







ARTIGO ORIGINAL

Taxa e defeitos de secagem ao ar livre de quatro espécies provenientes de um sistema agroflorestal

Air drying rate and defects for four species from an agroforestry system

Tauana de Souza Mangini¹ , Luana Candaten¹ , Rômulo Trevisan¹ , Elder Eloy¹ ,
Eduarda Bandera¹ , Laura da Silva Zanchetta¹ 

¹Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil

Como citar: Mangini, T. S., Candaten, L., Trevisan, R., Eloy, E., Bandera, E., & Zanchetta, L. S. (2023). Taxa e defeitos de secagem ao ar livre de quatro espécies provenientes de um sistema agroflorestal. *Scientia Forestalis*, 51, e3984. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.22>

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar a taxa e defeitos de secagem ao ar livre de quatro espécies provenientes de um sistema agroflorestal. Para tanto, foram amostrados indivíduos com 11 anos de idade de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake. As toras abatidas foram encaminhadas ao desdobro primário e posteriormente à mensuração dos defeitos de encanoamento, arqueamento, encurvamento, rachaduras de topo e presença de nós antes da secagem. Em seguida, foram selecionadas três tábuas por espécie, destinadas para o controle da umidade da pilha. A partir da estabilização do teor de umidade os defeitos foram novamente mensurados, sendo a transição da taxa de secagem determinada por meio de regressões lineares múltipla e simples e a taxa de secagem constante, por meio de regressões lineares simples. A maior amplitude de transição da taxa de secagem e, da mesma forma, o tempo para estabilização desse índice, ocorreu no *Peltophorum dubium*, seguido de *Parapiptadenia rigida*, *Schizolobium parahyba* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. De maneira geral, apesar do elevado número de tábuas com rachaduras de topo, *Peltophorum dubium* se destacou entre as espécies do sistema agroflorestal, uma vez que evidenciou baixo índice para os defeitos avaliados. Em contrapartida, ainda que *Schizolobium parahyba* tenha apresentado uma elevada taxa de secagem, o mesmo também exibiu um alto índice de rachaduras de topo, bem como de nós, comprometendo a qualidade do material. Portanto, conclui-se que, o conhecimento das características da madeira é importante para condução da secagem, já que, cada espécie apresenta um comportamento distinto; com esse domínio é possível conduzi-la de maneira correta e obter-se produtos adequados e com mínimos defeitos.

Palavras-chave: Qualidade da madeira; Relações água-madeira; Empenamentos; Madeira serrada.

Abstract

This study aimed to evaluate the outdoor drying rate and defects of four species from an agroforestry system. For this purpose, 11-year-old individuals of *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* and *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake were sampled. The felled logs were sent to primary sawing and later the measurement of piping defects, arching, bending, top cracks and the presence of knots before drying. Then, three boards per species were selected, destined to control the humidity of the pile. From the stabilization of the moisture content, the defects were measured again, with the transition of the drying rate determined by means of multiple and simple linear regressions and the constant drying rate, by means of simple linear regressions. The greatest amplitude of drying rate transition and, likewise, the time for stabilization of this index, occurred in *Peltophorum dubium*, followed by *Parapiptadenia rigida*, *Schizolobium parahyba* and *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. In general, despite the high number of boards with top cracks, *Peltophorum dubium* stood out among the species of the agroforestry system, since it showed a low rate for the evaluated defects. On the other hand, although *Schizolobium parahyba* had a high drying rate, it also exhibited a high rate of top cracks, as well as knots,

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: luana_candaten@outlook.com

Recebido: 27 janeiro 2023.

Aceito: 23 junho 2023.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

compromising the quality of the material. Therefore, it is concluded that the knowledge of the characteristics of the wood is important for conducting the drying process, since each species has a different behavior; with this it is possible to conduct drying correctly and obtain adequate products with minimal defects.

Keywords: Wood quality; Water-wood relations; Warping; Lumber.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento do setor industrial madeireiro faz-se necessário inovações nas formas e conduções dos plantios. Atualmente, observa-se o interesse e o incentivo na implantação de sistemas agroflorestais (SAF's), os quais envolvem a introdução do componente florestal em interação com o agrícola, por exemplo, e assim auxiliam na otimização de espaço, ampliam a produção, consequentemente a renda de curto e longo prazo e conferem maior qualidade aos produtos gerados (Padovan et al., 2022). Porém, é válido determinar o objetivo e a funcionalidade desse sistema a partir do arranjo temporal e espacial dos componentes (Schwerz et al., 2022).

Deste modo, com o planejamento e instalação dos SAF's é possível utilizar espécies arbóreas nativas e/ou exóticas que além de contribuir com o mercado madeireiro, coopera com proteção do solo, a conservação de recursos naturais e preserva as florestas nativas (Lenci et al., 2018). Sendo assim, é uma forma de se adquirir a matéria prima de forma sustentável, já que há uma vasta aplicação de artigos oriundas de madeira.

Para garantir o beneficiamento dessa matéria prima, torna-se necessário emprego de técnicas que proporcionem um aumento na qualidade e agreguem valor ao produto. Neste caso, destaca-se a secagem da madeira, a qual tem por objetivo a remoção da água do material de forma gradual, em menor tempo possível e mínima incidência de defeitos (Moretti et al., 2020).

