



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

**JOSÉ MARCOS SILVA SILVÉRIO
WEBER FERNANDES BATISTA**

MADEIRA COMO UM MATERIAL CONSTRUTIVO

**BARBACENA
2021**

**JOSÉ MARCOS SILVA SILVÉRIO
WEBER FERNANDES BATISTA**

MADEIRA COMO UM MATERIAL CONSTRUTIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos de Barbacena como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Deysiane Antunes Barroso Damasceno.

**BARBACENA
2021**

RESUMO

A madeira é um dos materiais mais utilizados pelo homem, para diferentes fins, devido à sua disponibilidade na natureza, resistência e suas características naturais, como: cor, brilho e textura. A madeira é, provavelmente, o material de construção mais antigo, dada a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio (PFIEL, 2003). Embora seja um material versátil, abundante, de fácil obtenção na natureza, o uso da madeira como elemento estrutural enfrenta desafios, muitas vezes relacionados à falta de informação. Por se tratar de um material combustível e suscetível a ataques de agentes biológicos e consequente apodrecimento, acredita-se que a madeira é um material menos resistente e durável que os outros sistemas construtivos comuns. Atualmente, existem inúmeras técnicas de preservação e proteção que garantem excelente aplicabilidade construtiva. Existe um grande preconceito em relação ao uso de madeira, que este acarreta grandes prejuízos ao meio ambiente pelo seu desmatamento. O processo produtivo das peças utilizadas na construção civil, se comparado com o concreto e o aço, é mais limpo, uma vez que o consumo de energia e produção de resíduos é menor. É equivocada a ideia de que o desmatamento é causado pela extração da madeira. Na verdade, os maiores focos de desmatamento acontecem devido à necessidade de utilizar a terra para a agricultura e pecuária. Além disso, existem as madeiras de reflorestamento, que vêm se mostrando uma excelente alternativa sustentável, especialmente nas regiões distintas das áreas de floresta nativa, um exemplo bastante conhecido é o Eucalipto, devido a seu rápido crescimento.

Palavras-chave: Madeira. Tipos de madeira. Patologias da madeira. Construção Civil.

ABSTRACT

Wood is one of the materials most used by man for different purposes due to its availability in nature, resistance and its natural characteristics, such as: color, shine and texture. Wood is probably the oldest construction material, given its availability in nature and its relative ease of handling (PFIEL, 2003). Although it is a versatile, abundant material, easily obtainable in nature, the use of wood as a structural element faces challenges, often related to lack of information. As it is a combustible material and susceptible to attacks from biological agents and consequent decay, it is believed that wood is a less resistant and durable material than other common building systems. Currently, there are numerous preservation and protection techniques that guarantee excellent constructive applicability. There is a great prejudice that the use of wood causes great damage to the environment due to its deforestation. The production process of parts used in civil construction, when compared to concrete and steel, is cleaner, since energy consumption and waste production are lower. The idea that deforestation is caused by logging is wrong. In fact, the biggest deforestation focuses are due to the need to use the land for agriculture and livestock. In addition, there are reforestation woods, which have been proving to be an excellent sustainable alternative, especially in regions other than native forest areas, a well-known example is Eucalyptus, due to its rapid growth.

Keywords: Wood. Types of wood. Pathologies of wood. Construction.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 DESENVOLVIMENTO	7
2.1 História da madeira como material estrutural	7
2.2 Classificação e constituição das madeiras	9
2.3 Propriedades Físicas da Madeira	12
2.3.1 Umidade	12
2.3.2 Retração da madeira	14
2.3.3 Densidade da madeira	15
2.3.4 Módulos de elasticidade e rigidez	16
2.3.5 Resistência ao fogo	16
2.3.6 Durabilidade da madeira	18
2.4 Propriedades mecânicas da madeira	18
2.5 Patologia das madeiras	19
2.6 Defeito das Madeiras	22
2.7 Métodos Preservativos das Madeiras	22
2.8 Madeira como Material Sustentável	25
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A madeira foi um dos primeiros materiais utilizados pelo homem. Por estar disponível na natureza e ser de fácil acesso, o homem aprendeu a manipulação primária da madeira e evoluiu as técnicas de manejo desta até conseguir chegar às atuais tecnologias, que permitem realizar projetos cada vez mais complexos. Nos primeiros tempos, o homem utilizou a madeira aliando-a a diversos tipos de materiais, como, por exemplo, peles de animais e vegetação. Seu uso inicial foi para construir abrigos que pudessem servir de proteção das intempéries da natureza e perigos externos. Além da utilização citada anteriormente, a madeira foi fundamental para o desenvolvimento humano, pois serviu como fonte de aquecimento, luz, preparo de alimentos e já com posse das técnicas de manipulação permitiu ao homem criar armas e embarcações para auxiliar em sua sobrevivência (JUNIOR; SILVA; SOARES, 2017).

A madeira é um material muito sustentável, é renovável e sua produção gera menor quantidade de resíduos sólidos e impactos ambientais, pois apresenta baixa demanda por água e energia, maior produtividade no canteiro de obras, etc.

Estruturalmente, esse material pode ser utilizado como pilares, vigas e treliças, pois suas características, em relação à sua resistência e o seu peso, tem a capacidade de propagar as tensões, tanto de tração quanto de compressão, com isso é natural que se torne adequado para peças que estarão sujeitas a esforços de flexão, fazendo com que a madeira tenha um papel importante na construção. No entanto, há algumas restrições quanto ao comprimento do material sólido beneficiado e das suas dimensões transversais máximas (MARTINS, 2010). A tomada de consciência ecológica e a procura de um ambiente interior confortável e saudável atraem novos clientes para o único material de estrutura que é renovável.

Os objetivos deste trabalho são os de levar ao conhecimento da comunidade técnica e acadêmica, bem como do leitor consumidor de produtos da construção civil, informações relevantes a respeito do uso da madeira como material estrutural. Para isso, busca-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Apresentar as propriedades mecânicas da madeira;
- b) Apresentar as principais patologias e as técnicas de preservação da madeira;
- c) Identificar o potencial de preservação ambiental de sistemas construtivos em madeira se comparados aos sistemas convencionais.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 História da madeira como material estrutural

A história prova que o homem utiliza a madeira como matéria-prima em diversas soluções engenhosas e em suas mais diversas aplicações, tais como edifícios e pontes, máquinas industriais, instrumentos musicais, instrumentos de guerra e barcos (KUKLIK, 2008).

