



Comportamento das madeiras de três espécies amazônicas submetidas à secagem ao ar

Andre Gusmão de JESUS^{1*}, Karina Soares MODES², Lourdes Maria Hilgert SANTOS³,
Anderson Roberto BENTO¹, Mirian GUSMÃO¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil.

² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, Santa Catarina, Brasil.

³ AMATA S. A. - Operação Floresta Nacional do Jamari, Itapuã do Oeste, Rondônia, Brasil.

* E-mail: andre.engflorestal@gmail.com

Recebido em outubro/2015; Aceito em janeiro/2016.

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo realizar o monitoramento do teor de umidade das madeiras de *Apuleia leiocarpa*, *Clarisia racemosa* e *Buchenavia capitata* submetidas à secagem ao ar no município de Rolim de Moura, RO. Para a avaliação, toras da madeira de cada espécie foram desdobradas em tábuas com faces tangenciais, das quais foram selecionadas 30 tábuas que foram submetidas à secagem ao ar no decorrer de um ano. As curvas de secagem e taxas de secagem foram determinadas a partir da pesagem periódica de amostras controladoras de umidade e das quais também foram avaliadas as contrações sofridas pela madeira. O teor de umidade mínimo atingido pelas madeiras no decorrer do período avaliado foi de 19,43, 21,57 e 25,72%, para *B. capitata*, *A. leiocarpa* e *C. racemosa*, respectivamente, que não pode ser considerado compatível para a maioria das possibilidades de uso da madeira. A maior taxa de secagem foi registrada para a madeira de menor densidade aparente (*C. racemosa*). O maior valor para o coeficiente de anisotropia foi registrado para a madeira de *B. capitata* (1,61), que apresentou a maior massa específica aparente (0,86 g.cm⁻³). A densidade da madeira influenciou o comportamento da mesma ao final do processo de secagem. O método de secagem ao ar livre, para as condições climáticas locais avaliadas não se mostrou eficiente para que as madeiras testadas atingissem um baixo teor de umidade final e, assim, recomendasse o seu uso combinado com o método de secagem artificial.

Palavras-chave: taxa de secagem, curva de secagem, métodos de secagem da madeira.

Behavior of the three amazonian woods submitted to air drying

ABSTRACT: This work aimed to carry out the monitoring of the moisture level of *Apuleia leiocarpa*, *Clarisia racemosa* and *Buchenavia capitata* woods, which were submitted to air drying in the city of Rolim de Moura, RO, Brazil. For the evaluation, wood logs of each species were outspread on boards with tangential faces, of which 30 boards were selected, and they were submitted to air drying in the course of a year. Drying curves and drying rates were determined based on periodic weighing of the controlling moisture samples, of which the contractions suffered by the wood were also evaluated. The minimum moisture levels reached by the woods during the study period were 19.43, 21.57 and 25.72% for *B. capitata*, *A. leiocarpa* and *C. racemosa*, respectively, but these values cannot be considered compatible for most of the possibilities of use of wood. The highest drying rate was registered for the lowest density wood (*C. racemosa*). The highest value for the anisotropy coefficient was registered for *B. capitata* wood (1.61), which showed the highest apparent specific mass (0.86 g.cm⁻³). The wood density has influenced its behavior at the end of the drying process. The method of air drying, for the local evaluated climatic conditions, has not proved to be effective to allow the researched woods to achieve a low level of final moisture. Therefore, we recommend its use combined with the artificial drying method.

Keywords: drying rate, drying curve, drying methods of woods.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as etapas que englobam o processo de industrialização da madeira, a secagem é a merecedora de maior atenção em virtude do gasto energético necessário ao processo, acarretando maiores custos de produção (MELLADO, 2007) e também é a fase, antes da transformação em bens e produtos, mais importante do beneficiamento, que visa agregar valor ao produto

final (JANKOWSKY, 1990). Assim, este procedimento quando aplicado corretamente confere às peças e produtos oriundos da madeira uma melhor trabalhabilidade, redução de risco de ataque de agentes biodegradadores, bem como maior estabilidade com o mínimo de defeitos às peças e produtos oriundos da madeira (BATISTA, 2009; SEVERO, 2000; ANJOS et al., 2011).

