

EFEITO DA SECAGEM A ALTAS TEMPERATURAS EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE MADEIRA JOVEM DE "Araucaria angustifolia" (Bert.)

O. Ktze.

Valmir Souza de Oliveira*
Ivan Tomaselli**

SUMMARY

This study was carried out to determine the influence of high temperature drying on some physical and mechanical properties of ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA juvenile wood. Properties of wood dried at 180° and 140°C were compared with samples dried at 20°C.

Equilibrium moisture was reduced as drying temperature increased. Shrinkage, specific gravity, and static bending values did not change with the high temperature treatment. Due to limitation of this study, future research should be conducted utilizing a more uniform material.

1. INTRODUÇÃO

O termo secagem à alta temperatura é internacionalmente empregado para identificar o processo no qual temperaturas acima do ponto de ebulição (100°C) são utilizadas para secar madeiras.

A primeira secagem à alta temperatura para fins comerciais foi conduzida por H.D. Tiemann durante a primeira guerra mundial. Em 1918 este pesquisador obteve uma patente nos Estados Unidos para o método. Contudo uma rápida deterioração da estufa, alta manutenção e altos custos de operação foram razões para rejeitar este método de secagem até recentemente. Com a produção em grande escala do alumínio, um material pouco afetado pelos ácidos condensados da madeira em secagem, o interesse no uso da alta temperatura foi renovado. Posteriormente, a técnica de secagem à alta temperatura foi estendida para estufas bem isoladas feitas de concreto e para estufas de tijolos bem revestidas (SALAMON, 1969).

Uma revisão dos recentes progressos em secagem na alta temperatura foi feita em 1977 por Tomaselli, englobando estudos de vários países: Estados Unidos (Hann, 1964; Koch, 1973), Canadá (Cech, 1973; Salamon, 1963), Alemanha (Schneider, 1973), Índia (Scharma et al, 1961), Austrália (Gough, 1974; Mackay e Rumball, 1971, 1972).

Estudos dos efeitos produzidos nas propriedades das madeiras secas à altas temperaturas foram revisados em 1969 por Salamon. Esta revisão discute as vantagens da secagem à altas temperaturas (rápida secagem, menor consumo de energia e redução na umidade de equilíbrio da madeira) e também as desvantagens (altos custos iniciais da estufa, maior capacidade de aquecimento da estufa, descoloração e redução em algumas propriedades mecânicas).

Atualmente o processo de secagem à alta temperatura vem se tornando uma prática comum na indústria madeireira, principalmente para o caso de coníferas: madeira de secagem mais fácil e sem problemas sérios de colapso (TOMASELLI, 1979). Para folhosas, existe uma necessidade de maiores pesquisas na aplicação desta técnica.

A proposição deste estudo foi examinar os efeitos da secagem para temperaturas acima do ponto de ebulição da água 140°C e 180°C, em algumas propriedades de madeira jovem de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

Estas propriedades foram analisadas em pequenos corpos de prova, secos em estufa sem circulação de ar forçada e comparada com as amostras de controle secas em ambiente controlado (20°C e 65% U.R.).

* Engº Florestal, Professor da F.U.A., atualmente realizando o Curso de Mestrado junto à U.F.Pr. (Créditos concluídos).

** Professor de Tecnologia da Madeira — U.F.Pr. — Ph.D.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Obtenção e preparação do material

Utilizou-se no presente trabalho, madeiras de 5 árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. (Pinheiro do Paraná), de 15 anos de idade, proveniente da Fazenda Experimental do Canguiri, localizada à 25 Km de Curitiba - PR.

De cada árvore obteve-se uma tora de 2m de comprimento, com diâmetro não inferior à 0,20m. Estas foram logo em seguida serradas, obtendo-se de cada tora uma tábua (Veja Fig. 1). As tábuas foram devidamente codificadas, de onde retiraram-se amostras para determinação do teor de umidade inicial (Veja Fig. 2).

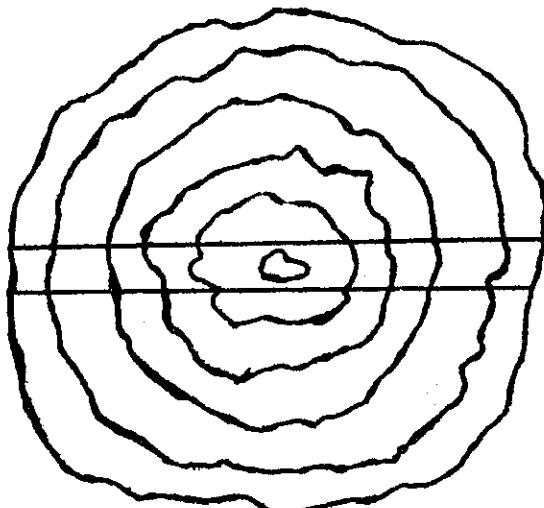


Fig. 1: Diagrama da obtenção das tábuas das toras.