Como sistema construtivo, as primeiras casas em madeira datam de cerca de 4500 a 3000 a.C. e a sua construção é de autoria de agricultores (FIG. 1). Essas construções não possuíam janelas, pormenor que escapava aos agricultores e que era de difícil execução, uma vez que o ser humano ainda não sabia trabalhar o vidro. Nas casas, existia normalmente uma zona reservada à criação de gado, sendo tais casas construídas em terrenos que apresentassem declives suaves, de forma a que essa zona ficasse na parte inferior do terreno (KUKLIK, 2008).

Figura 1 – Abrigo em madeira construído pelo homem primitivo



Fonte: dreamstime¹

¹ <https://www.canstockphoto.com.br>

A estrutura que suportava o edifício era constituída exclusivamente por madeira e consistia em linhas de cinco troncos cravados no solo, onde se apoiavam vigas horizontais que serviam de suporte aos revestimentos, os quais eram colocados na cobertura, provavelmente também de plantas (FIG. 2). O tronco intermédio era o que tinha maior altura e essa altura coincidia com a linha de cumeeira da cobertura. À volta dos troncos exteriores eram entrelaçados galhos de árvore de folha caduca misturadas com argila (KUKLIK, 2008).

Figura 2 – Casa em madeira



Fonte: Cultura Mix²

Atualmente, a madeira é pouco utilizada como elemento estrutural. Acredita-se que as pesquisas sobre técnicas de preservação, sobre o comportamento mecânico desses produtos e seu uso em sistemas estruturais possam propiciar a expansão do uso da madeira como material estrutural nas construções (PFEIL, 2003).

A madeira pode ser aplicada em sua forma bruta ou roliça, que constituem as peças caracterizadas com pouco ou nenhum processamento e em sua forma beneficiada, na forma

² <https://meioambiente.culturamix.com>.

laminada ou serrada e tratada com produtos para aumentar sua durabilidade. No Brasil, estima-se que, nas construções, cerca de 80% da madeira utilizada é direcionada para usos temporários, como fôrmas de concreto e escoramentos (FIG. 3), por exemplo. Apenas os 20% restantes são aplicados de maneira definitiva para uso estrutural, na composição de esquadrias e revestimentos. A maioria das estruturas de madeira é empregada em coberturas, visto que não há a tradição de se construir edifícios de pequeno e médio porte, como ocorre em outros países (SEBRAE, 2014).

Figura 3 – Formas e escoramentos em madeira



Fonte: O autor

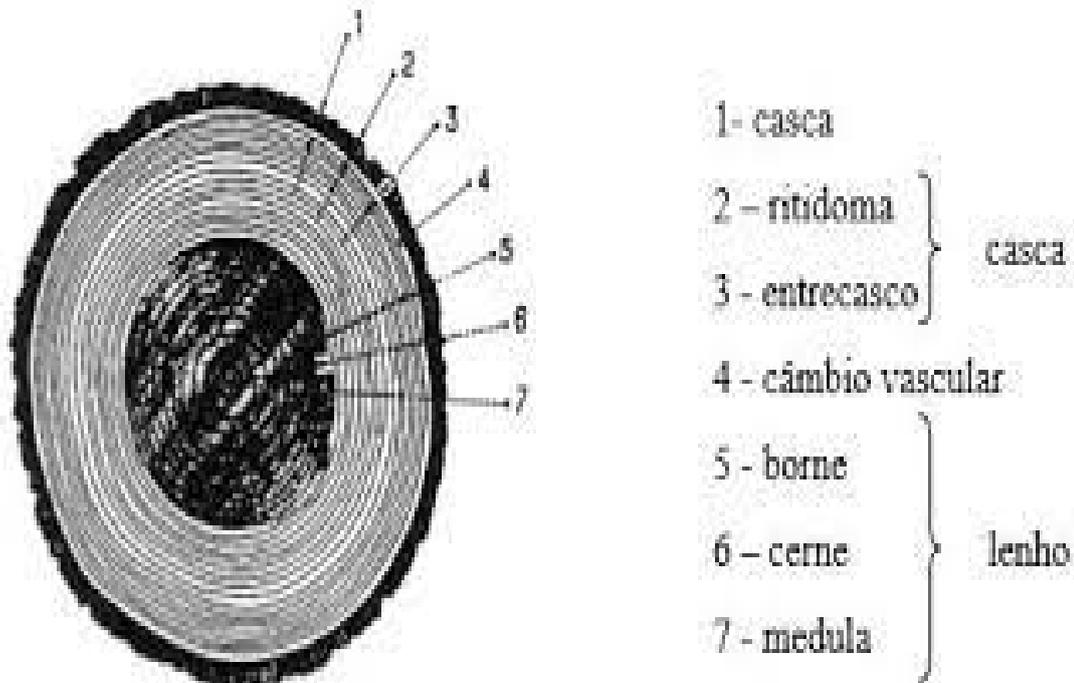
2.2 Classificação e constituição das madeiras

A madeira utilizada na construção civil, com origem nos troncos das árvores, é um material biológico, heterogêneo e anisotrópico (FARIA, 2009). Existem muitas espécies de árvores, que normalmente são enquadradas em dois grandes grupos botânicos, a saber:

angiospérmicas, vulgarmente designadas de folhosas ou madeiras duras; e gimnospérmicas, vulgarmente designadas de resinosas, coníferas ou madeiras brandas (FARIA, 2009). As árvores folhosas são de folha caduca (com forma achatada e larga) e o seu crescimento é lento, enquanto as resinosas são, à exceção de umas poucas espécies, de folha perene (com forma acicular ou escamiforme) e de crescimento rápido (PFEIL, 2003). Elencam-se seguidamente um conjunto de exemplos de espécies que se associam a esses dois grupos botânicos (FARIA, 2009):

- a) Folhosas: carvalho, castanho, eucalipto e noqueira;
- b) Resinosas: abeto, cedro, cipreste e pinheiro.

Figura 4 – Corte transversal do caule de uma árvore



Fonte: Coutinho, 1999.

