



## Geotecnologias Aplicadas ao Zoneamento Sazonal da Umidade de Equilíbrio da Madeira em Rondônia, Brasil

### Geotechnologies Applied to Seasonal Zoning of Equilibrium Moisture Content of Timber in Rondonia, Brazil

Adriano Reis Prazeres Mascarenhas<sup>1</sup>;  
Denise Schneider Ghilardi<sup>1</sup> & Rafael Rodolfo de Melo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Rondônia, Departamento Acadêmico de Engenharia Florestal, Avenida Norte Sul 7.300, 76.890-000, Rolim de Moura, RO, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais, Avenida Francisco Mota 572, 59.625-900, Mossoró, RN, Brasil  
E-mails: [adriano.mascarenhas@unir.br](mailto:adriano.mascarenhas@unir.br); [denisescgilardi@gmail.com](mailto:denisescgilardi@gmail.com); [rafael.melo@ufersa.edu.br](mailto:rafael.melo@ufersa.edu.br)

DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_2\\_119\\_127](http://doi.org/10.11137/2020_2_119_127); Recebido: 12/11/2019 Aceito: 10/03/2020

#### Resumo

A interação com ar atmosférico resulta na adsorção ou perda de umidade espontânea pela madeira até que se tenha pressão de saturação de vapor de água no ar sob determinada temperatura, esta condição denomina-se Umidade de Equilíbrio da Madeira (UEM), que depende das condições climatológicas de cada região e/ou época do ano. Com isso, as oscilações de temperatura e umidade ocasionam alterações dimensionais e defeitos no material. Sendo assim, o zoneamento e sazonalidade da UEM são fundamentais no processamento e aplicação da madeira, nesse contexto inserem-se as geotecnologias, que facilitam a obtenção destes parâmetros com considerável precisão, principalmente em locais com carência na obtenção de dados climatológicos, onde a madeira tem elevada importância econômica, como é o caso do Estado de Rondônia. Objetivou-se realizar o zoneamento sazonal da UEM em 8 municípios do Estado de Rondônia (3 ao norte, 1 ao sul, 2 a leste e 2 a oeste). O clima da região caracteriza-se por apresentar temperatura média anual de 25 °C, umidade relativa do ar acima de 70%, precipitação anual de 2500 mm e estação seca de junho a setembro. A partir da Rede de Estações Meteorológicas Automáticas da Secretaria Estadual de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia e Instituto Nacional de Meteorologia obteve-se dados meteorológicos entre 2002 e 2018. A UEM foi estimada pelo método de Simpson diariamente, com posterior obtenção das médias mensais para pelo menos cinco anos analisados. Em seguida os dados de UEM foram georreferenciados e interpolados por meio de krigagem ordinária, utilizando-se o inverso do quadrado da distância (IDW), gerando-se mapas de zoneamento para todos os meses do ano. A UEM oscilou entre 10% e 21% no ano, na estação seca a variação foi entre 10,83% a 15,55%, com os menores valores em agosto. Nos meses mais úmidos a UEM variou entre 16,61% a 21,58%, com a maior média observada em janeiro. As condições ambientais durante o período seco (julho a setembro) favorecem a secagem natural da madeira serrada, por condicionarem uma secagem mais rápida. O uso de geotecnologias proporcionou o estudo da UEM em Rondônia de forma prática e dinâmica.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Climatologia; Tecnologia da Madeira

#### Abstract

The interaction with atmospheric air results in spontaneous adsorption or loss of moisture by the wood until there is water vapor saturation pressure in the air at a certain temperature, this condition is called equilibrium moisture content (EMC), which depends on the weather conditions of each region and/or time of year. As a result, fluctuations in temperature and humidity cause dimensional changes and material defects. Thus, the zoning and seasonality of EMC are fundamental in the processing and application of wood. In this context, geotechnologies are inserted, which make it easy to obtain these parameters with considerable precision, especially in places with lack of climatological data, where wood has high economic importance, as is the case of the state of Rondônia, North of Brazil.

The objective was to carry out the seasonal zoning of the EMC in 8 municipalities in the State of Rondônia (3 to the north, 1 to the south, 2 to the east and 2 to the west). The region's climate is characterized by an average annual temperature of 25 °C, relative humidity above 70%, annual rainfall around 1200 mm and a dry season from June to September. From the Network of Automatic Meteorological Stations of the State Department of Environmental Development of Rondônia and the National Institute of Meteorology, meteorological data were obtained between 2002 and 2018. The EMC was estimated by the Simpson method daily, with subsequent monthly averages for at least five years analyzed. Subsequently, the EMC data were georeferenced and interpolated by ordinary kriging, using the inverse square of the distance (IDW), generating zoning maps for all months of the year. The EMC fluctuated between 10% to 22% in the year, in the dry season the variation was between 10.83% to 15.55%, with the lowest values in August. In the wettest months the EMC varied between 16.61% to 21.58%, with the highest average observed in January. Environmental conditions during the dry season (July to September) favor the natural drying of lumber, as they condition faster drying. The use of geotechnologies provided the study of EMC in Rondônia in a practical and dynamic way.

