

Umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus* Spp. para o município de Montes Claros, Minas Gerais

Estimate of the equilibrium moisture of wood *Eucalyptus* Spp. for the municipality of Montes Claros, Minas Gerais

Estimación de la humedad de equilibrio de la madera *Eucalyptus* Spp. por el municipio de Montes Claros, Minas Gerais

Recebido: 30/05/2022 | Revisado: 23/06/2022 | Aceito: 25/06/2022 | Publicado: 05/07/2022

Edy Eime Pereira Baraúna

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9592>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: ebarauna@ufmg.br

Sâmara Magdalene Vieira Nunes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7699-3473>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: samaramvnunes@hotmail.com

Rayane Ferreira Nunes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6866-2217>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: rayane.ferreira.nunes@outlook.com

Thalles Loiola Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5893-2589>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: thallesdias@ufmg.br

Talita Baldin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4461-5974>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: talitabaldin@ica.ufmg.br

Marina Donária Chaves Arantes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4711-7121>
Universidade Federal de São João del-Rei, Brasil
E-mail: mdonariac@ufsj.edu.br

Thiago Campos Monteiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3819-7035>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: thiago.monteiro@ufpr.br

Selma Lopes Goulart

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1324-4931>
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
E-mail: selma.goulart@ufr.edu.br

Resumo

O conhecimento da umidade de equilíbrio da madeira (UEM) no local em que a madeira será aplicada é importante para que seus efeitos não comprometam o uso final da peça. Objetivou-se determinar a UEM de *Eucalyptus* em câmara climática e compara-los com a equação de Simpson (1971), determinar os teores de extrativos e sua influência sobre a UEM. Utilizaram 42 amostras de dois clones, metade foram submetidas à secagem natural, as demais à secagem artificial e em seguida dispostas na câmara climática. A câmara foi utilizada para determinar a UEM com condições típicas da região e a equação de Simpson para estimar a UEM a partir das médias mensais de temperatura e umidade relativa (UR). Para remoção dos extrativos aplicou-se três solventes: acetona, diclorometano e água milli-Q. Observa-se nos resultados que as médias de UEM tiveram valores mais próximos aos estimados pela equação de Simpson nas condições onde a UR simulada era próxima a 72%, a proximidade reduzia em função da queda da UR. Com a temperatura, um efeito similar ao da UR foi notado, a medida em que ela foi reduzida a diferença entre o estimado e observado aumentou. As amostras inicialmente secas em estufa apresentaram valores de UEM mais próximos aos estimados. A acetona mostrou-se com maior poder de extração. Conclui-se que valores médios de UEM mais próximos aos estimados por Simpson foram em condições de maior temperatura e UR 30°C e 72%. Os extrativos apresentaram comportamento polar e a UEM média para Montes Claros foi de 12,42%.

Palavras-chave: Adsorção; Dessorção; Secagem; Equação de Simpson; Extrativos.

Abstract

The equilibrium moisture content of wood (EMU) in the place where the wood will be applied is important so that its effects do not compromise the final use of the piece. The objective was to determine the EMU of Eucalyptus in a climatic chamber and compare them with Simpson's equation (1971), to determine the extractive contents and their influence on the EMU. They used 42 samples of two clones, half were submitted to natural drying, the others to artificial drying and then arranged in the climate. The chamber was used to determine the EMU with conditions typical of the region and Simpson's equation to estimate EMU from monthly averages of temperature and relative humidity (RH). To remove the extractives, it was applied three solvents: acetone, dichloromethane and milli-Q water. It was observed in the results that the EMU averages had values closer to those estimated by the Simpson equation in conditions where the RH simulated was close to 72%, the proximity reduced as a function of the RH drop. With temperature, an effect similar to that of RH was noticed, as it was reduced the difference between the estimated and observed increased. The samples initially oven-dried showed EMU values closer to those estimated. Acetone was shown to have the highest extraction power. It is concluded that the mean values of EMU closer to those estimated by Simpson in conditions of higher temperature and RH 30°C 72%. The extractives showed behavior polar and the average EMU for Montes Claros was 12.42%.

Keywords: Adsorption; Desorption; Drying; Simpson's equation; Extractives.

Resumen

El contenido de humedad de equilibrio de la madera (EMU) en el lugar donde se aplicará la madera es importante para que sus efectos no comprometan el uso final de la pieza. El objetivo fue determinar las EMU de Eucalipto en cámara climática y compararlas con la ecuación de Simpson (1971), para determinar los contenidos extractivos y su influencia en la EMU. Se utilizaron 42 muestras de dos clones, mitad se sometieron a secado natural, los demás a secado artificial y luego dispuestas en el clima. La cámara se utilizó para determinar la UEM con condiciones típicas de la región y Ecuación de Simpson para estimar EMU a partir de promedios mensuales de temperatura y humedad relativa (HR). Para eliminar los extractivos, se aplicó tres disolventes: acetona, diclorometano y agua milli-Q. Se observó en los resultados que los promedios de la EMU tuvieron valores más cercanos a los estimados por la ecuación de Simpson en condiciones donde la HR simulada fue cercana al 72%, la proximidad se redujo en función de la caída de la HR. Con la temperatura se notó un efecto similar al de la HR, ya que se redujo la diferencia entre lo estimado y lo observado aumentó. Las muestras inicialmente secadas al horno mostraron valores de EMU más cercanos a los estimados. Se demostró que la acetona tiene el mayor poder de extracción. Se concluye que los valores medios de EMU más cercanos a los estimados por Simpson en condiciones de mayor temperatura y HR 30°C 72%. Los extractivos mostraron comportamiento polar y la UEM media para Montes Claros fue 12,42%.

Palabras clave: Adsorción; Desorción; Secado; Ecuación de Simpson; Extractivos.

1. Introdução

A madeira caracteriza-se como um material de natureza higroscópica, portanto capaz de realizar facilmente troca de umidade com o ambiente (Cassiano et al., 2013). Ao decorrer do tempo ocorre a estabilização deste processo, ou seja, o material atinge o equilíbrio com o ambiente, nesse momento se define a umidade de equilíbrio da madeira (UEM) (Souza et al., 2019). Souza et al 2016 definem que este fenômeno se compreende como o equilíbrio que ocorre quando a pressão interna do vapor d'água na parede celular tende a ser igual à pressão externa de vapor d'água.