Esse processo é composto por diferentes fases, sendo que a escolha da técnica interfere no tempo, na qualidade e na obtenção do teor de umidade desejado para o produto final (Zen et al., 2019; Delatorre et al., 2020). Dentre todos os métodos, a secagem ao ar livre vem sendo empregada frequentemente, uma vez que utiliza as condições ambientais de umidade relativa, temperatura e circulação de ventos para evaporação da água presente na madeira (Liebl et al., 2017).

A técnica possui a vantagem do baixo investimento inicial em máquinas e equipamentos, porém, em contrapartida, demanda um maior tempo de execução quando comparado com outros processos, além do fato de que o teor de umidade final obtido pode ser limitante para certos usos, como, fabricação de móveis, casas, ou produtos que exijam maior resistência, pois a umidade excessiva pode levar a deformação, rachaduras nas peças, comprometendo a estabilidade, resistência ao material e ainda há possibilidade de ataque de fungos (Susin et al., 2014).

Entretanto, cabe salientar que a secagem ao ar livre pode ser utilizada como pré-secagem para posterior finalização em estufa, reduzindo a incidência de defeitos geralmente observados nas fases iniciais do processo (Talgatti et al., 2020). Além disso, há inúmeros fatores que contribuem na incidência de defeitos durante e após a secagem, dentre esses destacam-se a orientação anatômica das tábuas no momento do desdobro, sentido estrutural, tipo de grã, lenho de reação, fatores externos, sítio, bem como o uso inadequado dos tabiques ou sarrafos separadores, por exemplo (Zen et al., 2019; Monteiro et al., 2017). As associações de todos esses fatores ocasionam a presença de aspectos negativos nas peças, como rachaduras e empenamentos (Müller et al., 2017).

Com isso, pelo fato de as espécies apresentarem características e comportamentos distintos e que, a maioria dos defeitos ocorridos na madeira são resultantes da forma como ocorre a remoção de água da mesma, configura-se relevante a buscar por informações do desempenho das diferentes espécies, visto ainda que, é um assunto com pouca diversidade na literatura. Portanto, buscando o correto emprego e qualidade dos produtos finais, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar a taxa e defeitos de secagem ao ar livre de quatro espécies provenientes de um sistema agroflorestal.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram abatidos dezesseis indivíduos com 11 anos de idade sendo, cinco de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan, quatro de *Peltophorum dubium*

(Spreng.) Taub., três do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (Híbrido) e quatro de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, comumente denominadas de Angico, Canafístula, Eucalipto e Guapuruvu, respectivamente.

Estes foram provenientes de um sistema agroflorestal (SAF) caracterizado por possuir espaçamento de plantio com 12 m entre linhas e 1,5 m entre plantas na linha, localizado em área experimental pertencente à Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen (UFSM/FW). Visto que, o clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo subtropical úmido com verão intenso (Cfa), com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. A precipitação média anual varia entre 1.400 e 1.760 mm, bem distribuída ao longo do ano (Matzenauer et al., 2011).

Para produção das amostras, confeccionou-se toras de 2,5 m de comprimento as quais foram submetidas a operação de desdobro primário, composto de uma serra fita vertical com carro transportador. O sistema de desdobro obtido foi o tangencial, sucessivo e paralelo ao eixo da casca, o qual originou tábuas, com dimensões de 0,0254 x 0,12 x 2,0 m (espessura, largura e comprimento, respectivamente), dessas foram mensurados os defeitos de arqueamento, encaçamento, encurvamento, rachaduras de topo e presença de nós, de acordo com norma NBR 14806 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002).

Após esse processo selecionou-se, de maneira aleatória, três tábuas por espécie, as quais foram redimensionadas em 1,40 m de comprimento e, em seguida, amostradas as extremidades laterais com largura de 5 cm. Essas foram acondicionadas em estufa com circulação de ar forçada a 103 °C até peso constante para determinação do teor de umidade inicial e massa específica básica de cada espécie. As porções resultantes do procedimento anterior, com 1,30 m de comprimento e denominadas de amostras de controle, foram distribuídas aleatoriamente na pilha e utilizadas para a determinação da umidade durante a secagem ao ar livre por meio de pesagem periódica, durante os meses de novembro de 2019 a janeiro de 2020.

A pilha horizontal de tábuas foi confeccionada com 70 cm de altura do solo, 95 cm de largura e 3,10 m de comprimento, sendo planejada sobre um local nivelado, bem drenado e com boas condições de circulação de ar. Para a separação das camadas de tábuas foram utilizados sarrafos, com dimensões de 0,025 x 0,025 m (espessura x largura), dispostos 0,55 m entre si, bem como para evitar a incidência direta de raios solares e precipitação a pilha foi coberta com material à base de fibrocimento.

Para o estudo da influência do tempo na taxa de secagem das tábuas das espécies amostradas, os dados foram submetidos à análise de regressão pelo procedimento *Stepwise* de modelagem utilizando o pacote SAS (*Statistical Analysis System*), sendo o modelo definido por:

$$Tx = f\left(\text{tempo}; \frac{1}{\text{tempo}}; \text{tempo}^2; \frac{1}{\text{tempo}^2}; \ln(\text{tempo}); \frac{1}{\ln(\text{tempo})}; \sqrt{\text{tempo}}; \frac{1}{\sqrt{\text{tempo}}}\right)$$

Onde: Tx = Taxa de secagem das espécies amostradas, %/dia; tempo = tempo de secagem, dias.