A FIG. 4 apresenta as diversas camadas que compõem o tronco de uma árvore, destacam-se o borne e o cerne, pois são as partes dos troncos de árvores mais utilizadas para a produção de elementos estruturais de madeira. O borne, formado por células vivas, é responsável pelo armazenamento de alimento e pelo transporte mecânico da seiva, enquanto o cerne, composto por células mortas, promove essencialmente o suporte mecânico da árvore. Dois aspetos que distinguem estas duas camadas são a cor e a resistência à decomposição: o borne é em geral de cor mais clara e menos resistente à decomposição do que o cerne (FARIA, 2009; FAHERTY, 1999; PFEIL, 2003). A madeira para uso na construção deve ser retirada,

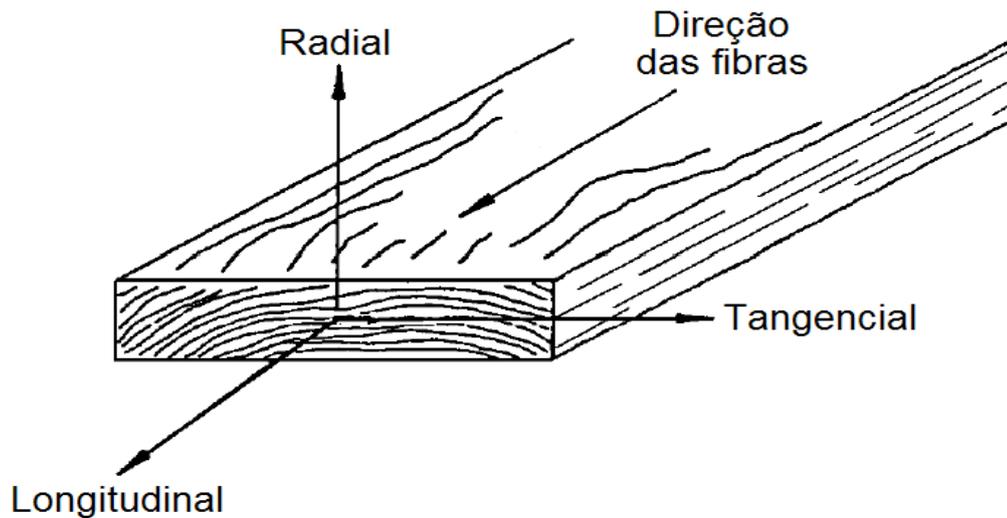
preferencialmente, do cerne, a camada mais durável (FARIA, 2009; PFEIL, 2003). Mas, em termos gerais, não se podem apontar grandes diferenças em relação às propriedades mecânicas entre o borne e o cerne: a resistência de um elemento de madeira é condicionada pelas circunstâncias que existem quando a madeira é formada e não pelas alterações que acontecem durante o crescimento da árvore (FAHERTY, 1999). Realça-se, ainda, que o borne e o cerne apresentam um teor de água equivalente e que os seus pesos são, aproximadamente, os mesmos (CWC, 2000).

As fibras da madeira são constituídas por pequenas e alongadas células em forma de tubo, podendo ser circulares ou retangulares. As paredes dessas células são constituídas por celulose, substância que é responsável pela capacidade resistente que a madeira apresenta. As fibras são ligadas por um polímero designado por lignina e estão orientadas segundo a direção longitudinal do tronco da árvore (AGHAYERE, 2007).

Além das fibras longitudinais, as árvores têm, em sua composição, o parênquima, tecido pouco resistente e cuja função é armazenar e distribuir matérias alimentícias para a árvore. As células parênquima são orientadas transversalmente, do centro do tronco (medula) para a periferia, formando as fibras radiais, denominadas raios medulares. Nas árvores frondosas, o parênquima se distribui transversalmente e longitudinalmente (AGHAYERE, 2007).

Como resultado da orientação das células, a madeira é, conforme referido inicialmente, um material anisotrópico, apresentando propriedades que variam de acordo com a direção considerada. As três direções principais a considerar são: longitudinal, radial e tangencial (FIG. 5). As diferenças mais significativas verificam-se entre as propriedades medidas na direção das fibras principais (direção longitudinal – direção paralela ao fio da madeira) e na direção perpendicular às mesmas (direção perpendicular ao fio da madeira) (PFEIL, 2003).

Figura 5 – Direções ou eixos principais a considerar na madeira



Fonte: Coutinho, 1999

2.3 Propriedades Físicas da Madeira

2.3.1 Umidade

A madeira é um material higroscópico, ou seja, é um material que perde ou ganha umidade em função do ambiente em que está inserido, nomeadamente, em função de alterações de temperatura e de umidade relativa. Essa variação do teor de água da madeira influencia seu comportamento físico e mecânico. Quando as paredes das células do material lenhoso absorvem ou adsorvem água podem ocorrer fenômenos de inchamento ou retração (CRUZ, 1997). A abordagem a esta propriedade deve ser feita introduzindo, primeiramente, os estados em que a água pode ser encontrada na madeira, sendo eles: água de constituição, água de absorção e água livre.

A água de constituição, que se mantém após os processos de secagem, encontra-se combinada quimicamente com as principais substâncias que constam do tecido lenhoso. Designa-se por madeira anidra (seca em estufa) aquela que apenas possui água de constituição (COUTINHO, 1999).

A água que se encontra absorvida pelas paredes das células do material lenhoso, que se designa por água de absorção, é responsável por variações de volume na madeira. A água de absorção provoca a expansão das paredes celulares mencionadas, promovendo um aumento considerável no volume da madeira. Estando as paredes celulares saturadas, a água começa a preencher as cavidades das células, água livre. A circulação desta água não promove alterações de volume na madeira (COUTINHO, 1999). Designam-se por ponto de

saturação das fibras (PSF) quando as paredes das células estão totalmente saturadas, mas as suas cavidades se encontram vazias, não existindo, portanto, água livre. O ponto de saturação das fibras varia de acordo com as diferentes espécies de madeira admitindo-se, no entanto, que a maioria das espécies atinge o PSF para uma percentagem de umidade de aproximadamente 30% (COUTINHO, 1999).

A secagem, que é a operação da retirada da água da madeira, pode ser considerada como uma das fases mais decisivas para o sucesso de operações industriais como para a utilização final da madeira. Essa pode ser promovida naturalmente em processo lento, onde a madeira fica exposta ao ar até atingir o equilíbrio com a umidade do ambiente em que se encontra, ou artificialmente em processo acelerado, realizado em equipamentos (estufas) próprios a essa finalidade. A redução do teor de umidade na madeira envolve gastos de energia via processos de secagem e o custo de secagem representa uma quantia significativa nos processos industriais de madeira (SILVA *et al.*, 1998).

As madeiras são classificadas quanto ao grau de facilidade de secagem, o qual se dá em função do tempo de secagem e dos defeitos após a secagem. Segundo Silva *et al.* (1998), a operação de secagem deve, além de remover uma quantidade de água pré-determinada, promover distribuição uniforme da umidade na madeira.

