



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

SECAGEM DA MADEIRA DE SERINGUEIRA APOS A VAPORIZAÇÃO E IMPREGNAO DE NANOPARTICULAS

José Henrique Camargo Pace¹
Sabrina Mayer de Almeida¹
João Vicente de Figueiredo Latorraca¹
Sabrina Alvarenga Soares¹
Thalita Barbosa Silva¹
Jonny Paz Castro²

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

² Instituto de Florestas / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

SECAGEM DA MADEIRA DE SERINGUEIRA APÓS A VAPORIZAÇÃO E IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS

Resumo: Após o término da exploração do látex, a madeira de seringueira é considerada um subproduto pela sua baixa qualidade. Esse estudo teve como objetivo avaliar o efeito da vaporização e da impregnação de nanopartículas de prata no comportamento da curva de secagem da madeira de *Hevea brasiliensis*. A madeira utilizada foi do clone de seringueira tri composto (PB311-MDF180), no qual foi submetida ao processo de vaporização, durante 24 horas contínuas e posteriormente, imersas em solução contendo nanopartículas de prata, com prévia aplicação de vácuo (750 mmHg). A secagem da madeira foi conduzida em uma estufa de bancada com uma temperatura constante de 65°C. As curvas de secagem foram analisadas de forma que fosse possível a identificação da transição entre as três fases do processo de secagem (somente capilaridade; capilaridade e difusão; somente difusão). Os resultados demonstraram que a madeira de seringueira sem tratamento apresentou a menor inclinação na curva e foi o tratamento que mais demorou em atingir os 12% de umidade. Houve um efeito significativo decorrente da impregnação de nanopartículas principalmente na transição da primeira fase (somente capilaridade). A vaporização teve uma influência maior na transição da segunda para a terceira fase da secagem. Dessa forma, a vaporização e a impregnação de nanopartículas de prata podem funcionar como alternativas para acelerar o processo de secagem da madeira de seringueira.

Palavras-chave: nanotecnologia, perda de umidade, *Hevea brasiliensis*.

DRYING OF RUBBER WOOD AFTER THE VAPORIZATION AND IMPREGNATION OF NAOPARTICLES

Abstract: After the end of the exploration of the latex the rubber tree is considered a byproduct due to the low quality of its wood. This study had the objective of evaluating the effect of vaporization and impregnation of silver nanoparticles on the behavior of the drying curve of the wood of *Hevea brasiliensis*. The wood used was of the rubber compound clone tri compound (PB311-MDF180), in which it was subjected to the vaporization process, for 24 continuous hours and afterwards, immersed in solution containing silver nanoparticles with previous application of vacuum (750 mmHg). The drying of the wood was conducted in a bench oven with a constant temperature of 65°C. The drying curves were analyzed so that it was possible to identify the transition between the three phases of the drying process (capillarity, capillarity and diffusion and only diffusion). The results showed that the untreated rubber wood presented the smallest slope in the curve and it was the treatment that took longer to reach 12% moisture. There was a significant effect of impregnation of nanoparticles mainly in the transition of the first phase (capillarity only). The vaporization had a greater influence on the transition from the second to the third drying phase. The vaporization and impregnation of silver nanoparticles can act as alternatives to accelerate the drying process of the rubber.

Keywords: nanotechnology, moisture loss, *Hevea brasiliensis*.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

1. INTRODUÇÃO

O teor de umidade inicial de uma árvore pode apresentar uma variação de 30% a mais de 200% de umidade em relação a seu peso seco. Para melhor utilizar a madeira é necessário seca-la com a menor ocorrência de defeitos decorrentes da secagem.

A secagem da madeira é considerada um processo dispendioso. Portanto, a redução no tempo de secagem da madeira com a finalidade de poupar no consumo de energia e conseqüentemente, nos custos da secagem, torna-se um grande desafio para as indústrias (DASHTI *et al.* 2012).

De acordo com Siau (1971) a movimentação do fluxo de água pode se dividir em dois movimentos: acima do ponto de saturação das fibras (PSF) dado pela capilaridade e abaixo do PSF feito por difusão.

A facilidade com que a água livre movimenta-se até a superfície, sob o efeito da tensão superficial, depende principalmente da permeabilidade, que está relacionada diretamente a estrutura anatômica da madeira (JANKOWSKY e GALINA, 2013).