O melhor modelo foi selecionado com base no coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa (S_{xy}), valor de F calculado e análise da distribuição dos resíduos. Após esse procedimento, no modelo escolhido para estimar a variação da taxa de secagem em função do tempo, foram adicionadas variáveis *Dummy*, que assumiram valores de 0 e 1, conforme o material analisado, da seguinte forma:

$D_i = 1$, se as tábuas foram provenientes da espécie i ;

$D_i = 0$, as tábuas não foram provenientes da espécie i ;

Com isso, foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para as quatro espécies em função de uma regressão linear múltipla, representada pelas variáveis independentes descritas na equação a seguir:

$$Tx = f(X; D_i; D_i.X)$$

Onde: Tx = Taxa de secagem das espécies estudadas, %/dia; X = tempo de secagem selecionado pelo procedimento *Stepwise* de regressão, dias; Di = *Dummy* (espécies, onde i = 1 *P. rigida*; 2 *P. dubium*; 3 *S. parahyba* e 4 *E. grandis* x *E. urophylla*); Di.X = interação da variável Di com a variável X.

A determinação da transição da taxa de secagem foi realizada, primeiramente, com o auxílio da metodologia adaptada descrita por Ramos et al. (2011) na qual são utilizadas regressões lineares múltipla e simples. Dessa forma, os dados de cada espécie florestal, analisados com auxílio da variável *Dummy*, resultaram em uma regressão linear múltipla com dois pontos de inflexão, os quais foram utilizados para delimitação da zona de transição da taxa de secagem. A partir dessa análise, entre as inflexões encontradas, foi realizada uma regressão linear simples tangenciando a curva dos dados estimados para realçar o início e o final dessa faixa.

O tempo para taxa de secagem constante foi definido por meio de duas regressões lineares simples, uma aplicada para a parte descendente do período de secagem analisado (dias) e outra para a parte em que a mesma se mostrava constante. Os limites das duas distribuições de pontos amostrais foram definidos visualmente em gráfico antes do ajuste das equações. O início da taxa de secagem constante foi determinado pelo cruzamento das duas retas obtidas pelas equações de regressão (Trevisan et al., 2017).

Os dados referentes aos defeitos das tábuas de cada espécie, nas condições pré e pós secagem ao ar livre, foram submetidos à análise de variância utilizando o pacote estatístico SAS e, no caso de rejeição da hipótese de igualdade de médias, ao teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS

As condições climáticas observadas no decorrer dos 68 dias de execução da secagem ao ar livre evidenciaram valores médios de temperatura igual a 23,2 °C e umidade relativa de 69%, bem como a precipitação total de 272 mm. Com relação ao teor de umidade inicial o *S. parahyba* apresentou o maior valor com 155,8%, seguido da *P. dubium* (66,8%), *E. grandis* x *E. urophylla* (61,3%) e *P. rigida* (40,0%), os quais foram reduzindo, conforme o decorrer da secagem, até entre o 42º e 46º dia. Nesse período foi observado um acréscimo dessa característica, resultado da precipitação e umidade no local de estudo, seguido de nova redução até a umidade de equilíbrio, em todas as espécies estudadas (Tabela 1).

Tabela 1: Teor de umidade médio em função do tempo de secagem ao ar livre e massa específica básica das quatro espécies analisadas.

Tempo (dias)	<i>P. rigida</i>		<i>P. dubium</i>		<i>S. parahyba</i>		<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	
	Tu	σ	Tu	σ	Tu	σ	Tu	σ
0	40,0	±5,8	66,8	±8,2	155,8	±19,9	61,3	±7,5
5	30,6	±1,3	51,9	±7,6	101,4	±12,1	44,2	±7,9
8	26,9	±1,4	46,8	±6,7	84,1	±8,7	38,2	±7,2
11	22,9	±0,8	40,4	±5,8	60,6	±4,3	30,6	±6,7
14	21,7	±1,0	37,7	±4,9	48,6	±3,3	27,4	±5,1
18	16,4	±0,7	30,3	±3,7	26,3	±5,9	19,2	±3,0
21	13,9	±1,0	26,0	±3,2	16,5	±6,3	15,3	±1,7
27	14,5	±1,5	23,6	±2,5	14,9	±3,7	15,3	±0,7
29	13,3	±1,5	19,9	±4,1	11,8	±3,7	13,7	±0,5
33	11,6	±1,4	17,0	±3,3	8,8	±3,0	11,8	±0,6
36	11,7	±1,4	16,2	±3,0	9,4	±2,6	12,1	±0,6
42	11,0	±1,6	13,9	±2,3	8,2	±2,3	10,0	±2,4
46	13,9	±2,1	15,2	±2,1	11,9	±1,9	12,3	±2,7
48	12,3	±1,9	14,1	±2,0	10,0	±2,2	11,2	±2,5
53	12,3	±1,9	13,7	±1,9	9,2	±2,3	11,0	±2,8
57	11,4	±1,8	12,8	±1,9	8,2	±2,3	10,0	±3,0
60	11,5	±2,2	12,8	±1,4	9,3	±2,3	10,3	±3,1
64	11,6	±1,9	12,5	±1,6	9,2	±2,1	10,5	±2,8
68	11,4	±1,8	12,2	±1,6	8,9	±2,1	10,2	±2,7
M _{eb}	0,652	±0,012	0,488	±0,079	0,277	±0,039	0,509	±0,028

Sendo: Tu = teor de umidade de base seca, em %; M_{eb} = massa específica básica, em g/cm³; σ = desvio padrão da média.