Um aspecto de grande relevância que está relacionado com o teor de umidade da madeira é o processo de secagem. No momento do abate, as madeiras das espécies folhosas e resinosas apresentam um teor de umidade de aproximadamente 52% e 57%, respectivamente (KARLSEN *et al.*, 1967). Salienta-se que esta percentagem pode atingir os 200% em madeiras que estejam imersas (COUTINHO, 1999).

A secagem pode ser conduzida através de diferentes processos: secagem ao ar livre (natural) ou em estufa (artificial). Durante o processo de secagem, apenas se verificam variações de volume, nomeadamente retração, quando o teor de água é inferior ao PSF. Na fase da secagem em que o valor do teor de água vai sendo superior ao PSF constata-se a redução do peso da madeira, mas sem variações dimensionais (COUTINHO, 1999).

Atendendo ao teor de água, a madeira classifica-se da seguinte forma (COUTINHO, 1999):

- a) Madeira verde – teor de água superior a 30% (acima do PSF);
- b) Madeira comercialmente seca – teor de água inferior ou igual a 20%;
- c) Madeira seca ao ar – teor de água entre 14% e 18%;
- d) Madeira dessecada – teor de água entre 0% e 14% (geralmente só recorrendo a secagem artificial);

e) Madeira anidra – teor de água de 0%

O grau de umidade da madeira depende da umidade atmosférica, variando geralmente entre 10 e 20% para a umidade relativa do ar entre 60% e 90% e a 20°C de temperatura (KARLSEN *et al.*, 1967). No Brasil e nos Estados Unidos, adota-se 12% como umidade-padrão de referência.

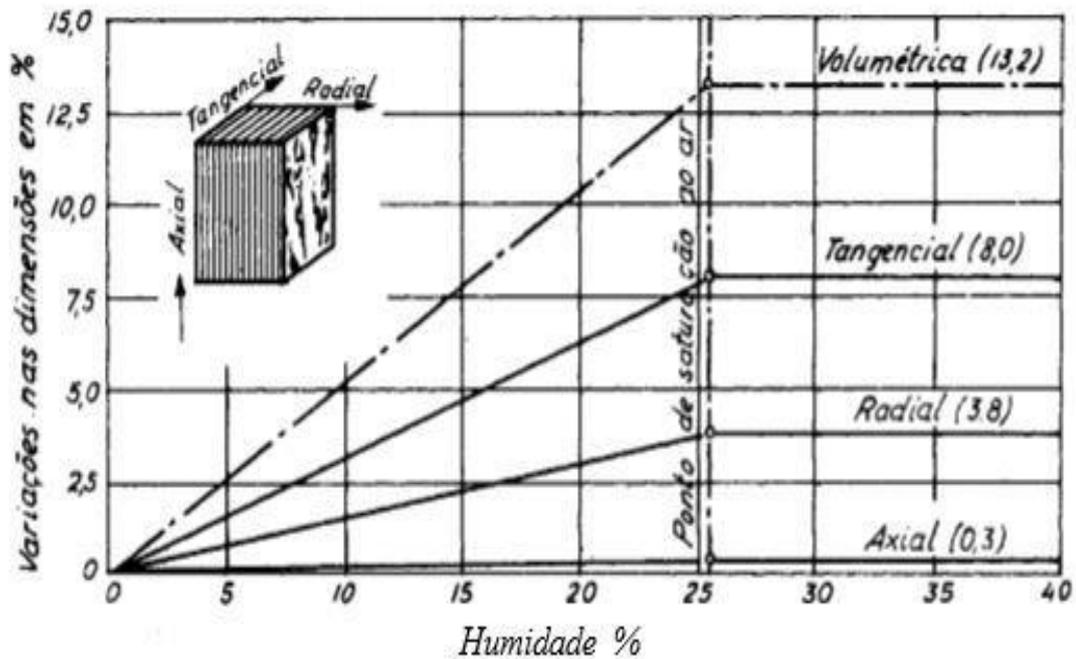
2.3.2 Retração da madeira

A variação de umidade promove, conforme já referido, alterações nas dimensões dos elementos de madeira. As madeiras são alvo de fenômenos de retração ou inchamento para variações de umidade entre 0% (estado anidro) e os 30% (PSF) (PFEIL, 2003).

O fenômeno é mais importante na direção tangencial, devido às contrações e ao inchamento da madeira. Para redução da umidade de 30% até 0%, a retração tangencial varia de 5% a 10% da dimensão verde, conforme as espécies (FIG. 6). A retração na direção radial é cerca de metade daquela na direção tangencial. Na direção longitudinal, a retração é menos pronunciada, valendo apenas 0,1% a 0,3% da dimensão verde, para secagem de 30% a 0%. A retração volumétrica é aproximadamente igual à soma das três retrações lineares ortogonais.

Figura 6 - Exemplo de curvas de retração na madeira segundo as direções axial, radial e tangencial.

PSF



Fonte: COUTINHO, 1999.

Na tentativa de combater o fenômeno de retração, podem ser tomadas algumas medidas, a saber (COUTINHO, 1999):

- a) a utilização de madeiras de retração reduzida;
- b) a impermeabilização das superfícies com o recurso a vernizes ou pinturas;
- c) o corte dos elementos ser feito segundo a direção radial.

2.3.3 Densidade da madeira

A densidade é o parâmetro físico mais importante para a caracterização das madeiras destinadas a aplicação como elemento estrutural. A densidade é definida como a relação entre a quantidade de massa e o volume de uma amostra. Além da parte sólida de uma amostra de material, o volume também engloba a parte líquida, bem como os vazios existentes (PFEIL, 2003). Logo, o valor da densidade é influenciado pelo teor de umidade do material, como a madeira apresenta teores de umidade que variam com o tempo e as condições ambientais

impostas, considerados desde o momento de sua extração, podem ser determinados quatro tipos de densidades com nomenclaturas, valores e aplicações distintas para uma mesma amostra de madeira, de acordo com Melo (2002):

- a) Densidade verde, usada para estimativa de peso para transporte;
- b) Densidade seca, para a escolha da madeira para fins energéticos;
- c) Densidade básica, comparação entre propriedades de espécies;
- d) Densidade aparente, utilizada para determinação do peso próprio das estruturas.