**Keywords:** Geoprocessing; Climatology; Wood technology

## 1 Introdução

O setor madeireiro brasileiro entre os anos de 2017 e 2018 cresceu 13,1%, isso representou participação de 1,3% do PIB nacional, com receita total de R\$86,6 bilhões, sendo considerado um dos maiores crescimentos da última década quando comparado a outros setores da economia como indústria e agropecuária (IBÁ, 2019). Essa tendência de crescimento se dá em função das diversas propriedades que tornam a madeira matéria-prima de excelente qualidade, devido à baixa massa em relação ao volume, boa resistência mecânica, boa trabalhabilidade e boa adaptação como isolante térmico, elétrico e acústico (Souza *et al.*, 2016).

A busca de materiais biodegradáveis e renováveis também é crescente, tendo em vista a possibilidade de escassez dos recursos naturais não-renováveis. Os materiais lignocelulósicos, como a madeira, podem ser considerados como principais fontes de matéria-prima para construção civil, fabricação de móveis e casas, produção de painéis e outra série de aplicações.

Por outro lado, a madeira caracteriza-se por ser um compósito natural, orgânico, poroso e anisotrópico, existe variabilidade em suas propriedades químicas, físicas e mecânicas, tornando-a higroscópica e sensível às variações de temperatura, umidade do ambiente e pressão atmosférica, fazendo com que ocorra retração e inchamento, fenômeno denominado retratibilidade (Moreschi, 2014).

Quando a madeira interage com o ar atmosférico, adsorve ou perde umidade na forma de vapor até atingir um equilíbrio com a umidade do ar, momento se estabiliza sua variação dimensional (Skaar, 1988). Essa condição é chamada de Umidade de Equilíbrio da Madeira (UEM), parâmetro dependente da temperatura e umidade relativa do ar de cada região e/ou época do ano (Alvares *et al.*, 2017).

O modelo de Simpson (1971) é amplamente utilizado para determinar a UEM, tomando-se como exemplo os trabalhos de Cassiano *et al.* (2013) e Souza *et al.* (2016). Por meio desta, é possível confeccionar de tabelas e/ou mapas de UEM disponíveis para muitas localidades do Brasil

(Fioresi *et al.*, 2014).

Portanto, a UEM pode ser considerada como parâmetro ideal para previsão da performance da madeira quando em uso, possibilitando-se estabelecer a previsibilidade da contração e inchamento desta quando exposta às condições de temperatura e umidade diferentes daquelas em que foi processada (Martins *et al.*, 2003). Essa uma situação bem comum no Brasil que, devido a grande extensão territorial, apresenta alta variabilidade das condições meteorológicas.

Com isso, estudos que possibilitem o conhecimento da UEM de forma prática e sazonal são fundamentais, pois a partir disso é possível otimizar seu processamento, utilização e aproveitamento, principalmente nos Estados brasileiros em que existem lacunas para obtenção de dados climatológicos, em virtude da quantidade e distribuição de estações meteorológicas serem incompatíveis com a extensão territorial. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de avaliações em escala regional no Estado de Rondônia, para o qual estudos detalhados acerca dos valores de UEM são incipientes.

Diante desse cenário, as geotecnologias podem ser ferramentas úteis para obtenção desses parâmetros, como, por exemplo, os métodos de interpolação para gerar dados espaçados de uma determinada variável a partir de levantamentos de dados pontuais com baixo custo, rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem fenômenos atmosféricos (Rabelo & Almeida, 2019). Dentre esses métodos, destaca-se a krigagem ordinária, que é amplamente aceita para estimativas lineares a partir de observação de dados pontuais e pode ser aplicada em diversos campos, como: mineração, geotecnia, hidrogeologia, agricultura de precisão e recursos florestais (Yamamoto & Landim, 2013).

Nesse contexto, devido a crescente procura por madeira e por sua importância econômica para o Estado de Rondônia, e visando subsidiar programas de secagem ao ar livre nas regiões produtoras de madeira tropical, objetivou-se estimar e avaliar a sazonalidade e zoneamento da umidade de equilíbrio da madeira para o Estado.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Caracterização da região de estudo

O presente estudo foi elaborado para o Estado de Rondônia, cuja área territorial é de 237.765.293 km<sup>2</sup>, dividida em 52 municípios e está localizado na região norte do Brasil (IBGE, 2018).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (Tropical de Monções), no qual a média anual da temperatura do ar fica entre 24 °C e 26 °C, com temperatura máxima entre 30 °C e 34 °C e a mínima entre 17 °C e 23 °C, com as temperaturas médias no mês mais frio superiores a 18 °C. A média da precipitação anual é de 2.500 mm ano<sup>-1</sup> apresentando um período seco bem definido também durante o inverno. Com isso a umidade relativa do ar, fica entre 80% a 90%, no verão, e 75%, durante o período com menor precipitação (Alvares *et al.*, 2013).

