

## Sazonalidade e estimativas da umidade de equilíbrio de madeiras amazônicas em Sinop, Estado do Mato Grosso

Seasonality and estimates of the equilibrium moisture content of Amazonian woods in Sinop, Mato Grosso state, Brazil

Cleverson Cassiano<sup>1</sup>, Adilson Pacheco de Souza<sup>2</sup>, Diego Martins Stangerlin<sup>3</sup>,  
Janaina Paulino<sup>2</sup> e Rafael Rodolfo de Melo<sup>3</sup>

---

**Resumo**

Objetivou-se avaliar as variações e as estimativas da umidade de equilíbrio (UE) das madeiras de angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke), angelim amargoso (*Vatairea guianensis* Aubl.), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), marupá (*Simarouba amara* Aubl.), canelão (*Ocotea velutina* Mart.), garapeira (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) e guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb.). Esse estudo foi realizado para as condições climáticas do município de Sinop, Estado de Mato Grosso, entre o período de 10/04/2011 e 09/04/2012, em ensaios de campo. Foram avaliados os desempenhos estatísticos de cinco modelos de estimativa de UE (Simpson, Hailwood e Harrobin de um hidrato, Hailwood e Harrobin de dois hidratos, BET e Bradley) e suas aplicações e calibrações em diferentes agrupamentos de dados (mensal, quinzenal, semanal, a cada 5 e 3 dias) para cada espécie. Independentemente da espécie, no período seco (maio a setembro) a umidade de equilíbrio variou entre 6,01 e 11,93% e no período chuvoso (outubro a abril) entre 8,78 e 28,37%. As médias anuais estimadas de umidade de equilíbrio (UE) foram de 10,68±4,15; 15,27±4,43; 11,88±0,65, 9,99±1,62 e 16,25±4,80% para os modelos supracitados, respectivamente. O uso de regressões lineares permitiu ajustar e calibrar os modelos de estimativa de UE para madeiras de diferentes espécies e condições climáticas. Os modelos de Simpson e Hailwood e Harrobin de um hidrato podem ser aplicados para a estimativa da UE para as sete espécies avaliadas, em agrupamentos mensais de dados.

**Palavras-chave:** Umidade de equilíbrio higroscópico, madeiras amazônicas, secagem natural da madeira.

**Abstract**

This study aimed at evaluating the variations and estimates of equilibrium moisture content (EMC) for woods of angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke), angelim amargoso (*Vatairea guianensis* Aubl.), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), marupá (*Simarouba amara* Aubl.), canelão (*Ocotea velutina* Mart.), garapeira (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) and guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb.). The study was done under Sinop (Mato Grosso State) climate conditions, between 10/04/2011 and 09/04/2012 as field tests. Five statistical models were evaluated (Simpson, the one hydrate Hailwood and Harrobin; the two hydrates Hailwood and Harrobin; BET and Bradley) to estimate the EMC, its applications and calibrations in different database groupings (monthly, biweekly, weekly, every 5 and 3 days) by each species. Independently of species, in the dry season (May to September) the equilibrium moisture content ranged from 6.01 to 11.93% and in the rainy season (October to April) ranged from 8.78 to 28.37%. The estimated annual averages of EMC were 10.68±4.15, 15.27±4.43, 11.88±0.65, 9.99±1.62 and 16.25±4.80% for the previously cited models, respectively. The linear regressions allowed adjustment and calibration of the estimation models of equilibrium moisture content for different wood species and climatic conditions. The Simpson and one hydrate Hailwood and Harrobin model can be applied to estimate the EMC for the seven species in monthly database groupings.

**Keywords:** Hygroscopic equilibrium moisture content, Amazonian woods, natural drying of wood

---

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia Florestal. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais. Campus Universitário de Sinop. Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, Sinop, MT, 78557-267. E-mail: [lyu\\_smg@hotmail.com](mailto:lyu_smg@hotmail.com)

<sup>2</sup>Engenheiro(a) Agrícola, Doutor(a) em Irrigação e Drenagem. Professor Adjunto, UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais. Campus Universitário de Sinop. Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, Sinop, MT, 78557-267. E-mail: [adilsonpacheco@ufmt.br](mailto:adilsonpacheco@ufmt.br) (autor correspondente); [eng\\_janaina@yahoo.com.br](mailto:eng_janaina@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Florestais. Professor Adjunto, UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais. Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, Sinop, MT, 78557-267. E-mail: [stangerlin@ufmt.br](mailto:stangerlin@ufmt.br); [rrmelo2@yahoo.com.br](mailto:rrmelo2@yahoo.com.br)

## INTRODUÇÃO

A madeira é classificada como um material heterogêneo e as variações nas composições químicas, físicas e anatômicas são expressivas entre espécies, embora dentro da mesma espécie elas também ocorram, em razão, principalmente, da idade, fatores genéticos e ambientais. Dentro de uma mesma espécie, ocorrem variações significativas nos sentidos base-topo (axial) e medula-casca (radial) (TRUGILHO *et al.*, 1996).

A variação da composição e da organização dos componentes de alto (celulose, hemiceluloses e lignina) e baixo peso molecular (extrativos e compostos inorgânicos) na ultra-estrutura da madeira é uma das principais responsáveis pela diversidade das propriedades tecnológicas (morfológicas, físicas, mecânicas e biológicas) (PALA, 2007).

A madeira é um material higroscópico e de comportamento anisotrópico, que permite a ocorrência de trocas gasosas com a atmosfera (RAIMONDO *et al.*, 2007; BARAÚNA; OLIVEIRA, 2009; KILIC; NIEMZ, 2012). Essas trocas ocorrem na forma de vapor d'água e tendem a se estabilizar, até atingir o equilíbrio com a umidade do ar, definindo-se a umidade de equilíbrio (UE) da madeira, que por sua vez, é dependente da temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR), em escala local (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; PANSWIN; DE ZEEUW, 1980; MARTINS *et al.*, 2003).

De acordo com Martins *et al.* (2003) a madeira quando em uso, seja ele estrutural ou na forma de mobiliário, fica exposta as variações diárias de T e UR, o que resulta em alterações em toda sua estrutura lenhosa, sendo essas mais acentuadas com as diferentes estações do ano.

Nesse sentido, o conhecimento da UE da madeira pode propiciar melhorias nas suas formas de utilização, principalmente em aplicações externas, diminuindo a ocorrência de alterações dimensionais e deformações, como empenamentos, arqueamentos, torções, inchamentos, contrações, entre outros, que normalmente são verificados em madeiras empregadas que não atingiram o equilíbrio higroscópico com o ambiente final de uso. Em particular, a absorção de umidade do ar pela madeira depende da ascensão capilar, da penetração da umidade do ambiente e dos fenômenos de condensação que podem levar a formação de umidade superficial e a porosidade da madeira (PASCULLI; SCIARRA, 2001; RAIMONDO *et al.* 2007).

Na literatura são observadas diferentes metodologias para a avaliação sazonal da UE da ma-

deira. Experimentalmente, a sua determinação pode ser baseada na exposição de amostras nas condições ambientais de T e UR de um local específico (ensaios de campo), ou pela exposição de amostras em ambiente controlado por secadores artificiais ou câmaras climáticas (PÉREZ-PEÑA *et al.*, 2011; ELEOTÉRIO; SILVA, 2012). Os ensaios de campo, apesar de demandar mais tempo, propiciam resultados reais para o uso da madeira, visto que em laboratório, a madeira não se sujeita as deteriorações causadas pelo intemperismo.