Para a aplicação em projetos estruturais, a densidade aparente é determinada em função de uma condição padrão de referência de teor de umidade equivalente a 12%, como citado anteriormente. Seu valor é determinado a partir do quociente entre a massa úmida e o volume úmido da amostra de madeira (PFEIL, 2003).

2.3.4 Módulos de elasticidade e rigidez

A elasticidade é o valor médio do módulo de Young compressivo (módulo de elasticidade) das fibras paralelas das madeiras e a média dos coeficientes de Poisson de várias madeiras de alta densidade e baixa densidade. A madeira apresenta diferentes módulos de elasticidade, que variam de acordo com o tipo de solicitação nas direções dos planos preferenciais das fibras em sua estrutura interna. O módulo de elasticidade longitudinal na compressão paralela às fibras (E_{W0} ou E_{C0}) é considerado o valor base para a determinação aproximada dos demais módulos de elasticidade, quando estes não são obtidos por meio de ensaios específicos (MELO, 2002).

A Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 7190 (1997) define que se pode admitir igualdade entre os valores médios do módulo de elasticidade longitudinal à compressão e à tração paralela às fibras ($E_{c0, m} = E_{t0, m}$). Além destes, podem ser definidos os módulos de elasticidade longitudinal normal às fibras (E_{90}), o módulo de elasticidade transversal (G) e o módulo de elasticidade na flexão (EM), sendo o valor deste último dependente da classe botânica da espécie de madeira.

2.3.5 Resistência ao fogo

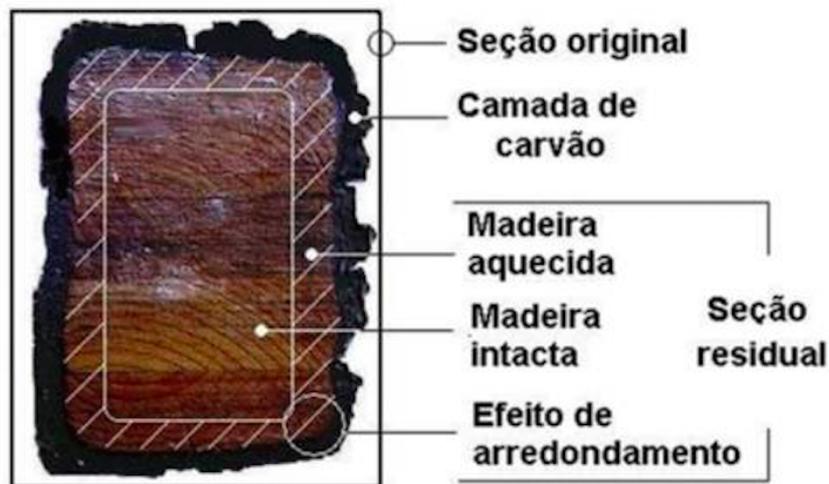
De acordo com Martins (2010), erroneamente considera-se que a madeira possua um baixo fator resistivo perante o fogo, por se tratar de um material inflamável. Todavia, mesmo

as madeiras sem tratamento, diante de temperaturas elevadas, provavelmente não tenham a sua resistência alterada, e ainda seja maior que a do aço.

Dessa forma, a madeira pode até ser a responsável por propagar o fogo em um incêndio, mas, em compensação, por ser isolante térmico, ela impede que o fogo atinja seu núcleo com rapidez. Assim, sua estrutura resistirá por mais tempo (FIG. 7), quando comparada ao aço e ao concreto (GESUALDO, 2003).

Para Gesualdo (2003), a madeira tem um aspecto interessante em relação ao comportamento diante do fogo, seu problema é a inflamabilidade. No entanto, diante de altas temperaturas, provavelmente terá maior resistência que o aço, pois sua resistência não se altera sob altas temperaturas. Assim, em um incêndio, ela pode ser responsável pela propagação do fogo, mas em contrapartida suportará a ação do fogo em alta temperatura durante um período maior.

Figura 7: Amostra de madeira carbonizada



Fonte: GESUALDO, 2003

Pode-se afirmar que as estruturas de madeira apresentam um melhor comportamento, quando expostas ao fogo, do que estruturas de concreto ou aço.

Verifica-se que a resistência do aço diminui consideravelmente quando as temperaturas atingem cerca de 300° C, enquanto a madeira consegue conservar durante algum tempo as suas resistências mecânicas numa situação em que a temperatura suba até aos 1000° C (FARIA, 2009). Além disso, a propagação das chamas na superfície da madeira pode ser reduzida através da aplicação de produtos químicos adequados (FAHERTY, 1999).

2.3.6 Durabilidade da madeira

A madeira, por ser um material orgânico, está sujeita ao ataque de diversos organismos que provocam a sua deterioração. Além disso, a cor da madeira pode ser ligeiramente alterada devido à exposição solar e a fenômenos de erosão, relacionados com a decomposição de elementos da superfície que são lixiviados pela água da chuva e que podem ocorrer em suas camadas externas (FAHERTY, 1999).

A deterioração da madeira é causada por determinados fungos que procuram certas substâncias da madeira para se alimentar. No entanto, a investida destes agentes na madeira requer que sejam reunidas simultaneamente condições propícias de umidade, temperatura, exposição ao ar e acesso à madeira. Assim, o ataque destes agentes destrutivos pode ser facilmente controlado e evitado caso se garanta um teor de água na madeira abaixo dos 20% (FAHERTY, 1999).

2.4 Propriedades mecânicas da madeira

O teor de água que a madeira possui tem uma influência muito importante na sua resistência mecânica. A resistência mecânica da madeira é máxima quando esta se encontra no estado anidro e mínimo quando se encontra saturada. Nas situações em que o teor de água da madeira é igual ou superior a 30% (PSF), observa-se que a resistência da madeira estabiliza num valor praticamente constante. Por sua vez, constata-se um aumento significativo da resistência para teores de água inferiores a 30% (COUTINHO, 1999).

A compressão na madeira pode ocorrer segundo três orientações: paralela, normal e inclinada em relação às fibras. Quando a peça é solicitada por compressão paralela às fibras, as forças agem paralelamente ao comprimento das células. As células reagindo em conjunto conferem uma grande resistência da madeira à compressão. No caso de solicitação normal ou perpendicular às fibras, a madeira apresenta resistências menores que na compressão paralela, pois a força é aplicada na direção normal ao comprimento das células, direção na qual possuem baixa resistência. Os valores de resistência à compressão normal às fibras são da ordem de $\frac{1}{4}$ dos valores de resistência à compressão paralela (SZUCS *et al.*, 2015).