### 2.2 Obtenção, processamento e compilação de dados meteorológicos

Este estudo foi elaborado com base nos dados de temperaturas e umidade relativa do ar da rede de estações meteorológicas automáticas (EMA) da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia - SEDAM/RO e do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Foram escolhidas as EMA localizadas nos municípios de Ariquemes, Cacoal, Costa Marques, Guajará Mirim, Ji-Paraná, Machadinho do Oeste, Porto Velho e Vilhena e nos distritos de Calama e Extrema, pois são os únicos municípios que compõem a rede meteorológica de Rondônia (Figura 1).

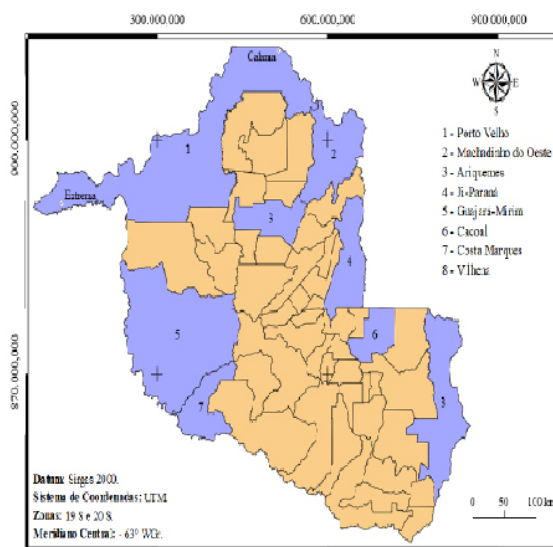


Figura 1 Localização dos municípios com as estações meteorológicas automáticas - EMA utilizadas para estimar o do zoneamento sazonal da umidade de equilíbrio da madeira - UEM no Estado de Rondônia.

Além disso, os dados obtidos são referentes ao período compreendido entre 2002 e 2018 de forma descontínua por conta de impedimentos técnicos nas estações. Na Tabela 1 encontram-se as coordenadas das EMA e os respectivos períodos de coleta de dados.

Em seguida, os dados foram resumidos por meio da obtenção das médias diárias e mensais de temperatura e umidade relativa do ar de cada uma das estações meteorológicas automáticas. Após a obtenção das médias mensais para cada ano de coleta, foram obtidas médias mensais das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar correspondentes a todo o período estudado, com pelo menos 5 anos de coleta de dados.

Locais	Coordenadas		Altitude (m)	Período de dados
	Latitude	Longitude		
Ariquemes	09°54'22,38"S	63°01'58,82"O	135	2002, 2003, 2009, 2010 e 2011
Cacoal	11°26'04,80"S	61°27'23,98"O	196	2006, 2007, 2008, 2009 e 2010
Calama	08° 1'27,90"S	62°51'59,92"O	61	2013, 2014, 2015, 2016 e 2017
Costa Marques	12°26'18,82"S	64°13'35,98"O	146	2005, 2006, 2007, 2008 e 2010
Extrema	09°46'15,94"S	66°21'21,76"O	147	2012, 2013, 2015, 2016 e 2017
Guajará-Mirim	10°47'21,56"S	65°19'48,38" O	130	2006, 2007, 2008, 2010 e 2013
Ji-Paraná	10°52'41,31"S	61°55'57,62"O	160	2006, 2007, 2008, 2009 e 2010
Machadinho do Oeste	09°25'12,11"S	62°00'35,89"O	130	2006, 2007, 2008, 2009 e 2010
Porto Velho	08°45'40,18"S	63°54'01,55"O	88	2013, 2014, 2015, 2016 e 2017
Vilhena	12°44'29,05"S	60°07'49, 64"O	600	2007, 2009, 2010, 2013 e 2018

Tabela 1 Informações referentes às estações meteorológicas automáticas (EMA) utilizadas para o zoneamento sazonal da umidade de equilíbrio da madeira - UEM.

### 2.3 Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira (UEM)

Para estimar a umidade de equilíbrio da madeira, aplicou-se a Equação (1) proposta por Simpson (1971), cuja modelagem foi baseada na teoria de sorção da água na madeira de Hailwood & Harrobin (1946), em função da temperatura (T) e da umidade relativa (h).

$$UEM = \frac{1,800}{W} \left[ \frac{Kh}{1 - Kh} + \frac{K_1Kh + 2K_1K_2K^2h^2}{1 + K_1Kh + K_1K_2K^2h^2} \right] \quad (1)$$

Em que: UEM = umidade de equilíbrio da madeira (%);  $W = 349 + 1,29T + 0,0135T^2$ ;  $K = 0,805 + 0,000736T - 0,00000273T^2$ ;  $K_1 = 6,27 - 0,00938T - 0,000303T^2$ ;  $K_2 = 1,91 + 0,0407T - 0,000293T^2$ ; T = temperatura (°C); e h = umidade relativa do ar, em decimal.