Dentre os vários métodos existentes, a secagem da madeira ao ar livre constitui o mais simples e menos oneroso deles. Tal

procedimento consiste em disponibilizar peças de madeira sob a forma de pilhas em locais abertos, de maneira que a secagem da madeira ocorra valendo-se de forças da natureza com a redução do seu teor de umidade até o ponto de equilíbrio higroscópico, conforme as condições atmosféricas da região. Estudar o comportamento das espécies frente a esta técnica empregada em condições locais distintas é necessário para se avaliar a compatibilidade do método às características da espécie, bem como avaliar se a adoção do mesmo é viável nas condições climáticas reinantes no local considerado (OLIVEIRA; CARVALHO, 2001).

Poucas informações se têm a respeito do comportamento das madeiras amazônicas referente a este tipo de secagem, necessitando, portanto, de um maior impulso no desenvolvimento de pesquisas envolvendo esta temática principalmente ao se considerar que o mesmo é um procedimento bastante promissor e passível de aplicação por produtores que não dispõem de recurso para conduzir a secagem da sua matéria-prima em estufa. Assim, esta pesquisa teve como foco a avaliação do comportamento das espécies *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. (Garapeira), *Clarisia racemosa* Ruiz & Pav (Oiticica) e *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler (Mirindiba) submetidas ao método de secagem da madeira ao ar livre.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido nas dependências da Universidade Federal de Rondônia, Campus de Rolim de Moura, localizado no centro-oeste do estado de Rondônia. O período de avaliação ocorreu de Outubro de 2012 a Setembro de 2013. O clima da região é do tipo Aw - Clima Tropical Chuvoso, segundo a classificação de Köppen, com período seco de maio a setembro e chuvoso de novembro a março. A precipitação média anual varia em torno de 1830 mm/ano e a temperatura média do ar 25°C (SIPAM, 2006).

2.2. Obtenção e preparo do material

O material utilizado foi proveniente de plano de manejo florestal sustentável. Para cada espécie foi selecionada uma tora verde e desdobradas pelo sistema de corte tangencial, resultando em tábuas com dimensões de 150 x 15 x 2,5 cm (comprimento, largura e espessura). Foram retiradas 30 peças para cada espécie, livres de defeitos, totalizando 90 tábuas. De cada espécie foram selecionadas 3 tábuas para a confecção de amostras controladoras de umidade com dimensões de 35 x 15 x 2,5 cm (comprimento, largura e espessura). As tábuas foram empilhadas juntamente com as amostras controladoras de umidade, sob uma base a 0,7 m do solo, formando três pilhas de três colunas com 10 tábuas. Foram utilizados duas camadas de tábuas adicionais, além de barras de concreto (sobre a cobertura) para o processo de restrição mecânica. A cobertura das pilhas foi feita com telhas de fibrocimento com 6 mm de espessura, de modo a minimizar a incidência direta de raios solares e precipitações (Figura 1).

2.3. Monitoramento das variáveis climáticas

Para monitorar as condições ambientais do local de estudo no decorrer da secagem ao ar, foi instalado no local, um termômetro do tipo capela para registro das temperaturas mínima e máxima (°C) e um pluviômetro para quantificar a precipitação local.



Figura 1. Aspecto geral do local do experimento

2.4. Taxa de secagem

A taxa de secagem foi obtida por meio da Equação 1 (SEVERO, 2000). A partir dos dados gerados foram elaboradas as curvas do teor de umidade e da taxa de secagem ao ar livre para cada espécie no período considerado.

$$T_s = \frac{TU_i - TU_f}{T} \quad (1)$$

em que: T_s = taxa de secagem (%/dia); TU_i = teor de umidade inicial (%), TU_f = teor de umidade final (%), T = tempo de secagem decorrido (dias).

