecologicamente corretos para o setor madeireiro**. II Seminário de produtos sólidos de madeira de eucalipto. Viçosa, 2003.

ÖZÇİFÇİ, Ayhan; YAPICI, Fatih. **Structural performance of the finger-jointed strength of some wood species with different joint configurations**. Elsevier, Constructing and Building Materials. Karabük, Turquia, 2007. 8 páginas

PAGE, M. W. **Finger jointing**. The Australian Timber Journal, 25(5):82-95, 1959.

Paraná recebe investimentos de R\$ 9,1 bilhões de empresa de papel. Jornal Folha de Londrina, 2019. Disponível em <https://www.folhadelondrina.com.br/economia/parana-recebe-investimentos-de-r-91-bilhoes-de-empresa-de-papel-2938126e.html>. Acesso em: 11 set. 2020.

Paraná ultrapassa São Paulo e assume liderança na produção de madeira. Jornal Gazeta do Povo, 2017. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/outras-culturas/parana-ultrapassa->

sao-paulo-e-assume-lideranca-na-producao-de-madeira-492tdknrjs0uxgb4kybvwwftj/. Acesso em: 11 set. 2020.

PLASTER, Octávio Barbosa; OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; ABRAHÃO, Christóvão Pereira; BRAZ, Rafael Leite. **Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp.** 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74411656009>. Acesso em: 15 set. 2020.

PAVLOV, V. P. **Joining wood longitudinally with toothed tenons.** Wood processing and Wood Chemical Industry. 1954.

Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 2018. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=destaques>. Acesso em: 11 set. 2020.

RAJCAN, J.; KOZELOUH, B. **Designing of glued finger joints.** Issue 1(1962):61-67. Technologie 4(3):222-228, 1963.

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

SEGUNDINHO, Pedro Gutember de Alcântara; GONÇALVES, Fabricio Gomes; GAVA, Geanine Costa; TINTI, Vinícius Peixoto; ALVES, Sabrina Daré; REGAZZI, Adair Jose. **Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC).** Revista Matéria, v. 22, n. 02. 2017.

SELBO, M. L. 1963. **Effect of joint geometry on tensile strength: finger joints.** Forest Products Journal 13(9), 1963.

SELLERS JUNIOR, T. **Wood Adhesive Innovation and Applications in North America.** Forest Products Journal, Madison, v. 51, n. 6, p. 12-22, 2001.

SERPA, Pedro Nicolau et al . **Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.** Rev. Árvore, Viçosa , v. 27, n. 5, p. 723-733. 2003. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622003000500015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 jul. 2020.

SHUKLA, Shikhar; GUPTA, Sachin; KHALI, D.; KUMAR, Kishan. **Finger jointing of *Eucalyptus* Hybrid using two common adhesives.** International Journal of Development Research. 10. 34904-34909. 2020.

STRICKLER, M. D. **Impression finger jointing of lumber.** Forest Products Journal. 1967.

SVITÁK, Martin; GAŠPARIK, Miroslav; PENC, Jan. **Heat resistance of glued finger joints in Spruce Wood constructions.** BioResources 9(4), 7529-7541. 2014.