### 2.4 Zoneamento da umidade de equilíbrio da madeira (UEM)

Com os dados coletados das estações meteorológicas, foram gerados mapas mensais de zoneamento da UEM no Estado de Rondônia. Para isso os procedimentos de preparo, tratamento de informações e elaboração dos mapas foram realizados utilizando-se o software SIG ArcGIS Desktop versão 10.5, com licença educacional sob o número de registro EVA346750770 (ESRI, 2018). O sistema de referência utilizado para todas as imagens foi SIRGAS 2000, zonas 19S e 20S, meridiano central 63° WGr e sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator.

A planilha eletrônica, contendo as estimativas de UEM e suas respectivas coordenadas geográficas foi importada por meio da ferramenta *add data* e, em seguida, utilizando-se a função *display x,y coordinates* plotou-se os pontos do ambiente de trabalho do software. Na sequência, os dados foram exportados para um arquivo na extensão *shapefile*, com a feição do tipo ponto. Na etapa seguinte, utilizou-se a rotina *Geoprocessing - Enviroments - Processing Extent - Raster Analysis* para delimitar a interpolação dos dados aos limites do arquivo *shapefile* do Estado de Rondônia, obtido na base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2019).

Posteriormente, aplicou-se a rotina *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Interpolation - IDW* para obtenção do *raster* com a interpolação das médias de

UEM por krigagem ordinária das médias de UEM, por intermédio da execução do algoritmo IDW (inverso do quadrado da distância), adaptando-se a metodologia de Souza *et al.* (2016).

Por fim, os valores de UEM foram distribuídos em cinco classes equidistantes com intervalos de 1/4 desvios-padrão para gerar o zoneamento e facilitar a interpretação dos mapas, seguindo as diretrizes apresentadas por Alvares *et al.* (2017), nesta etapa, utilizou-se a rotina *Layer Properties - Classified - Classify - Method - Standart Deviation - 1/4 Std Dev*, atribuindo-se o mesmo número de pixels para cada classe de UEM.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR) foram analisados por meio estatística descritiva e os dados de umidade de equilíbrio da madeira foram analisados por meio dos mapas de interpolação.

## 3 Resultados e Discussão

A variação da temperatura anual para o Estado de Rondônia, considerando a amplitude entre o valor máximo e mínimo (Tabela 2), foi na ordem de 22,48% e as menores temperaturas médias mensais ocorreram em maio, junho e julho, principalmente no município de Vilhena, ao sul do Estado.

As maiores temperaturas médias mensais foram verificadas entre os meses de setembro e outubro, independentemente da região, com as maiores temperaturas registradas em Porto Velho e Guajará-Mirim, respectivamente. Esse período do ano é marcado por estiagem e sem grandes atividades convectivas na região, aumentando assim a temperatura do ar (Franca, 2015).

Esses resultados podem ser explicados por dois aspectos, o primeiro é que nos meses de maio, junho e julho ocorre o fenômeno climatológico denominado “friagem”. Esse fenômeno se caracteriza pela ocorrência de umidade relativa elevada, chuvas frontais e queda abrupta de temperatura em função de anticiclones de origem polar que transpõem a cordilheira dos Andes, atingindo o setor sudoeste da região da Região Norte do Brasil (Nimer, 1989).

Outro fator a ser considerado é o município de Vilhena está no extremo sul do Leste Rondoniense, onde a altitude é em média 450 m acima dos demais municípios, como, por exemplo, Porto Velho e Guajará-Mirim que estão no extremo norte da mesorregião Madeira-Guaporé, onde estão as menores altitudes de Rondônia (CPRM, 2010).

Nessas condições, se estabelece entre a temperatura e altitude relação inversamente proporcional que conforme Maciel *et al.* (2012) e Fritzsos *et al.* (2016) favorece a formação de um gradiente adiabático mais intenso do ar seco que eleva a taxa de arrefecimento do ambiente. Isso ocorre por meio da ascensão das massas de ar seco que são submetidas à contínua redução de pressão, tornando-as mais volumosas e com decréscimo de temperatura na ordem de 1 °C a cada 180 metros.

Em relação a umidade relativa do ar (Tabela 3), a diferença entre os valores máximo e mínimo foi de 53,95% sendo que as umidades relativas acima de 80% ocorreram entre os meses de outubro e junho, restando os meses de julho, agosto e setembro com as umidades relativas mais baixas. Esses resultados estão em harmonia com os estudos de Franca (2015), nos quais constam que a climatologia de chuvas de Rondônia é caracterizada

por três meses de seca, que coincidem com os meses de menor UR, e volta a aumentar quando ocorre a mudança de estação, tendo seu ápice no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, que compreendem os meses mais chuvosos da região.