Braz *et al.* (2015) e Siau (1971) afirma que a difusão é um processo mais lento e complexo quando comparado a capilaridade, pois esse fluxo varia no tempo e espaço. Essa característica contribui com que a superfície das peças alcance rapidamente teores mais baixos de umidade, enquanto que na parte central ainda permanece úmida ou quase que saturada, favorecendo a ocorrência de tensões internas devido ao acentuado gradiente de umidade (JANKOWSKY, SANTOS E BALTIERI, 2000).

Na secagem o calor é transferido para o interior da madeira, principalmente por difusão, condução e convecção através dos vasos; enquanto em amostras impregnadas com nano-metal, as nano partículas que estão espalhadas por todas as paredes celulares, vasos e pontuações, facilitam uma melhor transferência de calor no interior da madeira (TAGUIYARI, 2012). Nesse sentido, os fluidos de transferência de calor por condução e por convecção, com a ajuda de pequenas quantidades de nano partículas metálica, como prata e de óxido de zinco podem facilitar essa transferência de calor para a parte mais interna da madeira (TAGUIYARI, 2012 e 2013).

Esse trabalho vem com objetivo de identificar na curva de secagem o momento de ocorrência dos movimentos de água na madeira, tanto da capilaridade quanto da difusão e avaliar os efeitos da vaporização e impregnação de nanopartículas de prata.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem

A madeira de *Hevea brasiliensis* foi fornecida pela fábrica Michelin, localizada em Igrapiúna - BA. A madeira utilizada foi o clone PB311 - MDF180 que é considerado um tri composto, pois apresenta um clone de fuste PB311, visando a produção de látex (clone de origem asiática) e outro de copa MDF180, visando a resistência ao fungo *Microcyclus ulei*. As árvores tinham 20 anos de idade.

Para a confecção dos corpos-de-prova, as toras foram desdobradas em uma serra de fita horizontal e em seguida desdobradas nas dimensões 2 cm x 2 cm x 10 cm (largura x espessura x comprimento). Posteriormente foram enumerados de acordo

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

com cada tratamento e nas extremidades foram feitas marcações onde as dimensões das amostras foram mensuradas com um paquímetro.

As amostras foram divididas em 6 tratamentos com 12 corpos-de-prova para cada um, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Delineamento experimental

Grupos	Tratamentos	Códigos	n
I	Testemunhas	Testemunha	12
II	Vácuo inicial de 30 minutos com imersão de 6 horas	30min	12
III	Vácuo inicial de 1 hora com imersão de 6 horas	1h	12
IV	Vaporização por 24 horas	Vap24h	12
V	Vácuo de 30 minutos e vaporização de 24 horas	30min-24h	12
VI	Vácuo de 1 hora e vaporização de 24 horas	1h-24h	12

n: Número de repetições por tratamento.

Vaporização

O processo de vaporização dos corpos-de-prova foi realizado em uma Autoclave Horizontal Experimental, com capacidade de aproximadamente 0,18 m³, a qual apresenta controle de temperatura e pressão.

A geração do vapor ocorreu com auxílio de uma caldeira com capacidade de 12 Kg vapor/hora, a temperatura máxima aplicada foi de 96°C±5 e a umidade relativa 96%±5. Durante a vaporização, a válvula de liberação de vapor foi mantida fechada.

No processo de vaporização foram utilizados 36 corpos de prova do clone PB311 - MDF180. Inicialmente as peças foram pesadas para a obtenção do peso úmido, organizadas na autoclave horizontal e, submetidas à vaporização durante 24 horas.

Aplicação de vácuo e impregnação de nanopartículas de prata

A solução contendo os nanoparticulados foi fornecida pela empresa KHEMIA nanopartículas LTDA. Para o preparo da solução, foram diluídos 10 litros de solução de Nanopartículas de prata com concentração comercial de 22 ppm.

O processo de impregnação das nanopartículas de prata foi realizado em amostras previamente vaporizadas e outras que não passaram por esse processo. A impregnação ocorreu através do método de imersão, com o auxílio de uma cuba acrílica, com dimensões de 45 cm x 50 cm x 40 cm (largura x altura x comprimento).

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

A imersão da madeira na solução de água destilada com as nanopartículas de prata ocorreu após aplicação de um vácuo inicial de 750 mmHg por 30 minutos na metade dos corpos de prova e 1 hora na outra metade.