Para aplicações e avaliações práticas, normalmente são empregados gráficos e/ou equações de estimativas, que consideram as variações de T e UR ligadas aos processos de absorção, adsorção e dessorção, independentemente da espécie (BARONAS *et al.* 2001; MENDES; ARCE 2003; CHEN *et al.* 2009). A maioria dos modelos de estimativa da UE emprega a teoria de sorção da água na madeira proposta por Hailwood e Harrobin considerando um ou dois hidratos (MARTINS *et al.*, 2003; BARAÚNA; OLIVEIRA, 2009; PÉREZ-PEÑA *et al.*, 2011). No entanto, existem outras equações baseadas em teorias como a de BET (Brunauer, Emmet, Teller), Bradley e Simpson (1971) que podem ser aplicadas nas diferentes condições climáticas brasileiras, em função das parametrizações de coeficientes numéricos vinculados a temperatura do ar (T).

Nesse sentido, é importante destacar que podem ser encontradas diferenças entre os valores de (UE) estimados por diferentes modelos quando comparados com os valores observados experimentalmente, perfazendo assim, a necessidade de calibrações para as diferentes condições climáticas. Devido a crescente procura pela madeira e da sua importância econômica para a região Norte do Estado de Mato Grosso, torna-se fundamental conhecer as suas interações com o ambiente e a dinâmica anual da UE de diferentes madeiras tropicais.

Este trabalho objetivou avaliar a sazonalidade da UE da madeira de sete espécies comerciais da região Amazônica, em ensaios de campo, e analisar a influência do agrupamento de dados e o desempenho de cinco modelos de estimativas de UE, nas condições climáticas de Sinop, Estado de Mato Grosso.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no *Campus* da Universidade Federal de Mato Grosso, localizado no município de Sinop, Estado de Mato

Grosso, nas coordenadas 11,98°S; 55,56° W e altitude 371m, entre 10/04/2011 e 09/04/2012. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa (período de outubro a abril) e outra seca (período de maio a setembro).

Na área experimental foi instalada uma estação meteorológica automática equipada com um sistema de aquisição de dados CR 1000 da Campbell Scientific e composta pelos seguintes sensores: radiação solar global (piranômetro CS300) a 1 e 2 m de altura, radiação PAR (Licor) a 2 m de altura, velocidade e direção do vento (anemômetro, 03002-L RM YOUNG) a 10 m de altura, psicrômetro com abrigo termométrico (Vaisala, CS 215) a 2 m de altura e pluviôgrafo (TE 525) a 1,5 m de altura. Os dados meteorológicos foram coletados em valores médios de cinco minutos, sendo posteriormente, obtidos os valores médios, máximos e mínimos diários das variáveis utilizadas nas estimativas da UE.

Foram avaliadas sete madeiras de espécies comerciais ocorrentes na região amazônica do Estado de Mato Grosso, sendo elas o angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke (Fabaceae, Mimosoideae)), angelim amargoso (*Vatairea guianensis* Aubl. (Fabaceae)), jatobá (*Hymenaea courbaril* L. (Caesalpiniaceae)), marupá (*Simarouba amara* Aubl. (Simaroubaceae)), canelão (*Ocotea velutina* Mart. (Lauraceae)), garapeira (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride (Leguminosae, Caesalpiniaceae)) e guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae)).

As madeiras utilizadas nesse experimento foram fornecidas por empresas madeireiras certificadas e sediadas no município de Sinop, Mato Grosso, sendo uniformizadas em quatro tábuas de 2,5 x 30 x 300 cm (espessura, largura e com-

primento, respectivamente), por espécie. Essas espécies foram identificadas através de observação macroscópica da anatomia da madeira no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop.

Inicialmente, as tábuas foram aplainadas em plainas desempenadeira e desengrossadeira e para a confecção dos corpos-de-prova foi adotada a metodologia proposta por Baraúna e Oliveira (2009). Os corpos-de-prova foram confeccionados com as dimensões de 2 x 2 x 10 cm, maior dimensão no sentido longitudinal, totalizando 70 corpos-de-prova. Antes da exposição destes ao ambiente, foram selecionados 10 corpos-de-prova por espécie, para a determinação da massa específica básica, conforme procedimentos descritos na Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003). Foram selecionados para o ensaio de campo corpos-de-prova livres de defeitos (rachaduras, nós e esmoado) e condicionados ao ar livre, desprotegidos da radiação solar ou umidade, em uma plataforma de madeira, ficando diretamente apoiadas sobre uma tela metálica com malha de 1 cm<sup>2</sup> (para circulação do ar), disposta com inclinação igual a latitude local e face para o Norte (Figura 1). Os corpos-de-prova foram distribuídos aleatoriamente em um delineamento inteiramente casualizado, definido por arranjo fatorial 7x12 (espécies x meses do ano), com cinco repetições. Ao serem retirados do ambiente, os corpos-de-prova foram pesados em balança eletrônica digital (precisão de ±0,01 g) e submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 103 °C até a obtenção de massa constante, para determinação da umidade.



**Figura 1.** Plataforma inclinada utilizada nos ensaios de campo de secagem natural da madeira, com a face voltada para o Norte.

**Figure 1.** Tilted test platform for natural drying of the wood, with face turned to the North.

A UE da madeira com o ambiente foi obtida pela relação entre a massa de água contida no interior do corpo-de-prova e a massa do corpo-de-prova seco. Foram avaliados cinco modelos de estimativa de UE, propostos por Simpson (1971) e as suas variações, Hailwood e Harrobin (equações de um e de dois hidratos), Bradley e BET, conforme descrição a seguir:

i) Simpson (1971): de acordo com Baraúna e Oliveira (2009), esse método é dado pela equação:

$$UE = \left[ \frac{K_1 K_2 H}{1 + K_1 K_2 H} + \frac{K_2 H}{1 - K_2 H} \right] \cdot \frac{1800}{W} \quad (1)$$

em que: UE = umidade de equilíbrio (%); H = pressão de vapor relativa; W = peso molecular da unidade polimérica que forma o hidrato;  $K_1$  e  $K_2$  são constantes de equilíbrio, obtidas em função da temperatura ( $T_c$ ) em graus Celsius, sendo:

$$H = UR/100 \quad (2)$$

$$K_1 = 4,737 + 0,04773 T_c - 0,00050123 T_c^2 \quad (3)$$

$$K_2 = 0,705941 + 0,001698 T_c - 0,000005553 T_c^2 \quad (4)$$

$$W = 223,384 + 0,6942 T_c + 0,0185324 T_c^2 \quad (5)$$

ii) Hailwood e Harrobin (equação de um hidrato): de acordo com Mendes e Arce (2003), o método de Hailwood e Harrobin (equação de um hidrato) é dado pela equação:

$$UE = \left[ \frac{K_1 K_2 H}{1 + K_1 K_2 H} + \frac{K_2 H}{1 - K_2 H} \right] \cdot \frac{1800}{W} \quad (6)$$

