



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

NATHALIA DE LIMA SANTA ROSA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE NORMAS TÉCNICAS PARA PRODUTOS
ENGENHEIRADOS DE MADEIRA**

BRASÍLIA / DF

2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

NATHALIA DE LIMA SANTA ROSA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE NORMAS TÉCNICAS PARA PRODUTOS
ENGENHEIRADOS DE MADEIRA**

Trabalho Final apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília, como parte
das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.
Orientador: Prof. Dr. Cláudio Del Menezzi, EFL/UnB

BRASÍLIA / DF

2021

Àqueles que eu amo (vocês sabem quem são).

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha família e amigos, por terem sempre me apoiado em busca dos meus sonhos e estarem ao meu lado nos momentos bons e ruins.

Agradeço a todos os professores que tive na vida, por contribuírem para minha formação pessoal e profissional, e agora especialmente ao professor Cláudio Del Menezzi, por ter me orientado nesse TCC, por suas aulas e todos os ensinamentos que pôde me passar.

Agradeço a existência de livros e por todos os ensinamentos que eles nos trazem, desde os mais ficcionais (Irmandade da Adaga Negra) até os mais reais (The Five). Que a criatividade dos autores nunca se perca, e que continuem a espalhar mensagens de conscientização e respeito pelo mundo!

RESUMO

Os Produtos Engenheirados de Madeira (PEMs) são resultado do aprimoramento tecnológico que está sendo cada vez mais utilizado mundialmente, e no presente trabalho há uma revisão bibliográfica dos principais PEMs –, que são Madeira Laminada Colada (MLC), Madeira Laminada Colada Cruzada (CLT), Painel de Lâminas Paralelas (LVL), Laminated Strand Lumber (LSL), Oriented Strand Lumber (OSL) e Parallel Strand Lumber (PSL) –, seguidos de breves resumos de quatro Normas Técnicas europeias e quatro Normas Técnicas estadunidenses, as quais são posteriormente comparadas em relação aos produtos utilizados, aos tamanhos dos corpos de prova e às velocidades indicadas para os ensaios de qualidade e de resistência descritos nas Normas. Dessa forma, discutindo algumas das diferenças entre as normas, foi possível avaliar que a escolha da metodologia depende da destinação e utilização do produto final. Foi ainda citada a necessidade de desenvolver Normas Técnicas brasileiras específicas para os Produtos Engenheirados de Madeira e a de mais estudos com diferentes madeiras.

Palavras-chave: produtos engenheirados de madeira, normas técnicas, análises comparativas, ensaios de qualidade, ensaios de resistência.

ABSTRACT

Engineered Wood Products (PEMs) are the result of technological improvement that is being increasingly used worldwide, and in the present work there is a bibliographic review of the main PEMs – which are Glued Laminated Timber (Glulam), Cross Laminated Timber (CLT), Laminated Veneer Lumber (LVL), laminated strand lumber (LSL), oriented strand lumber (OSL) e Parallel Strand Lumber (PSL) –, followed by brief summaries of four European Technical Standards and four US Technical Standards, which are later compared in relation to the products used, the sizes of the specimens and the speeds indicated for the quality and resistance tests described in the Standards. Thus, discussing some of the differences between the standards, it was possible to assess that the choice of methodology depends on the destination and use of the final product. The need to develop specific Brazilian Technical Standards for Engineered Wood Products and the need for further studies with different types of wood was also mentioned.

Keywords: engineered wood products, technical standards, comparative analyses, quality tests, strength tests.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Peça ilustrativa de madeira laminada colada (MLC – Glulam) | 15 |
| Figura 2 – Peça ilustrativa de madeira laminada colada cruzada (CLT) | 17 |
| Figura 3 – Peça ilustrativa de Laminated Veneer Lumber (LVL) | 19 |
| Figura 4 – Peça ilustrativa de Laminated Strand Lumber (LSL) | 20 |
| Figura 5 – Peças ilustrativas e comparativas de Oriented Strand Lumber (OSL) à esquerda e Parallel Strand Lumber (PSL) à direita | 22 |
| Figura 6 – Ensaio de flexão com as peças nas posições flatwise e edgewise | 32 |
| Figura 7 – Ensaio de flexão a 3 pontos à esquerda e ensaio de flexão a 3 pontos à direita | 33 |
| Figura 8 – Efeito da flambagem | 33 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Comparativo dos ensaios de flexão estática entre as normas técnicas | 29 |
| Tabela 2 – Comparativo dos ensaios de compressão paralela entre as normas técnicas | 29 |
| Tabela 3 – Comparativo dos ensaios de cisalhamento entre as normas técnicas | 30 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMN = Associação Mercosul de Normalização
ASTM = American Society for Testing and Materials
CB = Comitês Brasileiros
CEE = Comissões de Estudo Especiais
CLT = Cross Laminated Timber (Madeira Laminada Colada Cruzada)
Copant = Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas
EN = European Standard
Glulam = Glued Laminated Timber
ISO = International Organization for Standardization
LVL = Laminated Veneer Lumber (Painel de Lâminas Paralelas)
LSL = Laminated Strand Lumber
MLC = Madeira Laminada Colada
NBR = Normas Brasileiras
ONS = Organismos de Normalização Setorial
OSB = Oriented Strand Board
OSL = Oriented Strand Lumber
PEMs = Produtos Engenheirados de Madeira
PSL = Parallel Strand Lumber (Painel de Partículas Laminadas Paralelas)
SCL = Structural Composite Lumber
SIGLA = SIGNIFICADO

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. OBJETIVOS | 12 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| 3.1. <i>Produtos Engenheirados de Madeira</i> | 13 |
| 3.1.1. <u>Madeira laminada colada (MLC)</u> | 14 |
| 3.1.2. <u>Madeira laminada colada cruzada (CLT)</u> | 16 |
| 3.1.3. <u>Produtos laminados estruturais</u> | 18 |
| 3.2. <i>Entidades Normativas</i> | 22 |
| 3.2.1. <u>ASTM (American Society for Testing and Materials)</u> | 22 |
| 3.2.2. <u>EN (European Standard)</u> | 23 |
| 3.2.3. <u>ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)</u> | 23 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 24 |
| 4.1. <i>Normas técnicas que abrangem os Produtos Engenheirados de Madeira</i> | 24 |
| 4.1.1. <u>ASTM D 198 – 99: Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes</u> .. | 24 |
| 4.1.2. <u>ASTM D 3737 – 00a: Standard Practice for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)</u> | 26 |
| 4.1.3. <u>ASTM D 5055 – 00: Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists</u> | 27 |
| 4.1.4. <u>ASTM D 5456 – 06: Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products</u> | 27 |
| 4.1.5. <u>DIN EN 14374 – 05: Structural laminated veneer lumber</u> | 28 |
| 4.1.6. <u>NF EN 310 – 93: Détermination du module d'élasticité en flexion et de la résistance à la flexion</u> | 28 |
| 4.1.7. <u>NF EN 314-1 – 05: Contreplaqué Qualité du collage Partie 1: Méthodes d'essai</u> | 29 |
| 4.1.8. <u>NF EN 314-2 – 93: Contreplaqué Qualité du collage Partie 2: Exigences</u> | 29 |
| 5. RESULTADOS | 30 |
| 6. DISCUSSÃO | 32 |
| 7. CONCLUSÃO | 35 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 36 |
| APÊNDICE | 43 |

1. INTRODUÇÃO

O aprimoramento tecnológico é algo que atualmente está muito presente em diversos setores, e é facilmente perceptível que as mudanças climáticas estão sendo o gatilho para que cientistas e pesquisadores desenvolvam novas estratégias e produtos de forma a minimizar a emissão de carbono e outros gases tóxicos para a atmosfera, até alcançar um equilíbrio e assim amenizar os efeitos do aquecimento global.

A madeira como material estrutural está presente desde o início da civilização, devido a sua alta rigidez e resistência (MARTINS, 2016), mas culturalmente o Brasil utiliza em grande parte o concreto nas construções civis. Este produto não apresenta a mesma sustentabilidade da madeira, mesmo que possa ter seus efeitos poluidores reduzidos em um uso conjunto, e por conta da questão ambiental e estrutural nas últimas décadas têm sido desenvolvidos os chamados Produtos Engenheirados de Madeira (PEMs).

O nome foi dado a partir do seu significado, pois segundo o site Achando.info, engenheirar significa “tratar com conceitos de engenharia melhorando a beleza, a qualidade, o desempenho”. Portanto, um Produto Engenheirado de Madeira é aquele no qual a madeira é manipulada para a confecção de um produto que tenha a melhor qualidade em relação a sua usabilidade e estética.

A confecção de tais produtos é padronizada através de normas técnicas específicas, em suma internacionais, como a ASTM International (American Society for Testing and Materials) e a EN (European Standard). Além de não terem normas técnicas nacionais específicas dos PEMs aprovadas, o trabalho destes no país está aos poucos crescendo, especialmente com o uso de Madeira Laminada Colada (MLC, ou Glulam), seguido pela Madeira Laminada Colada Cruzada (CLT). Apesar de não ser produzido comercialmente, o Painel de Lâminas Paralelas (LVL) também está representado em diversos estudos.

As normas são importantes por apresentarem metodologias de teste com normas de qualidade e de ensaio, a garantir que o produto seja feito de forma eficiente, funcional e segura. Existem normas que são bem detalhadas, o suficiente para que o teste possa ser repetido em qualquer laboratório, e outras que guiam os requisitos mínimos ou máximos aos quais os produtos devem seguir. Grande parte das normas se interliga, de forma que não se tenha repetição de informações.

A percepção da necessidade de um estudo teórico que apresente uma análise comparativa entre algumas das normas técnicas que apresentam metodologias de teste para diversos Produtos Engenheirados de Madeira gerou a atual pesquisa.

2. OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo uma análise comparativa de oito Normas Técnicas Europeias e Estadunidenses que indicam metodologias de teste para aplicação dos principais Produtos Engenheirados de Madeira (PEMs).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Produtos Engenheirados de Madeira

A madeira é um bem existente há milhares de anos, e desde que se sabe é utilizada pelo ser humano. Como um recurso renovável é visada para diversas práticas, sendo atualmente algumas das principais a construção civil e naval, a fabricação de móveis, a energia e a produção de celulose e papel.

Apesar dos usos variáveis, existem características inerentes a cada madeira que facilitam em sua destinação, como madeiras com maiores resistências serem utilizadas em vigas e não em cabos de vassoura, por exemplo.

Dessa forma, para manter a matéria-prima como um recurso renovável e sustentável, deve-se manejar esse bem e estudar de forma a produzir com maiores rendimentos. A este fim e para substituir a madeira sólida foram desenvolvidos os Produtos Engenheirados de Madeira (PEMs).

Os PEMs são peças confeccionadas a partir de lâminas ou de partículas de madeira, as quais podem ser organizadas de forma aleatória ou homogênea, e são unidas por adesivos, cavilhas, parafusos ou similares, passando por uma série de etapas para que se obtenha o produto final.

Há diversas vantagens no uso destes produtos, dentre elas é possível destacar que são produzidos a partir de um recurso renovável e sustentável, possuidores de balanço energético e de fluxo de carbono positivos, algo que diverge do concreto e do aço, ambos concorrentes diretos do material em questão.

Os PEMs são avaliados previamente, o que faz com que as propriedades de cada parte destes produtos sejam conhecidas, tornando possível fazer o controle de defeitos na peça e saber exatamente a resistência do produto final, que pode ser igual ou até mesmo superior à madeira sólida. Existe também a possibilidade de empregar madeiras de qualidade inferior ou de resíduos do processamento, sob condições específicas, o que permite que tenha rendimento maior da matéria-prima e também peças mais leves.

É possível ainda a confecção das peças em dimensões e designs diferenciados – desde móveis, casas ou prédios a estádios, ginásios ou pontes –, os quais tem facilidade, rapidez e segurança de montagem, tornando o processo mais eficiente e, por conta dos preservantes, duráveis e resistentes ao fogo, ao gelo, à corrosão e à poluição.

A presença de madeira no ambiente permite designs mais naturais e possui efeitos terapêuticos, sendo um excelente material para a saúde e para o bem-estar das pessoas.

Infelizmente, também existem as desvantagens, e dentre elas é possível salientar transporte e custo.

O transporte sempre é uma desvantagem no meio florestal, por conta do combustível e da distância entre o local onde a peça é confeccionada e onde ela será implementada, mas quando se tratam

dos produtos engenheirados, é possível também avaliar que peças de grandes dimensões precisam de transportes especializados para serem deslocadas até o local de destinação final.

Além dos custos com transportes, existem os custos com adesivos e maquinário e a mão de obra especializados, por serem produtos especiais.

Portanto, apesar das questões desfavoráveis, é perceptível que estes produtos são o futuro, e para que seja viável sua comercialização em qualquer lugar é necessária a realização de estudos com diversas espécies de madeiras, de forma que tenha uma ampla gama de possibilidades de escolha.

Os tópicos seguintes irão adentrar melhor alguns dos PEMs mais conhecidos.

3.1.1 Madeira Laminada Colada (MLC)

A Madeira Laminada Colada (MLC), internacionalmente conhecida como Glued Laminated Lumber (Glulam), é um dos mais antigos PEMs, e possui diversos fins, por conta da diversificação de designs, mas atualmente alguns de seus principais usos, segundo Zangiácomo (2003), são em cobertura, como estrutura naval, como elementos estruturais para pontes e edifícios, em decoração, em esquadrias e na fabricação de móveis.

A primeira utilização da MLC foi em 1893, na Suíça, na construção de um auditório em Basel, e a técnica ficou conhecida como “Hertzer System”, mas essa patente utilizava um adesivo que não resistia à água, limitando o produto a ambientes internos e secos. Em 1913 houve expansão da técnica a outros países europeus e em 1934 os Estados Unidos utilizaram a MLC na construção do *Forest Product Laboratory* em Madison, Wisconsin. Após a Segunda Guerra Mundial foram produzidos adesivos sintéticos à prova d’água, o que permitiu que o mercado de atuação da MLC se expandisse, sendo utilizada em pontes e passarelas. No Brasil houve a fundação da Esmara Estruturas de Madeiras Ltda, em Curitiba-PR, no ano de 1934, empresa pioneira no uso do produto. A partir daí o país manteve a confecção de tais peças com outras empresas, como a PRÉ-MONTAL Estruturas de Madeira Ltda (PREMON), a EMADDEL Estruturas de Madeira Ltda e a BATTISTELLA Indústria e Comércio Ltda – essa empresa está há mais de 40 anos no mercado e atualmente tem produção de linhas de casas e estruturas pré-fabricadas, nas quais utiliza-se o MLC como elemento estrutural principal. O Brasil possui empresas no Sul e Sudeste, mas a tentativa de implementação de empresas no norte do país não foi bem-sucedida por conta da falta de estudos das espécies tropicais nativas em produções madeireiras, como em relação aos adesivos e à resistência (DIAS, 2014; MIOTTO, 2009; ZANGIÁCOMO, 2003).

A madeira laminada colada é composta por duas ou mais lâminas de madeira coladas por um adesivo de forma que suas fibras estejam paralelamente dispostas ao comprimento da peça montada (JESUS, 2000), como mostra a Figura 1.

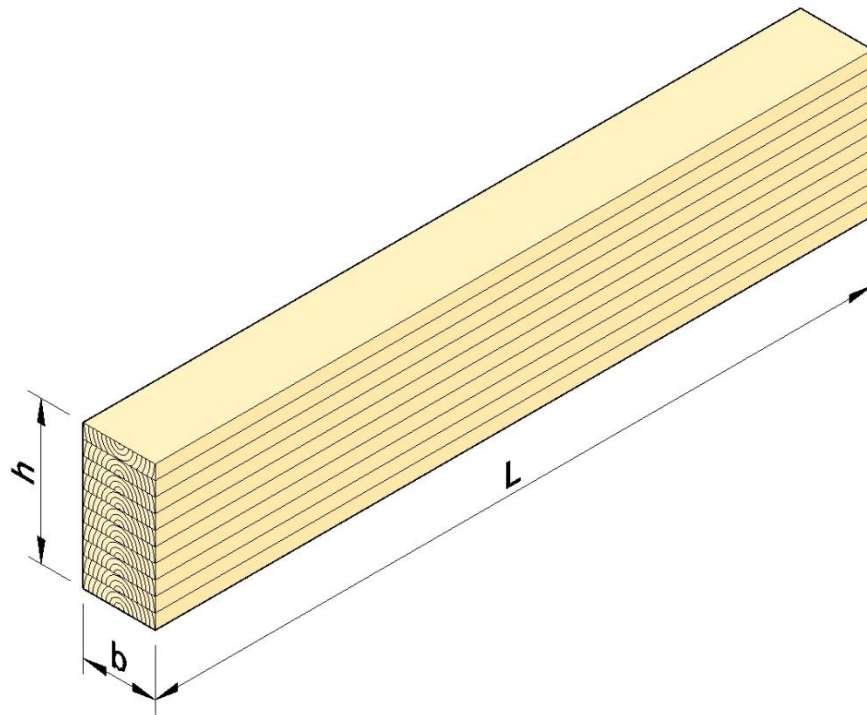


Figura 1 – Peça ilustrativa de madeira laminada colada (MLC – Glulam). Fonte: Arcwood by Peetri Puit (2021)

O processo de formação do produto envolve uma série de etapas, a começar com a escolha da espécie de madeira a ser utilizada. O ideal é que a densidade esteja entre 0,45 e 0,75 g/cm³, que possuam baixo coeficiente de retração e cuja tábuas esteja entre 7% e 14% de umidade, segundo Dias (2014), a norma ABNT NBR 7190 (1997) e Miotto (2009). É ainda ressaltada por Zangiácomo (2003) a importância da porosidade da madeira, de forma que o adesivo tenha maior aderência à madeira e, assim, permita uma ligação mais forte.

Além da escolha da espécie, existe a escolha do adesivo a ser utilizado, o qual deve ser resistente à umidade, ao calor e aos agentes biodeterioradores, e não deve poluir o meio ambiente. Os mais utilizados são o resorcinol, o resorcinol-formaldeído, a base de melamina e PUR (poliuretano). A eficiência dos adesivos depende da espécie, da pressão aplicada para a consolidação da peça e do controle do ambiente em que está sendo realizada a produção – o ideal é que tenha temperatura e umidade controlados. O tempo de prensagem, a pressão exercida e a quantidade de adesivo são fornecidas pelo fabricante deste, no rótulo do produto (DIAS, 2014; PEREIRA, 2014).

A escolha do preservante também deve ser prévia, para que assim possam iniciar a fabricação, a qual se inicia na secagem – geralmente em estufa –, seguida pela classificação visual e mecânica das lâminas – estas não devem exceder 50 mm de espessura. Posteriormente tem a execução das emendas

para se ter as dimensões comerciais – uma das mais utilizadas é a *finger joint* –, a aplainagem das lâminas, a aplicação do adesivo entre as lâminas, a prensagem – usualmente por braçadeiras – e os acabamentos finais – aplainam as faces para retirar o excesso de adesivo e para remoção de quaisquer irregularidades que a peça possa apresentar, tornando a peça mais uniforme para seu fim, seja ela reta ou curvada. Após tais etapas podem ser feitos cortes finais, como furos para ligação, adição de conectores e outros acabamentos finais do projeto antes de ser reavaliado visual e mecanicamente, para que, com a aprovação, seja empacotado e enviado ao seu destino (MIOTTO, 2009; PEREIRA, 2014).