2.5. Determinação da massa específica aparente

Ao final do processo de secagem foram retirados corpos-de-prova de seção transversal 2,5 x 2,5 cm das amostras avaliadas. Posteriormente, estas foram condicionadas em uma câmara climática com condições controladas de temperatura e umidade relativa (20°C/65%UR) até atingirem o teor de umidade de equilíbrio. Para determinar a massa específica aparente nessa condição, as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão 0,01g e suas dimensões definidas com o uso de um paquímetro digital de precisão 0,01 mm (Equação 2).

$$ME = \frac{M}{V} \quad (2)$$

em que: ME = massa específica aparente ($g \cdot cm^{-3}$); M = massa a 12% de umidade (g); V = volume a 12% de umidade.

2.6. Contrações radiais e tangenciais da madeira

A mensuração da variação dimensional da madeira foi realizada medindo-se a cada três dias a largura e a espessura das amostras controladoras de umidade para mensuração da perda em dimensão devido a redução do teor de umidade. Para mensuração das amostras utilizou-se um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Por meio das Equações 3 e 4 foram determinadas as contrações em espessura (radial) e em largura (tangencial).

$$\beta_r = \frac{E_v - E_{at}}{E_v} \times 100 \quad (3)$$

$$\beta_t = \frac{L_v - L_{at}}{L_v} \times 100 \quad (4)$$

em que: β_r = contração radial (%), E_v = dimensão em espessura verde (mm), E_{at} = dimensão em espessura atual (mm); β_t =

contração tangencial (%), L_v = dimensão em largura verde (mm), L_a = dimensão em largura atual.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Massa específica aparente

Os resultados obtidos para a massa específica aparente a 12% de umidade de cada espécie, depois de finalizado o procedimento de secagem são apresentados na Tabela 1. Soares et al. (2012) e Lovatti (2008), estudando a madeira de *A. leiocarpa*, obtiveram uma massa específica a 12% de umidade igual a $0,81 \text{ g.cm}^{-3}$. O elevado valor para a massa específica da madeira de *A. leiocarpa* é explicado devido o lenho possuir estrutura de paredes das fibras predominantemente delgadas a espessas, o que reflete no elevado índice encontrado para a massa específica aparente dessa espécie (ALVES et al., 2009).

Resultados semelhantes ao deste estudo é encontrado no banco de dados do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro (SFB, s.d.), o qual verificou uma densidade a 12% de $0,84 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,66 \text{ g.cm}^{-3}$ para as madeiras de *B. capitata* e *C. racemosa*. Assim, os resultados obtidos neste estudo mostram-se condizente com os dados obtidos por outros autores.

Tabela 1. Resultados da Massa Específica Aparente

Espécie	MEa
<i>Apuleia leiocarpa</i>	0,84
<i>Buchenavia capitata</i>	0,86
<i>Clarisia racemosa</i>	0,63

Em que: MEa: Massa Específica Aparente a 12% de umidade.

3.2. Variáveis climáticas

Na Figura 2 consta o comportamento dos eventos pluviométricos no decorrer do período de secagem. Ao observar a precipitação registrada desde o início do monitoramento da secagem, nota-se que os meses com maiores índices pluviométricos foram dezembro (274 mm) e abril (304 mm). Sendo que no mês de agosto não houve registros de chuvas.

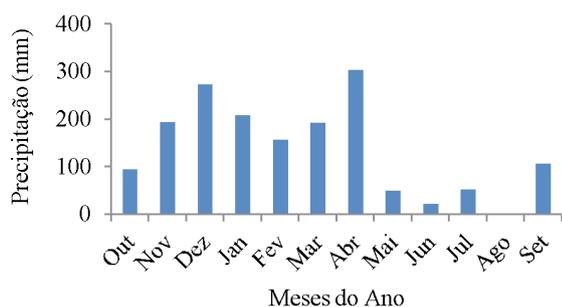


Figura 2. Precipitação mensal registrada no período de avaliação

Na Figura 3 são observados os valores de temperaturas médias, máximas e mínimas para o período de avaliação das madeiras.

As médias das temperaturas máximas e mínimas mensais não apresentaram grandes diferenças entre si, indicando pouca variação de temperatura durante o período avaliado. Sendo que no mês de agosto foi verificada a menor temperatura média ($27,3^\circ\text{C}$).

