

## **Sazonalidade da Umidade de Equilíbrio da Madeira no Sudeste do estado do Pará.**

**Resumo:** A madeira possui capacidade de troca de água com o ambiente até um ponto de equilíbrio, o que lhe atribui particularidades em seu uso e comercialização. O objetivo desse trabalho foi estimar e avaliar a sazonalidade da umidade de equilíbrio da madeira (UEM) para o Sudeste Paraense. Para tanto, foram utilizados dados de Temperatura (°C) e Umidade Relativa (UR%) obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia. A UEM foi estimada conforme o método de Simpson (1971). A amplitude de UEM entre os municípios foi de 3,20%, mostrando-se variável dentro do Estado do Pará e dos municípios estudados. Ressalta-se atenção na secagem nos períodos úmidos e a influencia das propriedades anatômicas, químicas e físicas da madeira na UEM.

**Palavras-chave:** Elementos Meteorológicos, Higroscópico, Propriedades da Madeira.

## **Seasonality of equilibrium moisture of wood in the southeast state of Pará.**

**Abstract:** The wood has the capacity to change water with the equilibrium point, which gives it particularities in its use and commercialization. The objective of this work was to estimate and evaluate the seasonality of timber equilibrium moisture (WEM) for Southeastern Brazil. For that, data of Temperature (°C) and Relative Humidity (UR%) obtained from the National Institute of Meteorology were used. WEM was estimated according to the method of Simpson (1971). The range of WEM among the municipalities was 3.20%, showing a variable within the State of Pará and the cities studied. Particular attention should be paid to drying in wet periods and to the influence of the anatomical, chemical and physical properties of wood in WEM.

**Keywords:** Meteorological Elements, Hygroscopic, Wood Properties.

## **1. INTRODUÇÃO**

A madeira é um material orgânico, heterogêneo e que possui complexidade na sua estrutura, com capacidade anisotrópica e higroscópica (Moreschi, 2010). Essa última, esta associada à capacidade da madeira atuar de acordo com as condições atmosféricas, alterando suas dimensões (Cassiano et al., 2013). As interações madeira-atmosfera estão basicamente vinculadas nas trocas gasosas, onde, a madeira ganha ou perde água na forma de vapor até atingir um equilíbrio com a umidade do ar, fenomeno chamado de umidade de equilíbrio da madeira (Baraúna & Oliveira, 2009).

Braz et al. (2015) destaca a importancia da estimativa da umidade de equilíbrio no aproveitamento dos recursos florestais na fabricação de produtos distintos, pois dessa forma, retrações, inchamentos e defeitos oriundos da secagem poderão ser evitados, bem como, na determinação do equilíbrio médio para cada região onde a madeira será utilizada. Mendes et al. (2014) ressalta o uso de equações para a determinação da umidade de equilíbrio médio para cada região.

Inúmeros modelos possibilitam a estimativa da umidade de equilíbrio, porém, segundo Bergman (2010), a maioria esta baseada nas equações ajustadas por Simpson (1971), com base na teoria da adsorção de Hailwood & Horrobin (1946). Este metodo permite calcular a umidade de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa, como foi e tem sido feito para varias cidades do Brasil. No entanto, Souza (2016) ressalta a importancia da avaliação da umidade de equilíbrio em escala regional.

Objetivou-se com o presente trabalho, estimar e avaliar a umidade de equilíbrio da madeira, pelo metodo de Simpson (1971) para a região Sudeste do Estado do Pará.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi elaborada a partir de dados obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para 9 das 11 estações meteorológicas automáticas existentes no Sudeste Paraense (Tabela 1).

A umidade de equilíbrio da madeira (UEM) foi estimada pelo método de Simpson (1971), equação 1. Esse método esta baseado na teoria de adsorção de Hailwood & Horrobin (1946) e permite estimar a UEM em função da temperatura (T°C) e umidade relativa (UR%), equações 2, 3 e 4.

(1)

(2)

(3)

(4)

Em que: UEM = umidade de equilíbrio da madeira (%); H = pressão de vapor relativa (UR/100); W = peso molecular da unidade polimérica que forma o hidrato; K1 e K2 são constantes de equilíbrio, obtidas em função da temperatura diária (T, em °C).