A utilização deste produto já está estabelecida no mercado mundial e existem diversos artigos que tratam de ensaios de madeira laminada colada com madeiras do mundo todo, inclusive algumas tropicais nativas, como paricá (ALMEIDA, 2014) e guapuruvu (ATHANÁZIO-HELIODORO & BALLARIN, 2020).

3.1.2 Madeira Laminada Colada Cruzada (CLT)

A Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC), ou Brettsperrholz (BSP), internacionalmente conhecida como Cross Laminated Timber (CLT), como será tratada aqui posteriormente, é outro produto engenheirado de madeira, tendo sido desenvolvido no fim da década de 80 na Alemanha e na Áustria e cuja primeira construção residencial foi feita em 1995. A partir de então, é um produto que está conquistando cada vez mais seu espaço no mercado mundial, sendo o sistema construtivo com maior ascensão em países do continente europeu, onde a norma EN 16351 (2015) regulamenta sua produção (PEREIRA, 2014; DIAS, 2018).

No Brasil foi encontrado o estudo de Passarelli (2013), no qual foi avaliada a utilização do CLT no campo de habitação popular no país, e houve a indicação de que a falta de investimentos é um dos fatores que mais impedem a aplicação deste produto.

A forma de produção do CLT é similar à do MLC, com as tábuas e os adesivos, mas possui uma ligeira mudança na confecção. Ao invés de as tábuas serem dispostas com as fibras paralelas, o CLT tem as tábuas dispostas com as fibras cruzadas, estando perpendicularmente uma à outra, de forma a terem um ângulo de 90° entre si, como mostrado na Figura 2. Tal fator permite que a peça apresente maior estabilidade dimensional, e por isso é possível conseguir uma rigidez semelhante à do concreto armado. Além disso, é sempre formada em número ímpar de lâminas, variando de 3 a 9, com espessuras de peças variando de 57 a 500 mm e umidade de $(12 \pm 3)\%$. A dimensão de 16 m de comprimento por 3 m de largura é utilizada por diversos fabricantes, apesar de ser feita também com outras medidas, e há ainda a possibilidade de uso de peças com defeitos (nós, por exemplo) nas camadas centrais, enquanto as bordas

ficam com as peças de melhor resistência, mantendo assim o bom desempenho e qualidade estética da peça (PEREIRA, 2014; PASSARELLI, 2013).

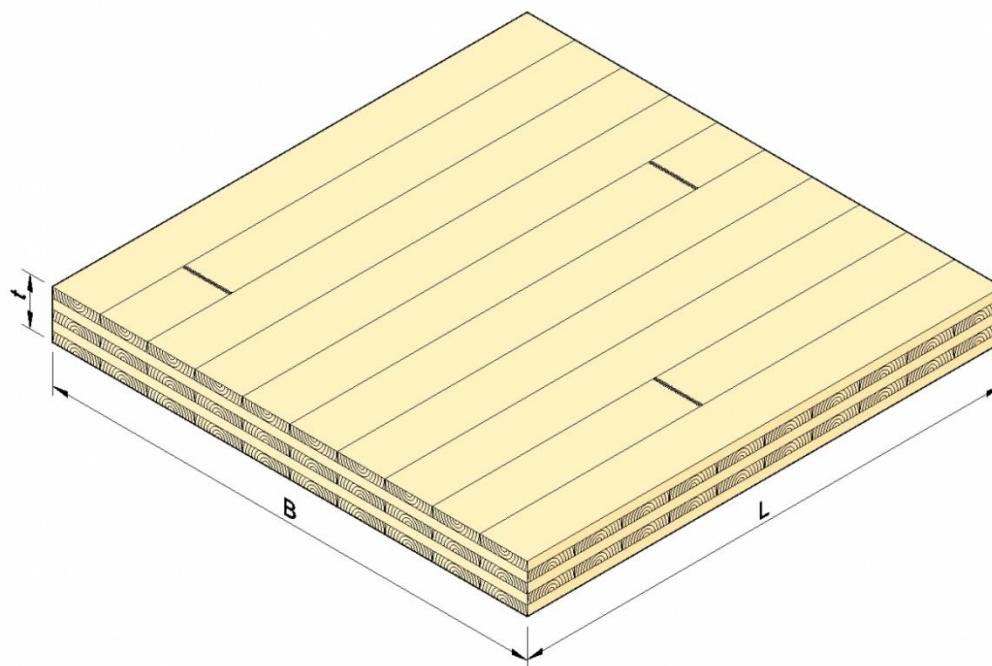


Figura 2 – Peça ilustrativa de madeira laminada colada cruzada (CLT). Fonte: Arcwood by Peetri Puit (2021)

O CLT, segundo Passarelli (2013), é um produto que tem boa adaptação ao processo de pré-fabricação, fácil trabalhabilidade e boa relação peso / resistência – o que permite que tenham produtos de grandes dimensões resistentes e relativamente leves. A combinação do CLT com tecnologias avançadas em conectores mecânicos, adesivos químicos e usinagem computadorizada faz com que se tenha melhor desempenho e ganhos produtivos – construção com menor desperdício, mais rapidamente implementada e de alto desempenho. Além disso, permite um controle ambiental da edificação, com o isolamento térmico e a absorção ou liberação de umidade. Este produto é, portanto, cotado como elemento estrutural principal para paredes, coberturas e pisos.

Alguns benefícios do uso de CLT em estruturas são a flexibilidade (o corte das peças pode ser feito em qualquer formato), a resistência (maior que a madeira maciça), a capacidade (além de pisos, paredes e teto, pode ser utilizado em paredes de cisalhamento, placas de diafragma e vigas altas), a qualidade, a estabilidade, a sustentabilidade e a velocidade (DIAS, 2018).

Costumam ser construídas casas na Europa e nos Estados Unidos com ele, mas seus usos podem ser ampliados, e foram com a construção do edifício Stadhaus Murray Grove, construído em 2008, em Londres, tendo 30 metros de altura e 9 pavimentos. O edifício multi-familiar foi construído em apenas

28 dias e com mão de obra no canteiro de obras de 4 carpinteiros e um operador de guindaste (PEREIRA, 2014; PASSARELLI, 2013).

Dias (2018) citou também como exemplo o edifício Brock Commons, na UBC, concluído em maio de 2017. Constituído de CLT e MLC conectados em aço, é um prédio de residência estudantil, com cerca de 18 andares. A eficiência de sua construção bateu recordes de tempo de execução e o prédio segue sendo habitado por cerca de 400 estudantes. Portanto, é uma forma construtiva viável e eficiente, e se mantida protegida das intempéries, além de ter tido um processo de produção adequado, é capaz de durar muitas décadas. Se a consistência do ambiente em que ela está se mantenha, a durabilidade é prolongada.

O Brasil atualmente não apresenta uma fábrica deste produto com madeiras nativas, apenas exóticas plantadas, mas a necessidade de utilizar um material mais sustentável em construções está cada vez mais forte e presente, de forma que em breve deve-se ter a inserção de tais fábricas aqui, e a isso deve-se realizar ensaios e estudos avaliando a utilização de madeiras nativas.

Uma citação encontrada da utilização do CLT no Brasil foi a confecção de 11 salas de aulas para a rede pública inteiramente de madeira laminada colada cruzada, feitas pelas empresas Crosslam e Carpinteria, atuando em parceria; inclusive o projeto foi tão bem aceito pelas crianças, pelos professores e pela prefeitura que acabaram encomendando mais salas. A Crosslam é a única empresa atualmente no Brasil que produz CLT, além de produzir MLC (DIAS, 2018).

Em seu livro, Dias (2018) cita a necessidade de criar um sistema simples, eficiente e sustentável, de forma que qualquer país possa utilizá-lo com os recursos naturais que dispõe e que seja facilmente entendido e aprendido pelos trabalhadores. A madeira e a utilização de peças pré-prontas pode ser a saída mais óbvia para tal sistema construtivo.

3.1.3 Produtos laminados estruturais

Os conhecidos como produtos laminados estruturais, ou Structural Composite Lumber (SCL), são Laminated Veneer Lumber (LVL), Laminated Strand Lumber (LSL), Oriented Strand Lumber (OSL) e Parallel Strand Lumber (PSL), os quais são painéis reconstituídos de madeira (PASSARELLI, 2013; LIMA, 2013), e serão melhor detalhados em seguida.

Os Painéis de Lâminas Paralelas, Madeira Micro Laminada ou Laminated Veneer Lumber (LVL), segundo Dias (2018) e Iwakiri et al. (2008), são utilizados principalmente em estruturas como pisos de carrocerias, vagões de trens, escadas, flanges de vigas em “T” e similares, por conta da maior resistência na direção longitudinal ao plano do painel, ou seja, resiste melhor à flexão estática. Assim como o CLT e o MLC, é um painel que tem o isolamento natural em uma construção, além de ser mais fácil adicionar

um outro isolamento de fibras ou placas, e isso permite que o edifício utilize menos energia para aquecer e resfriar, de forma que há economia. Comparando com o concreto, observa-se que a madeira possui a massa térmica 2,5 vezes maior, tornando-a melhor para o conforto interno de um local.

Os estudos de Lima et al. (2013) e de Athanázio-Heliodoro & Bellarin (2020) revelaram que o LVL não é produzido comercialmente no Brasil, mas por sua alta resistência, está sendo empregado na construção civil em vigas de grandes dimensões, além de tender a substituir painéis como OSB e MDF, com boa resistência à flexão.