A obtenção dos valores deste parâmetro apresenta-se como fator de auxílio para previsão da alta performance de trabalhabilidade da madeira quanto sua aplicabilidade. Sendo possível estabelecer a previsibilidade da contração e inchamento da madeira quando exposta às condições de temperatura e umidade diferentes daquelas as quais foi processada (Martins et al., 2003). Além destes fatores, por envolver os processos de adsorção e desorção da água, o conhecimento da umidade de equilíbrio auxilia para prevenção de outros defeitos como empenamentos, arqueamentos e rachaduras que podem comprometer a utilização da peça.

A umidade de equilíbrio é um parâmetro dependente das variações sazonais da temperatura do ar (T) e de umidade relativa do ar (UR) da região em que o material se encontra (Alvares et al., 2017). Além dos fatores meteorológicos, as características intrínsecas da madeira também exercem influência direta na UEM, como a estrutura anatômica e a composição química, que podem variar entre espécies, entre árvores da mesma espécie e na madeira de uma mesma árvore, considerando essas variações nos sentidos base-topo (axial) e medula-casca (radial) (Galvão, 1975).

Em relação a composição química, os extrativos caracterizam-se como materiais orgânicos, e sua extração da madeira pode ser realizada com o uso de água, solventes orgânicos neutros, ou vapor. Constituem substâncias lipofílicas de baixa massa molecular, sendo possivelmente compostos de terpenos, ligninas, estilbenos, flavonoides e diversos outros agrupamentos aromáticos, além de gorduras, ceras, ácidos graxos, álcoois, esteroides e hidrocarbonetos de elevada massa molecular (Sarto & Sansigolo, 2010).

Conforme Barbosa et al., 2005 existem extrativos polares, capazes de interagir com as moléculas de água, apresentando interferências em mecanismos que dependem da absorção de água. Os extrativos lipofílicos impedem a absorção e desorção de água da parede celular, devido à falta de afinidade química com a água (Kim et al., 2008; Shebani, et al., 2008; Sheshmani, 2013). Diante de sua interferência nos mecanismos de adsorção e desorção da água, o estudo dos extrativos torna-se um aliado fundamental no entendimento da umidade de equilíbrio da madeira.

As madeiras do gênero *Eucalyptus* spp. apresentam um rápido crescimento, alta produtividade, e características que proporcionam o uso em diversos setores da indústria. No entanto, apresentam dificuldades no processo de secagem, devido a tensões de crescimento e da retratabilidade e, em consequência há o surgimento de defeitos na madeira, em que são ocasionados majoritariamente em função da sua grã espiralada.

Desta forma, a secagem é de extrema importância para evitar o desenvolvimento de problemas na peça de madeira (Rosso; 2006) e quando realizada até determinado teor de umidade médio entre os valores máximo e mínimo de umidade de equilíbrio para o local em que a madeira será utilizada há contribuição para reduzir a variação dimensional decorrente das variações ambientais de umidade do ar (Jankowsk, 1985).

A determinação da umidade de equilíbrio para o local em que a madeira será empregada, pode ser realizada por meio da exposição do material às condições ambientais de temperatura e umidade relativa ou através de ensaios de campo, secador artificial, câmara climática, ou estimada por meio de equações (Mendes & Arce, 2003; Baraúna & Oliveira, 2009).

Objetivou-se no presente trabalho determinar a umidade de equilíbrio de *Eucalyptus* spp. para o município de Montes Claros, Minas Gerais e comparar com os valores estimados pela equação de Simpson (1971), além de determinar os teores de extrativos e sua influência na UEM.

2. Metodologia

Obtenção da Madeira e Preparo dos Corpos de Prova

A madeira de híbridos de *Eucalyptus urophylla* utilizada neste experimento foi proveniente de um plantio experimental Agrossilvipastoril com quatro anos de idade, localizado no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), em Montes Claros, Norte de Minas Gerais, campus da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Segundo Martins et al. (2018), o presente local apresenta, segundo a classificação de Köppen, clima característico do tipo Aw (clima tropical, com inverno seco). é quente todos os meses, com uma estação chuvosa e outra seca.

Foram utilizadas quatro árvores de dois clones (B e D) de *Eucalyptus urophylla*, sendo duas árvores representando cada material genético. As amostras foram retiradas de diferentes partes do tronco (base, meio e topo) e uniformizadas com as dimensões respectivas 2,0 cm x 2,0 cm x 2,0 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, totalizando 42 repetições. Das amostras, 21 foram submetidas à secagem natural e as demais 21 amostras foram submetidas à secagem artificial em estufa a 60°C, e em seguida colocadas em câmara de climatização. Inicialmente acondicionadas a 20°C de temperatura e 60% de umidade relativa para que fossem estabilizadas a 12% de umidade de equilíbrio. Tal procedimento foi necessário a fim de que todas as amostras estivessem uniformizadas para uma mesma faixa de umidade.

Ensaio em Câmara Climatizada

A câmara de climatização foi utilizada para determinar a umidade de equilíbrio da madeira simulando condições de temperatura e umidade relativas típicas da região (Tabela 1). Para isto, foram analisados dados climatológicos da cidade de Montes Claros – MG, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos últimos vinte e seis anos (1992 a 2016). Para estipular as temperaturas que foram utilizadas neste estudo, foi feita uma média das temperaturas mínimas e máximas do banco de dados; e para definir as umidades relativas que representem bem a cidade, foi feita uma média para cada ano e utilizadas os maiores e os menores valores obtidos, enquanto a umidade relativa intermediária foi obtida através de uma média dos vinte e seis anos analisados.

Tabela 1 - Condições de temperatura (°C) e umidade relativa (%) nas condições de Montes Claros e umidade de equilíbrio (%) estimada por meio da equação de Simpson (1971).

Condição	Temperatura (°C)	Umidade Relativa%	Umidade de Equilíbrio (%)
1	30	72	13,36
2	30	64	11,46
3	30	54	9,54
4	18	72	13,88
5	18	64	11,95
6	18	54	9,98

Fonte: Autores.