**Tabela 1:** Período de dados por município e informações das estações meteorológicas automáticas do Sudeste Paraense.

<b>Município/ Símbolo</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Período de Dados</b>
Paragominas/ I	-3,01	-47,34	85	10/2007 - 04/2018
Rondon do Pará/ II	-4,78	-48,07	229	04/2008 – 04/2018
Tucuruí/ III	-3,82	-49,68	138	03/2008 – 04/2018
Santana do Araguaia/ IV	-9,34	-50,35	177	06/2008 – 04/2018
Tucumã/ V	-6,74	-51,14	321	11/2016 – 04/2018

Novo Repartimento/VI	-4,24	-49,94	101	07/2008 – 04/2018
Marabá/ VII	-5,37	-49,05	117	09/2009 – 04/2018
Conceição do Araguaia/VIII	-8,30	-49,28	176	09/2008 – 04/2018
Xinguara/ IX	-7,11	-49,93	245	09/2016 – 04/2018

### 3. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os valores médios de Temperatura (T°C) e Umidade Relativa (UR%) ao longo das observações, para os 9 municípios. Na tabela 3 estão descritos os valores médios mensais estimados de UEM para cada município.

**Tabela 2:** Variabilidade da Temperatura (°C) e Umidade Relativa do ar (UR%) no Sudeste Paraense para os anos de 2007 a 2018.

Mun		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
I	T°C	26,41	25,79	25,83	25,81	26,12	26,01	25,9 1	26,5 5	27,4 0	27,8 7	28,2 9	27,92
	UR%	79,66	83,94	85,46	86,10	84,29	81,17	77,7 1	74,3 3	70,8 4	68,9 4	67,4 4	70,69
II	T°C	26,64	26,20	26,45	26,63	26,84	26,89	26,9 8	27,8 3	28,5 0	28,3 7	27,6 6	26,97
	UR%	77,25	79,99	80,37	80,42	78,17	71,43	65,4 0	60,9 7	61,7 7	65,5 5	70,8 2	74,98
III	T°C	25,91	25,83	26,03	26,30	26,54	26,97	27,1 6	27,4 7	27,6 4	27,8 0	27,5 4	26,86
	UR%	82,83	84,03	84,31	84,38	83,10	76,90	72,2 1	70,5 8	71,0 1	71,2 8	73,6 1	78,00
IV	T°C	25,71	25,87	26,15	26,44	26,77	26,24	26,5 3	27,2 2	29,2 9	28,5 1	26,9 2	26,03
	UR%	79,84	79,65	80,26	79,16	74,13	67,02	57,6 4	49,6 9	51,8 1	64,1 3	74,7 9	78,45
V	T°C	24,78	24,40	24,60	24,82	-	25,49	25,8 6	27,3 6	27,9 0	26,5 4	25,4 4	24,80
	UR%	86,68	89,47	89,59	89,07	-	73,43	57,2 6	63,5 0	60,0 8	76,0 6	84,4 9	86,70
VI	T°C	25,78	25,75	26,13	26,18	26,47	26,35	26,2 9	26,6 8	27,2 1	27,4 8	27,1 7	26,38
	UR%	83,59	84,26	84,37	84,87	84,49	80,03	75,5 9	72,9 1	72,2 1	72,6 2	75,9 0	80,57
VII	T°C	25,59	25,67	26,15	26,75	26,46	26,16	25,9 9	26,7 2	27,3 9	27,2 2	27,11	26,35
	UR%	83,42	83,69	83,43	81,61	82,43	77,87	72,8 0	68,5 8	69,5 3	73,3 2	76,7 2	80,31
VIII	T°C	26,49	26,34	26,18	26,27	27,00	26,27	26,2 4	27,6 1	28,5 4	27,7 1	27,0 9	26,09
	UR%	78,28	78,70	81,53	81,10	74,99	68,91	59,4	51,5	55,3	67,4	74,9	79,99

								1	1	2	5	3	
<b>IX</b>	<b>T°C</b>	25,09	24,69	25,33	25,33	-	25,33	25,5 4	28,0 5	27,5 3	27,0 4	26,1 0	25,53
	<b>UR%</b>	85,64	88,20	86,61	84,92	-	73,22	57,9 9	55,5 8	63,2 8	73,5 0	81,6 8	84,46

**Tabela 3:** Variabilidade média mensal da Umidade de Equilíbrio da Madeira para os municípios do Sudeste Paraense entre os anos de 2007 a 2018.