Apesar de ser uma tecnologia cujos trabalhos datam da década de 40 nos Estados Unidos e de ter sido utilizado para a confecção de hélices de avião na Segunda Guerra Mundial, apenas na década de 60 que o LVL passou a ser conhecido comercialmente e a partir da década de 70 que teve seu comércio expandido, por conta de estudos que apressaram o processo produtivo (GABRIEL, 2007; FERRAZ et al., 2009). Assim, percebe-se a necessidade de cada vez mais estudos, os quais já foram feitos aqui no Brasil especialmente com espécies de *Pinus* (GABRIEL, 2007) e de *Eucalyptus* (IWAKIRI et al., 2008), mas são poucos os que envolvem madeira nativa, como o trabalho de Lima et al. (2013), que envolve três espécies amazônicas.

O processo de produção do painel LVL consiste na secagem e posterior colagem das lâminas na mesma direção de grã, ou seja, orientadas paralelamente, utilizando adesivo e consolidado através da prensa quente (IWAKIRI et al., 2008). Possui as mesmas dimensões e formatos de painéis compensados (1200 por 2400 mm) ou está construído em pranchas ou placas contínuas de até 25 m de comprimento, a depender da finalidade, e a espessura da peça costuma variar de 2,5 e 4 mm, podendo ser melhor visualizado na Figura 3. Algo que altera seu uso também, se estrutural ou não, é o adesivo escolhido, e a cada um deles já tem mercado no comércio no mundo, especialmente na América do Norte, mas com produção expressiva na Austrália, Ásia e Europa (GABRIEL, 2007).



Figura 3 – Peça ilustrativa de Laminated Veneer Lumber (LVL). Fonte: dataholz.eu (2021)

O LVL estrutural permite o uso de lâminas de qualidade inferior onde há menor solicitação das peças, podendo ser usado até cinco tipos de qualidade de lâminas no processo, e permite a utilização de mais de uma espécie em um mesmo painel. Enquanto isso, o LVL não-estrutural pode ter uma produção com aleatoriedade das lâminas, priorizando a estética da peça (GABRIEL, 2007).

O Laminated Strand Lumber (LSL) é um composto estrutural produzido a partir de partículas de madeira paralelas umas às outras, as quais são pulverizadas com um adesivo resistente à umidade e o produto é consolidado com a prensa a quente, com maior pressão do que aplicada no OSB (Oriented Strand Board – painel de compensado), e por isso acaba sendo mais densificado. As partículas possuem espessura entre 0,6 e 1,3 mm e comprimento de 300 mm, com larguras variáveis (FERRAZ et al., 2009; ANDRADE, 2012), como pode ser observado na Figura 4.



Figura 4 – Peça ilustrativa de Laminated Strand Lumber (LSL). Fonte: naturally:wood (2021)

O LSL é produzido a partir dos subprodutos do processamento da madeira, sendo uma solução para novos produtos e para a utilização dos resíduos, de forma a ter o processo mais sustentável e ecologicamente correto. Por conta disso, em um mesmo painel pode-se ter uma grande variação de espécies, e ainda é o painel estrutural que apresenta maior rendimento na utilização da tora, cerca de 72% (ANDRADE, 2012).

Com o LSL é possível produzir compostos de tamanhos variados, com as propriedades uniformes e com os defeitos sob controle, mas as propriedades de rigidez e de resistência do painel dependem das espécies utilizadas e da forma de produção do produto, portanto, controlando as variáveis do processo pode-se construí-lo com características específicas desejadas para sua utilização final, como na produção de vigas, de móveis, vergas de janelas, batente de portas, pilares, caibros e similares (ANDRADE, 2012).

Segundo Ferraz et al. (2009), o Brasil não produz o LSL e não tem pesquisas sobre o produto, mas internacionalmente seu uso está se expandindo, principalmente na América do Norte.

O Oriented Strand Lumber (OSL), segundo Andrade (2012), é um tipo de LSL, cuja peça possui 150 mm de comprimento e no qual as partículas seguem paralelamente, coladas com adesivo para uso estrutural resistente à umidade. Apesar de a tecnologia de produção ser similar à do OSB, as partículas têm maior dimensão e é utilizado na produção de vigas e colunas, por possuir maior resistência na flexão estática (FERRAZ et al., 2009).

Por ser um produto novo, desenvolvido por MacMillan Bloedel, Ltd, e conhecido como TimberStrand LSL na América do Norte e como Intrallam LSL na Europa, é difícil de encontrar trabalhos que tenham sido feitos com OSL, mas pode ser citado o de Chirasatitsin et al. (2005), realizado com a madeira de seringueira. Pode-se até mesmo estimar sua produção a partir do mercado de OSB, pois, apesar de o OSL ter uma produção anual reduzida em comparação, ambos possuem semelhantes matéria-prima e processo de manufatura (ANDRADE, 2012).

O Painel de Partículas Laminadas Paralelas, internacionalmente conhecido como Parallel Strand Lumber (PSL), é outro composto estrutural formado a partir de partículas de madeira, sendo mais um tipo de LSL. A peça possui dimensões médias de 13 mm de largura, 6 mm de espessura e comprimento aproximadamente 150 vezes a espessura da partícula, segundo Ferraz et al. (2009).

O processo de produção do PSL é similar a dos outros painéis formados por partícula, sendo usada para a reciclagem dos resíduos dos outros processos produtivos. Por ser um produto resistente à contração, rachaduras, encurvamento e encanoamento, é utilizado na construção de vigas e colunas, vigas em I e similares, podendo aceitar tratamento preservante. Tipicamente, o PSL tem comprimentos acima de 18 metros, e acaba sendo limitado pelo transporte (FERRAZ et al., 2009).

Infelizmente não foram encontrados trabalhos de PSL em português, portanto, é outro produto que precisa de pesquisas. A Figura 5 ilustra uma comparação de PSL e OSL.



Figura 5 – Peças ilustrativas e comparativas de Oriented Strand Lumber (OSL) à esquerda e Parallel Strand Lumber (PSL) à direita. Fonte: Government of Canada (2021)

3.2 Entidades Normativas

As normas técnicas foram criadas para padronizar diversos produtos e serviços. Apesar de não serem obrigatórias, segundo o site da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a utilização delas é difundida em todo o mundo, pois tornam os processos mais limpos, seguros e eficientes, permitem a comparação de estudos realizados em locais diferentes, tornam o comércio dos produtos justo, oferecem base técnica para saúde, segurança e legislação ambiental e ainda incentivam mais estudos e também a inovação.

Dentre as normas existentes, as de maior destaque para tratar de produtos engenheirados de madeira são ISO (International Organization for Standardization), ASTM (American Society for Testing and Materials) e EUROCODE. O Brasil possui a ABNT, e a norma NBR 7190 (1997) é a norma utilizada para projeto de estruturas de madeira, mas por enquanto não possui especificações para PEMs; na atual revisão da norma está sendo incluída uma norma que utiliza CLT.

Para a atual pesquisa serão consultadas as Entidades Normativas ASTM e EN, por isso segue uma pequena revisão de seu histórico, e também da ABNT.

3.2.1 ASTM (American Society for Testing and Materials)

A Sociedade Americana para Testes e Materiais (tradução livre), conhecida internacionalmente como ASTM, foi fundada em 1898 por um grupo de cientistas e engenheiros que estavam em busca de

analisar as frequentes quebras dos trilhos de trem; para solucionar tal problema desenvolveram a primeira norma, para o aço utilizado nas ferrovias (WIKIPÉDIA, 2021). Com seu papel de maior incorporadora mundial de normas, não se limitando aos Estados Unidos, a ASTM possui atualmente sede na Pensilvânia (USA), mas está fisicamente presente em outros estados e outros países também, contando com 30 mil membros representando mais de 140 países, tendo desenvolvido e publicado cerca de 12,5 mil normas, segundo o site da própria Entidade.

3.2.2 EN (European Standard)

As Normas Europeias (tradução livre) atuam desde 1989, primeiramente na República Tcheca, e a partir de 2005 no mundo todo, tendo trabalhado com outras Entidades Normativas, como a ASTM, DIN (Deutsches Institut für Normung), BSI Group (British Standards Institution) e mais, segundo o próprio site. É essencial para o mercado europeu e para o relacionamento deste com outros continentes, apresentando modelos específicos e soluções tecnológicas com as quais é possível realizar trocas, atuando acima das normas de cada país europeu (WIKIPÉDIA, 2021).

3.2.3 ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, fundada em 28 de setembro de 1940, é o Foro Nacional de Normalização, tendo sido um membro fundador da ISO (Organização Internacional de Organização), Copant (Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas) e da AMN (Associação Mercosul de Normalização), além de ser membro desde o início da IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional), segundo o site próprio.

Este também indica que as Normas Brasileiras (ABNT NBR) são elaboradas por seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE).

A ABNT contribui para a implementação de políticas públicas, promove o desenvolvimento de mercados, a defesa dos consumidores e a segurança de todos os cidadãos em conjunto com governos, e desde 1950 atua também na avaliação da conformidade e dispõe de programas para certificação de produtos, sistemas e rotulagem ambiental, a partir de princípios internacionais, de forma a garantir credibilidade, ética e reconhecimento dos serviços prestados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo, por ocorrer em meio à pandemia de COVID-19 – a qual impossibilitou o uso de estruturas laboratoriais devido às restrições sanitárias –, foi feito a partir da revisão da literatura técnica para uso de Produtos Engenheirados de Madeira, utilizando-se de oito normas técnicas europeias e estadunidenses.

A bibliografia utilizada foi adquirida mediante pesquisa pelo Google Acadêmico e fornecida por parceiros, sem limitar ao idioma original do estudo (português), de forma a obter maior quantidade de material teórico para contextualizar e desenvolver o estudo.