Os metais nanoparticulados apresentavam tamanho entre 5 a 20nm, sendo consideradas pela empresa como um coloide com excepcional estabilidade e pureza, pois não continha surfactantes, evitando a formação de precipitados.

Para organização das amostras na cuba, foi utilizado um suporte para prendê-las na parte inferior da câmara, garantindo que todas ficassem submersas pela solução (Figura 1). A imersão teve duração de 6 horas.



Figura 1. Corpos de prova organizados na cuba acrílica.
Fonte: Próprio autor.

Após esse processo, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa com temperatura a 65°C onde a perda de massa de água foi monitorada por pesagens subsequentes junto com as medidas do volume para se obter a contração volumétrica. O acompanhamento ocorreu em um intervalo de 15 em 15 minutos, até as amostras atingirem 12% de umidade. E, para obtenção das condições da madeira anidra, as peças permaneceram na estufa, porém à uma temperatura de 103°C durante um período de 24 horas.

Após a coleta total dos dados, os mesmos foram organizados com objetivo de analisar o teor de umidade no momento das transições da fase 1 para a fase 2 e da fase 2 para a fase 3 do processo de secagem. Sendo que na fase 1 temos somente movimento de capilaridade, na fase 2 temos os dois movimentos de capilaridade e difusão e na fase 3 temos somente a perda de água por difusão (JAWKOLSKY E GALVÃO, 1985).

O método estatístico utilizado para avaliar os efeitos dos tratamentos, foi a análise da variância (ANOVA), após resultado significativos, foi realizado o teste de Tukey à um nível de significância de 95%, a fim de identificar quais foram as médias que diferiram entre si. As análises foram geradas com o auxílio do software estatístico SPSS 20.0

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados analisados atenderam os pressupostos estatísticos de distribuição normal e homogeneidade da variância sendo possível concluir a ANOVA. Os resultados obtidos na pesquisa apresentaram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, como expressa a ANOVA (Tabela 2). As transições foram consideradas quando as curvas lineares da primeira fase e da terceira fase apresentavam um coeficiente de correlação, $R^2 > 0,99$.

Tabela 2. ANOVA dos valores de umidade da transição das fase 1 e 2 do processo de secagem de *Hevea brasiliensis*

ANOVA transição da Fase 1					
Tratamento	GL	SQ	QM	F	Sig
Umidade Fase 1	5	989,771	197,954	6,538	0,000
Erro	54	1635,040	30,2785		
Total	59	2624,810			

ANOVA transição da Fase 2					
Tratamento	GL	SQ	QM	F	Sig
Umidade Fase 2	5	264,636	52,9273	2,485	0,043
Erro	54	1150,315	21,3021		
Total	59	1414,952			

GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados e QM: quadrado médio.

Após assumir que houve diferença significativa entre as médias, o teste de Tukey identificou quais foram como consta na tabela 3. A testemunha apresentou o menor teor de umidade de umidade em ambas as transições das fases 1 e 2. Significa que a madeira sem tratamento demorou um pouco mais para atingir, nas extremidades o ponto de saturação das fibras, visto que no processo de secagem ocorre um gradiente de umidade entre o interior e a superfície da peça (JAWKOLSKY E GALVÃO, 1985). Os tratamentos com nanopartículas e vaporização apresentaram um gradiente de umidade da superfície com o interior da peça maior que a testemunha na transição da fase 1 para a fase 2, onde começamos a ter a movimentação de umidade por difusão. Isso pode acusar que a umidade da superfície da madeira já se encontrava abaixo do ponto de saturação das fibras. Esse efeito pode ser explicado pela facilidade da transferência do calor que as nanopartículas podem gerar na superfície da madeira (TAGUIYARI, 2012 e 2013).

Tabela 3: Teste Tukey para o teor de umidade nas transições da fase 1 para a fase 2 e da fase 2 para a fase 3 em cada tratamento.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Tratamentos	Teor de umidade (%)			
	Fases da Secagem			
	Transição da Fase 1 → 2		Transição da Fase 2 → 3	
Testemunha	70,66	c	18,65	b
30 min	75,07	bc	21,01	ab
1h	82,41	a	19,25	ab
Vap24h	79,86	ab	25,16	a
30 min-24h	81,30	ab	21,38	ab
1h-24h	79,67	ab	21,87	ab

A análise dos dados é feita em colunas de modo que letras diferentes acusam diferença significativa no teste Tukey a 5% de significância.