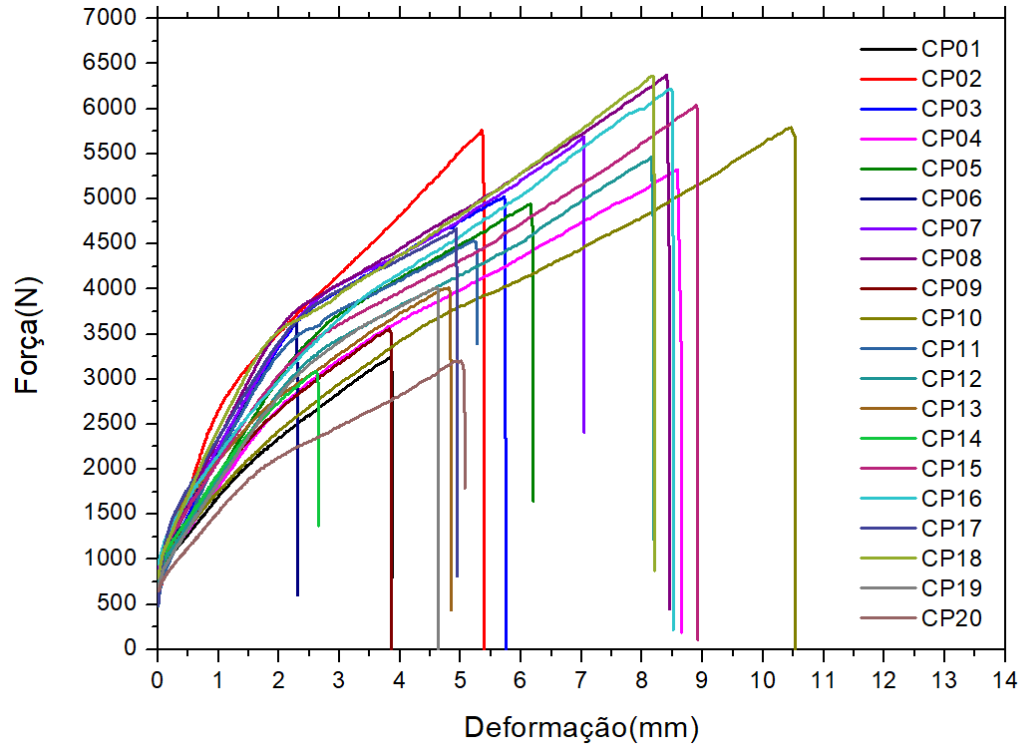
VASSILIOU, V.; BARBOUTIS, I.; KARASTERGIOU, S. **Effect of PVA_c bonding on finger-joint strength of steamed and unsteamed beech wood (*Fagus sylvatica*)**. Journal of Applied Polymer Science. 2007.

VEGA, Abel; BAÑO, Vanesa; CARDOSO, Andrea; MOYA, Laura. **Experimental and numerical evaluation of the structural performance of Uruguayan *Eucalyptus grandis* finger-joint**. European Journal of Wood and Wood Products, 2020.

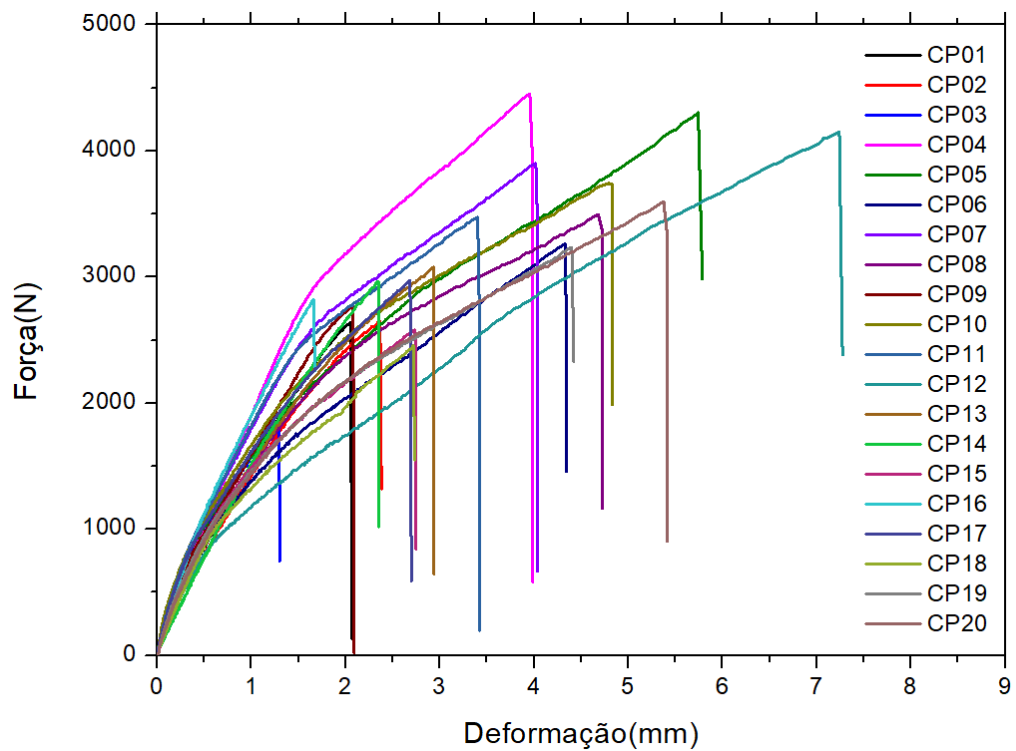
VITAL, Benedito Rocha; MACIEL, Antônio da Silva; LUCIA, Ricardo Marius Della. **Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii***. Revista Árvore, v. 30, n 04, p. 637-644, 2006. Viçosa, Minas Gerais, 2006.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