A pesquisa foi realizada antes e ao longo do desenvolvimento do trabalho, sempre tentando buscar mais de uma referência às mesmas questões, de forma a obter mais de uma visão e auxiliar na confecção do estudo. Infelizmente, não foi possível obter acesso a totalidade das normas que trabalham com os PEMs.

As oito normas técnicas que foram lidas para a confecção deste estudo foram:

- ASTM D 198 – 99: Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes
- ASTM D 3737 – 00a: Standard Practice for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)
- ASTM D 5055 – 00: Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists
- ASTM D 5456 – 06: Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products
- DIN EN 14374 – 05: Structural laminated veneer lumber
- NF EN 310 – 93: Détermination du module d'élasticité en flexion et de la résistance à la flexion
- NF EN 314-1 – 05: Contreplaqué Qualité du collage Partie 1: Méthodes d'essai
- NF EN 314-2 – 93: Contreplaqué Qualité du collage Partie 2: Exigences

O tópico 4.1 a seguir abrange as questões pertinentes ao presente estudo existentes em cada uma das normas acima.

4.1. Normas técnicas que abrangem os Produtos Engenheirados de Madeira

4.1.1 ASTM D 198 – 99: Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes

A norma ASTM D 198-99 foi criada para expandir os métodos de teste ASTM D 198-27, que eram aplicados apenas para madeira maciça. Assim, atualmente atende a uma ampla variedade de produtos estruturais de madeira e foi utilizada para a confecção dos estudos de Gabriel (2007), Palma e Ballarin (2011), de Souza et al. (2011) e Athanázio-Heliodoro e Ballarin (2020), os quais utilizaram o LVL, e o estudo de Dias (2014), que utilizou MLC.

Os testes realizados na norma são de flexão estática, compressão paralela, tensão, torção e cisalhamento.

O método de teste de flexão estática é voltado às vigas estruturais e é feito a partir do apoio de duas cargas aplicadas transversalmente simetricamente impostas às reações, que é o nome para os apoios abaixo da viga. Dessa forma, sabe-se que é um ensaio de flexão de 4 pontos, cuja Figura A1 retirada da norma auxilia na visualização. Segundo a seção 8 da norma, o comprimento do corpo de prova deve ter a relação a/h variando entre 5:1 e 12:1 – correspondendo a $0,5S_R/\tau_m$ e $1,2S_R/\tau_m$, sendo S_R o módulo de ruptura e τ_m a resistência ao cisalhamento –, de forma que o vão seja relativamente longo. A velocidade do teste deve seguir em uma taxa de deslocamento constante, de forma a atingir a carga máxima em cerca de 10 minutos – obrigatoriamente entre 6 e 20 minutos –, e a Equação 1 permite avaliar a taxa de movimento da cabeça móvel da máquina de teste. O condicionamento da amostra é dito na seção 9.1 para ser feito de acordo com os Métodos de Teste D 4442.

Equação 1 – Cálculo da taxa de movimento da cabeça móvel da máquina de teste

$$N = \frac{Za \cdot (3L - 4a)}{3h} \quad (1)$$

Onde:

N = taxa de movimento da cabeça móvel (mm/min)

Z = taxa constante de deformação externa (mm/mm · min)

a = distância da reação ao ponto de carga mais próximo (mm)

L = extensão da viga (mm)

h = profundidade da viga (mm)

O método de teste de compressão paralela na norma é realizado através de uma força uniformemente dividida na superfície da amostra paralelamente às fibras, e na norma está dividido em

duas categorias, dependentes da razão de esbeltez – ou seja, o comprimento ao raio de rotação mínimo – e do suporte lateral. Ambos são realizados com tamanho de corpo de prova e velocidade de teste similares.

Segundo as seções 16 e 24 da norma, o corpo de prova utilizado no ensaio de compressão deve ser maior que 38 x 38mm – tamanho comercialmente utilizado em aplicações estruturais –, mas o comprimento máximo (l) deve ser menor que 17 vezes o menor raio de giração (r) na seção transversal, de forma que não se tenha flexão. O comprimento mínimo, quando busca a medição de tensão e deformação, deve ser maior do que três vezes a dimensão da seção transversal maior ou cerca de dez vezes o raio de giração. Em relação à velocidade de teste, comentada nas seções 17 e 25, deve ser feito com taxa constante de movimento da cabeça de $0.001 \text{ in./in.} \cdot \text{min} \pm 25 \% (0.001 \text{ mm/mm} \cdot \text{min})$ quando se quer medir dados de deformação de carga; e em busca da resistência à compressão a taxa de deslocamento pode ser conduzida de forma que a carga máxima seja atingida em cerca de 10 minutos – obrigatoriamente entre 5 e 20 minutos. O condicionamento, segundo a seção 17.1, deve estar de acordo com os Métodos de Teste D 4442, e a Figura A2 no Apêndice representa o ensaio.

O método de teste de cisalhamento é geralmente aplicado em uma viga submetida a uma carga aplicada transversal e simetricamente entre as reações, ou seja, com 3 pontos. O comprimento do vão, ao contrário de qual é um ensaio de flexão estática, deve ser relativamente curto, com relação a/h inferior a 5:1, e a velocidade é indicada na norma como similar à do ensaio de flexão. O módulo de cisalhamento é proporcional à inclinação da linha de melhor ajuste entre $1 / E_f$ – sendo E_f o módulo de elasticidade aparente calculado sob o ponto central de carregamento – e $(h / L)^2$ para cada vão testado.

4.1.2 ASTM D 3737 – 00a: Standard Practice for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)

A norma ASTM D 3737 – 00a foi desenvolvida especialmente para a madeira laminada colada (MLC ou Glulam) e apresenta os ensaios de flexão, tensão e compressão paralelas à grã, módulo de elasticidade, cisalhamento horizontal e compressão perpendicular à grã utilizando peças em condições secas de uso (em média 12% de umidade).

Os ensaios não apresentam tamanho de corpo de prova ou velocidade do ensaio, mas o trabalho de Dias (2014) utilizou a norma utilizando as madeiras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Wil) e cortou as espécies com 85cm de comprimento, 11cm de largura e 1,7cm de espessura, para confecção de uma viga com 6 lâminas para a realização dos testes, apesar de frisar que a

norma admite uma espessura de $50 \pm 0,3mm$ das lâminas. A Figura A3 apresenta o teste de cisalhamento baseado no Método de Teste D 198.

4.1.3 ASTM D 5055 – 00: Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists

A norma ASTM D 5055 – 00 foi estabelecida para procedimentos de estabelecimento, monitoramento e reavaliação das capacidades estruturais de vigas em I de madeira pré-fabricadas.

Os corpos de prova no ensaio de cisalhamento são tais que a profundidade da viga deve ser de até $102mm$ e o comprimento deve ser inferior ao mesmo valor, segundo a seção 6.2 da norma, tendo o teor de umidade próximo ao de “uso seco”. A carga aplicada deve ser constante e em uma taxa que a ruptura não ocorra em menos de 1 minuto, segundo a seção 6.2.7.

O estudo de Lima (2014) apresenta a utilização desta norma com madeira de *Pinus taeda*, mas a alma da viga em I apresentada foi de OSB (Oriented Strand Board), da mesma forma que o estudo de Tavares (2017), cuja madeira para formar o OSB não foi especificada. O estudo de Serrano-Montero e Sáenz-Muñoz (2006) também fez a utilização da norma, mas com a espécie *Terminalia amazonia* (JF Gmel.) Exell), conhecida como amarillón ou meringiba de mata.

4.1.4 ASTM D 5456 – 06: Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products

A norma ASTM D 5456 – 06 foi desenvolvida com o objetivo servir como base para o projeto de programas de controle de qualidade específicos para a madeira composta estrutural (SCL), os quais são LVL, PSL, LSL e OSL, ensaiados em flexão estática, tração paralela, compressão paralela, compressão perpendicular e cisalhamento.

São especificados na seção 6 da norma que o LSL deve ter dimensão das lâminas $< 2,54mm$ e comprimento médio no mínimo 150 vezes a menor dimensão, o LVL deve ter espessura $< 6,4mm$, o OSL deve ter dimensão dos fios $< 2,54mm$ e comprimento médio no mínimo 75 vezes a menor dimensão e o PSL deve ter dimensão das lâminas $< 6,4mm$ e comprimento médio no mínimo 300 vezes a menor dimensão. O condicionamento dos corpos de prova é dado na seção 6.3, na qual observa-se que a madeira deve ser levada ao equilíbrio em um ambiente de $20 \pm 6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($68 \pm 11 \text{ } ^\circ\text{F}$) e 65% de umidade relativa, e a Figura A4 representa o teste de cisalhamento horizontal com PSL.

O corpo de prova para o ensaio de compressão paralela deve ter seção transversal de $38 \text{ por } 38mm$ e a relação L/r deve estar entre 15 e 17, onde L é o comprimento efetivo sem suporte e r

é o menor raio de giração. Ao ensaio de cisalhamento tem-se que a dimensão mínima na área de cisalhamento, de 38mm , é aceitável, mas a área total deve ser de $101,33\text{mm}$ (4 polegadas). A velocidade de teste deve ser tal que a ruptura não ocorra antes de 5 minutos, como dito na seção A.3.3.3.

Essa norma foi utilizada no trabalho de Costa et al. (2020) – que produziu LVL com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), da mesma forma que o trabalho de Melo & Del Menezzi (2016) –, de Gabriel (2007) – o qual produziu LVL com madeira de Pinus tropicais –, de Athanázio-Heliodoro e Ballarin (2020) – que produziram LVL com madeira de guapuruvu (*Schizolobium Parahyba* (Vell.) Blake) – e Palma e Ballarin (2011) – os quais produziram LVL com a madeira de *Eucalyptus grandis*.