Outro ponto a ser destacado é que a relação entre temperatura e UR foi inversamente proporcional. Souza *et al.* (2016) auxiliam no entendimento desta tendência ao afirmarem que há uma dependência exponencial da UR em relação a temperatura. Com aumento da temperatura ocorre a expansão da massa de ar, elevando-se o potencial de contenção de vapor de água, que por sua vez acarreta em variações de UR, que não necessariamente significam ocorrência de mudanças na concentração de vapor de água do ar, mas sim de volume de vapor. Desta forma, como consequência, espera-se valores de UR mínimos em meses mais quentes e vice-versa.

Locais	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ariquemes	25,58	25,49	25,69	26,05	25,58	24,93	24,95	25,60	26,35	26,22	25,95	25,95
Cacoal	25,46	25,23	25,61	25,62	23,88	24,30	23,56	25,20	26,70	26,44	26,18	25,56
Calama	25,91	25,90	26,13	26,10	25,97	25,61	25,19	26,36	27,10	26,81	26,33	26,14
Costa Marques	26,14	26,10	26,20	25,77	23,64	24,42	23,81	25,23	26,76	27,28	26,56	26,39
Extrema	24,94	25,37	25,34	25,43	24,68	25,02	24,39	25,60	26,35	26,34	25,91	25,77
Guajará-Mirim	26,02	25,96	26,11	25,87	24,26	25,03	25,14	26,29	27,30	27,24	25,62	26,39
Ji-Paraná	25,54	25,24	25,54	25,59	24,66	24,80	24,98	26,46	27,26	26,50	25,75	25,91
Machadinho do Oeste	24,94	24,70	24,94	24,98	24,42	24,62	25,00	25,98	26,66	26,10	25,82	24,80
Porto Velho	25,78	25,74	25,88	26,03	25,88	25,87	25,63	26,82	27,22	26,70	26,58	26,12
Vilhena	23,55	23,43	23,72	23,85	22,86	22,29	22,64	24,17	25,24	24,56	23,89	23,55

Tabela 2 Médias mensais da temperatura do ar (°C) para diferentes municípios do Estado de Rondônia, entre 2002 e 2018. Fonte: Rondônia (2018) e INMET (2018).

Locais	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ariquemes	85,02	85,32	85,72	83,26	79,98	76,13	69,53	63,55	68,12	74,96	77,93	77,93
Cacoal	91,09	91,97	89,46	86,44	86,82	78,38	70,00	64,00	63,80	76,60	82,60	85,98
Calama	86,80	86,31	86,84	86,44	86,08	83,80	77,29	72,52	74,86	79,24	83,71	84,97
Costa Marques	82,24	83,58	84,12	81,39	79,76	77,96	71,65	64,99	62,58	71,21	76,28	79,04
Extrema	88,46	82,06	87,96	86,62	76,82	82,87	73,52	68,34	72,55	78,74	83,79	75,97
Guajará-Mirim	86,59	86,61	86,23	85,19	82,38	81,91	73,91	67,75	68,69	75,06	82,09	84,02
Ji-Paraná	91,46	91,45	91,36	90,59	84,20	79,60	71,20	64,80	71,00	83,60	86,64	80,31
Machadinho do Oeste	90,20	91,60	90,20	90,80	87,80	85,20	79,20	73,80	76,40	82,60	86,20	90,00
Porto Velho	85,77	86,52	86,98	85,44	85,42	80,17	71,58	66,86	72,16	77,59	81,53	84,27
Vilhena	88,69	88,23	88,60	85,66	81,68	76,29	67,42	59,74	64,00	78,18	85,64	86,74

Tabela 3 Médias mensais da umidade relativa do ar (%) para diferentes municípios do Estado de Rondônia, entre 2002 e 2018. Fonte: Rondônia (2018) e INMET (2018).

Nesse contexto, os valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar podem ser considerados como indicadores eficientes para avaliação das oscilações climáticas do ano, pois é possível inferir-se a respeito da presença de vapor de água na atmosfera e das precipitações (Almeida, 2016).

Além disso, são parâmetros intimamente ligados à dinâmica da pressão de vapor de água que ocorre entre madeira e atmosfera são de grande importância para compreensão tecnológica desse material. Em função da adsorção ou desorção de água em sua estrutura tridimensional, desencadeiam-se liberações de tensões no material, desenvolvidas a partir das variações dimensionais que ocorrem durante a movimentação de vapor de água na parede celular (Galvão & Jankowsky, 1985).

Diante disso, a partir da interpolação dos dados, foi possível observar a dependência e a tendência sazonal da umidade de equilíbrio da madeira (UEM) em função da temperatura e UR. As médias mensais de UEM oscilaram entre 10% e 21% (Tabela 4). Na estação seca a variação foi

entre 10,83% a 15,55%, com os menores valores em agosto. Nos meses mais úmidos (janeiro, fevereiro e março) a UEM variou de 16,61% a 21,58%, com a maior média para janeiro.