3.3. Curva de secagem

Na Figura 4 constam as curvas de secagem registradas para as espécies em estudo ao longo do experimento. Ao analisar a

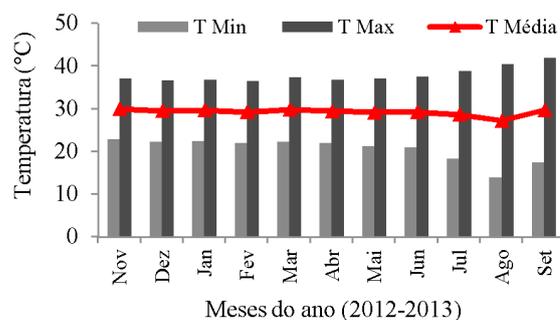


Figura 3. Temperaturas médias, máximas e mínimas mensais

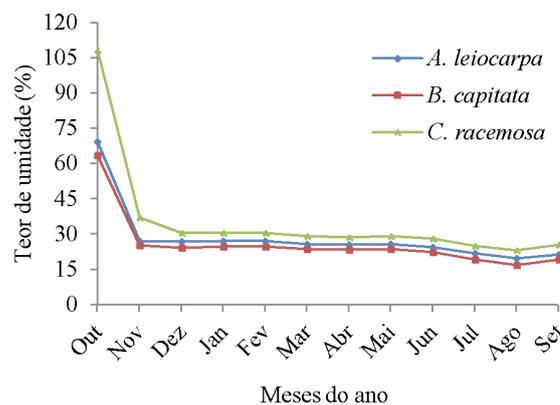


Figura 4. Curva de secagem ao ar livre para as três espécies estudadas

Figura 4, que relaciona o comportamento da redução do teor de umidade das espécies em função do período de secagem em meses, observa-se que entre as espécies submetidas à secagem ao ar livre, a madeira de *C. racemosa* foi a que apresentou o maior TUi, em um percentual de 108,69%. Já as espécies *A. leiocarpa* e *B. capitata* iniciaram o processo de secagem com TUi de 69,42% e 63,66%, respectivamente.

Os teores de umidade inicial verificados mostraram comportamento condizente com a literatura, em que o teor de umidade é inversamente proporcional a massa específica, assim a madeira de *C. racemosa*, com menor MEa apresentou maior TUi. Neste sentido, a diferença entre os teores de umidade inicial pode ser atribuída principalmente às diferenças anatômicas, em virtude da menor densidade estar relacionada a quantidade maior de espaços livres para o acúmulo de água na forma líquida (JANKOWSKY, 1990). Observa-se que a queda do TU da madeira é acentuada acima do PSF (ponto de saturação das fibras), e isso ocorre devido a este tipo de água, conhecida por água livre, localizada nos lumens, abertura das pontoações e meatos intercelulares estar ligada à madeira por forças de capilaridade, portanto bastante fracas, de maneira que sua eliminação se dá com facilidade não necessitando de grande energia no processo. Nota-se que a perda de umidade abaixo do PSF se deu de maneira mais lenta e gradual, isso porque nesta fase a remoção da água higroscópica ocorre pela combinação da difusão de umidade pelas paredes e lumens das células que é considerado um processo mais lento, ademais esse tipo de água está unida às moléculas polares da celulose na parede celular por pontes de hidrogênio, necessitando de condições ambientais mais favoráveis ao processo de secagem.

Com a finalização do processo de secagem no mês de setembro, a espécie que apresentou menor teor de umidade final foi *B. capitata*, com um índice de 19,43% de água na madeira,

seguido da espécie *A. leiocarpa* e *C. racemosa*, com teores de 21,57% e 25,72%, respectivamente.