A equação selecionada pelo procedimento *Stepwise* de modelagem de regressão para estimar a taxa de secagem (Tx em %/dia) em função do tempo (dias), representada por $Tx = -3,2 + 13,4 * (1 / LN(\text{tempo}))$, evidenciou uma variação decrescente e característica da madeira, ou seja, maior remoção de água nos primeiros dias de aplicação do método. No entanto, essa equação não pode ser utilizada para todas as espécies analisadas, pois as variáveis *Dummy*, bem como suas respectivas interações, foram significativas em nível de 5% de probabilidade de erro (Tabela 2).

Tabela 2: Análise de variância da regressão com variável *Dummy* (tipo SS1) da taxa de secagem em função do tempo para as quatro espécies analisadas.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	7	692,3	98,9	166,4	<,0001**
1/LN(tempo)	1	378,8	378,8	637,4	<,0001**
D1	1	26,7	26,7	44,9	<,0001**
D2	1	14,4	14,4	24,2	<,0001**
D3	1	52,6	52,6	88,5	<,0001**
D4	0	0	0	0	0
D1.1/LN(tempo)	1	46,1	46,1	77,6	<,0001**
D2.1/LN(tempo)	1	54,7	54,7	92,0	<,0001**
D3.1/LN(tempo)	1	118,9	118,9	200,2	<,0001**
D4.1/LN(tempo)	0	0	0	0	0
Erro	220	130,7	0,594	-	-
Total	227	823,1	-	-	-

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; Di = *Dummy* (espécies estudadas, onde i = 1 *P. rigida*; 2 *P. dubium*; 3 *S. parahyba* e 4 *E. grandis* x *E. urophylla*); Di.1/LN(tempo) = interação espécies (*Dummy*) com a variável 1/LN(tempo); ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro.

Dessa forma, com vistas a analisar as diferenças das taxas de secagem entre as espécies detectadas na análise de variância, os dados foram plotados em função do tempo, ajustando-se à equação selecionada pelo procedimento *Stepwise*. A Figura 1 mostra os valores desse índice, estimados pelo modelo abaixo descrito, para as quatro espécies estudadas.

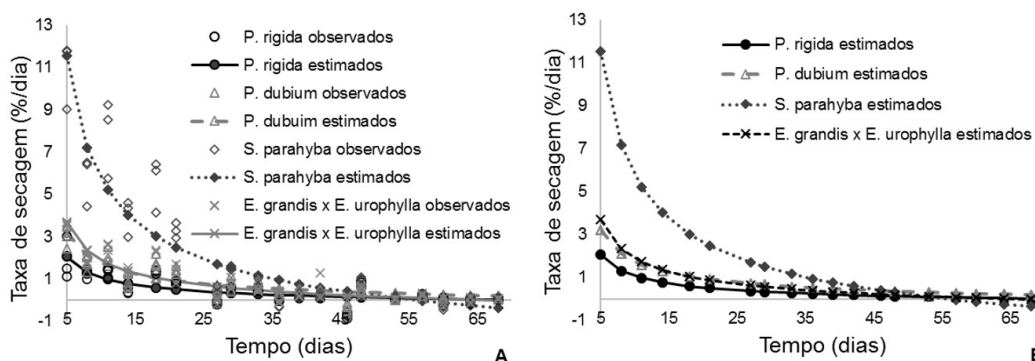


Figura 1: Taxa de secagem em função do tempo para as quatro espécies analisadas (A: todos os dados e B: somente estimados).

$$Tx = -2,3 + 9,66 * 1 / LN(\text{tempo}) + 1,06D1 - 4,35D1 * 1 / LN(\text{tempo}) + 0,65D2 - 1,87D2 * 1 / LN(\text{tempo}) - 5,39D3 + 21,29D3 * 1 / LN(\text{tempo})$$

Sendo: Tx = Taxa de secagem das espécies estudadas, %/dia; Di = *Dummy* (espécies); Di.1/LN(tempo) = interação espécies (*Dummy*) com a variável 1/LN(tempo).

A maior faixa de transição da taxa de secagem entre as espécies estudadas, com amplitude igual a 21 dias (Figura 2C), bem como o maior tempo para estabilização desse índice de 38 dias (Figura 2D) foram evidenciados na madeira de *P. dubium*. Nas demais, a transição ocorreu entre 18, 17 e 13 dias para a *P. rigida*, *S. parahyba* e *E. grandis* x *E. urophylla*, respectivamente, enquanto o tempo para atingir a taxa constante foi semelhante e situou-se entre o 33º e 34º dia (Figura 2A, 2B, 2E, 2F, 2G e 2H).