<b>Mun.</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>I</b>	12,46	13,86	14,39	14,65	13,96	13,12	12,1 4	11,10	9,97	9,42	8,99	9,91	11,82
<b>II</b>	11,44	12,29	12,39	12,49	11,85	10,12	8,74 10,0	7,68	7,71	8,48	9,70	1	10,09
<b>III</b>	13,32	13,76	13,88	13,91	13,37	11,26	6	9,63	9,70	9,73	6	11,73	11,77
<b>IV</b>	12,26	12,25	12,41	12,22	10,92	9,28	7,28	5,71	6,15	8,50	10,8 4	11,82	9,06
<b>V</b>	15,15	16,30	16,53	16,46	-	11,10	6,76	8,37	7,68	11,53	14,1 9	15,0 6	11,65
<b>VI</b>	13,59	13,90	14,06	14,28	14,14	12,81	11,59	10,6 6	10,2 3	10,2 8	11,20	12,6 9	12,26
<b>VII</b>	13,47	13,59	13,51	12,93	13,33	12,09	10,7 9	9,51	9,46	10,3 8	11,32	12,4 0	11,53
<b>VIII</b>	11,91	12,01	12,90	12,89	11,28	9,85	7,69	6,12	6,76	9,20	10,9 5	12,4 0	9,51
<b>IX</b>	14,48	15,54	14,90	14,40	-	10,98	7,18	6,58	8,46	10,7 2	13,1 8	14,0 4	11,06

#### 4. DISCUSSÃO

O estado do Pará possui três tipos climáticos segundo a classificação climática de Köppen (1928), Af (Clima equatorial), Aw (Clima tropical de savana) e Am (Clima monçônico), com temperaturas médias anuais variando de 24 °C a 26 °C e precipitações anuais de 1000 mm a 4500 mm. Conforme Lopes (2013), o sudeste paraense apresenta os menores índices de pluviosidade (1400 a 1800 mm), no qual os municípios como Conceição do Araguaia, Santana do Araguaia e Redenção apresentam um mês ou mais absolutamente secos.

A média da temperatura anual apresentou seu máximo e mínimo valor respectivamente no período de junho a novembro e dezembro a maio, para 10 dos 11 municípios estudados (Tabela 1). Por sua vez, a umidade relativa mostrou-se antagônica aos valores de temperatura, obtendo seus valores médios máximos e mínimos respectivamente nos períodos de dezembro a maio e junho a novembro (Tabela 1). De modo geral, o sudeste

paraense apresentou variações marcantes quanto aos valores de temperatura e umidade relativa, sendo o contraste evidenciado entre o primeiro (dezembro a maio) e o segundo semestre (junho a novembro)

Os valores médios da umidade de equilíbrio da madeira (UEM) corroboraram com os médios de umidade relativa, 12,5% a 14% (dezembro a maio) e 8% a 11% (junho a novembro). Segundo Souza (2016), o período seco favorece a secagem natural da madeira, onde nas regiões secas e quentes apresentará UEM menor em relação às frias e úmidas. O menor valor médio de UEM ocorreu em Santana do Araguaia (9,06%) e o maior em Novo Repartimento (12,26%). Em comparação com o trabalho de Galvão (1975), que observou UEM médio de 18,6% para a Capital do estado do Pará, o presente trabalho determinou uma UEM média entre os municípios estudados de 10,97%, uma diferença média de 7,63% entre Belém e a região do Sudeste Paraense, confirmando o pressuposto da variabilidade de UEM dentro do próprio estado.

Mendes & Arce (2015) obtiveram médias anuais de UEM, estimados pela equação de Hailwood & Horrobin (1946), de um hidrato, iguais a 15,12%, com mínimos de 13,61% (setembro) e máximos de 16,33% (abril), e pela equação de Hailwood & Horrobin (1946), de dois hidratos, uma média anual de 15% com mínimos e máximos de 13,51% e 16,20%, respectivamente, ou seja, essas duas equações tendem a apresentar valores similares. Conforme o estudo de Chaves (2019), que aplicou o modelo de Simpson (1971) para três municípios do Amazonas, as médias anuais de UEM variaram de 17 a 19%, enquanto para o Sudeste do Pará variou em média de 9 a 12%.