em que:

$$K_1 = 3,730 + 0,03642 T_F - 0,000154 T_F^2 \quad (7)$$

$$K_2 = 0,6740 + 0,001053 T_F - 0,000001714 T_F^2 \quad (8)$$

$$W = 216,9 + 0,01961 T_F + 0,005720 T_F^2 \quad (9)$$

$T_F$  = Temperatura, em graus Fahrenheit;

iii) Hailwood e Harrobin (equação de dois hidratos): de acordo com Mendes e Arce (2003), o método de Hailwood e Harrobin (equação de dois hidratos) é dado pela equação:

$$UE = \left[ \frac{K.H}{1+K.H} + \frac{K.H.K_1 + 2K_1K_2K_2^2H^2}{1+K.H.K_1 + K_1K_2K_2^2H^2} \right] \cdot \frac{1800}{W} \quad (10)$$

em que:

$$K = 0,791 + 0,000463 T_F - 0,000000844 T_F^2 \quad (11)$$

$$K_1 = 6,34 + 0,000775 T_F - 0,0000935 T_F^2 \quad (12)$$

$$K_2 = 1,09 + 0,0284 T_F - 0,0000904 T_F^2 \quad (13)$$

$$W = 330 + 0,452 T_F + 0,00415 T_F^2 \quad (14)$$

iv) Bradley: de acordo com Mendes e Arce (2003), o método de Bradley é dado pela equação:

$$\ln \left( \frac{1}{H} \right) = K_2 K_1^{UE} + K_3 \quad (15)$$

em que:

$$K_1 = 0,849 - 0,000236 T_c \quad (16)$$

$$K_2 = 3,64 + 0,00316 T_c - 0,0000482 T_c^2 \quad (17)$$

$$K_3 = 0,00949 - 0,0000456 T_c \quad (18)$$

v) BET: de acordo com Mendes e Arce (2003), o método de BET é dado pela equação:

$$UE = \left[ \left( \frac{Wm.C.H}{1-H} \right) \left( \frac{1 - [n+1]H^n + n.H^{n+1}}{1 + [C-1]H - C.H^{n+1}} \right) \right] \quad (19)$$

em que:  $Wm = 7,4 - 0,020T_F$  (teor de umidade quando o teor de adsorção monomolecular esta completo);  $C = 6$  (constante relacionada com a energia de adsorção);  $n = 4,6 + 0,020T_F$  (número de camadas por sítio de adsorção).

Todas as equações supracitadas foram aplicadas para a obtenção de UE diária, sendo posteriormente avaliado a estimativa por meio de agrupamentos de dados médios mensais, quinzenais, semanais, a cada cinco dias e a cada três dias antecedentes ao período de coleta. Dentre os cinco corpos-de-prova coletados a cada mês, por espécie, três repetições foram empregadas para análise estatísticas e correlações das equações de estimativa de UE e as demais foram utilizadas nas avaliações dos desempenhos estatísticos dos modelos.

Para a análise do desempenho dos cinco modelos de estimativa de UE avaliados, empregou-se os indicativos estatísticos erro absoluto médio ("Mean bias error" MBE), raiz quadrada do quadrado médio do erro ("Root mean square error" RMSE), índice de ajustamento (d) e índice de desempenho (c). As fórmulas desses índices são mostradas abaixo:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (20)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| - |O_i|)^2} \quad (22)$$

$$c = r \times d \quad (23)$$

em que:  $P_i$  - valores estimados;  $O_i$  - valores medidos;  $N$  - número de observações;  $|P_i|$  - valor absoluto da diferença  $P_i - \bar{O}_i$ ;  $|O_i|$  - valor absoluto da diferença  $O_i - \bar{O}_i$ .

O indicativo MBE representa o desvio das médias, sendo que valores negativos indicam subestimativa e vice-versa. O RMSE é a raiz quadrada do erro quadrático médio e informa sobre o valor real do erro produzido pelo modelo testado. O índice de ajustamento "d" varia de 0 a 1 e representa o quanto os valores estimados se ajustam com os valores medidos (WILLMOTT, 1981). O índice de desempenho (c) é classificado em: ótimo ( $c > 0,85$ ); muito bom ( $0,76 < c \leq 0,85$ ); bom ( $0,66 < c \leq 0,75$ ); mediano ( $0,61 < c \leq 0,65$ ); Sofrível ( $0,51 < c \leq 0,60$ ); mau ( $0,41 < c \leq 0,50$ ); e péssimo ( $c \leq 0,40$ ) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

Segundo Souza et al. (2011) a utilização conjunta desses indicativos é a alternativa adequada para validação desses modelos estatísticos, pois permite análise simultânea do desvio da média, identificando a ocorrência de sub ou superestimativa, espalhamento e ajustamento do modelo em relação as medidas, sendo as melhores performances obtidas por menores valores absolutos de MBE e de RMSE e maiores valores de "d".

Quando significativas, as regressões e as diferenças foram ajustadas com o uso do pacote estatístico Sisvar, sendo as médias submetidas a análise de variância, pelo teste F, e comparadas pelo teste Tukey, a 5% (GOMES, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

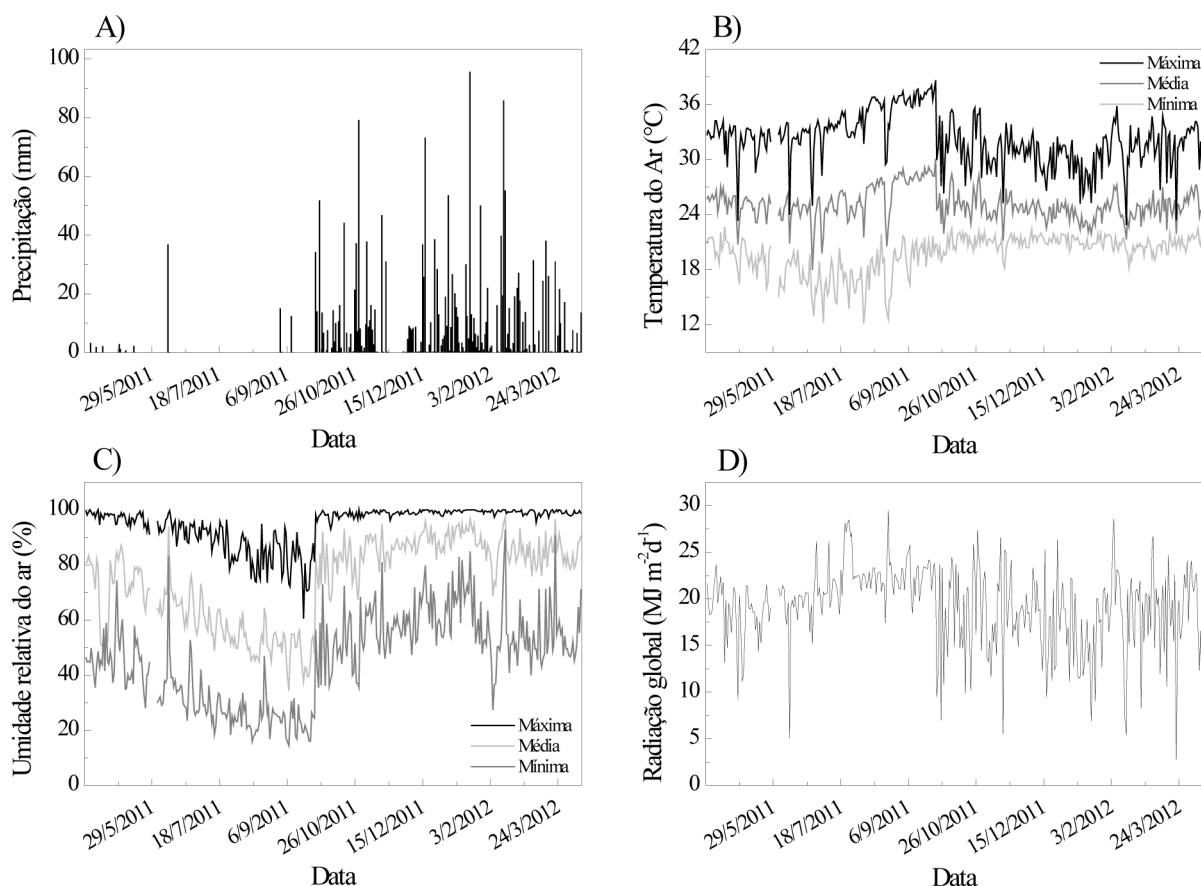
Na Figura 2 são apresentadas as variações dos elementos meteorológicos que influenciaram diretamente na UE da madeira ao longo do período de avaliação, compreendido entre abril de 2011 e abril de 2012. Nota-se a formação de