Observa-se que o mês de agosto foi o mais propício à perda de umidade pelas madeiras, uma vez que foi o período em que se registraram os menores valores, 19,91%, 17,10% e 23,25% para as madeiras de *B. capitata*, *A. leiocarpa* e *C. racemosa*, respectivamente. Este fato pode ser explicado analisando as condições ambientais monitoradas, onde pode se observar que neste mês não houve registro de precipitação, o que contribuiu para que as madeiras das espécies perdessem mais água devido à redução da umidade relativa do ar. Sendo que a secagem ao ar livre é mais ativa nas épocas do ano em que a temperatura é mais elevada e a umidade relativa do ar mais baixa (REZENDE et al., 2010).

Segundo Jankowsky (1990), o conceito de madeira seca é relativo e depende da finalidade da madeira. Observou-se que os TU finais das madeiras em estudo são considerados impróprios, segundo classificação do autor acima, para usos em construção interna e externa, móveis, painéis, lambris, implementos agrícolas, dentre outros.

Mendes; Arce (2003) ao estimar as umidades de equilíbrio médias dos 26 estados brasileiros com base nas “Normais Climatológicas – Série 1961 a 1990”, por meio da equação desenvolvida pela teoria de sorção de Hailwood e Harrobin de dois hidratos, encontraram valor de 17,87% de umidade de equilíbrio média anual para o estado de Rondônia, em se tratando de madeiras. Assim, utilizando este critério, no final do processo de secagem ao ar, nenhuma das espécies avaliadas atingiu este valor, podendo-se inferir que o método de secagem avaliado deve ser empregado apenas como pré-secagem, conduzindo-se as madeiras posteriormente para os métodos de secagem artificial em estufa que fornecem teores de umidade finais inferiores.

3.4. Taxa de secagem

Na Figura 5 estão representadas as taxas de secagem em relação ao teor de umidade das madeiras de *A. leiocarpa*, *C. racemosa* e *B. capitata*.

As maiores taxas de secagem iniciais foram observadas para *A. leiocarpa* (10,89%), *C. racemosa* (10,06%), e *B. capitata* (6,05%).

No início da secagem, com a redução do teor de umidade da madeira, ocorre uma queda expressiva na taxa de secagem. Abaixo do PSF, as taxas de secagem ao ar livre são pequenas

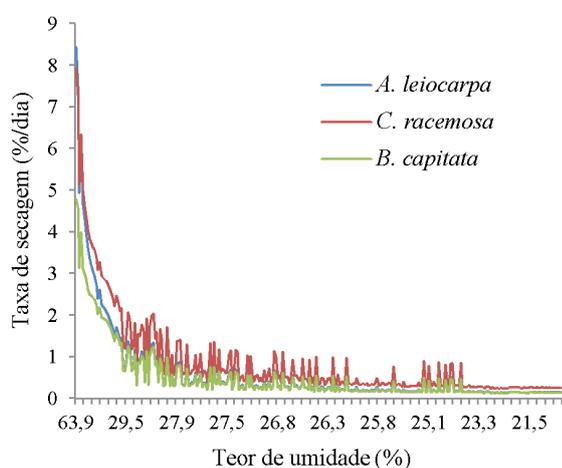


Figura 5. Taxa de secagem das três espécies ao longo do período avaliado

e se equiparam para as diferentes espécies, sendo que nesta fase a perda de umidade da madeira ocorre por difusão, em que há a movimentação de água do interior até a superfície da madeira (SANTOS et al., 2003), neste ponto a remoção de água da madeira passa a sofrer influência da temperatura (JANKOWSKY; HENRIQUEZ, 1983).

Quanto a taxa de secagem referente ao período total de avaliação, a madeira que apresentou maior valor foi a *C. racemosa* (0,233), seguida de *B. capitata* (0,129) e *A. leiocarpa* (0,125). Assim, quando comparados estes resultados com a os valores obtidos para a MEa observa-se que a madeira de *C. racemosa*, com menor valor para Massa específica apresentou a maior taxa de secagem.