Para nove meses do ano, a UEM foi considerada elevada, pois ao se verificar a condição de uso da madeira para construção civil estabelecida na NBR 7190/1997, a UEM deve ser igual a 12% em ambientes com UR igual ou superior a 65% (ABNT, 1997). Já Moreschi (2014), menciona que valores em torno de 15% são adequados para esta finalidade. Dessa forma, apenas os meses de julho, agosto e setembro estão na amplitude de 12% a 15% de UEM.

Com base nos resultados encontrados, verifica-se que na região amazônica para se obter valores permanentes de UEM conforme as recomendações da literatura, faz-se necessário a adoção programas de secagem da madeira (Galvão & Jankowsky, 1985), e aplicação de revestimentos em sua superfície quando em serviço, como vernizes ou resinas para reduzir a interatividade da umidade atmosférica com a madeira, mantendo UEM estável (Coutinho & Delpech, 1999).

I semestre						
Classes	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
1	16,61 - 18,46	17,13 - 18,49	17,39 - 18,65	16,36 - 17,92	15,88 - 16,88	14,80 - 15,49
2	18,46 - 18,78	18,49 - 18,86	18,65 - 18,93	17,92 - 18,27	16,88 - 17,20	15,49 - 15,65
3	18,78 - 19,77	18,86 - 19,86	18,93 - 19,69	18,27 - 18,64	17,20 - 17,54	15,65 - 15,82
4	19,77 - 20,27	19,86 - 20,48	19,69 - 20,04	18,64 - 18,99	17,54 - 17,88	15,82 - 16,26
5	20,27 - 21,47	20,48 - 21,58	20,04 - 21,35	18,99 - 20,83	17,88 - 19,16	16,26 - 17,89
II semestre						
Classes	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	12,59 - 13,22	10,83 - 11,87	11,83 - 12,18	13,27 - 14,70	14,62 - 16,34	15,35 - 16,73
2	13,22 - 13,44	11,87 - 12,00	12,18 - 12,40	14,70 - 15,08	16,34 - 16,58	16,73 - 17,14
3	13,44 - 13,58	12,00 - 12,16	12,40 - 12,75	15,08 - 15,49	16,58 - 17,18	17,14 - 17,57
4	13,58 - 13,86	12,16 - 12,36	12,75 - 13,22	15,49 - 15,67	17,18 - 17,57	17,57 - 18,18
5	13,86 - 15,55	12,36 - 13,88	13,22 - 14,62	15,67 - 17,43	17,57 - 18,65	18,18 - 20,35

Tabela 4 Classes de umidade de equilíbrio da madeira - UEM (%) para o Estado de Rondônia em função da sazonalidade.

Considerando-se todos os municípios de Rondônia, levando em conta as classes de UEM obtidas nesse trabalho, observou-se para o período mais chuvoso (outubro a junho), nas regiões centro-leste, nordeste e sudeste do Estado, as maiores UEM. Já as menores UEM, foram obtidas para os meses mais secos, predominantemente, nas regiões centro-sul, noroeste e nordeste de

Rondônia (Figura 2).

Esses resultados estão alinhados com as pesquisas de Franca (2015), pois o autor explica que Rondônia está sob influência de um dos cinco principais regimes pluviométricos da Amazônia. O da região sul, que caracteriza-se pela ocorrência de chuvas concentradas entre os meses de dezembro e fevereiro, as quais tendem a aumentar gradativa-

mente no sentido leste-sudeste para as proximidades de Vilhena e ao norte do Estado nas imediações do município de Cujubim, com precipitação pluviométrica anual superior a 2.500 mm.

Auxiliando no entendimento do contexto apresentado, Cassiano *et al.* (2013), constataram

em suas pesquisas, ao realizarem o monitoramento da UEM em condição de campo no Norte de Mato Grosso, que a pluviosidade exerceu influência direta sobre este parâmetro, elevando-o substancialmente nos meses mais chuvosos.