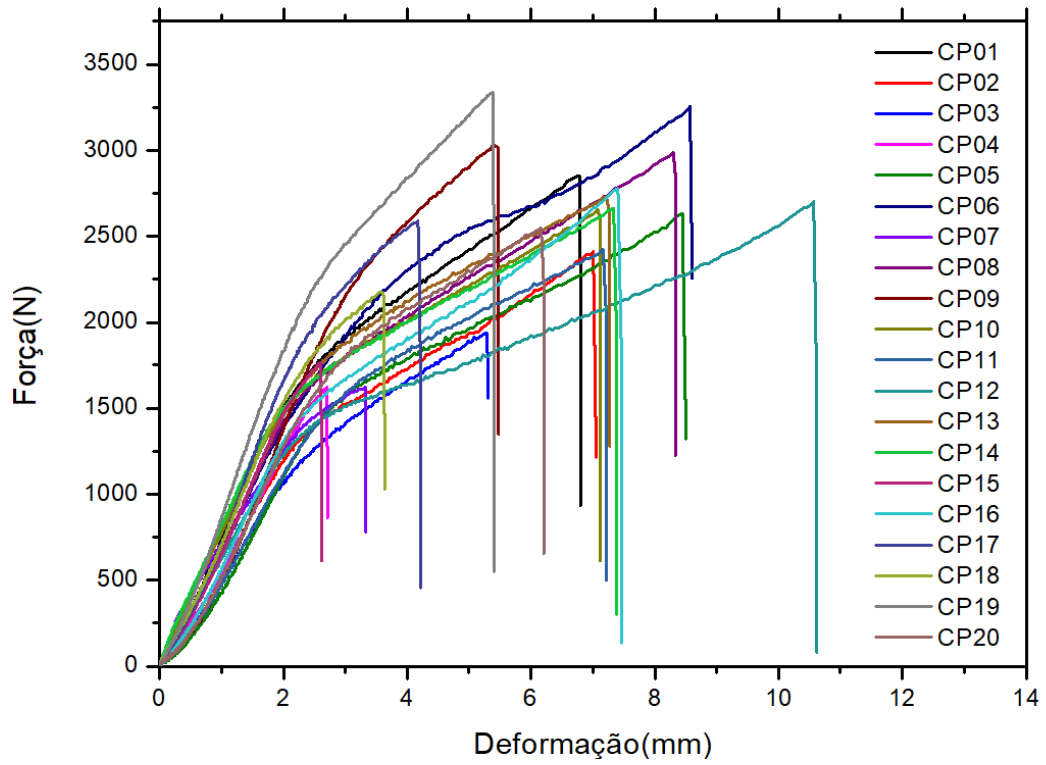
APÊNDICE 1 - Tração (EPI) a seco



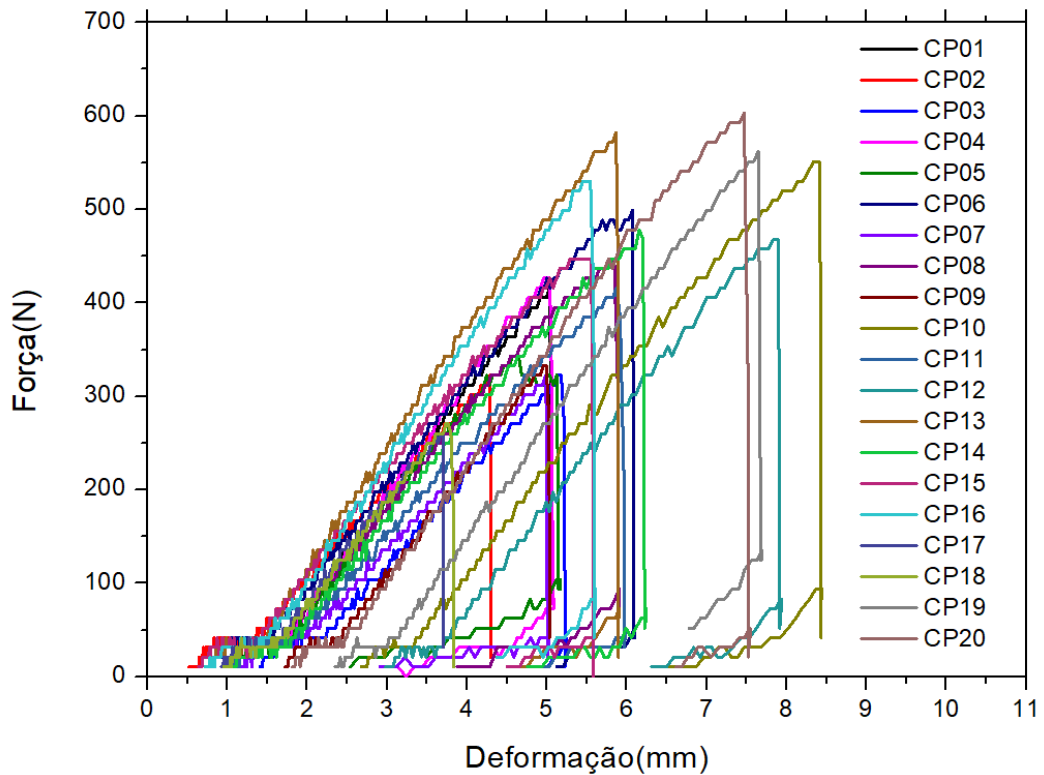
APÊNDICE 2 - Tração (EPI) em temperatura elevada