3.5. Contrações radiais e tangenciais da madeira

Os dados de contração radial e tangencial, no período avaliado, para as três espécies são apresentados na Tabela 2. Observa-se que as espécies que apresentaram maiores contrações, *A. leiocarpa* e *B. capitata*, foram as espécies que obtiveram maiores valores para MEa, 0,84 e 0,86 g.cm³. Exceto para a espécie *C. racemosa*, a contração das madeiras foi maior no sentido tangencial, contribuindo para valores maiores de CA. Observou-se maiores valores de coeficiente de anisotropia para as madeiras de *B. capitata* (1,61) e *A. leiocarpa* (1,30), podendo-se inferir que se tratam de madeiras com maior propensão a apresentar defeitos durante o processo de secagem. O comportamento do coeficiente de anisotropia apresentou maiores valores para madeiras com maiores MEa.

Tabela 2. Contrações radiais e tangenciais e fator de anisotropia encontrado para as três espécies no período avaliado

Espécie	Contração radial (%)*	Contração tangencial (%)*	CA**
<i>A. leiocarpa</i>	3,25	4,12	1,30
<i>B. capitata</i>	1,98	3,07	1,61
<i>C. racemosa</i>	1,98	1,22	0,66

Em que: * Valores obtidos para contrações abaixo do PSF; **CA = coeficiente de anisotropia.

4. CONCLUSÕES

O mês de agosto foi o mais propício à perda de umidade pelas madeiras, período em que foram registradas as menores médias de umidade de equilíbrio para as espécies avaliadas. A maior taxa de secagem para o período avaliado foi verificada para *C. racemosa*. O maior coeficiente de anisotropia foi registrado para a madeira de *B. capitata*, seguido da madeira de *A. leiocarpa* e da madeira de *C. racemosa*. Nas condições climáticas do local de avaliação sugere-se o emprego deste método como uma pré-secagem ao método convencional em estufa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. C.; MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; BATISTA, D. C. Caracterização tecnológica da madeira de *Apuleia leiocarpa*. In: XIV ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., Alegre, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INIC, p. 1-4, 2009.
- ANJOS, V. DOS A.; STANGERLIN, D. M.; SANDER, A.; BOTIN, A. A.; TENUTTI, J.; SANTOS FILHO, N. N. DOS; BRAGA, R. Caracterização do processo de secagem da madeira nas serrarias do município de Sinop, Mato Grosso. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v. 2, n. 1, p. 53-63, 2011. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v02n01a05>

- BATISTA, C. D. **Qualidade da Secagem Convencional Conjunta da Madeira de nove Clones do Gênero Eucalyptus**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- JANKOWSKY, I. P.; HENRIQUEZ, E. Z. Gradiente de Umidade e Desenvolvimento de Tensões da Secagem Artificial da Madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 24, p. 27-32, 1983.
- JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Documentos Florestais. Piracicaba (10): 1–13, jun. 1990
- LOVATTI, L. P. **Madeira serrada na região sul do Espírito Santo: comercialização e propriedades**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.
- MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de Transferência de Calor e Massa na Secagem de Madeira Serrada de Pinus**. 2007. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- 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.
- OLIVEIRA, J. T. S.; CARVALHO, A. M. L. Secagem e Preservação da Madeira de Eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 55, p. 58-61, 2001.
- REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; PAULA, L. E. R.; FARIA, A. L. R. Secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 41-47, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000400016>
- SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva Característica de Secagem para Madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-220, 2003.
- SEVERO, M. A. Qualidade da Secagem de Madeira Serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 109-124, 2000.
- SFB – Serviço Florestal Brasileiro. Madeiras Brasileiras. [s.d.]. Disponível em: <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/foreword.htm>. Acesso em 15 de Setembro de 2015.
- SOARES, A. K.; CERON FILHO, H. R.; PERES, L. L.; PERES, M. L.; GATTO, D. A. Propriedades físicas e mecânicas das madeiras de *Apuleia leiocarpa* e *Eucalyptus grandis*. In: **Anais do 21º Congresso de Iniciação Científica e 4ª Amostra Científica**, Pelotas – RS, 2012, 4 p.
- SIPAM: Sistema de Proteção da Amazônia. (2006). **Diagnóstico Climático para o Município de Rolim de Moura**. Centro Técnico e Operacional de Porto Velho Coordenação de Operações Integradas Divisão de Meteorologia e Climatologia. Porto velho, 2006. 11p.