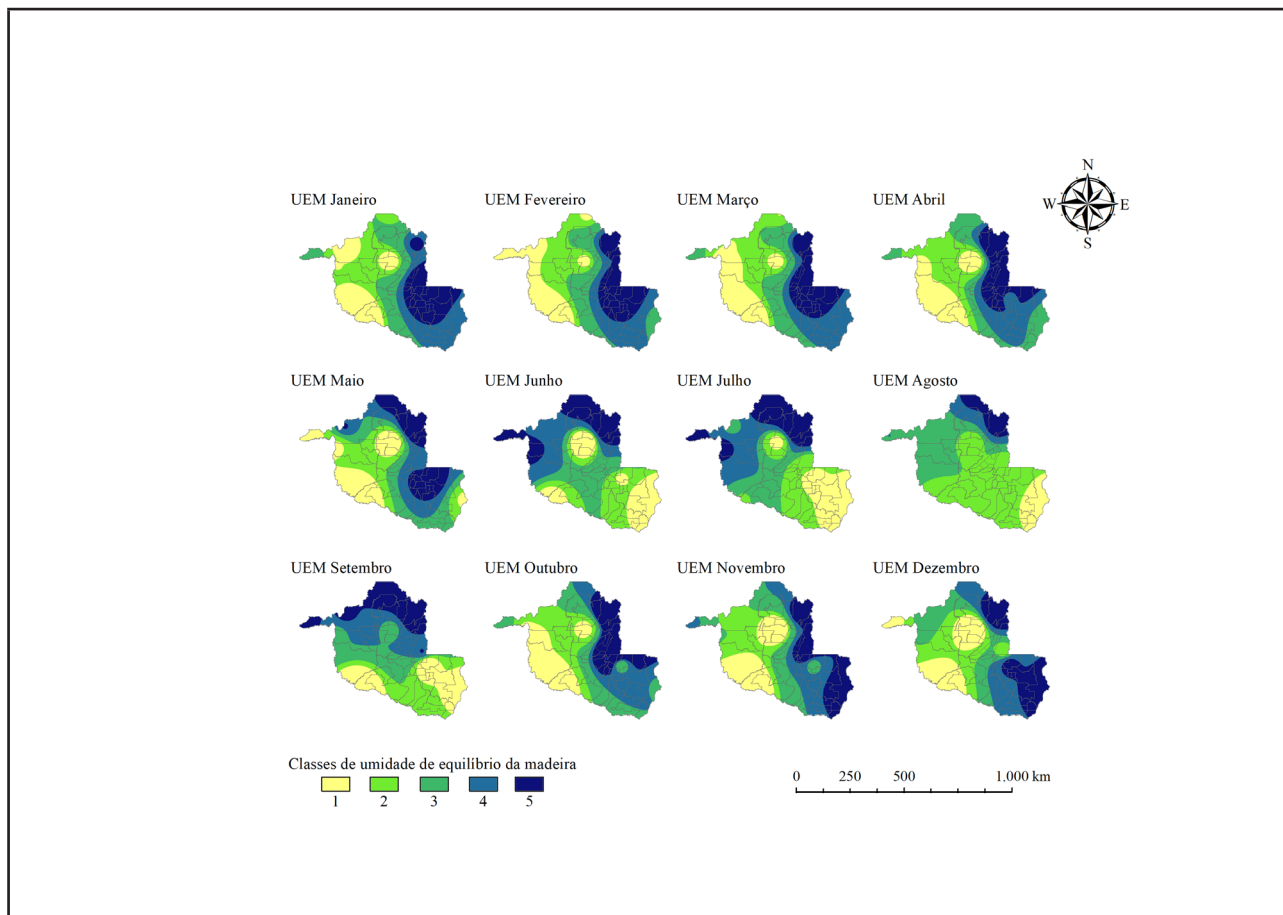


Figura 2 Mapas de zoneamento mensal da umidade de equilíbrio da madeira - UEM para o Estado de Rondônia.

Da mesma forma, Jesus *et al.* (2016), ao avaliarem a secagem ao ar livre das madeiras de espécies amazônicas em Rolim de Moura, Rondônia, verificaram que a taxa de secagem da madeira é menos acentuada no período de outubro a março, tornando-se mais intensa a partir de junho, época do ano em que se inicia o período seco, com temperaturas acima 26 °C e umidade relativa do ar abaixo de 75%.

O trabalho desenvolvido por Alvares *et al.* (2017), corrobora com as tendências observadas, pois os valores encontrados pelos autores para Rondônia encontram-se na mesma amplitude de variação das classes estabelecidas no presente trabalho. Também foi verificado que na Amazônia estão as maiores UEM, principalmente em regiões

constantemente úmidas, reafirmando o raciocínio apresentado anteriormente.

Diante do cenário apresentando, nessa pesquisa fica evidente que o conhecimento do zoneamento da UEM de cada região, neste caso em Rondônia, pode subsidiar tomadas de decisão quanto a realização de medidas a serem aplicadas à madeira. Conhecendo esta sazonalidade, é possível planejar a secagem da madeira em épocas de condições climáticas favoráveis para que se tenha a UEM no percentual de umidade final requerido para usos de maior valor agregado. Com isso, pode-se também prevenir o desenvolvimento de defeitos (empenamentos e rachaduras), geralmente observados em peças de madeira antes de entrar em equilíbrio higroscópico, ainda nos pátios das

indústrias madeireiras (Anjos *et al.*, 2011).

Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de redução de custos com transporte para outras localidades, pois ao reduzir a umidade da madeira para valores menores retira-se massa do material. Além disso, sabendo da umidade de equilíbrio da madeira em outras regiões pode-se desdobrar as peças com as sobre medidas necessárias (Gatto *et al.*, 2003). Considerando-se que a madeira pode contrair ou inchar, evita-se problemas com incompatibilidade de dimensões para o consumidor final.

Por fim, mesmo que a partir de uma estimativa, o emprego das geotecnologias para obtenção da UEM é de grande utilidade, pois em regiões com baixa densidade de estações meteorológicas, a aplicação de métodos para interpolação espacial de dados, além de ser uma ferramenta dinâmica, permite atualizações constantes tanto em escala temporal quanto em aporte de dados por novos pontos de coleta, melhorando-se as estimativas das variáveis de interesse.