O comportamento da madeira à tração pode ser analisado quanto a duas formas de solicitações: paralelamente e perpendicularmente às fibras, sendo que, para o primeiro caso, a madeira apresenta maior resistência. Quando a madeira é submetida à uma solicitação de tração perpendicular às fibras, há a tendência destas se separarem, afetando a integridade

estrutural da peça, conferindo-lhe, portanto, uma baixa resistência a este tipo de esforço. Os ensaios para a obtenção destas propriedades apresentam uma execução complicada, pois, para o caso de solicitação de tração paralela às fibras, há grandes chances de esmagamento destas pelas garras da máquina de ensaio (MELO, 2002).

Para o caso de solicitação perpendicular, os resultados apresentam muitas variações. Logo, ambos não apresentam valores de resistências muito confiáveis (SZUCS *et al.*, 2015).

No que se refere à flexão simples (FIG. 8), são considerados quatro tipos de esforços: compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e compressão perpendicular às fibras, na região dos apoios (MELLO, 2007).

Figura 8 - Comportamento mecânico da madeira à flexão



Fonte: UFPR, 2015³.

De acordo com Tsoumis (1991), os elementos estruturais de madeira, tais como coberturas, pontes e vigamentos, por exemplo, em sua maioria, tendem a sofrer esforços por flexão toda vez que há a obrigação de transpor espaços onde existe a força gravitacional. Porém, no comparativo com o metal, a madeira apresenta uma menor resistência, mas ainda assim tem superior resistência a flexão em relação aos demais tipos de materiais, que não os metálicos, tendo em vista o fato de possuir uma excelente correlação peso x resistência.

2.5 Patologia das madeiras

A madeira, quando utilizada em contato direto com o solo ou em locais com umidade elevada, fica mais propícia ao ataque de agentes biológicos, sendo os fungos os causadores da

³ <http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/02/04-Vigas.pdf>

maioria dos danos (FIG. 9). A madeira em geral tem suscetibilidade insetos como cupins, vespas e algumas espécies de besouro, e em função das condições ambientais a que é exposta, terá uma deterioração maior ou menor (BARILLARI, 2002).

Conforme Faria (2009), a água é o principal inimigo da estrutura de madeira, e as regras fundamentais a seu respeito são as seguintes:

- a) A água não deve, preferencialmente, entrar em contato com a madeira, mas se esse fenômeno ocorrer, ela deve ser eliminada rapidamente, por escoamento ou ventilação;
- b) No exterior e no interior, deve eliminar-se as infiltrações e acumulação de água e todo o tipo de causa de potenciais condensações superficiais.

A madeira se comporta de diversas formas de acordo com o ambiente. Os ambientes têm diferenças entre si no que se refere às características de umidade, insolações, aeração, temperatura e organismos xilófagos. Agindo simultaneamente sobre a madeira, essas características determinam a durabilidade natural desse material (MENDES, 1988).

Segundo Hunt e Garratt (1967), a presença de taninos e outras substâncias fenólicas complexas no lenho podem ser tóxicas aos microrganismos. Esse fato pode determinar uma maior resistência do lenho à biodeterioração.

Figura 9 - Madeira apodrecida aparecendo o corpo de frutificação de fungos



Fonte: Souza, 2017

De acordo com Santini (1988), a madeira geralmente quando é usada já não apresenta mais vida (ciclo fisiológico), por isso estará exposta à decomposição ou deterioração como qualquer ser vivo. Este efeito pode ser causado por diversos agentes, dentre eles: biológicos (bactérias, fungos, insetos, moluscos e crustáceos); físicos (fogo, calor e umidade); mecânicos (rachaduras, desgastes e deformações permanentes); químicos (substâncias ácidas, salinas), entre outros.

Os insetos (FIG. 10), por sua vez, são encontrados em árvores ainda não abatidas, enquanto outros insetos optam por árvores já abatidas ou em processo de degradação avançado. Os ataques são diversificados de inseto para inseto ou podem ser diferenciados entre grupos de insetos (MORESCHI, 1998).

Figura 10 - Madeira atacada por cupins



Fonte: 3 Folhas⁴

2.6 Defeito das Madeiras

As peças de madeira utilizadas nas construções podem apresentar uma série de defeitos que prejudicam a resistência, o aspecto ou a durabilidade. Os defeitos podem provir da constituição do tronco ou do processo de preparação das peças. Os tipos de defeitos mais comuns que se verificam em elementos de madeira são os seguintes (AGHAYERE, 2007; PFEIL, 2003):

- a) Gretas – separação entre os anéis anuais de crescimento;
- b) Nós – são resultado do crescimento dos ramos a partir do tronco da árvore;
- c) Descaio – arredondamento nas extremidades dos elementos que promove uma redução da sua área de secção transversal;
- d) Fendas – aberturas que surgem nas extremidades dos elementos devido à secagem mais rápida da superfície;
- e) Deterioração – apodrecimento da madeira devido ao ataque de fungos.

2.7 Métodos Preservativos das Madeiras

Possivelmente, a preservação da madeira de forma química é a técnica de proteção desse material mais antiga de que se tem conhecimento. Os primeiros registros remetem a Noé, que teria preservado a madeira de sua arca com piche (RICHARDISON, 1993).

O tratamento da madeira no Brasil começou a ser propagado em 1909, quando foram feitas primeiras tentativas de emprego de eucalipto como postes e que culminaram, em 1935, com a sua utilização pela Companhia Telefônica Brasileira (CTB). De lá para cá, o tratamento

⁴ <https://3folhas.com.br/meus-moveis-estao-sendo-atacados-cupins/>

de madeira evoluiu e hoje se tem uma grande variedade de métodos e produtos de preservação disponíveis para uso, sendo possível preservar uma madeira considerada de fácil apodrecimento por 40 anos, e um exemplo disto é o eucalipto (FIG. 11) (GALVÃO, 2004).

Os tratamentos têm por objetivo dotar a madeira de resistência contra a ação deterioradora de agentes bióticos (insetos, fungos, bactérias, etc.) e abióticos (intemperismo, produtos químicos, fogo, etc.), conferindo-lhe maior durabilidade (LEPAGE *et al.*, 1986). Basicamente, eles consistem em incorporar à madeira produtos químicos preservativos ou acabamentos superficiais protetores. Uma importante limitação desses tratamentos refere-se à impenetrabilidade do cerne da maioria das madeiras duras amazônicas a produtos preservativos, no entanto, essa impenetrabilidade tem, em geral, uma relação inversa com a durabilidade natural dessas madeiras, isto é, quanto mais dura e impregnável for a madeira maior é sua durabilidade natural. São vários os processos de preservação de madeiras.