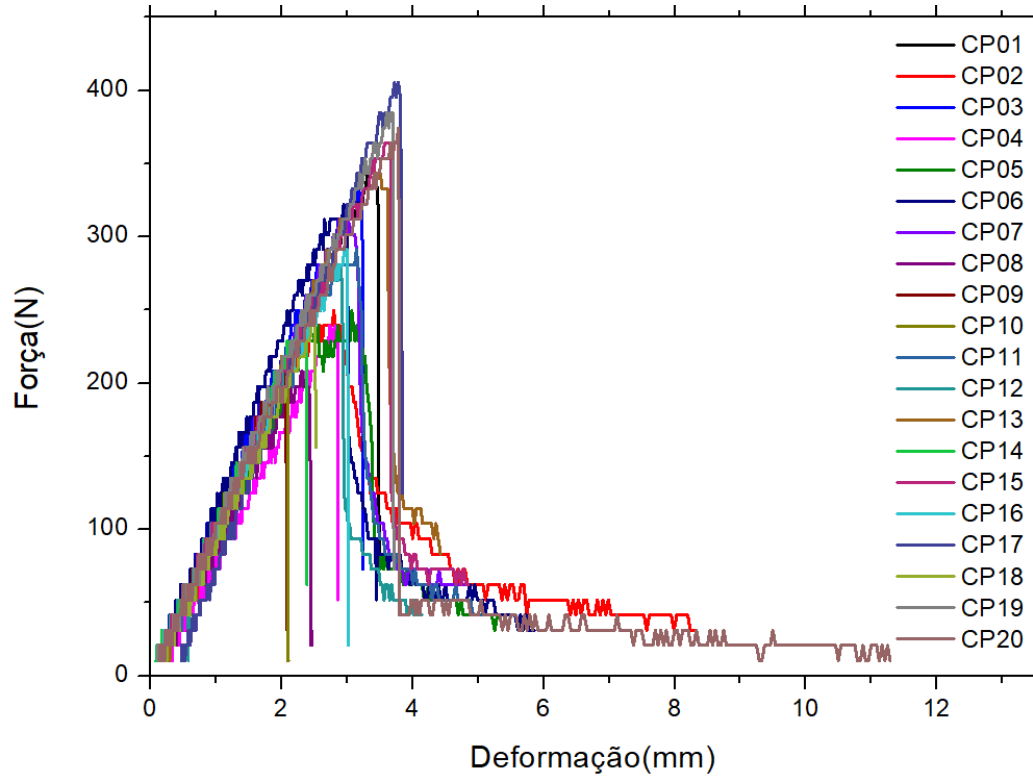
APÊNDICE 3 - Tração (EPI) após fervura



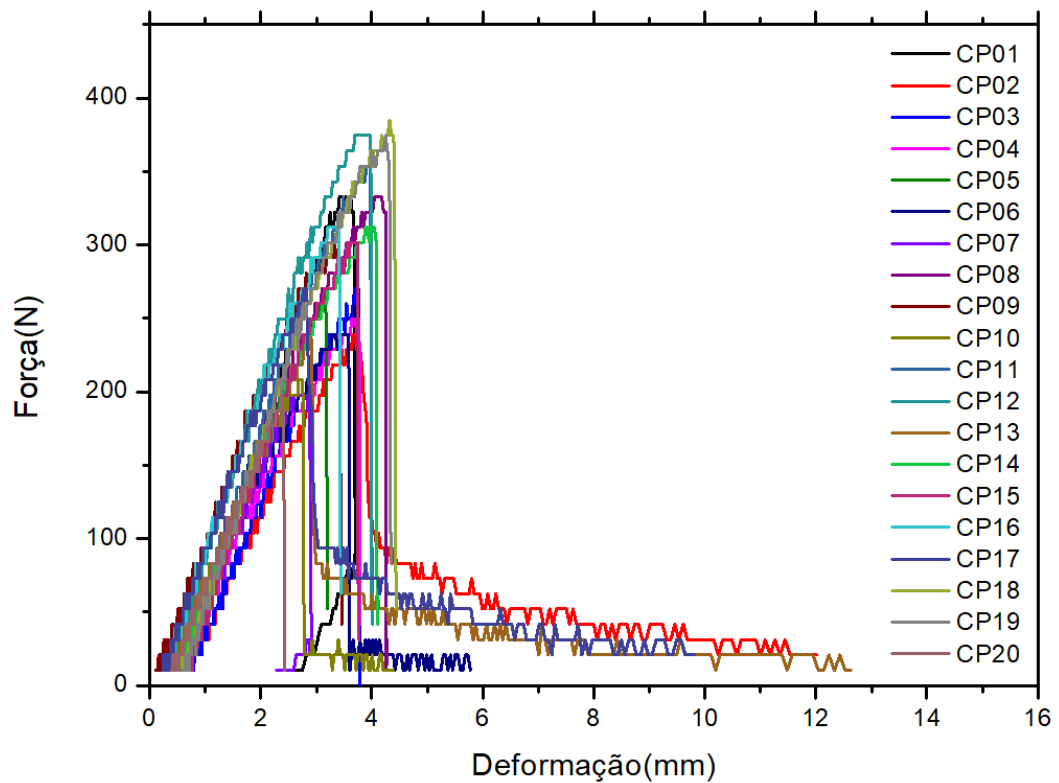