A estimativa da umidade de equilíbrio foi obtida através da equação estimada através da Equação de Simpson (equação 1), a partir das médias mensais de temperatura e umidade relativa.

$$UE = \left[\frac{K_1 K_2 h}{1 + K_1 K_2 h} + \frac{K_2 h}{1 - K_2 h} \right] \frac{1800}{W} \quad \text{equação 1}$$

em que:

UE= umidade de equilíbrio da madeira (%)

$K_1 = 4,737 + 0,04773.T - 0,00050123.T^2$

$K_2 = 0,705941 + 0,001698.T - 0,000005553.T^2$

$W = 223,384 + 0,6942.T + 0,0185324.T^2$

T = temperatura em graus Celsius

h = pressão relativa de vapor d'água

Para que ocorresse a mudança de uma condição (Tabela 1) para outra dentro da câmara climática, determinou-se a massa do material periodicamente até a estabilização, ou seja, quando a diferença entre as pesagens atingisse peso menor ou igual a 0,02g. Para isto, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos após serem retiradas da câmara, para que não houvesse absorção de umidade com o ambiente.

Ao final do processo de pesagem das amostras, estas foram completamente secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e, a umidade de equilíbrio calculada para cada condição nas quais as amostras foram submetidas a partir da equação de Skaar (equação 2), sendo:

$$UE = \frac{MC-MS}{MS} \times 100 \quad \text{equação 2}$$

em que:

UE = umidade de equilíbrio (%)

MC = massa estabilizada (g)

MS = massa seca (g)

Os valores da umidade de equilíbrio obtidos na câmara de climatização foram comparados com os valores estimados a partir da fórmula de Simpson (1971).

Teores de Extrativos da Madeira

Para determinação do teor de extrativos na madeira, as amostras foram trituradas com o moinho de facas tipo Willey e peneiradas para obtenção de serragem com granulometria 40-60 mesh. Em seguida, foram confeccionados cartuchos de papel de filtro, nas dimensões de 22 cm x 14 cm e em cada cartucho adicionou-se cerca de 2 g de serragem. O processo foi realizado em aparelho tipo “Soxhlet” durante seis horas utilizando três solventes: água milli-Q, acetona e diclorometano. Ao final do processo, o solvente foi retirado sob pressão reduzida em evaporador rotatório e os resíduos de madeira obtidos foram pesados para então quantificar a porcentagem dos extrativos em cada solvente conforme a Tappi (equação 3):

$$\% \text{ extrativos} = \frac{Pb2 - Pb1}{Pa} * 100 \quad \text{equação 3}$$

em que:

% extrativos= Porcentagem de extrativos

Pa= peso da amostra

Pb1= peso do balão seco em estufa

Pb2= peso do balão com extrativos

Para análise comparativa dos valores obtidos, tratando-se de amostras independentes, verificou-se a normalidade e homoscedasticidade das amostras. Posteriormente aplicou-se o teste T de Student não pareado.

3.Revisão de literatura

3.1 *Eucalyptus* sp.

O Brasil possui uma extensa área de floresta plantada, em 2020 o país somou 9,5 milhões de hectares em área de reflorestamento, sendo 78% desse total de plantios de eucalipto, demonstrando a importância do gênero para o setor florestal no país (Ibá, 2021). As espécies do gênero *Eucalyptus* possuem alta adaptabilidade às condições ambientais do Brasil, apresentando consequentemente, um alto crescimento, alta produtividade e características homogêneas para os diversos usos na indústria.

Composto por cerca de 700 espécies, o gênero *Eucalyptus* apresenta facilidade adaptativa às diversas condições edafoclimáticas e, por conta disso está entre as mais importantes fornecedoras de matéria-prima para diferentes setores da produção florestal, sendo 34% está destinada a indústria de celulose e papel, 29% são de pequenos e médios proprietários, 14% pertence à parcela de siderurgia e carvão vegetal, 10% são de investidores financeiros, 6% faz parte do setor de painéis de madeira e pisos laminados, 4% são de produtos sólidos de madeira e 3% são de outros produtos florestais (Brito et al., 1984; Ibá, 2021). Ainda, aspectos como ritmo de crescimento, ambiente e fatores genéticos interferem na estrutura química e anatômica da madeira (Finger & Schneider, 1999).

De maneira geral, a madeira de eucalipto caracteriza-se por possuir pouco brilho, grã direita à reversa, textura fina a média; macia à moderadamente dura ao corte. A classificação da sua massa específica aparente varia entre leves até pesadas, possuindo variações de aproximadamente 0,40 a 1,20 g/cm³. Existe um grande espectro de propriedades associado às madeiras de eucalipto em função das diferentes espécies que são facilmente cultivadas no país, tem-se desde madeiras leves e de baixa

durabilidade, até aquelas aptas às 26 utilizações estruturais e de relativa durabilidade, mesmo sem passarem por tratamentos preservativos (Oliveira., 1999).

Conhecida pela quantidade de defeitos, a madeira proveniente do eucalipto apresenta tensões de crescimento que pode provocar defeitos como empenamentos e rachaduras. Em decorrência da dificuldade de secagem da madeira do gênero, Monteiro et al. (2017) concluíram que fatores como dimensão de toretes, anatomia da madeira, densidade e água adsorvida influenciaram na secagem das amostras. Além disso, as temperaturas de secagem podem reduzir ou provocar ainda mais defeitos, como rachaduras, redução da resistência mecânica e alterações de cor (Severo, 2000; Zannuncio et al., 2017).

Pinheiro (2013) aborda que a secagem da madeira de eucalipto é uma das fases mais importantes para o processo produtivo envolvendo essa madeira, pois ao proporcionar a redução da massa de água presente na madeira, reduz-se os custos com transporte e para carbonização há aumento do rendimento gravimétrico, redução no tempo de carbonização e da geração de finos, além da redução na emissão de gases poluentes. Para produção de móveis, a madeira necessita estar seca para receber acabamentos superficiais como pintura ou envernizamento, pois poucas tintas e vernizes aderem convenientemente à superfície úmida da madeira. Além disto, a umidade exercer pressão ao evaporar e pode causar bolhas e rachaduras na superfície acabada (Gomide, 1974).