A testemunha também demorou um pouco mais do que os outros tratamentos, para que toda a peça atingisse um teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, sendo a transição da fase 2 para a fase 3. A vaporização foi o melhor tratamento fazendo com que toda a peça alcançasse um umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, entrando na fase 3 com uma umidade maior, o que pode evidenciar que o gradiente entre a superfície e o interior da peça pode ser o menor comparado com outros tratamentos, já que apresentaram um teor de umidade menor na transição da fase 2 para a fase 3.

O gráfico a seguir (Figura 2) demonstra o comportamento das curvas de secagem dos tratamentos, observando que as curvas apresentaram as maiores queda nas primeiras horas no processo de secagem, evidenciando a saída da água livre da madeira (BRAZ et al, 2015). A madeira sem nenhum tratamento (testemunha) apresentou a menor inclinação e também o maior tempo até a umidade desejada (12%).

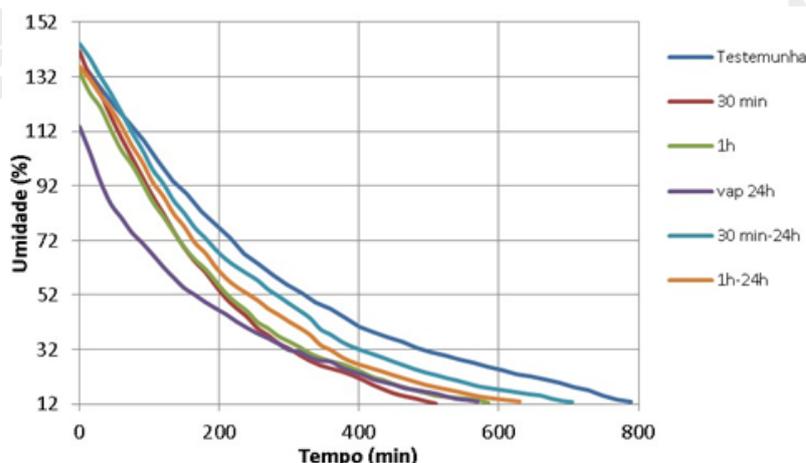


Figura 2: Curva de secagem da madeira de *Hevea brasiliensis*.

Essa inclinação menos acentuada da curva da testemunha pode ser explicada devido a uma transferência de calor menor, da extremidade para o interior dos corpos de provas, por isso foi necessário um tempo maior para atingir 12% de umidade

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

4. CONCLUSÕES

No trabalho foi possível concluir que tanto a vaporização por 24h, quanto a impregnação de nanopartículas de prata podem ajudar no processo de secagem da madeira de *Hevea brasiliensis*, de modos diferentes. Sugere-se que mais trabalhos sejam desenvolvidos, para que se possa conhecer todos os efeitos envolvidos quando utilizado o método de impregnação de nanopartículas na madeira.

5. AGRADECIMENTOS

A todos os amigos do Núcleo de Pesquisa e Qualidade da Madeira - NPQM, a FAPERJ por fornecer financiamento para bolsa de iniciação neste projeto, a KHEMIA nanopartículas LTDA. e a Michelin BA, pela doação do material utilizado para a pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAZ, R. L. et al. Curva Característica de Secagem da Madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao Ar Livre. *Floram Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 1, p. 117–123, 2015.

DASHTI, H., SALEHPUR, S. TAGHIYARI H. M., AKBARI FAR, F., HESHMATI, S. The Effect Of Nanoclay On The Mass Transfer Properties Of Plywood Digest. **Journal of Nanomaterials and Biostructures**. Vol. 7, No. 3, p. 853-860, 2012.

JANKOWSKY, I.P.; GALVÃO, A.P.M. Secagem Racional da Madeira. Nobel, 1985.

JANKOWSKY, I.P., SANTOS, G.R., ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. XV Jornadas Forestales de Entre Rios, Concordia, AR, 26 e 27/outubro/2000.

SIAU, J.K. **Flow in wood**. Syracuse, Syracuse University Press, 131p, 1971.

TAGHIYARI, H.R., ENAYATI, A., GHOLAMIYAN, H. Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods. **Wood Sci Technol** 47(3):467-480, 2012.

TAGHIYARI, H.R. Effects of heat-treatment on permeability of untreated and nanosilver-impregnated native hardwoods. **Maderas Ciencia Y Tecnologia** v.15, n. 2,p. 183-194, 2013.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