duas épocas distintas caracterizadas pelo regime pluvial da região, que afetaram o comportamento da T e da UR, além das oscilações da radiação solar global. No período seco (maio a setembro), os extremos da temperatura do ar ocorreram em setembro ( $38,63 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e em agosto ( $12,16 \text{ }^\circ\text{C}$ ), enquanto que no período chuvoso, observou-se uma diminuição da amplitude térmica diária para  $9,98 \pm 2,37 \text{ }^\circ\text{C}$  (entre outubro e abril). Esse comportamento das condições térmicas e da presença de vapor d'água na atmosfera é normal para a região. Segundo Souza et al. (2012), entre 2008 e 2011, as temperaturas diárias oscilaram entre  $37,4$  e  $9,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , com amplitudes térmicas diárias máximas de  $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo que nos meses de agosto e setembro são verificadas as maiores T para a região em função do grande número de incêndios.

A UR representa o teor de vapor d'água na atmosfera e a sua sazonalidade indica o potencial de trocas entre o ar e a madeira em uso. Fisicamente, essa variável é inversamente dependente da T, ou seja, quando maior a T e menor a precipitação, menor será a UR (VAREJÃO-SILVA, 2006). Essa dependência propiciou o aumento significativo de UR entre o final do mês de outubro e o início de abril quando comparado com o período seco. Quanto às precipitações pluviais, observaram-se totais acumulados de  $2023,41 \text{ mm}$  no período de avaliação, com ocorrência de 36% desse total em dezembro e janeiro, com a maior altura pluvial diária em 19/01/2012 ( $95,6 \text{ mm}$ ). Entre 10 e 11/06/2011, próximo a data de coleta das amostras, ocorreram precipitações de  $36,90 \text{ mm}$ , que não são comuns nessa época do ano, pois compreende o período seco da região (entre maio e agosto).

### Umidade de equilíbrio da madeira

Na instalação do experimento observou-se que as madeiras de canelão e angelim amargoso apresentaram umidades iniciais acima de 35% e superiores as demais espécies, indicando que as mesmas estavam em condição de parcial saturação dos capilares (Tabela 1). A massa específica das sete espécies avaliadas oscilaram entre  $0,34$  (marupá) e  $0,84 \text{ g cm}^{-3}$  (jatobá). De acordo com a classificação proposta por Melo et al. (1990) verificou-se que as sete espécies podem ser classificadas em três grupos de massa específica: baixa (marupá), média (canelão, angelim amargoso e guanandi) e alta (garapeira, jatobá e angelim pedra).



**Figura 2.** Evolução anual das precipitações pluviárias (A), temperatura do ar (B), umidade relativa do ar (C) e da radiação global (D) entre 10/04/2011 e 09/04/2012, em Sinop, MT.

**Figure 2.** Annual evolution of rainfall (A), air temperature (B), relative humidity (C) and global radiation (D) between 10/04/2011 and 09/04/2012 in Sinop, MT.

**Tabela 1.** Características físicas dos corpos-de-prova antes da exposição ao ambiente.

**Table 1.** Physical characteristics of the wood samples before exposure to the environment.

Espécie	Teor de umidade inicial (%)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Canelão	35,63a	19,66	0,60c
Garapeira	20,75b	20,22	0,76ab
Marupá	19,24 b	19,58	0,34d
Jatobá	16,53b	19,92	0,84a
Angelim amargoso	35,19a	20,16	0,62c
Angelim pedra	16,00b	19,72	0,77ab
Guanandi	19,24b	19,72	0,70bc
DMS	10,75	0,66	0,11
CV (%)	23,07	2,15	8,01

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Valores médios de 10 repetições.

Segundo Araújo (2007) as variações da massa específica entre espécies estão relacionadas com características anatômicas, sua proporção e distribuição dos tecidos, e também com a quantidade de extrativos presentes na madeira.

Na avaliação das médias da UE foram observadas diferenças significativas para os efeitos dos fatores isoladamente (espécies e meses do ano) e nas suas respectivas interações. Independentemente da espécie, observou-se

a influência do período chuvoso no aumento dos níveis de UE. Contudo, as condições iniciais de umidade da madeira (Tabela 1) não interferiram no experimento, visto que, ocorreu o equilíbrio com a umidade do ambiente após 30 dias de disposição dos corpos-de-prova. Por conseguinte, em maio/2011, os maiores valores de UE foram obtidos nas madeiras de canelão ( $11,93 \pm 0,27\%$ ) e guanandi ( $11,18 \pm 0,08\%$ ).

**Tabela 2.** Variação do teor de umidade de equilíbrio (TUE) em percentual da madeira de sete espécies florestais amazônicas ao longo do ano.

**Table 2.** Variation of equilibrium moisture content (EMC) in percentage of wood seven Amazonian forest species during to year.