3.2 Relação água, madeira e ambiente

3.2.1 Umidade de Equilíbrio da Madeira (UEM)

A madeira, por ser um material higroscópico, está em frequente troca de umidade com o ambiente, fazendo com que esta forneça (dessorção) ou retire (adsorção) água do meio em que se encontra. Desta forma, existem dois tipos de água presente na madeira: a água livre, ou de capilaridade, que está localizada no lúmen das células, vasos, entre outros, e é a primeira água a ser perdida no processo de secagem; e a água adsorvida, presa ou higroscópica, que se encontra no interior das paredes celulares na forma de vapor e é mais difícil de ser retirada (Remade, 2006).

Com isso, a umidade de equilíbrio da madeira (UEM) é definida como o equilíbrio entre o ar atmosférico e a umidade da madeira. Tal medida sofre influência principalmente da temperatura e umidade relativa, além dos extrativos da espécie e da exposição à secagem. Conhecer as propriedades higroscópicas auxilia no correto uso da madeira, evitando defeitos como rachaduras, empenamentos, inchamentos, contrações, entre outros que afetam a resistência mecânica do material (Eleotério *et al.* 1998).

Conforme Fioresi et al. (2014), a variação diária da temperatura e umidade relativa podem causar rachaduras e oxidação de componentes químicos, e a longo prazo comprometer a qualidade do material com empenamentos, contrações, entre outros. Em decorrência de tais aspectos, a secagem ao ar livre em locais secos tende a gerar maiores defeitos na madeira, enquanto que em locais de maior umidade a secagem pode ser mais demorada, tornando o processo pouco viável (Martins et al., 1985).

Os extrativos, que são substâncias acidentais da madeira e não fazem parte da parede celular ou da lamela média, possuem baixa massa molecular e fornecem a madeira cor, cheiro, resistência ao ataque de xilófagos, diminuição da permeabilidade e da higroscopicidade, além de alterarem sua estabilidade dimensional (Lopes, 2018). Apesar da pequena quantidade de extrativos, estes influenciam nos diversos processos da indústria florestal, como na fabricação de pastas celulósicas, na colagem de tábuas, na qualidade do carvão vegetal, além do processo de secagem da madeira (Silvério et al., 2007; Lima et al., 2007; Rousset et al., 2011).

Devido ao comportamento higroscópico e anisotrópico, alterações no material madeira devido às trocas de umidade com o ambiente até se estabelecer o equilíbrio podem vir a acontecer. Tais alterações não são desejadas e para que aconteça a

minimização destas, normalmente seca-se o material até um teor de umidade médio entre os valores máximo e mínimo da umidade de equilíbrio para o local em que ficará em serviço (Peck, 1965).

3.2.2 A teoria da sorção da água na madeira

A sorção está relacionada às diversas maneiras que a água se encontra na madeira. A água adsorvida ou de constituição é aquela que faz parte dos constituintes químicos e sua retirada acontece após degradação térmica. A água livre é aquela que está presente nos espaços vazios do material lenhoso e sua saída afeta apenas a massa da madeira (Moreschi, 2014). A sorção sofre influência das características químicas e anatômicas da madeira e, a redução da umidade afeta a resistência mecânica do material. Além disso, a UEM, em condições iguais de temperatura e umidade relativa, é sempre maior na desorção que na adsorção, e a diferença entre tais umidades é caracterizada pelo fenômeno da histerese, em que o ganho de água pela madeira é um processo mais lento que a perda por evaporação (Moreschi, 2014).

Existem duas formas de estimar a UEM: por meio de equações ou através de ensaios reais de umidade e temperatura (em que o material fica exposto às condições do ambiente por determinado período de tempo).

3.2.2.1 Equações para estimativa da UEM

Para o cálculo da UEM, as equações utilizadas foram baseadas nas teorias de sorção de Hailwood e Harrobin, Bradley e BET (Brunauer, et al.). Tais equações foram descritas por Skaar (1972), e Simpson (1971) determinou os coeficientes originais das equações baseadas nessas teorias. Dessas, a mais utilizada é a baseada na teoria de Hailwood e Harrobin, que foi desenvolvida para explicar a forma sigmoide das isotermas de vapor de água em polímeros têxteis. A seguir são apresentadas algumas das equações das teorias descritas acima (Mendes & Arce, 2003):

Teoria de Hailwood e Harrobin (equação de um hidrato)

$$UE = \left[\frac{K_1 K_2 h}{1 + K_1 K_2 h} + \frac{K_2 h}{1 - K_2 h} \right] \frac{1800}{W}$$

em que:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);
K1 = 3,730 + 0,03642 T - 0,000154 T²;
K2 = 0,6740 + 0,001053 T - 0,000001714 T²;
W = 216,9 + 0,01961 T + 0,005720 T²;
T = temperatura em graus Fahrenheit;
h = pressão relativa de vapor d'água (U/100).

Teoria de Hailwood e Harrobin (equação de dois hidratos)

$$UE = \left[\frac{K h}{1 - K h} + \frac{K h K_1 + 2 K_1 K_2 K^2 h^2}{1 + K h K_1 + K_1 K_2 K^2 h^2} \right] \frac{1800}{W}$$

em que:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);
K = 0,791 + 0,000463 T - 0,000000844 T²;
K1 = 6,34 + 0,000775 T - 0,0000935 T²;
K2 = 1,09 + 0,0284 T - 0,0000904 T²;
W = 330 + 0,452 T + 0,00415 T²;
T = temperatura em graus Fahrenheit;
h = pressão relativa de vapor d'água (U/100).

Bradley

$$\ln \frac{1}{h} = K_2 K_1^{UE} + K_3$$

em que:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);

$K_1 = 0,849 - 0,000236 T$;

$K_2 = 3,64 + 0,00316 T - 0,0000482 T^2$;

$K_3 = 0,00949 - 0,0000456 T$;

T = temperatura em graus Fahrenheit;

h = pressão relativa de vapor d'água (U/100).

BET

$$UE = \left[\left(\frac{W_m C h}{1 - h} \right) * \left(\frac{1 - [n+1] h^n + n h^{n+1}}{1 + [C-1] h - C h^{n+1}} \right) \right] \frac{1800}{W}$$

em que:

UE = umidade de equilíbrio da madeira (%);

$W_m = 7,4 - 0,020 T$ (teor de umidade quando o teor de adsorção monomolecular está completo);

C = 6 (constante relacionada com a energia de adsorção);

n = $4,6 + 0,020 T$ (número de camadas por sítio de adsorção);

T = temperatura em graus Fahrenheit;

H = pressão relativa de vapor d'água (U/100).