#### 4 Conclusões

No Estado de Rondônia existe grande amplitude de variação para umidade de equilíbrio da madeira. Além disso, as maiores e menores médias mensais de UEM foram, respectivamente, na estação chuvosa (16,61% a 21,58%) e seca (10,83% e 15,55%), para qualquer região de Rondônia.

O zoneamento sazonal da umidade de equilíbrio da madeira para Rondônia pode proporcionar melhor execução dos processos de secagem ao ar livre e entendimento do comportamento dimensional da madeira em uso, tendo em vista que o banco de dados pode ser constantemente atualizado.

#### 5 Agradecimentos

À Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia - SEDAM/RO e Universidade Federal de Rondônia pelo fornecimento de informações, estrutura e pessoal.

#### 6 Referências

Almeida, H.A. 2016. *Climatologia aplicada à geografia*. Campina Grande, EDUEPB, 329p.

- 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, 13p.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Anjos, V.A.; Stangerlin, D.M.; Sander, A.; Botin, A.A.; Tenutti, J.; Filho, N.N.S. & Braga, R. 2011. Caracterização do processo de secagem da madeira nas serrarias do município de Sinop, Mato Grosso. *Ciência da Madeira*, 2(1): 53-63.
- ABNT. 1997. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7190: projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro, ABNT, 107p.
- 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*, 41(100): 457-468.
- Coutinho, F.M.B. & Delpech, M.C. 1999. Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 9(1): 41-48.
- CPRM. 2010. Serviço Geológico do Brasil. *Geodiversidade do Estado de Rondônia*. Porto Velho, CPRM, 337p.
- ESRI. 2018. Environmental Systems Research Institute. Software ArcGis Desktop, version 10.5. Disponível em: <<http://www.desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/get-started/setup/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- 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. *Ciência da Madeira*, 5(1): 34-41.
- Franca, R.R. 2015. Climatologia das Chuvas em Rondônia - período 1981-2011. *Geografias*, 11(1): 44-58.
- Fritzsos, E.; Mantovani, L.E. & Wrege, M.S. 2016. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 18(12): 80-92.
- Galvão, A.P.M. & Jankowsky, I.P. 1985. *Secagem Racional da Madeira*. São Paulo, Livraria Nobel, 111p.
- Gatto, D.A.; Santini, E.J.; Haselein, C.R. & Durlo, M.A. 2003. Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 14(1): 223-233.
- Hailwood, A. J. & Harrobin, S. 1946. Absorption of water by polymers: analysis in terms of a simple model. *Transactions of the Faraday Society*, 42(1): 84-102.



- IBÁ. 2019. Indústria Brasileira de Árvores. *Relatório 2019*. São Paulo, Studio 113, 80p.
- IBGE. 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do Estado de Rondônia. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/panorama>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- IBGE. 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases e referenciais. 2019. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- INMET. 2018. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados de estações meteorológicas automáticas em Rondônia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>>. Acesso em: 17 set. 2018.
- Jesus, A.G.; Modes, K.S.; Santos, L.M.H.; Bento, A.R. & Gusmão, M. 2016. Comportamento das madeiras de três espécies amazônicas submetidas à secagem ao ar. *Nativa*, 4(1): 31-35.
- Maciel, S.A.; Barcelos, B.F. & Oliveira, L.A. 2012. A análise da influência da altitude na temperatura e na precipitação da mesorregião Norte de Minas - Minas Gerais. *Revista Geonorte*, 1(5): 250-261.
- Martins, V.A.; Alves, M.V.S.; Silva, J.F.; Rebello, E.R.G. & Pinho, G.S.C. 2003. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. *Brasil Florestal*, 22(76): 29-34.
- Moreschi, J.C. 2014. *Propriedades Tecnológicas da Madeira*. Curitiba, UFPR, 208p.
- Nimer, E. 2013. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 425p.
- Rabelo, D.R. & Almeida, I.C.S. 2019. Uso do geoprocessamento na interpolação de dados pluviométricos no município de junco do Seridó, PB. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 1(1): 36-53.
- Rondônia. 2018. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental - SEDAM. Dados meteorológicos. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/sistemas-internos/cursos/meteorologia.html>>. Acesso em: 20 set. 2018.
- Simpson, W.T. 1971. Equilibrium moisture content prediction for wood. *Forest Products Journal*, 21(5): 48-49.
- Skaar, C. 1988. *Wood-Water Relations*. Syracuse, Springer-Verlag, 592p.
- Souza, A.P.; Stangerlin, D.M.; Melo, R.R. & Uliana, E.M. 2016. Sazonalidade da umidade de equilíbrio da madeira para o Estado de Mato Grosso. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(88): 423-434.
- Yamamoto, J.K. & Landim, P.M.B. 2013. *Geoestatística: Conceitos e Aplicações*. São Paulo, Oficina de Textos, 211p.