Meses	Canelão	Garapeira	Marupá	Jatobá	Angelim amargoso	Angelim pedra	Guanandi
Maio	11,93 ± 0,27 Da	9,54 ± 0,53 Cb	8,58 ± 0,24Gb	8,80 ± 0,32 Db	9,00 ± 0,12 Db	9,41 ± 0,23 Db	11,18 ± 0,08 Ea
Junho	10,06 ± 0,09 Ea	9,69 ± 0,60 Cb	8,87 ± 0,17 Gb	9,64 ± 0,44 Db	8,46 ± 0,18 Db	9,36 ± 0,64 Db	10,99 ± 0,15 Ea
Julho	8,05 ± 0,10 Fa	7,84 ± 0,27 Da	6,08 ± 0,24 Hb	7,73 ± 0,04 Ea	6,71 ± 0,10 Eb	7,42 ± 0,09 Ea	8,49 ± 0,05 Fa
Agosto	7,90 ± 0,19 Fa	6,99 ± 0,52 Db	7,75 ± 0,17 Ga	7,11 ± 0,24 Eb	6,67 ± 0,11 Eb	7,28 ± 0,29 Eb	8,38 ± 0,21 Fa
Setembro	6,30 ± 0,34 Gb	7,68 ± 4,37 Da	6,18 ± 0,14 Hb	6,87 ± 0,08 Ea	6,01 ± 0,15 Eb	6,47 ± 0,17 Eb	7,29 ± 0,06 Ga
Outubro	11,07 ± 0,21 Db	10,26 ± 0,81 Cb	12,60 ± 0,79 Ea	10,99 ± 2,06 Db	10,35 ± 0,18Cb	11,07 ± 0,25 Cb	12,67 ± 0,20 Da
Novembro	13,31 ± 0,27 Cc	12,05 ± 0,82 Bd	16,41 ± 1,36 Da	12,08 ± 1,52 Bd	11,34 ± 0,39 Bd	13,56 ± 0,97 Cc	15,17 ± 0,45 Cb
Dezembro	15,50 ± 0,18 Bc	14,20 ± 1,02 Ad	28,37 ± 2,07 Aa	12,95 ± 0,40 Ae	14,57 ± 0,84 Ac	15,60 ± 0,75 Ac	18,32 ± 0,48 Ab
Janeiro	16,86 ± 0,28 Ac	14,81 ± 0,73 Ad	19,66 ± 0,15 Ba	13,79 ± 0,29 Ad	14,49 ± 0,20 Ad	15,74 ± 0,37 Ab	18,85 ± 0,28 Aa
Fevereiro	15,28 ± 0,23 Bb	12,91 ± 0,88 Bd	18,29 ± 0,43 Ca	12,09 ± 0,19 Bd	13,45 ± 0,30 Ad	14,68 ± 0,48 Bb	16,67 ± 0,35 Bc
Março	11,82 ± 0,41 Da	10,03 ± 0,25 Cb	8,78 ± 0,30 Gc	9,65 ± 0,26 Db	9,50 ± 0,19 Cb	9,77 ± 0,10 Ec	11,49 ± 0,37 Ea
Abril	12,46 ± 0,27 Ca	10,14 ± 0,14 Cb	10,17 ± 0,95 Fb	10,04 ± 0,35 Db	9,53 ± 0,12 Cb	10,08 ± 0,24 Db	11,39 ± 0,49 Ea

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna e de minúsculas iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott (1974), ao nível de 5% de significância.

As madeiras consideradas de média massa específica apresentaram os maiores valores de UE entre maio e setembro (período seco), com a menor média observada para o angelim amargoso (6,01%). Em geral, nesse período, a UE apresenta pequena variação, com as maiores diferenças sendo expressas nas madeiras de canelão e guanandi (Tabela 2). Nos meses de inverno (junho a setembro), as variações de UE indicaram que a umidade de equilíbrio na região varia entre 6,01 e 11,93%. Já no período chuvoso (outubro a abril), os valores de UE podem ser influenciados pela massa específica, visto que a madeira de marupá (baixa massa específica) apresentou os maiores valores de UE quando comparada com as demais espécies.

As variações de UE observadas para a madeira de marupá (Tabela 2) podem estar relacionadas com a deterioração da lignina e dos extrativos fenólicos nos meses antecedentes ao período chuvoso. Esses constituintes químicos apresentam como principal característica a hidrofobicidade (repelência a água), por conseguinte, com as suas oxidações, ocorre 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).

Durante o período chuvoso, as madeiras foram expostas a condições ambientais de intensa deterioração física, de modo a favorecer a lixiviação parcial dos carboidratos e a exposição de superfícies de madeira não oxidadas. Esse comportamento justifica a similaridade da UE entre as diferentes madeiras no final período chuvoso (março e abril). Segundo Jankowsky;

Galvão (1979), Kilic e Niemz (2012), espécies com alto teor de extrativos apresentam maior estabilidade dimensional, menor umidade no ponto de saturação das fibras e UE mais baixas do que espécies que possuem menores concentrações de extrativos.

#### Estimativas da umidade de equilíbrio

As menores variações sazonais da UE foram observadas pelas estimativas empregando o modelo de Hailwood e Harrobin para dois hidratos, com médias mensais oscilando entre 10,87 e 12,44% em setembro e janeiro, respectivamente (Tabela 3). Em contrapartida, os modelos de Bradley e Hailwood e Harrobin, para um hidrato, apresentaram variações de 10,43 e 10,35% entre o período seco e chuvoso, respectivamente. As médias anuais estimadas de UE foram de 10,68±4,15; 15,27±4,43; 11,88±0,65%, 9,99±1,62; e 16,25±4,80% para os modelos de Simpson (1971); Hailwood e Harrobin, um hidrato; Hailwood e Harrobin, dois hidratos; BET e Bradley, respectivamente.

Mendes e Arce (2003) obtiveram médias anuais de UE estimados pela equação de Hailwood e Harrobin, de um hidrato, iguais a 15,12%, com mínimos de 13,61% (setembro) e máximos de 16,33% (abril), e pela equação de Hailwood e Harrobin, de dois hidratos, uma média anual de 15,00% com mínimos e máximos de 13,51% e 16,20%, respectivamente, ou seja, essas duas equações tendem a apresentar valores similares. Ressalta-se que, independentemente da equação de estimativa de UE, são empregados apenas dados meteorológicos, permitindo assim uma caracterização generalizada independentemente da espécie.

**Tabela 3.** Variações médias mensais e anuais da umidade de equilíbrio (UE) estimada por diferentes modelos.  
**Table 3.** Monthly and annual means of equilibrium moisture content (UE) estimated by different models.

Ano	Mês	Simpson (1971)	Hailwood e Harrobin (1 hidrato)	Hailwood e Harrobin (2 hidratos)	BET	Bradley
2011	Maio	10,32 ± 2,01	14,81 ± 0,98	12,02 ± 0,21	10,81 ± 0,60	15,51 ± 1,96
	Junho	8,13 ± 2,16	12,67 ± 2,29	11,68 ± 0,27	9,78 ± 0,72	13,49 ± 2,54
	Julho	6,13 ± 1,05	10,46 ± 1,19	11,22 ± 0,31	8,52 ± 0,85	11,26 ± 1,16
	Agosto	5,21 ± 0,84	9,38 ± 1,00	10,93 ± 0,32	7,66 ± 0,81	10,21 ± 0,98
	Setembro	5,48 ± 2,39	9,57 ± 2,69	10,87 ± 0,72	7,58 ± 1,64	10,40 ± 2,65
	Outubro	11,56 ± 2,42	16,26 ± 2,56	12,18 ± 0,19	10,97 ± 0,57	17,07 ± 2,74
	Novembro	13,72 ± 1,74	18,53 ± 1,82	12,35 ± 0,21	11,16 ± 0,49	19,48 ± 2,20
2012	Dezembro	14,63 ± 1,56	19,47 ± 1,62	12,40 ± 0,21	10,96 ± 0,75	20,64 ± 2,26
	Janeiro	15,84 ± 1,80	20,73 ± 1,86	12,45 ± 0,21	10,33 ± 1,09	21,48 ± 2,26
	Fevereiro	13,26 ± 2,54	18,06 ± 2,66	12,30 ± 0,22	10,90 ± 1,16	19,21 ± 2,70
	Março	13,01 ± 2,03	17,80 ± 2,12	12,30 ± 0,21	11,13 ± 0,75	18,74 ± 2,74
	Abril	11,44 ± 0,85	16,13 ± 0,89	12,24 ± 0,21	11,31 ± 0,12	16,82 ± 0,90
	Média Anual	10,68 ± 4,15	15,27 ± 4,43	11,88 ± 0,65	9,99 ± 1,61	16,25 ± 4,79

Segundo Martins *et al.* (2003), pela aplicação do modelo de Simpson (1971), na região Norte e parte da região litorânea brasileira, as médias anuais de UE variam de 16 a 18%, enquanto que para o estado do Mato Grosso, as oscilações ocorrem entre 14 e 16% nas médias anuais. Por conseguinte, esses níveis de UE obtidos por esse método, corroboraram apenas na estação chuvosa (outubro a abril) para a região de Sinop.