APÊNDICE 4 - Flexão (EPI) a seco



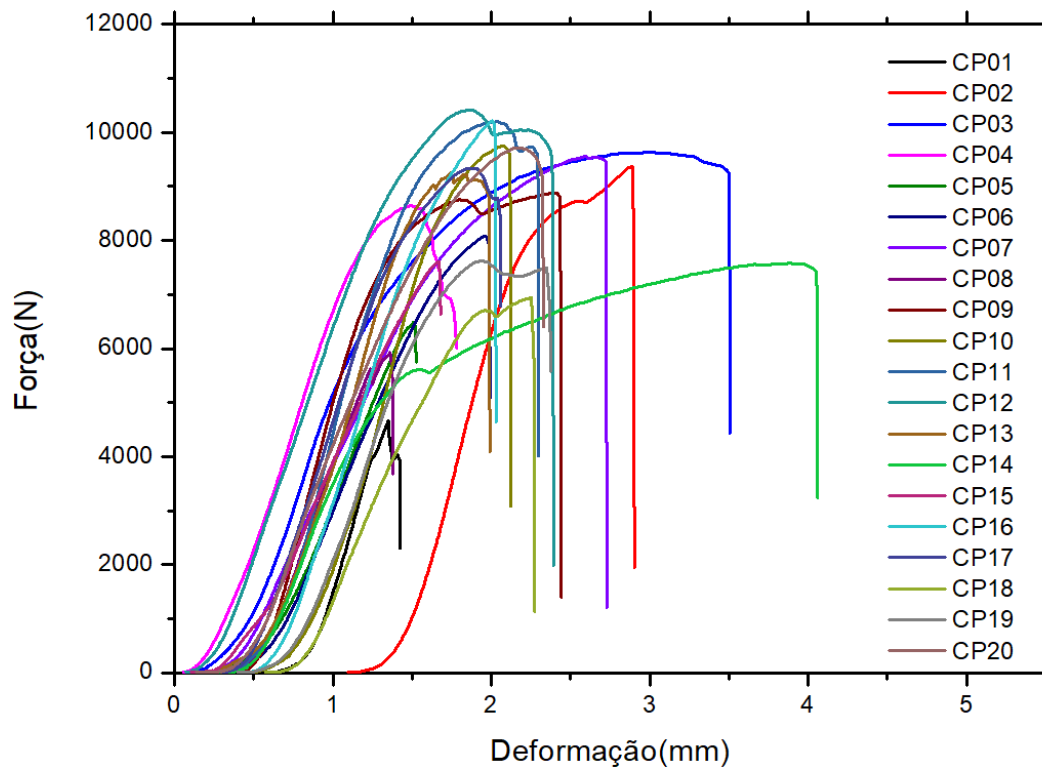
APÊNDICE 5 - Flexão (EPI) em temperatura elevada