A utilização das equações para a estimativa da UEM permite estabelecer condições adequadas de secagem, de modo que seja um processo eficiente e que acarrete a mínimos defeitos no material madeira. No entanto, Eleotério e Silva (2011) constataram que as equações retratadas por Simpson (1971) subestimaram os valores reais de umidade de equilíbrio e os melhores valores encontrados foram com a determinação de cada espécie e de temperatura, em que os erros obtidos se aproximavam de zero.

3.2.2.2 Ensaios reais de temperatura e umidade para cálculo da UEM

As equações podem estimar valores de UEM que se diferem dos valores reais e por conta disso, faz-se necessário conhecer a real UEM (Baraúna & Oliveira, 2009) para que calibrações sejam realizadas conforme as diferentes condições climáticas do local onde a madeira irá ficar em serviço. Para a realização de ensaios reais de umidade de equilíbrio da madeira, utiliza-se da exposição do material em ambiente específico (ensaio de campo) ou câmara de climatização (em que há controle da temperatura e umidade relativa) para se obter a curva de sorção. A massa das amostras é monitorada para aferir o momento em que o equilíbrio é estabelecido (Eleotério & Silva, 2012), ou seja, quando não mais ocorre variação de massa. Apesar de os ensaios de campo demandar mais tempo, os resultados gerados são os reais, visto que a madeira passa por deteriorações originadas do intemperismo.

3.3 Extrativos

A madeira é constituída principalmente por componentes macromoleculares/metabólitos primários que formam a parede celular, são eles a celulose, as polioses (hemiceluloses) e a lignina. Porém, a madeira também é composta pelos componentes de baixo peso molecular, sendo eles os extrativos (matéria orgânica) e as cinzas (matéria inorgânica), que são característicos de cada espécie, também conhecidos como metabólitos secundários. Os principais grupos químicos que

compreendem as substâncias de baixo peso molecular são principalmente os compostos aromáticos (fenólicos), terpenos, ácidos alifáticos, álcoois e substâncias inorgânicas (Klock & Andrade, 2013).

Os extrativos da madeira são substâncias químicas não estruturais presentes na parede celular e que sofrem influência da espécie e podem apresentar variação em sua composição, seja dentro de uma mesma árvore tanto no sentido medula-casca quanto no sentido longitudinal (Fengel & Wegener, 1989). Em estudo o teor de extrativos nas diferentes posições de *Alexa grandiflora*, Santana et al. (2018), concluiu que o maior teor de extrativos se encontrava próximo à medula, seguido do cerne e, em menor quantidade, do alburno.

Tais substâncias possuem de baixa a média massa molecular e sua extração pode acontecer com a utilização de solventes orgânicos e inorgânicos. Mesmo em baixos teores, os extrativos exercem influência nas propriedades de resistência mecânica, cor, qualidade, densidade, retratibilidade e umidade de equilíbrio da madeira (Morais et al., 2005). Para a produção da celulose, a qualidade da polpa é influenciada pelos extrativos, pois estes reduzem o rendimento, enquanto que para a produção de carvão, estas substâncias podem favorecer a queima da madeira (Philipp & D'almeida, 1988). A extração de tais substâncias químicas podem acontecer através de solventes orgânicos e inorgânicos. Desta forma, solventes como acetona, diclorometano e etanol-tolueno têm sido mais utilizados para análise em madeira (Tappi, 1997).

4. Resultados e Discussão

A Tabela 2 indica as umidades de equilíbrio calculadas a partir da câmara climática e as estimadas pela equação de Simpson para cada condição estabelecida.

Tabela 2 - Umidade de equilíbrio para as diversas condições estabelecidas.

	Umidade de equilíbrio (%)					
	30°C			18°C		
	72% U.R.	64% U.R.	54% U.R.	72% U.R.	64% U.R.	54% U.R.
Secagem natural	13,36%	12,36%	10,91%	14,58%	13,38%	12,03%
Secagem em estufa	12,79%	11,63%	10,18%	13,79%	12,60%	11,42%
Média	13,08%	12,00%	10,55%	14,18%	12,99%	11,72%
E. Simpson (1971)	13,36%	11,46%	9,54%	13,89%	11,95%	9,98%

Fonte: Autores.

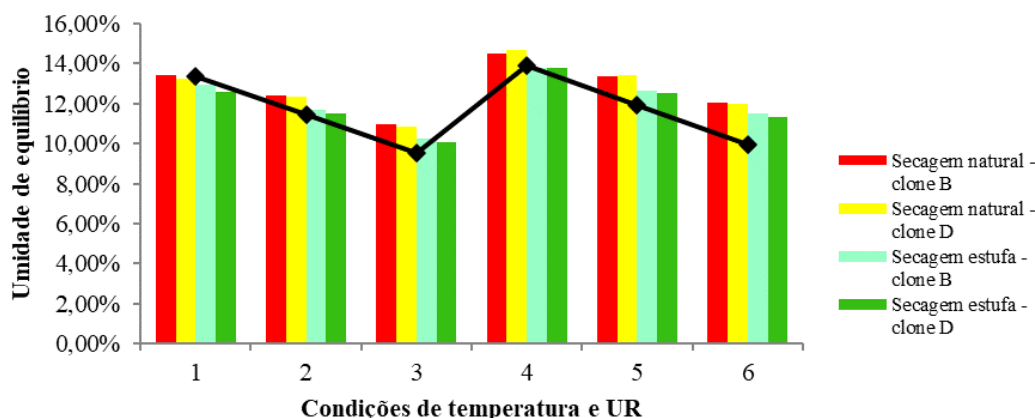
As médias de umidade de equilíbrio da madeira encontradas utilizando-se a câmara de climatização tiveram valores mais próximos aos estimados pela equação de Simpson nas condições onde a umidade relativa simulada foi mais alta (72%), e foram se distanciando na medida em que a umidade relativa simulada era diminuída. Analisando as temperaturas, nas condições onde esta foi menor (18°C) as médias de umidade de equilíbrio encontradas se distanciaram mais do valor encontrado pela equação de Simpson do que quando comparadas às médias obtidas a 30°C. Comportamento semelhante foi encontrado por Baraúna e Oliveira (2009), em que à medida que aumentaram a umidade relativa em temperatura constante 25°C ou 30°C, a umidade de equilíbrio resultante na câmara de ensaios climáticos também apresentou maiores valores.