4.1.5 DIN EN 14374 – 05: Structural laminated veneer lumber

A norma DIN EN 14374 – 05 é específica para Laminated Veneer Lumber (LVL) aplicado estruturalmente, contendo métodos de ensaios de flexão lateral e plana, tensão paralela, compressão perpendicular e paralela e cisalhamento relacionado à flexão lateral e à flexão plana. Para o direcionamento do estudo, apenas os ensaios de flexão, compressão paralela e cisalhamento serão citados, sabendo que os métodos de desenvolvimento deles são explicados nas normas EN 408 e EN 789. A norma é utilizada no estudo de Hirschmüller et al. (2016).

A seção 3.2 da norma indica que as peças devem estar condicionadas a uma temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%. Em relação à força dos corpos de prova, na seção 4.4, tem que para o ensaio de flexão lateral (*edgewise*) deve ter largura de pelo menos 100mm e para flexão plana (*flatwise*) deve ter espessura de pelo menos 38mm . A seção transversal da amostra para compressão paralela deve ser de pelo menos $45\text{ por }45\text{mm}$. O ensaio de cisalhamento relacionado à flexão plana (*flatwise*) deve ter espessura de pelo menos 25mm .

Já em relação à rigidez, apresentada na seção 4.5, o módulo de elasticidade paralelo à grã, onde a amostra é conduzida em flexão lateral (*edgewise*), a amostra deve ter largura de pelo menos 100mm . O módulo de cisalhamento relacionado à flexão plana (*flatwise*) deve ter espessura da amostra de pelo menos 25mm .

Não há na norma especificações para velocidade do ensaio, e pelas outras normas europeias é possível avaliar que a velocidade é data em tempo de rompimento, o que dificulta o teste, já que as máquinas precisam ter inserido nelas a carga ou o deslocamento de forma a realizar o teste. Assim, essa referência nas normas de tempo é um fator complicador.

4.1.6 NF EN 310 – 93: Détermination du module d'élasticité en flexion et de la résistance à la flexion

A norma EN 310 – 93 foi aprovada para substituir a norma NF B 51-124, de dezembro de 1987, e foi desenvolvida para compor uma série de normas voltadas aos painéis derivados de madeira, com o objetivo de definir um método que determinasse o módulo aparente de elasticidade na flexão axial e a resistência à flexão de painéis à base de madeira com espessura $\geq 3\text{ mm}$, tendo os corpos de prova condicionados com umidade relativa de $(65 \pm 5)\%$ e temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, segundo a seção 5.3 da norma.

O ensaio de flexão estática de 3 pontos, de acordo com a seção 5.2, é feita com um corpo de prova de largura de $(50 \pm 1)\text{mm}$ e comprimento 20 vezes a espessura nominal mais 50mm , podendo variar de 150 a 1050mm . A velocidade de aplicação da carga deve ser tal que tenha o rompimento ocorra em $(60 \pm 30)\text{s}$, como diz a seção 6.4.

4.1.7 EN 314-1 – 05: Contreplaqué Qualité du collage Partie 1: Méthodes d'essai

A norma EN 314-1 – 05 foi aprovada para substituir a norma NF EN 314-1, de junho de 1993, e também compõe a série de normas voltadas aos painéis derivados de madeira, mas o objetivo desta é verificar o desempenho de colagem de madeira compensada, ripa e laminado por um teste de cisalhamento. O condicionamento das amostras é descrito na norma EN 314-2.

Para o teste de cisalhamento, a seção 3.2 informa que a largura do corpo de prova deve ser de $(25 \pm 0,5)\text{mm}$, o comprimento de cisalhamento deve ser $(25 \pm 0,5)\text{mm}$ e a distância entre os pedaços deve ser de 50mm . A carga deve ser aplicada a uma velocidade constante com rompimento em $(30 \pm 10)\text{s}$, como informado na seção 6.1 da norma.

Não foram encontrados trabalhos que apliquem essa norma especificamente, mas foi feita uma tradução desta norma para o português, enquadrando-a como norma ISO, que gerou uma série de estudos.

4.1.8 EN 314-2 – 93: Contreplaqué Qualité du collage Partie 2: Exigences

A norma EN 314-2 – 93 foi aprovada para substituir a norma NF B 51-338, de outubro de 1978, e define os requisitos de colagem para madeira compensada de acordo com seus usos finais.

5. RESULTADOS

A partir do que foi estabelecido em Materiais e Métodos, foi possível comparar as normas em relação aos produtos utilizados em cada uma, aos ensaios que cada uma realizou, aos tamanhos dos corpos de prova em cada ensaio e à velocidade que cada ensaio deve seguir, como pode ser melhor visualizado nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Comparativo dos ensaios de flexão estática entre as normas técnicas

| Norma | Dimensão | Velocidade | Produtos |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|
| ASTM D 198-99 | $5/1 \leq a/h \leq 12/1$ | $N = \frac{a \cdot (3L - 4a)}{3h}$ | Não especificado |
| ASTM D 3737 – 00a | Não especificado | Não especificado | MLC |
| ASTM D 5456 – 00a | Não especificado | Não especificado | LVL, PSL, LSL e OSL |
| DIN EN 14374 – 05 | Edgewise: <i>largura</i> $\geq 100 \text{ mm}$ Flatwise: <i>espessura</i> $\geq 38 \text{ mm}$ | Não especificado | LVL |
| EN 310 – 93 | <i>Espessura</i> $\geq 3 \text{ mm}$ <i>Largura</i> = $(50 \pm 1) \text{ mm}$ <i>Comprimento</i> = $150 \text{ a } 1050 \text{ mm}$ | Rompimento em $(60 \pm 30) \text{ s}$ | Não especificado |

Tabela 2 – Comparativo dos ensaios de compressão paralela entre as normas técnicas

| Norma | Dimensão | Velocidade | Produtos |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ASTM D 198-99 | $> 38 \times 38 \text{ mm}$ | $0.001 \text{ in./in.} \cdot \text{min} \pm 25 \%$ $(0.001 \text{ mm/mm} \cdot \text{min})$ | Não especificado |
| ASTM D 3737 – 00a | Não especificado | Não especificado | MLC |
| ASTM D 5456 – 06 | Seção transversal de $38 \text{ por } 38 \text{ mm};$ $15 < \frac{L}{r} < 17$ | Ruptura $> 5 \text{ min}$ | LVL, PSL, LSL e OSL |
| DIN EN 14374 – 05 | Seção transversal $\geq 45 \text{ por } 45 \text{ mm}$ | Não especificado | LVL |

Tabela 3 – Comparativo dos ensaios de cisalhamento entre as normas técnicas

| Norma | Dimensão | Velocidade | Produtos |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| ASTM D 198-99 | $a/h < 5/1$ | $N = \frac{a \cdot (3L - 4a)}{3h}$ | Não especificado |
| ASTM D 3737 – 00a | Não especificado | Não especificado | MLC |
| ASTM D 5055 – 00 | Profundidade < 102mm Comprimento < 102mm | Rompimento em não menos de 1 min | Viga em I |
| ASTM D 5456 – 06 | Área total deve ser de 101,33mm | Ruptura > 5min | LVL, PSL, LSL e OSL |
| DIN EN 14374 – 05 | Flatwise: <i>espessura</i> ≥ 25 mm | Não especificado | LVL |
| EN 314-1 – 05 | <i>Largura</i> = (25 ± 0,5)mm <i>Comprimento</i> = (25 ± 0,5)mm | Rompimento em (30 ± 10)s | Não especificado |

6. DISCUSSÃO

Os resumos das normas técnicas permitem avaliar as diferenças entre as normas e entre as Entidades Normativas, tendo uma explicação mais extensa na ASTM e mais ligações entre normas nas EN. O trabalho utilizou de normas concentradas nos ensaios de qualidade e de resistência dos produtos.

Os ensaios foram descritos utilizando diferentes formas de desenvolvimento, e sabe-se que a posição *flatwise* em um ensaio de flexão estática indica uma peça disposta horizontalmente, com a carga sendo aplicada perpendicularmente às fibras da madeira, o que faz com que se tenha uma resistência maior se comparar a utilização da mesma carga quando a peça está posicionada em *edgewise*, ou seja, quando a carga é aplicada paralelamente às fibras da madeira, por conta do momento de inércia da peça, como pode ser observado no estudo de Müller et al. (2015) e na Figura 6 abaixo. A posição *edgewise* faz com que as lâminas que compõem a viga sejam exigidas igualmente em relação à compressão na parte superior e à tração na parte inferior, ao contrário da posição *flatwise*, que tem as lâminas superior e inferior como as mais exigidas, uma sendo maximamente tensionada à compressão e outra à tração. As normas estudadas apresentaram ambas sendo utilizadas nos ensaios.