### Desempenho estatístico dos modelos de estimativa de UE

As estimativas da UE nos diferentes agrupamentos de dados (3 em 3 dias, 5 em 5 dias, semanal, quinzenal e mensal) foram obtidas com base no momento da coleta (valores medidos de UE) e indicaram os valores médios obtidos nos períodos antecedentes as coletas para cada agrupamento. Na Tabela 4 são apresentados os melhores agrupamentos e os desempenhos estatísticos para os modelos de Simpson (1971), Hailwood e Harrobin (um hidrato), Hailwood e Harrobin (dois hidratos), Bradley e BET quando aplicadas para a obtenção da UE para as sete espécies avaliadas.

Observou-se que em função da grande variação dos melhores agrupamentos de dados, na estimativa de UE para aplicações em exposição ao ambiente, devem ser considerados os dados médios de T e UR, obtidos em períodos diferenciados (para modelos e espécies).

Para aplicações simplificadas, a equação de Simpson (1971) apresentou os melhores resultados em agrupamentos quinzenais para canelão. Para as madeiras de garapeira, angelim amargo, angelim pedra e guanandi, os agrupamentos mensais desse modelo geraram erros padrões da estimativa (SEE) de 2,55; 1,59; 1,46 e 2,40%,

com espalhamentos (RMSE) de 2,49; 1,56; 1,43 e 2,35% e ajustamentos (d) de 0,9905; 0,9965; 0,9973 e 0,9937, respectivamente, sendo considerados como satisfatórios para a estimativa de UE para essas espécies.

Para a madeira de marupá, os modelos de Simpson (1971) e Hailwood e Harrobin (um hidrato) apresentaram valores de UE semelhantes em agrupamentos mensais, com SEE e RMSE de 5,09 e 4,98% e ajustamentos superiores a 98%. Apenas para a madeira de jatobá, a equação de BET, no agrupamento quinzenal propiciou os melhores desempenhos estatísticos.

Observou-se a influência da massa específica básica na definição dos melhores agrupamentos de dados, visto que, para madeiras com menores massas específicas (marupá) devem ser empregados menores agrupamentos de dados, pois a madeira está sujeita a maiores taxas de trocas de vapor de água com o ambiente. No agrupamento mensal, englobando os meses de transição entre o período seco e chuvoso, ocorrem grandes variações nos níveis de UR em função das precipitações pluviais, e por conseguinte, também ocorrem grandes variações nos valores de UE. O emprego generalizado das metodologias avaliadas para diferentes espécies podem causar inconvenientes, entretanto constituem-se na forma mais simples e rápida para a avaliação sazonal da UE. Mendes e Arce (2003) constataram que as equações de Hailwood e Harrobin, de um e dois hidratos, estimaram valores intermediários de UE para as condições climáticas brasileiras, enquanto que os modelos de Bradley e BET superestimam a UE para condições extremas (baixas e altas UR). Por conseguinte, é fundamental que os modelos de estimativa de UE sejam ajustados e calibrados para cada madeira



(espécie), por meio de coeficientes de regressões lineares obtidos para as espécies e agrupamentos de dados (Tabela 5).

Os menores coeficientes lineares (-85,31 e -33,36) foram encontrados pela equação de Hailwood e Harrobin (dois hidratos) para as madeiras de marupá e guanandi (com  $R^2$  de 0,518 e 0,652). Apenas o modelo de Simpson (1971) apresentou coeficientes lineares positivos para estimativas para todas as espécies, exceto o marupá, indicando a inexistência de residuais negativos quando UE estimada tende a zero. Independentemente dos coeficientes ajustados, na obtenção das equações, os valores de UE estimada variaram entre 6 e 18%, indicando a não existência de UE medida com valores negativos.

Segundo Varejão-Silva (2006), em condições naturais, o teor d'água na atmosfera varia desde valores quase nulos, em regiões desérticas e polares, até valores de 4% (em volume de ar úmido) nas regiões quentes e úmidas, indicando também a inexistência de UR e conseqüentemente UE nula.

Na validação das equações obtidas nas correlações entre UE estimada pelos modelos e medidas (Tabela 6), observaram-se variações de desempenho entre as classes, de bom a ótimo, segundo a classificação de Camargo; Sentelhas (1997). Contudo, ocorreu a diminuição dos valores dos indicativos estatísticos, quando comparados com a aplicação apenas das cinco equações de estimativa de UE (Tabela 4), indicando que, as aplicações das equações lineares calibra-

**Tabela 4.** Desempenho estatístico dos agrupamentos de dados e modelos de estimativas da umidade de equilíbrio (UE) para madeira de sete espécies florestais amazônicas.

**Table 4.** Statistical performance of grouping databases, and models for the estimate of the equilibrium moisture content (UE) of the wood of seven Amazonian forest species.

Espécie	Modelo	Agrupamento	SEE (%)	MBE (%)	RMSE (%)	d
Canelão	Simpson (1971)	Quinzenal	1,48	-0,93	1,45	0,9969
	HH - 1 hidrato	Mensal	3,81	3,45	3,73	0,9880
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	2,72	0,26	2,66	0,9712
	BET	Quinzenal	2,72	-1,43	2,66	0,9816
	Bradley	Quinzenal	4,69	4,32	4,59	0,9840
Garapeira	Simpson (1971)	Mensal	2,55	-0,19	2,49	0,9905
	HH - 1 hidrato	Mensal	5,07	4,01	4,96	0,9777
	HH - 2 hidratos	Mensal	2,75	0,92	2,69	0,9704
	BET	Quinzenal	2,63	-0,71	2,58	0,9732
	Bradley	Mensal	5,94	4,91	5,81	0,9739
Marupá	Simpson (1971)	Mensal	5,09	-2,03	4,98	0,9849
	HH - 1 hidrato	Mensal	5,09	2,17	4,98	0,9874
	HH - 2 hidratos	Mensal	6,53	-0,92	6,39	0,9519
	BET	3 em 3 dias	6,57	-0,81	6,43	0,9544
	Bradley	Quinzenal	6,73	-2,5	6,59	0,9706
Jatobá	Simpson (1971)	Quinzenal	1,90	0,62	1,86	0,9936
	HH - 1 hidrato	Mensal	5,59	4,86	5,47	0,9721
	HH - 2 hidratos	Mensal	2,57	1,77	2,51	0,9779
	BET	Quinzenal	1,48	0,13	1,45	0,9894
	Bradley	Quinzenal	6,47	5,88	6,34	0,9713
Angelim amargoso	Simpson (1971)	Mensal	1,59	0,67	1,56	0,9965
	HH - 1 hidrato	Mensal	5,44	4,87	5,33	0,9777
	HH - 2 hidratos	Mensal	3,04	1,78	2,98	0,9777
	BET	Quinzenal	2,04	0,19	2	0,9862
	Bradley	Mensal	6,38	5,77	6,25	0,9750
Angelim pedra	Simpson (1971)	Mensal	1,46	-0,29	1,43	0,9973
	HH - 1 hidrato	Mensal	4,46	3,91	4,36	0,9846
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	2,89	0,87	2,83	0,9759
	BET	Quinzenal	2,54	-0,81	2,49	0,9805
	Bradley	Mensal	5,38	4,81	5,27	0,9806
Guanandi	Simpson (1971)	Mensal	2,4	-1,77	2,35	0,9937
	HH - 1 hidrato	Mensal	3,01	2,43	2,94	0,9924
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	3,33	-0,66	3,26	0,9674
	BET	Quinzenal	3,8	-2,34	3,72	0,9801
	Bradley	Mensal	3,85	3,33	3,77	0,9891