Segundo Jankowsky (1990), esses processos dividem-se em 2 categorias:

- a) com pressão ou industriais: utilizam grandes recipientes cilíndricos de aço, onde, com o uso adequado de vácuo e pressão, produtos químicos com propriedades preservativas são injetados na madeira;
- b) sem pressão ou caseiros: dispensam o uso de equipamentos sofisticados e caros, possíveis de serem efetuados pelos próprios interessados, e que são capazes de economicamente proteger e aumentar a duração natural da madeira.

As formulações preservativas são divididas conforme suas características físicas e químicas, podendo ser classificadas em dois grupos; preservativos oleossolúveis e preservativos hidrossolúveis (HUNT; GARRAT, 1953).

Os preservativos oleossolúveis naturais têm como características a cor escura e um odor característico além de uma viscosidade alta em temperatura ambiente. A maioria é resistente à lixiviação e ótimo inseticidas e fungicidas. Normalmente modificam a cor original das peças de madeira, impedindo, assim, a aplicação de acabamento com tintas e vernizes (SILVA, 2007).

Figura 11 - Usina de tratamento de eucalipto



Fonte: GALVÃO, 2004

Os preservativos hidrossolúveis são formados de um ou mais componentes tóxicos. Em teoria, quanto mais compostos químicos em um só produto, maior será sua eficiência e maior a abrangência de espécies de fungos e insetos. Por outro lado, a combinação de muitos produtos químicos pode vir a gerar uma reação contrária à esperada e não conseguir certas características de preservativo da madeira (MENDES, 1988).

Os preservativos químicos hidrossolúveis são à base de água. Os sais presentes nos preservativos hidrossolúveis têm uma grande vantagem de ordem prática e econômica: a sua comercialização em pó ou pasta, de forma concentrada, sendo sua diluição feita apenas antes do uso (SILVA, 2007).

É possível destacar o cloreto de zinco cromatizado, cujo desenvolvimento se deu com o intuito de diminuir a lixiviação e o efeito de corrosão em metais do cloreto de zinco puro, sendo usado em larga escala, em decorrência da escassez de óleo volátil, depois da Primeira Guerra Mundial. O desenvolvimento de novas formulações mais eficientes deixou sua utilização bem abaixo da média nos últimos anos. Ainda assim, é utilizado em baixa quantidade por causa de suas características combinadas, ou como preservativo e como retardante de fogo (MORESCHI, 2005).

O cloreto de zinco é um preservativo de ótima fixação nas peças de madeira, causa pequena corrosão, e não é utilizado nas peças de madeira que estejam sendo usadas em lugares com temperaturas elevadas e baixas umidades relativas, porque tais características climáticas levariam a madeira a se degradar quimicamente (SILVA, 2007). Em sua formulação, contém 75% de cloreto de zinco e 22% de dicromato de sódio (ROCHA, 2001).

Mesmo assim, se comparando com Alemanha, Suíça, Estados Unidos da América e Finlândia, o Brasil ainda é tido como um país que se utiliza pouco das vantagens dos novos métodos para conservação de produtos de madeira. Uma das causas a que se atribui o pouco uso de madeira preservada no Brasil é a dificuldade de produtores acessarem conhecimentos

sobre as diferentes técnicas e produtos indicados como de eficiência comprovada (SILVA, 2007).

2.8 Madeira como Material Sustentável

Conforme Martins (2010), a madeira se trata de um material muito sustentável e de grande importância, levando-se em consideração as inúmeras utilidades desse elemento, no que se refere ao uso na construção civil. Estruturalmente, esse material pode ser utilizado como pilares, vigas e treliças, pois suas características, em relação a sua resistência e o seu peso, tem a capacidade de propagar as tensões, tanto de tração quanto de compressão. Com isso, é natural que se torne adequado para peças que estarão sujeitas a esforços de flexão, fazendo com a madeira tenha um papel importante na construção. No entanto, há algumas restrições quanto ao comprimento do material sólido beneficiado e das suas dimensões transversais máximas.

Já a definição de Desenvolvimento Sustentável mais utilizada foi cunhada em 1987 pela Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Comissão Brundtland. Pode-se dizer que Desenvolvimento Sustentável é o tipo de desenvolvimento que atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem a suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987).

Segundo o Guia da Sustentabilidade (CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2008), qualquer empreendimento humano para ser sustentável deve atender, de modo equilibrado, a quatro requisitos básicos:

- a) Adequação ambiental;
- b) Viabilidade econômica;
- c) Justiça social;
- d) Aceitação cultural.

Por ser um material leve e ao mesmo tempo resistente, a madeira é constantemente utilizada para fins estruturais e de sustentação, principalmente na construção civil, onde é aplicada em quase todas as etapas do processo. Porém, durante décadas, com o avanço de técnicas de construção, como o concreto armado, o uso da madeira ficou restringido à forma temporária nos canteiros de obra, e ao uso definitivo apenas em esquadrias, pisos, forros, coberturas e mobiliários. Sabe-se que o Brasil, além da grande extensão territorial, é um país muito rico em recursos naturais, boa parte deles renováveis, onde a indústria de madeira de

reflorestamento ligada à construção civil tem um amplo espaço para crescimento (CARTENSEN, 2016).

Desde sua descoberta, o Brasil, país rico em florestas nativas, vem convivendo com a exploração destes recursos, frequentemente conduzida de maneira não racional. Isto provocou, a partir da segunda metade do século XX, crises ambientais, localizadas principalmente nas regiões sul e sudeste com o constante avanço da fronteira agrícola, dada a não reposição da cobertura florestal (CARTENSEN, 2016).

No Brasil, a possibilidade de reposição da cobertura florestal está disponível pelo sistema FSC (*Forest Stewardship Council*) e pelo INMETRO, através do selo CERFLOR – Sistema de Certificação Florestal Brasileiro. Mesmo que se pague um pouco mais por uma peça de madeira certificada, tem-se a expectativa de se estar contribuindo para a diminuição de práticas predatórias e incentivando o uso de madeira de crescimento rápido, de qualidade e, ao mesmo tempo, a preservação das florestas nativas brasileiras. Uma das maneiras de se avaliar o impacto de uma construção é o cálculo da Energia Incorporada dos materiais usados naquela construção.