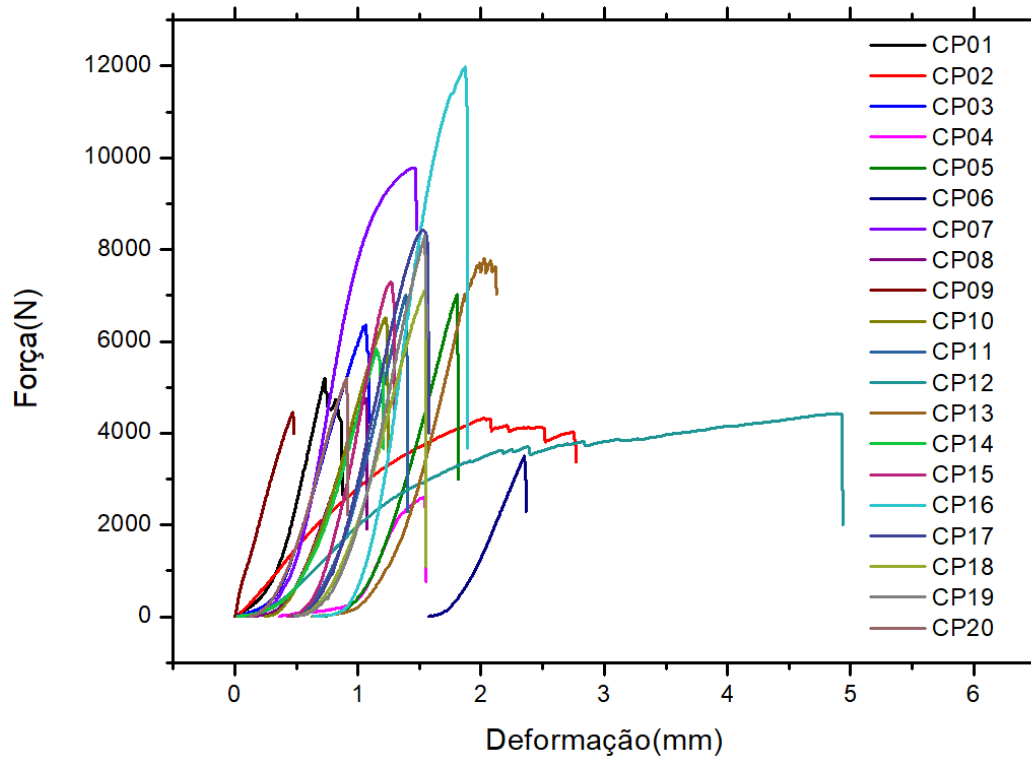
APÊNDICE 6 - Flexão (EPI) após fervura



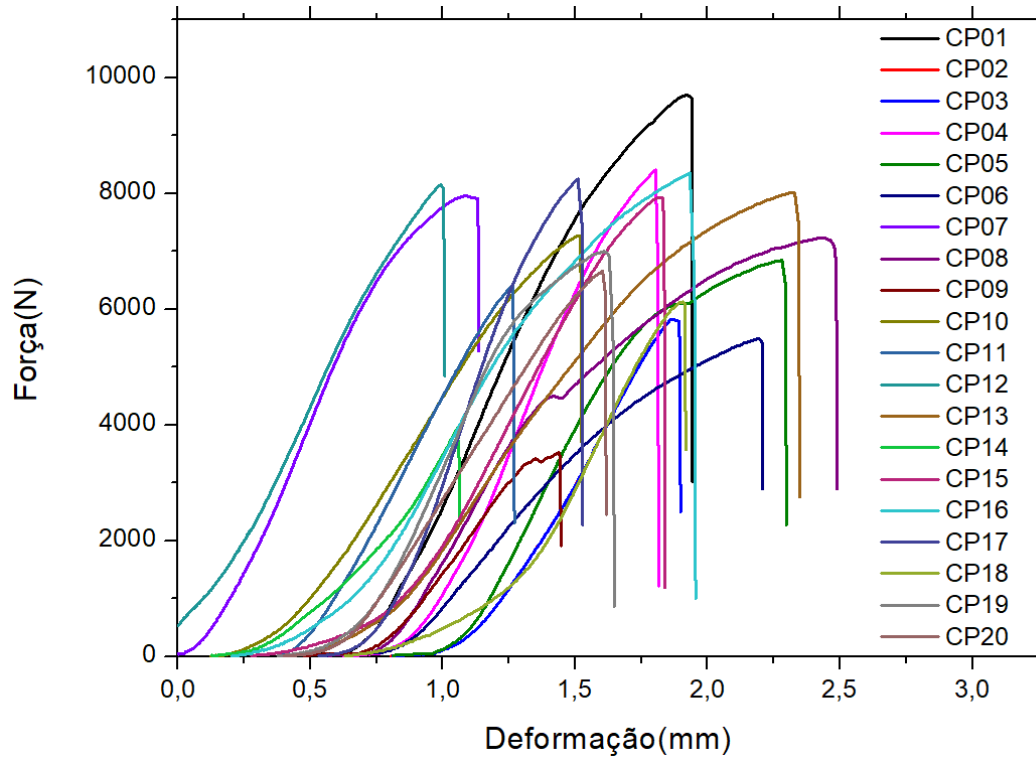
APÊNDICE 7 - Cisalhamento (EPI) a seco