em que: HH = modelo de Hailwood e Harrobin; SEE = erro padrão da estimativa; MBE = erro absoluto médio; RMSE = raiz quadrada do erro quadrático médio; d = índice de ajustamento.

**Tabela 5.** Coeficientes da regressão linear ( $UE_{medida} = a + b UE_{estimada}$ ) para correlações entre valores de UE medidos e estimados por diferentes modelos para a madeira de sete espécies florestais amazônicas.

**Table 5.** Linear regression coefficients ( $UE_{measured} = a + b UE_{estimated}$ ) for correlations between UE values measured and calculated by different models for wood of seven Amazonian forest species.

Espécie	Modelo	Agrupamento	a	b	R <sup>2</sup>
Canelão	Simpson (1971)	Quinzenal	2,773	0,837	0,873
	HH - 1 hidrato	Mensal	-0,090	0,772	0,892
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	-47,580	4,986	0,798
	BET	Quinzenal	-7,189	1,875	0,674
	Bradley	3 em 3 dias	-0,980	0,794	0,8885
Garapeira	Simpson (1971)	Quinzenal	3,015	0,684	0,841
	HH - 1 hidrato	Mensal	0,553	0,640	0,844
	HH - 2 hidratos	Mensal	-39,070	4,157	0,764
	BET	Quinzenal	-5,010	1,522	0,612
	Bradley	Mensal	0,338	0,614	0,858
Marupá	Simpson (1971)	Mensal	-2,663	1,454	0,653
	HH - 1 hidrato	Mensal	-7,816	1,355	0,650
	HH - 2 hidratos	Mensal	-85,310	8,262	0,518
	BET	3 em 3 dias	-15,050	2,747	0,413
	Bradley	Quinzenal	-8,368	1,331	0,598
Jatobá	Simpson (1971)	Quinzenal	3,711	0,627	0,770
	HH - 1 hidrato	Mensal	1,616	0,568	0,804
	HH - 2 hidratos	Mensal	-33,86	3,715	0,738
	BET	Quinzenal	-3,066	1,326	0,562
	Bradley	Quinzenal	1,122	0,574	0,784
Angelim amargoso	Simpson (1971)	Mensal	1,955	0,765	0,866
	HH - 1 hidrato	Mensal	-0,775	0,714	0,865
	HH - 2 hidratos	Mensal	-44,300	4,580	0,764
	BET	Quinzenal	-6,476	1,648	0,591
	Bradley	Mensal	-1,011	0,685	0,880
Angelim pedra	Simpson (1971)	Mensal	2,101	0,825	0,839
	HH - 1 hidrato	Mensal	-0,849	0,770	0,839
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	-43,810	4,592	0,642
	BET	Quinzenal	-6,617	1,740	0,549
	Bradley	Mensal	-1,121	0,740	0,856
Guanandi	Simpson (1971)	Mensal	2,217	0,985	0,865
	HH - 1 hidrato	Mensal	-1,298	0,919	0,865
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	-52,380	5,461	0,652
	BET	quinzenal	-8,199	2,078	0,567
	Bradley	Mensal	-1,633	0,884	0,883

em que: a e b = coeficientes linear e angular da regressão ( $TUE_{med} = a + b TUE_{est}$ ); R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

**Tabela 6.** Desempenho estatístico da aplicação das regressões lineares nos agrupamentos de dados e modelos de estimativa de UE para a madeira de sete espécies florestais amazônicas.

**Table 6.** Statistical performance of linear regression application in grouping databases, and models for estimates of UE of the wood of seven Amazonian forest species.

Espécie	Modelo	Agrupamento	SEE (%)	MBE (%)	RMSE (%)	d	r	c	Classificação
Canelão	Simpson (1971)	Quinzenal	1,08	0,06	1,05	0,9981	0,9343	0,9326	Ótimo
	HH - 1 hidrato	Mensal	2,88	-0,53	2,82	0,9897	0,9445	0,9347	Ótimo
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	5,12	-0,89	5,01	0,9710	0,8933	0,8933	Ótimo
	BET	Quinzenal	4,53	-0,88	4,44	0,9738	0,8210	0,8674	Ótimo
	Bradley	3 em 3 dias	3,06	-0,62	3,00	0,9882	0,9426	0,9315	Ótimo
Garapeira	Simpson (1971)	Mensal	1,92	-0,39	1,88	0,9930	0,9171	0,9106	Ótimo
	HH - 1 hidrato	Mensal	2,42	-1,13	2,37	0,9838	0,9187	0,9038	Ótimo
	HH - 2 hidratos	Mensal	4,4	2,4	4,31	0,9824	0,8741	0,8741	Ótimo
	BET	Quinzenal	2,27	1,47	2,22	0,9930	0,7823	0,8587	Muito bom
	Bradley	Mensal	2,72	-1,35	2,66	0,9809	0,9263	0,9086	Ótimo

em que: HH = modelo de Hailwood e Harrobin; SEE = erro padrão da estimativa; MBE = erro absoluto médio; RMSE = raiz quadrada do erro quadrático médio; d = índice de ajustamento; c = índice de desempenho.

**Tabela 6 - Continuação.** Desempenho estatístico da aplicação das regressões lineares nos agrupamentos de dados e modelos de estimativa de UE para a madeira de sete espécies florestais amazônicas.

**Table 6 - Continuation.** Statistical performance of linear regression application in grouping databases, and models for estimates of UE of the wood of seven Amazonian forest species.