A Energia incorporada (TAB. 1), leva em conta todos os estágios nos quais a energia é utilizada. Um valor preciso será obtido se forem considerados todos os somatórios de energia usada para a extração dos materiais brutos, transporte, processamento, energia de fabricação, transporte e energia usada *in loco* para instalar o produto.

Tabela 1 - Energia incorporada de materiais de edificação

ENERGIA INCORPORADA DE MATERIAIS DE EDIFICAÇÃO				
	Valor baixo	Valor alto	Valor baixo	Valor alto
	GJ tonelada ⁻¹		GJm ⁻³	
Aço (perfis de aço)	24,00	59,00	190,00	460,00
Vidro	13,00	31,00	34,00	81,00
Tijolos	1,00	9,40	1,70	16,00
Cimento	4,30	7,80	7,80	11,70
Reboco	1,10	6,70	1,30	8,00
Madeira (pinho tratado)	0,52	7,10	0,26	3,60
Agregados naturais	0,03	0,12	0,05	0,93

Fonte: Building Research Establishment, 1994 - Adaptado pelos autores.

GJ = gigajoule, uma unidade de energia, 1 GJ=278KWh

Espera-se que, com a tendência das construções voltadas aos preceitos da Sustentabilidade, o uso da madeira seja aumentado. Sugere-se também o uso da madeira local, para que grandes distâncias sejam evitadas e o baixo impacto ambiental inerente a este tipo de material não seja traduzido em altos valores de energia incorporada.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira faz parte da construção tradicional em todo o mundo. Na verdade, desde o início da humanidade a madeira tem sido utilizada e trabalhada pelo homem. Acompanhando a evolução humana, a madeira foi se adaptando às necessidades do homem, tendo neste percurso passado por vários progressos técnicos e tecnológicos, que a tornaram um material de potencialidades renovadas na área da construção.

De um modo geral, o setor da construção civil ainda não se encontra totalmente sensibilizado para o uso da madeira como parte integral da estrutura de edifícios. Num mercado fortemente tradicional no uso de alvenaria e concreto, essa tendência parece estar a mudar, gradualmente, dadas as vantagens inerentes ao uso da madeira.

O desenvolvimento tecnológico da indústria da madeira propiciou o aparecimento e/ou aperfeiçoamento de sistemas construtivos, assim como o surgimento de novos produtos derivados de madeira. O incremento das potencialidades de utilização desta matéria-prima fez com que a industrialização das construções das casas de madeira despertasse e consigo novos processos de produção surgissem.

Uma grande vantagem de edificações em madeira é o fato que este material é o único material renovável na natureza, podendo ser feito o correto manejo no plantio de árvores, aliado com tecnologias avançadas no desenvolvimento de sementes modificadas geneticamente, assim promovendo um crescimento rápido de árvores.

A madeira alia um agradável aspecto visual com um bom desempenho estrutural, e, de posse dos diversos métodos de conservação e tratamento hoje disponíveis no mercado, pode se tornar um sistema construtivo alternativo, moderno, sustentável e seguro.

REFERÊNCIAS

- AGHAYERE, A. Vigil, J. **Structural Wood Design**: A practice-oriented approach using the ASD method. John Wiley e Sons, Inc.: Nova Jérсия, Estados Unidos da América, 2007.
- BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero pinus tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo – USP. Piracicaba, 2002.
- CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.
- COUTINHO, J. de S. **Materiais de construção 1: Madeiras**. Porto: Federal de Engenharia da Universidade do Porto, 1999.
- CRUZ, H.; RODRIGUES, M. **Humidade da madeira**. Lisboa: LNEC, 1997. Série Madeiras para Construção, Ficha M9.
- CWC – Canadian Wood Council. **Green by design: renewable, durable, sustainable wood**. Ottawa, 2000.
- FAHERTY, K. F; WILLIAMSON, T. G. **Wood engineering and construction handbook**. Nova Iorque: McGraw-hill, 1999.
- FARIA, J. A. Patologias das construções com madeira. Sugestões de intervenção. **Anais [...]** PATORREB 2009, 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação dos Edifícios, p. 51-58, 2009.
- GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; DE MATTOS, P. P. Processos práticos para preservar a madeira. **Embrapa Florestas - Documentos (INFOTECA-E)**. [documento digital]. 2004.
- GESUALDO, F.A.R. **Estruturas de madeira – Notas de aula**. Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 98p.
- HUNT, G.M.; Garratt, G.A.. **Wood preservation**, 2. cd. McGraw Hill, New York. 1953.
- HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Wood preservation**. 3. ed. New York: McGraw-Hill. 1967.
- JANKOWSKY, I. P. Fundamentos de secagem de madeiras. **Documentos florestais**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1990.
- JÚNIOR, C. R. C.; SILVA, W. R.; SOARES, P. T. M. L. USO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Projectus**, v. 2, n. 4, p. 79-93, 2017.
- KARLSEN, B. *et al.* **Wooden structures**. Moscow: Mir Publishers, 1967. 638p.
- LEPAGE, E. S. *et al.* Métodos de tratamento. In: LEPAGE, E. S., (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 2.
- MALITE, M. **Projeto de uma passarela de pedestres em estrutura de madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MARTINS, T. F. R. M. **Dimensionamento de Estruturas em Madeira - Coberturas e Pavimentos**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. 2010.

MELLO, A. **Projetar em madeira uma nova abordagem**. Brasília, 2007.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/LPF, 1988. 57 p.

MORESCHI, J.C Apostila de Biodegradação da Madeira. p 4-6 1998.

PFEIL, W. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003

ROCHA, R. M. **Taxas de recrutamento e mortalidade da floresta de terra firme da bacia do Rio Cuieiras na região de Manaus-AM**. Manaus, AM. 2001. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2001.

SILVA, D. A.; TOMASELLI, I.; IWAKIRI, S. Influência da umidade na resistência da linha de cola e estabilidade dimensional do compensado utilizando resina de alta reatividade. **Scientia Forestalis**, n. 54, p. 69-80, 1998.

SILVA, J. C. et al. Influência de idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 31, p. 1081-1090, 2007.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Utilização da madeira certificada na construção civil: um diferencial**. 2014.

SZÜCS, C. A. *et al.* **Estruturas de madeira**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, 2006 [documento digital].

RICHARDSON, B.A. **Wood preservation**. Lancaster, The Construction Press. 1993.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.