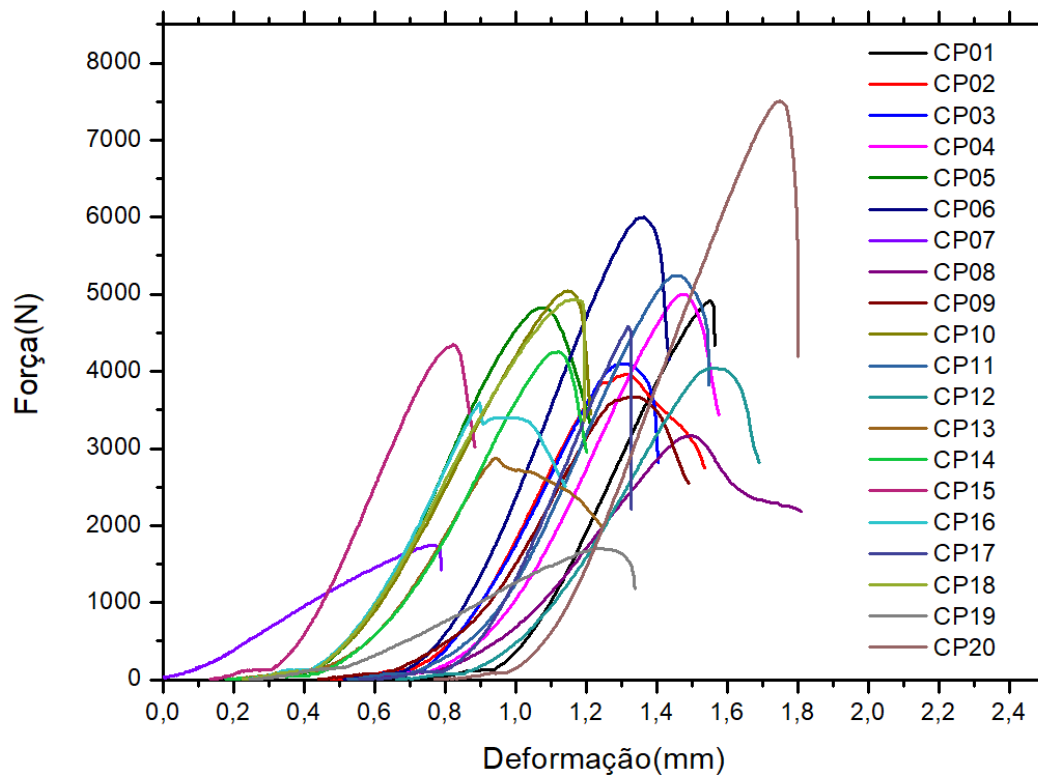
APÊNDICE 8 - Cisalhamento (PVAc) a seco



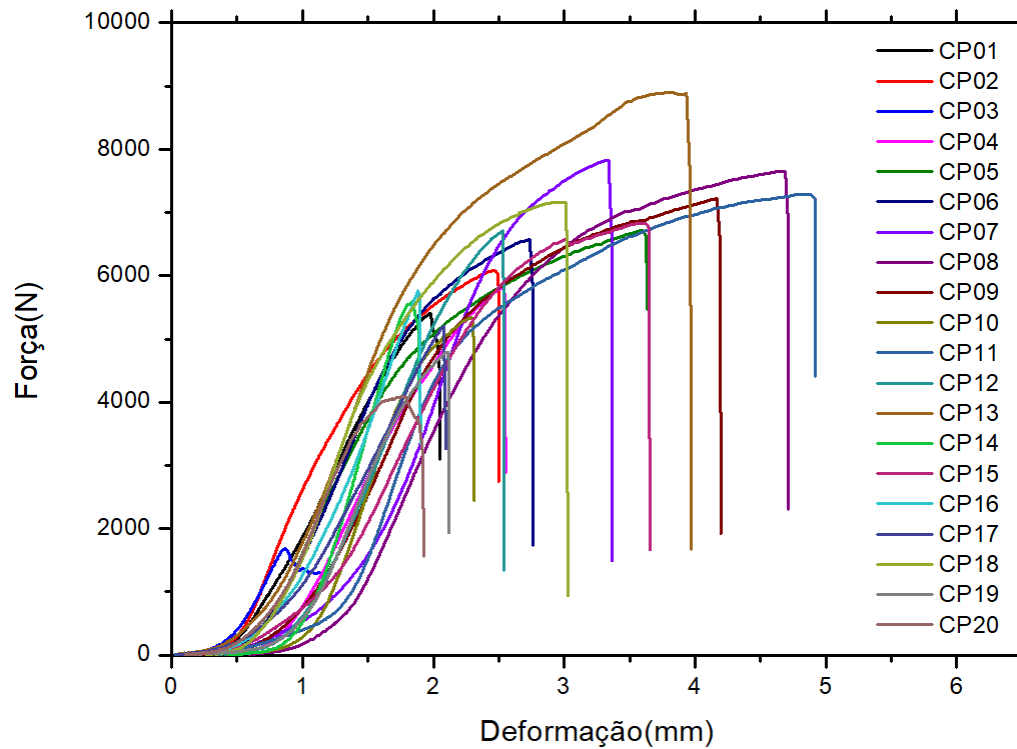
APÊNDICE 9 - Cisalhamento (EPI) em temperatura elevada



APÊNDICE 10 - Cisalhamento (PVAc) em temperatura elevada



APÊNDICE 11 - Cisalhamento (EPI) após fervura



APÊNDICE 12 - Cisalhamento (PVAc) após fervura