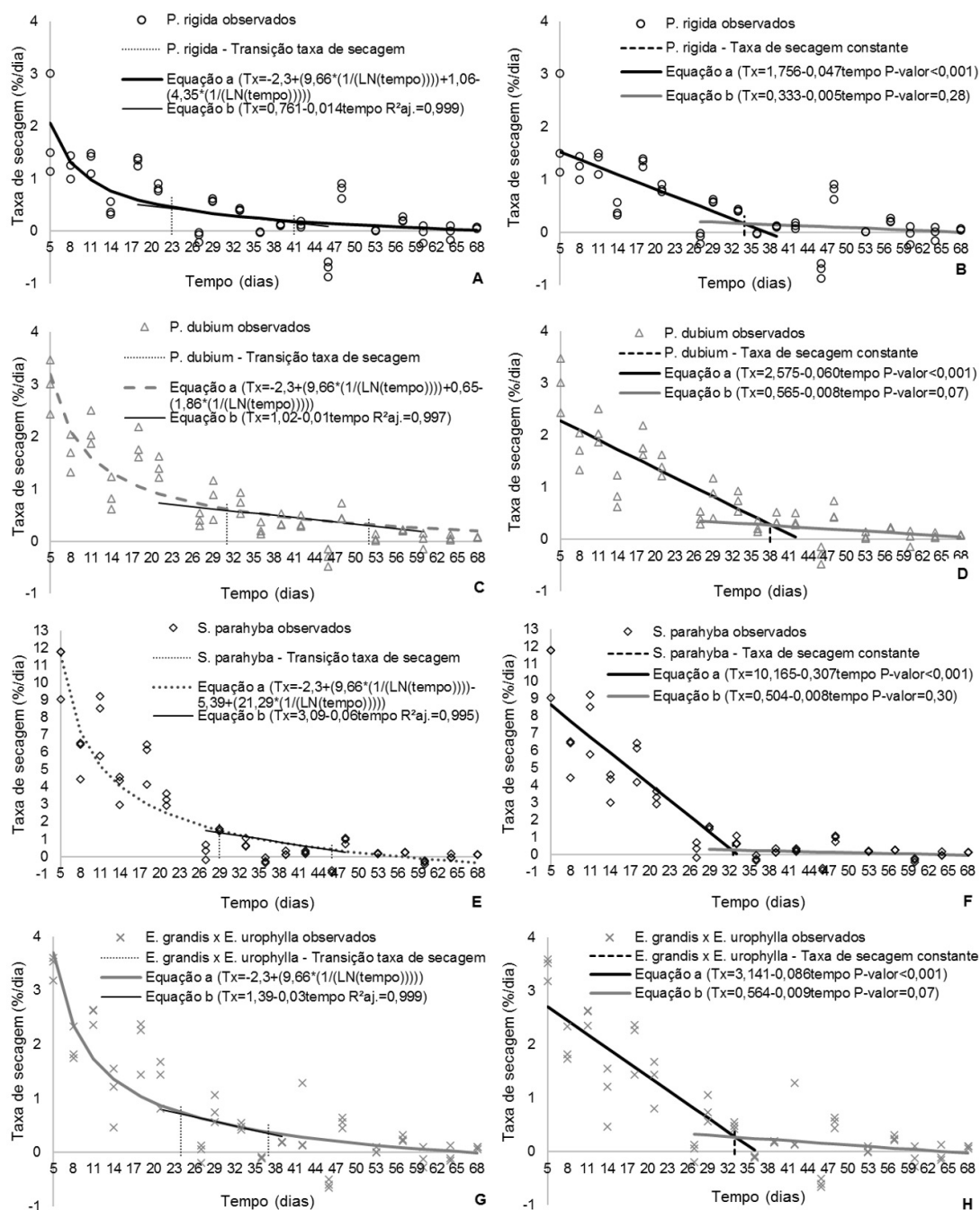
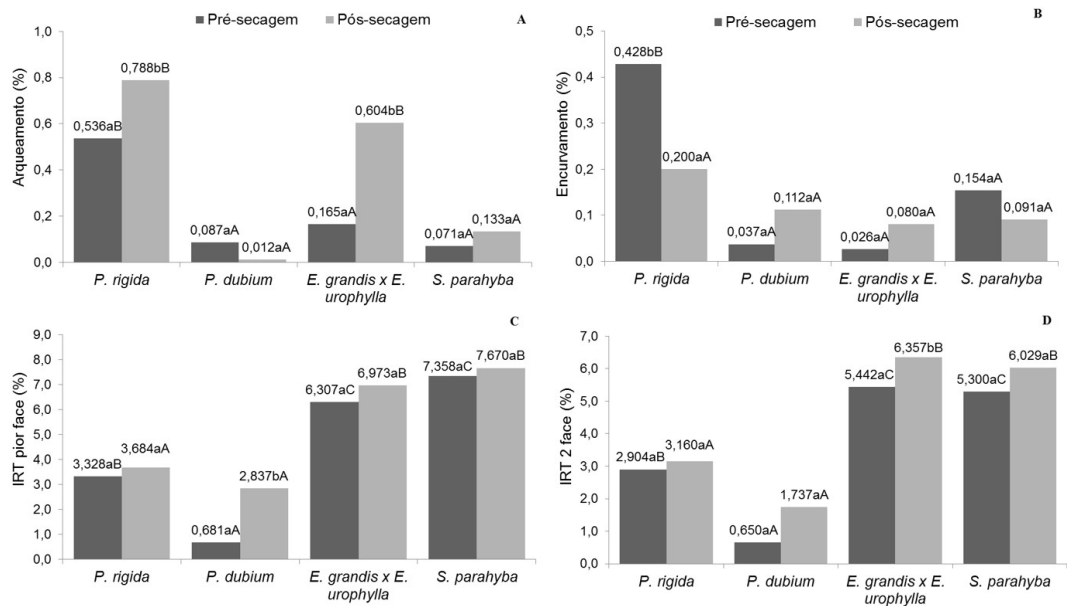


Figura 2: Transição da taxa de secagem e período para taxa constante em função do tempo para as quatro espécies estudadas (A e B = *P. rigida*; C e D = *P. dubium*; E e F = *S. parahyba*; G e H = *E. grandis* x *E. urophylla*).