Assim como observado na maioria das condições propostas neste trabalho, Eleotério e Silva (2011) e Trugilho et al. (2000) também apontaram que os valores de umidade de equilíbrio estimados por meio da equação apresentada por Simpson (1971) subestimaram os valores reais para a ampla maioria dos casos. Diante disso, nota-se que há necessidade de cautela para com a utilização da equação de Simpson (1971), pois a mesma apesar de ser muito eficaz para estimativa da umidade de equilíbrio, está suscetível a grandes erros, em razão da espécie da madeira em estudo e das condições climáticas a que estão

expostas (Baraúna & Oliveira, 2009).

Observam-se que as amostras que foram secas em estufa a 60°C antes de serem submetidas às condições da câmara climática apresentaram valores de umidade de equilíbrio mais próximos aos estimados pela equação de Simpson (Figura 1). Além disso, as amostras secas naturalmente apresentaram maiores valores de umidade de equilíbrio independente do material genético ou da condição em câmara climática.

Figura 1 - Comparação entre a equação de Simpson e as demais umidades de equilíbrio determinadas em câmara climática para cada material genético.



Fonte: Autores.

Através de média aritmética, o valor de umidade de equilíbrio encontrado para a cidade de Montes Claros foi de 12,42% para madeiras de *Eucalyptus* spp, valor que está dentro da média nacional. A média encontrada para o clone B foi de 12,46% e para o clone D de 12,38%. Já para os tipos de secagem as médias encontradas foram de 12,77% para secagem natural e de 12,07% para secagem em estufa. Considerando o tipo de secagem e o material genético, não houve diferença significativa para as diferentes condições estabelecidas em câmara climática, considerando um $\alpha = 5\%$ para análise de variância, $p < 0,43547$.

A Tabela 3 apresenta o teor de extrativos conforme a condição de secagem e o solvente utilizado para a remoção destes.

Tabela 3 - Porcentagem de extrativos para as diferentes condições.

Solvente	Condição de secagem	Material genético	% extrativos	Média (%)
Diclorometano	Natural	B	0,66	0,49
		D	0,31	
	Estufa	B	0,36	0,25
		D	0,15	
Água milli-Q	Natural	B	3,95	3,71
		D	3,47	
	Estufa	B	1,34	1,25
		D	1,16	
Acetona	Natural	B	7,64	4,70
		D	1,76	
	Estufa	B	6,16	5,02
		D	3,88	

Fonte: Autores.

Para os extrativos, encontraram-se as seguintes médias de porcentagens: 0,19% para o diclorometano, 1,23% para a água e 2,42% para a acetona, demonstrando serem extrativos mais polares e de maior afinidade com a água, podendo com isso terem influenciado a umidade de equilíbrio encontrada. Moreira et al. (2016) obteve maior teor de extrativos com o solvente acetona para madeiras de *Eucalyptus*. Em estudo sobre a qualidade de aglomerados, Mendes et al. (2014) observaram menor absorção de água de determinado clone de eucalipto (clone 19) quando comparado com painéis de pinus e atribuíram dois motivos possíveis: o teor de extrativos, que se apresentou maior quando comparado ao *Pinus oocarpa* e a menor razão de compactação dos painéis do clone 19.

Estudando os extrativos das madeiras de *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. urophylla* de 5 a 7 anos e *E. camaldulensis* de 12 anos, Silvério et al. (2006) constataram que a acetona e a mistura tolueno:etanol (2:1) extraíram os maiores teores de extrativos. Além disso, eles concluíram que a maior parte dos compostos pertencentes aos extratos obtidos em acetona ou tolueno:etanol possui caráter polar, e apenas uma pequena fração tem características lipofílicas.

A acetona tem sido um dos solventes sugeridos para extração por ser um material inerte, estável e não causar muitos prejuízos à saúde e ao ambiente. Além disso, caracteriza-se por ser eficaz para remoção dos extrativos totais, incluindo os extrativos lipofílicos e polares. O diclorometano, por sua vez, também tem sido um solvente muito adotado, sendo aplicado para análise de extrativos lipofílicos, tais como ceras, ésteres graxos, esteróis e hidrocarbonetos não voláteis (Sjöström & Alén, 1998; Tappi, 1997; Silvério *et al.*, 2006).

Yang et al. (2020) em seus estudos encontraram para madeira acetilada uma redução substancial da umidade relativa da parede celular, em comparação com a testemunha, o teor de umidade da parede celular foi reduzido em cerca de 24%. Logo as distribuições de umidade observadas em função do solvente apresentaram teores de umidade em diferentes, acredita-se que tal diferença é intrinsicamente ligada as composições internas da madeira cuja foram afetados tanto pelo ambiente, quanto físico químico das paredes das células da madeira.

Brémaud et al. (2011) aponta que o tipo de solvente usado também pode indicar a localização dos extrativos na madeira. Acetona e a água, devida as suas polaridades, podem inchar a parede celular e alcançar compostos localizados em seu interior, além dos extrativos presentes no lúmen.

De acordo com Wastowski (2018), não existe um único solvente capaz de solubilizar todos os extrativos que presentes na madeira, cada tipo de solvente é seletivo para um grupo diferenciado de compostos químicos e por isso, eles devem ser usados em extrações sucessivas, para que o material lenhoso seja analisado da melhor forma possível.

As variações de UEM podem estar relacionadas com a presença/deterioração da lignina e dos extrativos fenólicos (constituintes químicos menos hidrofílicos), pois com as suas oxidações, podem ocorrer maior absorção de água na madeira em função do aumento da concentração de carboidratos (hemiceluloses e celulose) e conseqüentemente da presença de sítios de hidroxilas disponíveis (Rowel, 2005).