Nesse contexto, nota-se a importância do conhecimento ambiental ao se secar e/ou comercializar madeiras, visto a influência principalmente, da umidade relativa na UEM. Apesar dos elementos meteorológicos apresentarem maiores influência na UEM, Oliveira (2010) ressalta que outros fatores também atuam nessa propriedade, tais como, a estrutura anatômica e a composição química e física da madeira, que pode variar entre espécies e dentro da própria árvore. Nesse sentido, Fioresi (2014) afirma que teor de extrativo, diferença entre cerne e alburno, histórico de exposição, tensões mecânicas e radiação solar também influenciam na umidade de equilíbrio da madeira.

## **5. CONCLUSÕES**

Há grande amplitude de UEM dentro do estado do Pará e entre os próprios municípios do Sudeste Paraense, os quais apresentam maiores valores de UEM de 12,5% a 14% nos

meses úmidos (Dezembro a Maio) e de 8 a 11% nos meses secos (Junho a Novembro). A maior média de UEM foi encontrada pra o município de Novo Repartimento (12,26%) e a menor para Santana do Araguaia (9,06%)

Ressalta-se a importância do conhecimento das características anatômicas, químicas e físicas da madeira nos estudos de umidade de equilíbrio.

## 6. REFERÊNCIAS

Baraúna EEP & Oliveira VS. Umidade de equilíbrio da madeira de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), guariúba (*Clarisia racemosa* Ruiz & Pav.) e taurarívermelho (*Carinianamicrantha* Ducke) em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. *Acta Amazonica* 2009; 39 (1): 91-96.

Bergman R; Cai Z; Carll CG; Clausen CA; Dietsberger MA; Falk RH.; Frihart CR; Glass SV; Hunt CG; Ibach RE; Kretschmann DE.; Rammer DR; Ross RJ; Stark NM. *Wood handbook: Wood as an engineering material*. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p.13-1-13-20.

Braz RL, et al. Curva característica de secagem da madeira de *Tectonagrandis* e *Acaciamangium* ao ar livre. *Floresta e Ambiente* 2015; 22 (1): 117-123.

Cassiano C. et al. Sazonalidade e estimativas da umidade de equilíbrio de madeiras amazônicas em Sinop, Estado do Mato Grosso. *Scientia Forestalis* 2013; 41 (100): 457-468.

Chaves SAC. Estimativa da umidade de equilíbrio do ambiente em três diferentes regiões do estado do Amazonas usando a equação de Simpson [Monografia]. Itacoatiara: Universidade do Estado do Amazonas; 2019.

Fioresi T. et al. Umidade de equilíbrio da madeira na região Norte do Rio Grande do Sul em diferentes estações do ano. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)* 2014; 5 (1): 10-12953/2177-6830.

Galvão APM. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. *IPEF* 1975; 11 (1): 53-65.

Hailwood AJ & Harrobin S. Absorption of water by polymers: analysis in terms of a simple model. *Transactions of the Faraday Society* 1946; 42 (b): 84-102.

Köppen W; Geiger R; Klimate DE. Wall-map 150cm× 200cm. Verlag Justus Perthes, Gotha, DK, 1928.

Lopes MNG. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia* 2013; 12 (1): 84-102.

Mendes LM. et al. Equilibrium moisture content of OSB panels produced with veneer inclusion and different types of adhesive. *Cerne* 2014; 20 (1): 123-138.

Mendes LM; Arce JE. Comparative analysis of Sequations used to estimate wood equilibrium moisture content. *Cerne* 2015; 9 (2): 141-152.

Moreschi JC. Propriedades da madeira. Departamento de engenharia e tecnologia florestal. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

Oliveira JTS; FIEDLER NC; TOMAZELLO FILHO M. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de Eucalyptus. *Revista Árvore* 201; 34 (5): 929-936.

Simpson WT. Equilibrium moisture content prediction for wood. *Forest Products Journal* 1071; 21 (5): 48-49.

Souza AP. et al. Sazonalidade da umidade de equilíbrio da madeira para o Estado de Mato Grosso. *Pesquisa Florestal Brasileira* 2016; 36 (88): 423-433.