Dentre os defeitos estudados, o único que não apresentou incidência pré e pós secagem, em todas as espécies analisadas, foi o encanoamento (Figura 3).



Legenda: Letras minúsculas comparam as condições pré e pós secagem e letras maiúsculas comparam as espécies dentro de cada condição, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Figura 3: Análise dos defeitos em função da condição de secagem para as quatro espécies estudadas (A = Arqueamento; B = Encurvamento; C = IRT pior face; D = IRT 2 face).

DISCUSSÃO

Dentre as espécies estudadas, observou-se uma escassez de trabalhos relacionados, sendo assim, fez-se necessária a comparação das informações com indivíduos pertencentes à mesma família. Com isso, a respeito das condições de teor de umidade dos materiais, os valores citados para *P. dubium* foram semelhantes aos evidenciados por Moretti et al. (2020) ao estudarem a madeira de Jatobá (*Hymenaea courbaril*), a qual apresentou uma umidade inicial de 50,0% e, após 36 dias de secagem ao ar livre, de 13,7%. Enquanto que, para o *E. grandis x E. urophylla*, os resultados estão em consonância com a literatura, por exemplo, Duarte et al. (2015), ao estudarem a espécie de *Eucalyptus* spp., observaram um teor de umidade inicial e final de 54,0 e 14,1%, respectivamente, e um tempo total de secagem igual a 63 dias.

Ao analisar as taxas de secagem, observa-se que são influenciadas pelas condições de temperatura, umidade relativa e circulação dos ventos no local em que o material está disposto e tendem a estabilizar no decorrer do processo (Park et al., 2014; Zen et al., 2019). Assim, a redução e o equilíbrio desse índice, provavelmente, ocorrem a partir de um determinado momento em que a troca de calor não é mais compensada aliada com uma diminuição da superfície molhada devido à redução da pressão parcial de vapor de água (Park et al., 2014).

Sendo assim, ao avaliar a secagem em relação ao tempo, observa-se que na *P. rigida* a mesma ocorreu de maneira mais lenta e gradual quando comparada com as demais, provavelmente por essa espécie possuir a maior massa específica básica entre as estudadas, igual a 0,652 g/cm³ (Tabela 1). Esse comportamento corrobora com os relatos de Braz et al. (2015) onde os mesmos citaram que quanto maior o valor dessa característica menor a permeabilidade da madeira e, conseqüentemente, mais lenta a secagem do material.

Aliado a isso, percebe-se um comportamento inversamente proporcional entre a massa específica básica e o teor de umidade inicial das quatro espécies analisadas. Para a *P. rigida*, a porcentagem de umidade encontrada foi de apenas 40,0%, enquanto que para o *S. parahyba*, o resultado correspondente foi de 155,8% (Tabela 1). Cabe ressaltar que essa variação é oriunda da relação entre massa e volume do material, uma vez que, com porcentagem de água acima de 30% (Ponto de Saturação das Fibras - PSF), a madeira passa a alterar apenas a sua massa, o que interfere diretamente na densidade dos indivíduos (Candaten et al., 2019).

Sendo assim, durante os primeiros 30 dias de secagem ao ar livre a perda de umidade foi mais rápida e acentuada e, conseqüentemente, as taxas de secagem foram mais elevadas

(Figura 1A e 1B). O mesmo foi reportado por Braz et al. (2015), ao conduzirem a secagem da madeira de Teca (*Tectona grandis*) e Acácia (*Acacia mangium*) ao ar livre, onde a maior perda de umidade, para as duas espécies, ocorreu nas primeiras semanas.

Essa variação decorre em função da presença de água livre contida nas cavidades da madeira (acima do PSF), sendo mantida por forças capilares fracas o que facilita a evaporação e resulta em elevadas perdas nas primeiras semanas de secagem (Braz et al., 2015; Monteiro et al., 2018; Nascimento et al., 2019). Já abaixo do PSF a evaporação ocorre de maneira mais lenta e gradual, pois nessa etapa da secagem encontra-se a denominada água higroscópica, a qual está localizada nas paredes celulares e ligada por pontes de hidrogênio às moléculas polares de celulose. Devido a isso e, aliado com a necessidade de energia para a ruptura dessa ligação, o processo de remoção é dificultado, pois o mesmo é resultante da combinação entre a difusão de umidade pelas paredes e lumens das células (Jesus et al., 2016).

A respeito dos defeitos, no arqueamento (Figura 3A) pode-se observar que, de maneira geral, houve um aumento desde o desdobro até o final da exposição das tábuas ao ar livre, sendo os maiores valores evidenciados para o *E. grandis* x *E. urophylla*. Após a secagem essa espécie apresentou médias superiores a 0,5%, limite máximo estabelecido pela Norma para Classificação de Madeira Serrada de Folhosas (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1983), para esse defeito.

O aumento do arqueamento entre as etapas de processamento da madeira também foi relatado por Susin et al. (2014), Talgatti et al. (2018) e Zen et al. (2019) e pode ser explicado devido à disposição das tábuas na pilha, uma vez que as mesmas não possuem restrições laterais para impedir essa deformação (Souza et al., 2012).