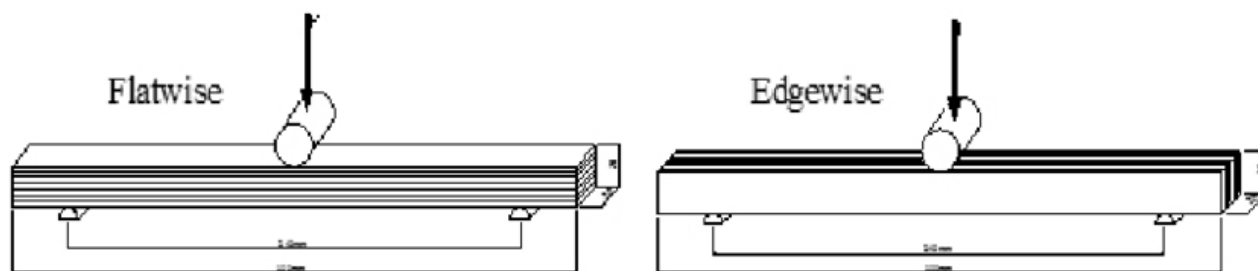


Figura 6 – Ensaio de flexão com as peças nas posições flatwise e edgewise. Fonte: BAL (2016)

O trabalho de De Carvalho e Duarte (2000) utilizou a Fotoelasticidade para comparar as tensões de contato no ensaio de flexão estática de 3 e de 4 pontos, que podem ser vistos na Figura 7. O ensaio de flexão a 4 pontos apresenta um ensaio mais realista, no qual a carga está sendo melhor distribuída no centro da peça, tendo um momento de fletor máximo distribuído pela peça; ao contrário do ensaio de flexão a três pontos, que forma um complexo campo de tensões, com momento fletor máximo no centro da peça, formando um triângulo invertido que pode ser melhor visualizado na Figura 7. Assim, é possível notar que são ensaios com resultados divergentes, e o motivo pelo qual um é escolhido em relação seria a facilidade em encontrar o módulo de ruptura utilizando o ensaio de 3 pontos, que é de mais rápida execução. Os ensaios de 4 pontos foram citados nas quatro normas americanas, mas duas delas também

apresentaram a alternativa para o ensaio de 3 pontos, tendo sido este apontado para ser utilizado também em duas das normas europeias.

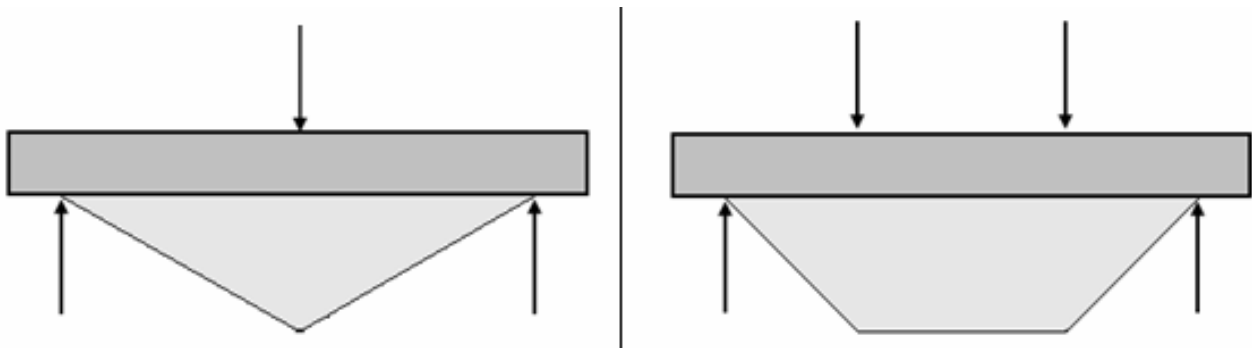


Figura 7 – Ensaio de flexão a 3 pontos à esquerda e ensaio de flexão a 3 pontos à direita. Fonte: SILVEIRA (2006)

O raio de giração citado nas normas é utilizado para a avaliação da flambagem em peças esbeltas, ou seja, a capacidade que a peça tem de se manter estável, sem encurvamento, quando sob efeito de compressão. Quanto maior o raio de giração, maior a inércia e menor a flambagem, o que faz com que, na prática, tenha-se uma peça mais estável, uma peça que irá manter-se reta ao invés de encurvar, o que ocorre quando se tem um raio de giração menor, o que faz com que a inércia seja menor e a flambagem, maior, tendo uma peça instável (SCHNEIDER, 2020; WIKIPÉDIA, 2021); veja a Figura 8. A norma NBR 7190 (1997) diz que o ideal a peças que sofrem tração é que o comprimento teórico de referência da peça seja no máximo 50 vezes o raio de giração, mas não é aconselhável a utilização de elementos comprimidos que ultrapassem 40 vezes (FOGAÇA, REIS, 2014).

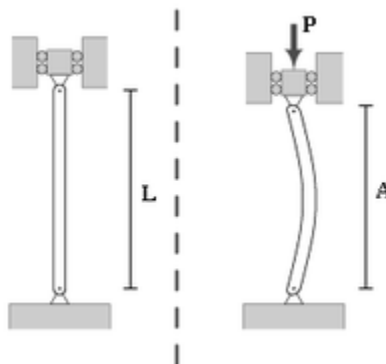


Figura 8 – Efeito de flambagem. Fonte: WIKIPÉDIA (2021)

A quantidade de trabalhos nacionais que utilizam as normas técnicas aqui apresentadas foi substancial, tendo sido citadas ao longo das normas em Materiais e Métodos, de forma a perceber que há

sim demanda dos produtos no Brasil e há a necessidade de mais pesquisas e do desenvolvimento de normas ABNT para facilitar o acesso e oferecer maior visibilidade aos produtos aqui.

O produto que mais foi utilizado com as normas citadas em trabalhos nacionais foi o LVL (Laminated Veneer Lumber), o qual não é produzido nacionalmente, mas que está sendo testado com diversas madeiras nativas do Brasil, como paricá e guapuruvu, em trabalhos já citados no presente estudo, e tendo resultados satisfatórios, o que permite uma abertura do mercado brasileiro a ele.

Ao avaliar o objetivo do estudo como o comparativo das oito normas internacionais citadas ao longo do trabalho, percebe-se que há familiaridade dentre as normas quando se trata dos produtos e dos ensaios de qualidade e de resistência, mas ao mesmo tempo há divergência na forma de condução deles, fazendo com que dependa da destinação final do produto.

7. CONCLUSÃO

Há uma grande quantidade de Normas Técnicas, muitas das quais possuem homogeneização, ou seja, são interligadas, se desenvolvendo em conjunto, o que pode facilitar a encontrar a metodologia, mas também infelizmente pode tornar o acesso a todas elas mais complicado.

O presente trabalho permite concluir que existe a necessidade de desenvolver Normas Técnicas brasileiras específicas para os Produtos Engenheirados de Madeira que possibilitem o uso mais seguro e adequado, bem como uma maior abertura dos nossos produtos ao mercado interno e externo. Dessa forma, é preciso realizar mais testes com uma maior variedade de madeiras, especialmente nativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Conheça a ABNT**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>>. Acesso em 15/09/2021.

ACHANDO.INFO. **Engenheirar**. Disponível em: <https://www.achando.info/engenheirar>. Acesso em 15/09/2021.

ALMEIDA, D. H. de. **Madeira laminada colada (MLC) da espécie Paricá**. Madeira, Arquitetura & Engenharia, p.71-82. 30 de maio. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D198: Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes**. Philadelphia, PA, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D 3737 – 00a: Standard Practice for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)**. West Conshohocken, PA, United States. ASTM. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D 5055 – 00: Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists**. West Conshohocken, PA, United States. ASTM. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D 5456: Standard specification for evaluation of structural composite lumber products**. Philadelphia, ASTM. 2019.

ANDRADE, A. B. P. P. de. **Aproveitamento de resíduos de laminação da madeira para a produção de painel estrutural**. 2012. 57 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/118044>>.

ARCWOOD BY PEETRI PUIT. **Glulam**. Disponível em: <<https://arcwood.ee/en/glulam>>. Acesso em: 08/10/2021.

ARCWOOD BY PEETRI PUIT. **CLT Cross Laminated Timber**. Disponível em: <<https://arcwood.ee/en/clt-cross-laminated-timber>>. Acesso em: 08/10/2021.

ASTM INTERNATIONAL. **About Us**. Disponível em: <<https://www.astm.org/ABOUT/overview.html>>. Acesso em 15/09/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ATHANÁZIO-HELIODORO, J.C.; BALLARIN, A.W., **Painéis LVL de guapuruvu (Schizolobium Parahyba (Vell.) Blake)**. Científica digital. Engenharia Industrial Madeireira: Tecnologia, Pesquisa e Tendências. 1ª ed, cap. 16, pag. 243 a 253. 2020.

BAL, B.. **Some technological properties of laminated veneer lumber produced with fast-growing Poplar and Eucalyptus**. Maderas. Ciencia y tecnología. 18. 10.4067/S0718-221X2016005000037. 2016.

CHIRASATITSIN, S. et al. **Mechanical properties of rubberwood oriented strand lumber**. Songklanakarin Journal of Science and Technology, v. 27, n. 5, p. 1047-1055, 2005.

COSTA, A. A.; et al. **Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá**. Research, Society and Development, v. 9, n. 8, p. e786986089-e786986089, 2020.

DATAHOLZ.EU. **Laminated Veneer Lumber (LVL)**. Última modificação em 7/07/2021. Disponível em: < <https://www.dataholz.eu/en/building-materials/laminates/laminated-veneer-lumber-lvl.htm>>. Acesso em 20/10/2021.

DE CARVALHO, E. A.; DUARTE, E. T. V. **Ensaio de Flexão: Uma revisão dos modelos matemáticos empregados na sua análise**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14., 2000, São Pedro - SP. Anais.

DE SOUZA, F. et al. **Material properties and nondestructive evaluation of laminated veneer lumber (LVL) made from *Pinus oocarpa* and *P. kesiya*** . Eur. J. Wood Prod. 69, 183–192 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0415-0>

DIAS, A.. **COMO A MADEIRA VAI SE TRANSFORMAR NO PRINCIPAL MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES**. São Paulo, Carpinteria. 2018.

DIAS, A. P.. **ESTUDO DE MADEIRA AMAZÔNICA PARA COMPOR VIGAS LAMINADAS**. UFAM, Manaus. 74 f. 2014.

EUROPÄISCHE NORM. **DIN EN 14374: Timber Structures – Structural laminated veneer lumber – Requirements**. February, 2005.