Apesar de não ter sido realizada a caracterização química das madeiras, segundo Jankowsky e Galvão (1979); Kilic e Niemz (2012), espécies com alto teor de extrativos tendem a apresentar maior estabilidade dimensional, menor umidade no ponto de saturação das fibras e umidade de equilíbrio mais baixas do que espécies que possuem menores concentrações de extrativos. Paes et al. (2013) observaram valor médio de extrativos 5,65% no alburno a 6,30% no cerne para a solubilidade da madeira de *Eucalyptus* sp. com quatro anos de idade e procedente de plantio na Paraíba. Valores próximos aos encontrados neste trabalho.

Observam-se os dados da Tabela 3 e associa-se que com a acetona, o tratamento em estufa a 60°C proporcionou a maior média de extrativos. Porém, avaliando o maior percentual de extrativos em cada material genético, no clone B o maior percentual ocorreu com a secagem natural, já para o clone D, isto ocorreu na condição de secagem em estufa.

A literatura reporta que o tratamento térmico exerce influência sobre a quantidade de extrativos obtidos da madeira.

Windeisen, et al., (2007) estudaram a porcentagem de extrativos na espécie Beech, para amostras tratadas termicamente e observaram que esse tratamento refletiu no aumento da porcentagem de extrativos. Brito et al. (2008) determinaram os teores de extrativos para as espécies *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, tratadas termicamente em forno elétrico, à temperatura de 180 °C. Concluíram que o teor de extrativos aumentou para o eucalipto e reduziu para o pinus.

4. Conclusões

- Valores médios de umidade de equilíbrio das madeiras avaliadas ficaram mais próximos aos estimados pela equação de Simpson (1971) nas condições onde a temperatura (30°C) e umidade relativa (72°C) foram maiores.
- Os extrativos presentes na madeira apresentam características polares e de maior correlação com a acetona.
- A degradação térmica influencia extrativos de afinidade com a água.
- A equação de Simpson se mostrou eficiente para estimar a umidade de equilíbrio.

Referências

- Alvares, C. A., Soares, P. R. C., Sentelhas, P. C., & Jankowsky, I. P. (2017). Zoneamento da umidade de equilíbrio mensal de painéis e madeira maciça no Brasil. Piracicaba, IPEF.
- Baraúna, E. E. P., & Oliveira, V. S. de. (2009). Umidade de equilíbrio da madeira de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), guariúba (*Clarisia racemosa* Ruiz & Pav.) e tauari vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke) em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. *Acta Amazonica*, 39(1), 91–95. [10.1590/s0044-59672009000100009](https://doi.org/10.1590/s0044-59672009000100009)
- Barbosa, L. C. A., Maltha, C. R. A., & Cruz, M. P. (2005). Composição química de extrativos lipofílicos e polares de madeira de *Eucalyptus grandis*. *Ciência & Engenharia*, v. 15(2), 13–20.
- Brémaud, I., Amusant, N., Minato, K., Gril, J., & Thibaut, B. (2011). Effect of extractives on vibrational properties of African Padauk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.). *Wood Science and Technology*, 45(3), 461–472. [10.1007/s00226-010-0337-3](https://doi.org/10.1007/s00226-010-0337-3).
- Brito, J. O., Barrichelo, L. E. G., Couto, H. T. Z., Mendes, C. J., & Rezende, G. C. (1984). Estudo do comportamento de madeira de eucalipto frente ao processo de destilação seca. *Revista Brasil Florestal*, 8, 5–48.
- Cassiano, C., Souza, A. P., Stangerlin, D. M., Paulino, J., & Melo, R. R. (2013). Sazonalidade e estimativas da umidade de equilíbrio de madeiras amazônicas em Sinop, Estado do Mato Grosso. *Scientia Forestalis*, 100, 457–468.
- Eleotério, J. R., & Silva, C. M. K. (2011). Ajuste dos Parâmetros da Isotherma de Sorção de Hailwood e Horrobin para Madeira. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 2(2), 96–108. <https://doi.org/10.12953/2177-6830.v02n02a04>
- Eleotério, J. R., & Silva, C. M. K. (2012). Comparação de programas de secagem para Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatobá (*Hymenaea* spp) e Muiracatiara (*Astronium lecontei*) obtidos por diferentes métodos. *Scientia Forestalis*, 40, 537–545.
- Eleotério, J. R., Haselein, C. R., & Giacomini, N. P. (1975). Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. *Ciência Florestal*, (1), 53–65.
- Eleotério, J. R., Haselein, C. R., & Giacomini, N. P. (1998). Programa para estimativa da umidade de equilíbrio da madeira. *Ciencia Florestal*, 8(1), 13–22. <https://doi.org/10.5902/19805098347>
- Fengel D, W. G. (1989). *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter.
- Finger, C. A. G., & Schneider, P. R. (1999). Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. *Ciencia Florestal*, 9(1), 79–87. <https://doi.org/10.5902/19805098368>
- Fioresi, T., Piroca, S., Costa, H. W. D., Trevisan, R., Fortes, F. O., & Gatto, D. A. (2014). Umidade de Equilíbrio da Madeira na Região Norte do Rio Grande do Sul em Diferentes Estações do Ano. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 5(1), 34–41. <https://doi.org/10.12953/2177-6830.v05n01a04>
- Gomide, J. L., Oliveira, J. T., S., Hellmeister, J. C., Simões, J. W., & Filho, T. M. (1974). Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas. *Scientia Forestalis*. Piracicaba - SP, 56, 113–124.
- Ibá. (2021). *Anuário estatístico da IBÁ: ano base 2020*.
- Jankowsky, I. P. (1985). Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de Pinus. IPEF, Piracicaba, 41–46.
- Jankowsky, I. P., & Galvão, A. P. (1979). Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. IPEF, Piracicaba, 18, 1–33.
- Kilic, A., & Niemz, P. (2012). Extractives in some tropical woods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1–3), 79–83. [10.1007/s00107-010-0489-8](https://doi.org/10.1007/s00107-010-0489-8)