Tal explicação pode ser melhor elucidada com a análise do encurvamento (Figura 3B), onde o processo de secagem resultou em uma redução de 47% no empenamento das tábuas de *P. rigida* ao final do experimento. Essa tendência também foi obtida por Zen et al. (2019), em que a porcentagem desse empenamento decresceu com a execução da secagem de *Eucalyptus* spp. Dessa forma, a ação de peso na parte superior das pilhas e/ou das próprias peças, bem como o correto empilhamento e alinhamento dos sarrafos separadores (Liebl et al., 2017; Zen et al., 2019) minimizam a incidência desse defeito. Além disso, fatores como as proporções de lenho tardio e juvenil, a orientação do corte e as tensões ocasionadas pelo desdobro também explicam o encurvamento, uma vez que o mesmo pode se manifestar no momento do corte e ainda, ser intensificado pelo processo de secagem (Liebl et al., 2017; Zen et al., 2019).

A porcentagem das tábuas que apresentaram rachaduras de topo, para as quatro espécies estudadas, foi de 30% pré e 42% pós secagem, ou seja, houve um aumento desse defeito com a exposição da madeira ao ar livre (Figura 3C e 3D). A elevação dos valores foi decorrente das espécies de *P. dubium*, a qual apresentou uma porcentagem de tábuas defeituosas de 76% para a melhor face (Figura 3D) e *E. grandis* x *E. urophylla* de 15% para pior face (Figura 3C), o que está de acordo com Dittmann et al. (2017) e Zen et al. (2019) para *Eucalyptus* spp. O aparecimento desse defeito é explicado pelo gradiente de umidade, uma vez que, a madeira tende a secar mais rapidamente nas regiões contíguas da tábua, fazendo com que as fibras das partes mais externas alcancem umidade menor do que as internas, gerando tensões de secagem e, conseqüentemente, o aparecimento de rachaduras (Susin et al., 2014; Marchesan et al., 2015).

A presença de nós nas tábuas das quatro espécies foi verificada em 42% do total, com destaque para o *P. dubium*, a qual não apresentou esse defeito, e *E. grandis* x *E. urophylla*, com apenas 27% do material avaliado e índice de 2,1 nós/m². De outra forma, as maiores incidências foram observadas no *S. parahyba*, com aparecimento em 75% do total das amostras e índice de 8,9 nós/m², bem como no *P. rigida*, com 68% e 5,7 nós/m², o que diminui o valor agregado, a qualidade das peças e restringe o uso da madeira (Dittmann et al., 2017).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados para a madeira serrada das espécies estudadas, conclui-se que, a secagem ao ar livre mostra-se uma alternativa viável, já que, o tempo para

atingir a taxa constante foi de 34 dias de secagem para todas as espécies, sendo possível observar a menor taxa na *P. rigida* e maior para madeira de *S. parahyba*.

Apesar do elevado número de tábuas com rachaduras de topo, a *P. dubium* se destaca entre as espécies que integram o SAF estudado, uma vez que evidencia baixo índice para os defeitos avaliados, tanto no pré quanto no pós secagem. Enquanto que, o *S. parahyba* apesar de apresentar uma elevada taxa de secagem, exibe um alto índice de rachadura de topo.

Dessa forma, pode-se confirmar a importância de estudos sobre a secagem da madeira para cada espécie separadamente, bem como ter conhecimento sobre suas características físicas e anatômicas, é válido lembrar ainda que, as condições ambientais na época do experimento, também podem influenciar diretamente na secagem do material, a partir desses conhecimentos é possível conduzir uma secagem eficiente e obter-se um produto final adequado e com mínimos defeitos.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2002). *ABNT NBR 14806. Madeira serrada de eucalipto*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Braz, R. L., Duarte, A. P. C., Oliveira, J. T. S., Motta, J. P., & Rosado, A. M. (2015). Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. *Floresta e Ambiente*, 22(1), 117-123. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.037913>.
- Candaten, L., Bandera, E., Mangini, T. S., Zanchetta, L. S., & Trevisan, R. (2019). Massa específica básica, aparente saturada e teor de umidade da madeira de *Myrcianthes Pungens* (O. Berg) D. Legrand. *Enciclopédia Biosfera*, 16(29), 1026-1035. http://dx.doi.org/10.18677/EnciBio_2019A85.
- Delatorre, F. M., Cupertino, G. F. M., Santos Junior, A. J., Silva, Á. M., Dias Júnior, A. F., & Carvalho, A. M. (2020). Behavior of Ingá wood (*Inga edulis* Mart) against machining tests. *Research, Society and Development*, 9(8), e352985119. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5119>.
- Dittmann, L. R., Souza, J. T., Baldin, T., Talgatti, M., & Menezes, W. M. (2017). Métodos de empilhamento e qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia* após secagem ao ar livre. *Scientia Agrária Paranaensis*, 16(2), 260-264.
- Duarte, M. M., Trevisan, R., Susin, F., Zen, L. R., & Valerius, J. (2015). Drying curve and defects of *Eucalyptus* sp. wooden submitted to air drying. *Spanish Journal of Rural Development*, 5(3), 161-170. <http://dx.doi.org/10.5261/2015.GEN3.14>.
- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF. (1983). *Norma para classificação de madeira serrada de folhosas*. Brasília: IBDF.
- Jesus, A. G., Modes, K. S., Santos, L. M. H., Bento, A. R., & Jesus, M. G. (2016). Comportamento das madeiras de três espécies amazônicas submetidas à secagem ao ar. *Nativa*, 4(1), 31-35. <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n01a07>.
- Lenci, L. H. V., Souza, E. F. M., Mascarenhas, A. R. P., Tsukamoto Filho, A. A., & Soares, G. S. (2018). Aspectos fitossociológicos e indicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Nativa*, 6, 745-753. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i0.6396>.
- Liebl, O., Loiola, P. L., Zen, L. R., Klitzke, R. J., & Rocha, M. P. (2017). Influência dos parâmetros dimensionais da pilha na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. submetida à secagem ao ar. *Floresta e Ambiente*, 24, e00105514. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.105514>.
- Marchesan, R., Tecchio, M. M., Loiola, P. L., Juizo, C. G. F., Rocha, M. P., & Klitzke, R. J. (2015). Avaliação das técnicas de anelamento e inserção de sabre em plantios de *Eucalyptus grandis* visando a qualidade da madeira serrada. *Revista Floresta*, 45(4), 695-704. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v45i4.35776>.
- Matzenauer, R., Radin, B., & Almeida, I. R. (2011). *Atlas climático: Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio/Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária.
- Monteiro, T. C., Lima, J. T., Hein, P. R. G., Silva, J. R. M., Trugilho, P. F., & Andrade, H. B. (2017). Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. *Scientia Forestalis*, 45(115), 493-505. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n115.07>.
- Monteiro, T. C., Lima, J., Silva, J., Zanoncio, A. J., & Baraúna, E. (2018). Water flow evaluation in *Eucalyptus* and *Corymbia* short logs. *Floresta e Ambiente*, 25(2), <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.065917>.
- Moretti, S. D. A., Santos, C. M. M., Mascarenhas, A. R. P., Oliveira, J. P., & Anjos, S. P. (2020). Avaliação do processo de secagem ao ar livre da madeira de jatobá na Amazônia. *Research, Society and Development*, 9(9), e252997258. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7258>.