EUROPEAN STANDARDS. **About Us**. Disponível em: < <https://www.en-standard.eu/about-us/>>. Acesso em 15/09/2021.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 16351 – 15: Timber Structures – Cross laminated timber – Requirements**. British Standards Institution. European Committee for Standardization, 2015..

FERRAZ, J. M. et al.. **PROPRIEDADES DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS LAMINADAS PARALELAS UTILIZADOS COMO ALTERNATIVA À MADEIRA MACIÇA**. Cerne, Lavras, v. 15, n. 1, p. 67-74, jan./mar. 2009.

FOGAÇA, B. J.; REIS, L. D. dos. **Elaboração de uma ferramenta computacional para dimensionamento de pilares de madeira com seção composta**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GABRIEL, M. S. C. **Desempenho físico-mecânico de painéis LVLs de *Pinus* tropicais da região de São Paulo**. 2007. 125 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

GOVERNMENT OF CANADA. **Oriented Strand Lumber**. Disponível em: < <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/forests-forestry/forest-industry-trade/forest-products->

[applications/taxonomy-wood-products/oriented-strand-lumber/15827](https://doi.org/10.1186/1745-6211-15827)>. Modificado em 2020-12-03. Acesso em 08/10/2021.

HIRSCHMÜLLER, S. et al. **Laminated veneer lumber poles for use in temporary soil nailing. Investigation of adhesive properties.** In: Holzbau Forschung und Praxis. 6. Doktorandenkolloquium 2016. 2016.

IWAKIRI, S. et al. **Produção de painéis laminados unidirecional: LVL com madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden.** Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2008.

JESUS, J. M. H. de. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC).** PhD diss., Universidade de São Paulo, 2000.

LIMA, Fernanda Martignago de. **Desempenho estrutural de vigas "I-joists"-padronização e subsídios para o pré-dimensionamento.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LIMA, N. N. et al. **PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM TRÊS ESPÉCIES AMAZÔNICAS.** Cerne, Lavras, v. 19, n. 3, p. 407-413, jul./set. 2013.

MARTINS, G. C. A. **Análise Numérica e Experimental de vigas de Madeira Laminada Colada em Situação de Incêndio.** 2016. 197 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

MELO, R. R. de; DEL MENEZZI, C. H. S.. **Estimativas das propriedades físico-mecânicas de compostos LVL confeccionados com paricá por meio de ultrassom.** Ciência Florestal, v. 26, p. 263-272, 2016.

MIOTTO, J. L. **Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro.** PhD diss., Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MÜLLER, M. T. et al. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis LVL**. Ciência Florestal, v. 25, p. 153-164, 2015.

NATURALLY:WOOD. **Laminated Strand Lumber (LSL)**. Disponível em: < <https://www.naturallywood.com/products/laminated-strand-lumber/>>. Acesso em 08/10/2021.

NORME EUROPÉENNE. **EN 310: Détermination du module d'élasticité em flexion et de la résistance à la flexion**. Univ de Lorraine, France. Juin 1993.

NORME EUROPÉENNE. **EN 314-1: Contreplaqué Qualité du collage Partie 1: Méthodes d'essai**. Univ de Lorraine, France. June 2005.

NORME EUROPÉENNE. **EN 314-2 – 93: Contreplaqué Qualité du collage Partie 2: Exigences**. Univ de Lorraine, France. Juin 1993.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W.. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus grandis***. Ciência Florestal, v. 21, p. 559-566, 2011.

PASSARELLI, R. N. **Cross laminated timber: diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no estado de São Paulo**. Mestr. diss., Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PEREIRA, M. C. de M. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de Madeira Laminada Colada Cruzada**. PhD diss., Universidade de São Paulo, 2014.

SERRANO-MONTERO, J. R.; SÁENZ-MUÑOZ, M.. **Tecnología e innovación de estructuras de madera para el sector de la construcción: Vigas de perfil I de amarillón (*Terminalia amazonia* (JF Gmel.) Exell) de plantación**. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, v. 3, n. 7, p. ág. 26-45, 2006.

SCHNEIDER, N.. **Índice de esbeltez de pilares: o que é? Importância e considerações normativas**. NELSOSCHNEIDER. Atualizado em 02/09/2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/indice-de-esbeltez-de-pilares/>. Acesso em: 17/10/2021.

SILVEIRA, C. C.. **Análise da Distribuição de Weibull aplicada à Resina Fenólica**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

TAVARES, M. de G.. **O comportamento estrutural de vigas I-Joists: comparação com modelos numérico, analítico e resultados experimentais**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

WIKIPÉDIA. **ASTM**. Editado pela última vez em 6 de junho de 2019. Disponível em: <
<https://pt.wikipedia.org/wiki/ASTM>>. Acesso em 15/09/2021.

WIKIPÉDIA. **European Standard**. Editado pela última vez em 15 de agosto de 2021. Disponível em:
<
[https://en.wikipedia.org/wiki/European_Standard#:~:text=European%20Standards%20\(abbreviated%20EN%2C%20from,Standardization%20\(CENELEC\)%2C%20or%20European](https://en.wikipedia.org/wiki/European_Standard#:~:text=European%20Standards%20(abbreviated%20EN%2C%20from,Standardization%20(CENELEC)%2C%20or%20European)>. Acesso em 15/09/2021.

WIKIPÉDIA. **Flambagem**. Editado pela última vez em 30 de maio de 2020. Disponível em: <
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Flambagem>>. Acesso em 17/10/2021.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. São Carlos, 2003. 78p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

APÊNDICE

O Apêndice foi desenvolvido para apresentar as Figuras A1, A2, A3 e A4 que aparecem citadas no trabalho, retiradas das normas ASTM D 198-99, ASTM D 3737-00a e ASTM D 5456-06.



Figura A1 – Ensaio de flexão. Fonte: Seção 7.3.1 da ASTM D 198-99.



Figura A2 – Ensaio de compressão paralela. Fonte: Seção 15.2 da ASTM D 198-99.

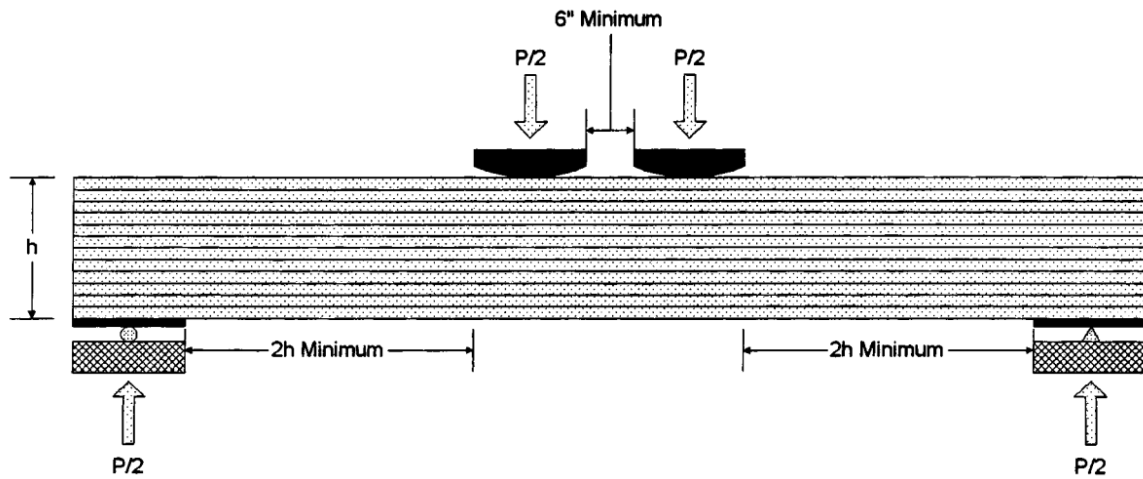


Figura A3 – Representativo do ensaio de cisalhamento segundo o Método de Teste D 198. Fonte: Seção A5.1 da ASTM D 3737-00a.

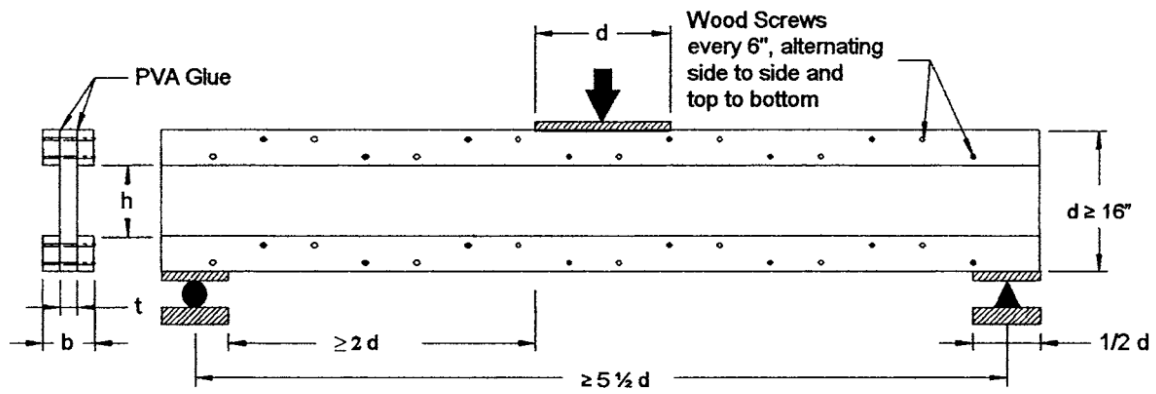


FIG. A3.1 Example PSL Structural-Size Horizontal Shear Test Set-Up

Figura A4 – Exemplo de teste de cisalhamento horizontal com PSL estrutural. Fonte: Seção A3.3 da ASTM D 5456-06.