Espécie	Modelo	Agrupamento	SEE (%)	MBE (%)	RMSE (%)	d	r	c	Classificação
Marupá	Simpson (1971)	Mensal	4,26	-0,03	4,17	0,9922	0,8081	0,8018	Muito Bom
	HH - 1 hidrato	Mensal	4,27	-0,02	4,18	0,9922	0,8062	0,7999	Muito Bom
	HH - 2 hidratos	Mensal	4,9	-0,02	4,8	0,9729	0,7197	0,7197	Bom
	BET	3 em 3 dias	5,37	-0,02	5,26	0,9797	0,6427	0,7002	Bom
	Bradley	Quinzenal	4,55	-0,02	4,45	0,9906	0,7733	0,7660	Muito Bom
Jatobá	Simpson (1971)	Quinzenal	1,01	0,3	0,99	0,9967	0,8775	0,8746	Ótimo
	HH - 1 hidrato	Mensal	1,01	0,3	0,99	0,9968	0,8967	0,8938	Ótimo
	HH - 2 hidratos	Mensal	1,22	0,3	1,19	0,9952	0,8591	0,8591	Ótimo
	BET	Quinzenal	1,5	0,31	1,47	0,9916	0,7497	0,8550	Ótimo
	Bradley	Quinzenal	1,01	0,39	0,98	0,9967	0,8854	0,8826	Ótimo
Angelim Amargoso	Simpson (1971)	Mensal	1,08	0,16	1,06	0,9978	0,9306	0,9285	Ótimo
	HH - 1 hidrato	Mensal	1,09	0,16	1,06	0,9977	0,9301	0,9280	Ótimo
	HH - 2 hidratos	Mensal	1,43	0,17	1,4	0,9959	0,8741	0,8741	Ótimo
	BET	Quinzenal	2,7	1,87	2,65	0,9914	0,7688	0,8705	Ótimo
	Bradley	Mensal	2,7	-1,23	2,65	0,9818	0,9381	0,9210	Ótimo
Angelim Pedra	Simpson (1971)	Mensal	1,28	-0,08	1,25	0,9975	0,916	0,9137	Ótimo
	HH - 1 hidrato	Mensal	1,28	-0,08	1,26	0,9975	0,9301	0,9277	Ótimo
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	1,79	-0,25	1,75	0,9945	0,8012	0,8012	Muito Bom
	BET	Quinzenal	2,85	1,72	2,79	0,992	0,7409	0,7968	Muito bom
	Bradley	Mensal	3,03	-1,59	2,97	0,9833	0,9252	0,9097	Ótimo
Guanandi	Simpson (1971)	Mensal	1,47	0,11	1,44	0,9976	0,9301	0,9278	Ótimo
	HH - 1 hidrato	Mensal	1,48	0,11	1,44	0,9976	0,9301	0,9278	Ótimo
	HH - 2 hidratos	3 em 3 dias	2,07	-0,13	2,03	0,9946	0,8075	0,8075	Muito Bom
	BET	Quinzenal	3,42	2,26	3,35	0,9917	0,7530	0,8031	Muito Bom
	Bradley	Mensal	3,47	-1,69	3,4	0,9831	0,9397	0,9238	Ótimo

em que: HH = modelo de Hailwood e Harrobin; SEE = erro padrão da estimativa; MBE = erro absoluto médio; RMSE = raiz quadrada do erro quadrático médio; d = índice de ajustamento; c = índice de desempenho.

ram cada modelo de estimativa da UE para cada espécie nas condições ambientais locais. Por conseguinte, devem ser utilizados os modelos e agrupamentos de dados classificados como ótimo, com exceção das aplicações para as madeiras de marupá (baixa massa específica), para a qual, devem ser empregados as interações com desempenho classificado como "muito bom".

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

A UE da madeira das sete espécies estudadas apresenta variação ao longo do ano e acompanha a evolução anual da UR e das precipitações pluviiais.

Os valores de UR oscilam entre 6,01 e 11,93% na estação seca e entre 8,78 e 28,37% na estação chuvosa, com dependência da massa específica (ME) da madeira (maiores UE para maiores ME no período seco e maiores UE para menores ME no período chuvoso).

Para as madeiras de garapeira, marupá, angelim amargoso e guanandi deve ser aplicado o modelo de Simpson (1971) para estimativa da UE. Por conseguinte, para as madeiras de canelão, jatobá e angelim pedra recomenda-se a aplicação do método de Hailwood e Harrobin de um hidrato. As estimativas da UE pelos modelos de Simpson (1971) e/ou de Hailwood e Harrobin de um hidrato devem ser realizadas com agrupamentos mensais de dados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: Madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: 2003. 6 p.
- ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. *Floresta*, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

- BARAÚNA, E. E. P.; OLIVEIRA, V. S. Umidade de equilíbrio da madeira de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), guaribúba (*Clarisia racemosa* Ruiz & Pav.) e taurari vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke) em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 39, n. 1, p. 91-96, 2009.
- BARONAS, R. et al. Modelling of moisture movement in wood during outdoor storage. *Nonlinear analysis: modeling and control*, v. 6, n. 2, p. 3-14, 2001.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CHEN, Z. et al. Equilibrium moisture content of Norway spruce at low temperature. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 41, n. 3, p. 325-328, 2009.
- ELEOTÉRIO, J. R.; SILVA, C. M. K. Comparação de programas de secagem para Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatobá (*Hymenaea* spp) e Muiracatiara (*Astronium lecointei*) obtidos por diferentes métodos. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 537-545, 2012.
- GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. 15.ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451 p.
- JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. *IPEF*, Piracicaba, v. 18, p. 1-33, 1979.
- KILIC, A.; NIEMZ, P. Extractives in some tropical woods. *European Journal of Wood and Wood Products*, Berlin, v. 70, n. 1, p. 79-83, 2012.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTE JR., W. A. *Principles of wood science and technology*. New York: Springer-Verlag, 1968, 592 p.
- MARTINS, V. A. et al. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. *Brasil Florestal*, Brasília, v. 76, n. 1, p. 29-34, 2003.
- MELO, J. E. et al. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. *Anais...* São Paulo: SBS/SBSE, 1990. p. 695-699. v.3
- MENDES, L. M.; ARCE, J. E. Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira. *Cerne*, Lavras, v. 9, n. 2, p. 141-152, 2003.
- PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. *Construção Magazine*. n. 20, p. 54-62, 2007.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. *Textbook of wood technology*. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.
- PASCULLI, A.; SCIARRA, N. A numerical one-dimensional modelling of water transport through a porous material under saturated and unsaturated condition: parametric studies. *Memorie della Società Geologica Italiana*, Roma, v. 56, p. 367-374, 2001.
- PÉREZ-PEÑA, N. et al. Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera em función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, Concepción, v. 13, n. 3, p. 253-266, 2011.
- RAIMONDO, M. et al. Equilibrium moisture content of clay bricks: the influence of the porous structure. *Building and Environment*, Oxford, v. 42, n. 2, p. 926-932, 2007.
- ROWEL, R. M. *Wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: CRC Press, 2005. 473 p.
- SIMPSON, W. T. Equilibrium moisture content prediction for wood. *Forest Products Journal*, Madison, v. 21, n. 5, p. 48-49, 1971.
- SOUZA, A. P. et al. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. *Scientia Plena*, Aracajú, v. 8, n. 5, p. 1-14, 2012.
- SOUZA, A.P. et al. Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 277-288, 2011.
- TRUGILHO, P.F. et al. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-11, 1996.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e climatologia*. Brasília: INMET, 2005. 552 p.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, Norwich, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

Recebido em 24/01/2013  
Aceito para publicação em 25/08/2013