- Müller, B. V., Rocha, M. P., Klitzke, R. J., Silva, J. R. M., & Cunha, A. B. (2017). Produção de madeira serrada com cinco espécies de eucalipto resistentes à geada. *Advances in Forestry Science*, 4(4), 195-201. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v4i4.5231>.
- Nascimento, T. M., Monteiro, T. C., Baraúna, E. P., Moulin, J. C., & Azevedo, A. M. (2019). Drying influence on the development of cracks in *Eucalyptus* logs. *BioResources*, 14(1), 220-233. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.14.1.220-233>.
- Padovan, M. P., Mayer, T. S., & Pereira, Z. V. (2022). *Modelo de arranjo agroflorestal biodiverso para restauração ecológica de áreas de preservação permanente, com geração de renda*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. Recuperado em 23 de junho de 2023, de <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1145056>
- Park, K. J. B., Park, K. J., Alonso, L. F. T., Cornejo, F. E. P., & Fabbro, I. M. (2014). Secagem: fundamentos e equações. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 16(1), 93-127. <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v16n1p93-127>.
- Ramos, L. M. A., Latorraca, J. V. F., Pastro, M. S., Souza, M. T., Garcia, R. A., & Carvalho, A. M. (2011). Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. *Scientia Forestalis*, 39(92), 411-418.
- Schwerz, F., Caron, B. O., & Elli, E. F. (2022). *Sistemas agroflorestais - resultados, aplicações e desafios*. Lavras: Editora UFLA.
- Souza, J. T., Trevisan, R., Denardi, L., Stangerlin, D. M., Vivian, M. A., Haselein, C. R., & Santini, E. J. (2012). Qualidade da madeira serrada proveniente de árvores dominantes e médias de *Eucalyptus grandis* submetidas à secagem. *Cerne*, 18(1), 167-174. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000100020>.
- Susin, F., Santini, E. J., Stangerlin, D. M., Morais, W. W. C., & Melo, R. R. (2014). Taxa de secagem e qualidade da madeira serrada de *Hovenia dulcis* submetida a dois métodos de secagem. *Floresta e Ambiente*, 21(2), 243-250. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2014.016>.
- Talgatti, M., Baldin, T., Santini, E. J., Rosso, S., Oliveira, L. H., & Valcorte, G. (2020). Secagem da madeira de *Hovenia dulcis* e *Eucalyptus tereticornis* em forno micro-ondas com diferentes potências de temperatura. *Advances in Forestry Science*, 7(3), 1121-1128. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v7i3.10153>.
- Talgatti, M., Silveira, A. G., Baldin, T., Souza, J. T., & Santini, E. J. (2018). Outdoor drying and sawing quality of *Eucalyptus grandis* clones. *Scientia Agrária Paranaensis*, 17(2), 197-204.
- Trevisan, R., Rosa, M., Haselein, C. R., Santini, E. J., & Gatto, D. A. (2017). Dimensões das fibras e sua relação com a idade de transição entre lenho juvenil e adulto de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Ciência Florestal*, 27(4), 1385-1393. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509830220>.
- Zen, L. R., Monteiro, T. C., Schaeffer, W., Kaminski, J. M., & Klitzke, R. J. (2019). Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 7(2), 291-298. <http://dx.doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v7n2.zen>.

Contribuição dos autores: Planejamento. TSM, EB, LSZ: execução; RT, EE: análise dos dados; LC, TSM: escrita preliminar; LC, TSM, LSZ, EB: escrita versão final; EE, RT: Revisão final.