- Kim, M., Ochiishi, M., & Matsumara, J. (2008). Variation in wood properties of six natural acacia hybrid clones in northern Vietnam". *Journal of Wood Science*, (6), 436–442.
- Klock, U., & Andrade, A. S. (2013). *Química da madeira*. 86. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. 86 p
- Kollmann, F. F. P., & Côté Junior, W. A. (1968). *Principles of wood science and technology: solid wood*. Berlin: Springer-Verlag.
- Lima, C. K. P., Mori, F. A., Mendes, L. M., & Carneiro, A. de C. O. (2007). Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. *Cerne*, 13, 123–129.
- Lopes, M. S. (2018). *Obtenção e caracterização de ligninas e nanopartículas de lignina klason e Kraft*. Mestrado (Dissertação em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- Martins, V. A.; et al.. (1985). Secagem de Madeiras ao ar livre na região do Distrito Federal. São Paulo: ABPM, 16 p. (ABPM. Boletim ABPM, 35).
- Martins, V. A. et al. (2003) Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. *Brasil Florestal*, Brasília, 76,(1), 29-34.
- Martins, F. B., et al. (2018). Classificação Climática De Köppen E De Thornthwaite Para Minas Gerais: Cenário Atual E Projeções Futuras. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1.10.5380/abclima.v1i0.60896
- Mendes, L. M., & Arce, J. E. (2003). Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira. *Cerne*, Lavras, 141–152
- Mendes, R. F., Mendes, L. M., Mendonça, L. L., Guimarães Júnior, J. B., & Mori, F. A. (2014). Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. *CERNE*, 20(2), 329–336. <https://doi.org/10.1590/01047760.201420021273>
- Monteiro, T. C., Lima, J. T., Hein, P. R. G., Silva, J. R. M. da, Trugilho, P. F., & Andrade, H. B. (2017). Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. *Scientia Forestalis*, 45(115). <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.07>
- Morais, S. A. L. de, Nascimento, E. A. do, & Melo, D. C. de. (2005). Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. *Revista Árvore*, 29(3), 461–470. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622005000300014>
- Moreira, E. L., Fazon, H., & Ribeiro, E. S. (2016). Variação dos teores de extrativos de três espécies florestais. *Biodiversidade*, 163–172.
- Moreschi, J. C. (2014). *Relação água-madeira e sua secagem*. (2ª.ed.) Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR.
- Oliveira, J.T.S. (1999) Problemas e Oportunidades com a Utilização da Madeira de Eucalipto. In: Workshop - Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto, Viçosa, Minas Gerais..39-52.
- Peck, E. C. (1965). Moisture content of wood in use. *Madison, USDA, Forest Products Laboratory*, 10p.
- Philipp, P., & D'almeida, M. L. O. (1988). *Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica*. IPT.
- Pinheiro, M. A. (2013). Influência das dimensões da madeira na secagem e nas propriedades do carvão vegetal
- Remade. (AGOSTO DE 2006). *Secagem valoriza a madeira e reduz custos*. Revista Da Madeira - Edição N°98. http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=938&subject=Secagem&title=Secagem
- Rosso, S. (2006). Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional. Dissertação (mestrado). Santa Maria, RS, Brasil.
- Roussel, P., Figueiredo, C., De Souza, M., & Quirino, W. (2011). Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. *Fuel Processing Technology*, 92(10), 1890–1897. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.05.005>
- Rowel, R. M. (2005). *Wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: CRC Press.
- Santana, L. G., Santos, K. N., Chaibe, I. D., Marques, B. D., Andrade, F. W., & Moutinho, V. H. (2018). Radial variation in extractives content of Amazonian wood *Alexa grandiflora*.
- Sarto, C., & Sansígolo, C. A. (2010). Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. *Acta Scientiarum Technology*, 32(3).10.4025/actascitechnol.v32i3.4237.
- Severo, E. T. D. (2000). Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. *Ciencia Florestal*, 10(1), 109–124. <https://doi.org/10.5902/19805098399>
- Shebani, A. N., Reenen, A. J. V., & Meincken, M. (2008). The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood species". *Thermochimica Acta*, 12, 43–50.
- Sheshmani, S. (2013). Effects of extractives on some properties of bagasse/high density polypropylene composite". *Carbohydrate Polymers*, 416–419.
- Silvério, F. O., Barbosa, L. C. A., Maltha, C. R. A., Fidêncio, P. H., Cruz, M. P., Veloso, D. P., & Milanez, A. F. (2008). Effect of storage time on the composition and content of wood extractives in *Eucalyptus* cultivated in Brazil. *Bioresource Technology*, 99(11), 4878–4886. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.066>
- Silvério, F. O., Barbosa, L. C. de A., Gomide, J. L., Reis, F. P., & Piló-Veloso, D. (2006). Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. *Revista Árvore*, 30(6), 1009–1016.10.1590/s0100-67622006000600016

- Simpson, W. T. (1971). Equilibrium moisture content prediction for wood. *Forest Products Journal*, 21(5), 48–49.
- Sjöström, E., & Alén, R. (Eds.). (1999). *Analytical methods in wood chemistry, pulping, and papermaking*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Skaar, C. (1972). *Water in wood*. New York, NY: Syracuse University Press.
- Souza, A. P. de, Mota, L. L., Casavecchia, B. H., Stangerlin, D. M., & Melo, R. R. de. (2019). Variação anual da umidade de equilíbrio e da cor de madeiras amazônicas submetidas a ensaios de campo. *Revista Ciência da Madeira - RCM*, 10(3), 223–235. [10.12953/2177-6830/rcm.v10n3p223-235](https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v10n3p223-235)
- TAPPI-Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI T 204 cm-97. (1997). *Solvent extractives of wood and pulp*. Atlanta: Tappi Technology Park.
- TAPPI-Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Tappi T 264 cm-. (1997). *Preparation of wood for chemical analysis*. Atlanta: Tappi Press.
- Wastowski, A. D. (2018). Química da madeira, 1. *Interciência*, 584.
- Yang, T., Thybring, E. E., Fredriksson, M., Ma, E., Cao, J., Digaitis, R., & Thygesen, L. G. (2020). Effects of changes in biopolymer composition on moisture in acetylated wood. *Forests*, 11(7), 719. [10.3390/f11070719](https://doi.org/10.3390/f11070719).
- Zanuncio, A. J. V., Carvalho, A. G., Silva, L. F. da, Silva, M. G. da, Carneiro, A. de C. O., & Colodette, J. L. (2017). Prediction of the physical, mechanical and colorimetric properties of *Eucalyptus grandis* heat-treated wood using artificial neural networks. *Scientia Forestalis*, 45(113). <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.10>