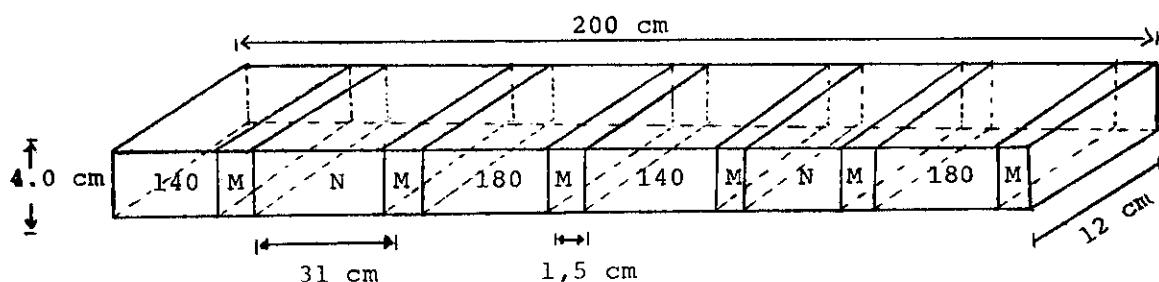


Fig. 2: Método usado na obtenção das peças de madeira para secagem em diferentes temperaturas (Dimensões aproximadas).

N = Peças de madeira a serem secas a 20°C.

M = Amostra para determinação do teor de umidade inicial da peça de madeira.

As peças de madeira destinadas à secagem à alta temperatura, foram envoltas em plástico e deixadas em câmara frigorífica para evitar a secagem e o desenvolvimento de fungos. As demais peças foram colocadas em câmara climatizada (20°C e 65% U.R.) por um período equivalente a 3 meses até atingirem peso constante.

2.2. Condições de secagem

Três faixas de temperaturas foram usadas, sendo uma de 20°C à 65% U.R. (Câmara climatizada) para secar as amostras de controle, e as demais à altas temperaturas (140°C e 180°C). A estufa utilizada foi uma estufa comum de laboratório sem circulação forçada e sem controle de umidade relativa.

Antes das peças de madeira serem colocadas em estufa para a secagem, foram tomados seus respectivos pesos e impermeabilizadas as suas seções transversais com adesivo comercial fenólico para evitar perdas de umidade nas suas extremidades.

Adotou-se quatro amostras para o controle de umidade na secagem a 140°C e 180°C. Estas amostras foram pesadas em intervalos de tempo fixos, determinando-se o seu teor de umidade atual; usou-se para este fim as equações nº 1 e nº 2.

Equação nº 1:

$$\text{Peso seco (Ps)} = \frac{\text{Peso original}}{100 + \text{Umidade da amostra (\%)}} \times 100$$

Equação nº 2:

$$\text{Umidade Atual (\%)} = \frac{(\text{Peso atual} - \text{Peso seco calculado})}{\text{Peso seco calculado}} \times 100$$

Considerou-se o término do processo de secagem quando as amostras de controle de umidade possuíam um teor de umidade abaixo de 10%.

2.3. Contração e Teor de Umidade de Equilíbrio

Quando as peças de madeira já estavam preparadas para a secagem, porém ainda na condição verde, foram tomadas medidas de espessuras e de largura. Após a secagem à alta temperatura, as peças de madeira foram acondicionadas em câmara climatizada (20°C e 65% U.R.) até peso constante, quando então novas medidas foram efetuadas sobre a largura e a espessura, nas mesmas posições em que haviam sido medidas quando as peças de madeira se encontravam verde, sistemática esta, também adotada para as amostras de controle secas em câmara climatizada (20°C e 65% U.R.). Estas medidas foram utilizadas para a determinação da contração, utilizando-se equação nº 3.

$$\text{Contração (\%)} = \frac{(\ell_{\text{verde}} - \ell_{\text{seco}})}{\ell_{\text{verde}}} \times 100$$

Equação nº 3

O teor de umidade de equilíbrio foi obtido utilizando-se os teores de umidade dos corpos de prova à flexão estática. Adotando-se como peso úmido o peso em sala aclimatizada e, para o peso seco, o peso do corpo seco em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

2.4. Preparação e Testes dos Corpos de Prova

De cada peça de madeira seca foi retirado um corpo de prova para determinação do peso específico e um corpo de prova para o ensaio de flexão estática. Utilizou-se as recomendações da COPANT 30:1-004 e COPANT 30:1-006, respectivamente, para o peso específico e flexão estática.

Para testar os corpos de prova à flexão estática, utilizou-se de uma máquina de testes universal com sistema automático para a confecção do gráfico carga-deformação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**3.1. Aspectos Gerais**

O teor de umidade inicial das peças de madeira variaram de 84,2 às 157,4%. As três operações de secagem podem ser summarizadas como:

- 20°C e 65% U.R. — 3 meses
- 140°C — 22 horas
- 180°C — 12 1/2 h

Após a secagem e acondicionamento em câmara climatizada até peso constante, os corpos de prova apresentaram um teor de umidade de equilíbrio médio em torno de 12% para as peças de madeira seca em câmara climatizada e de 8,4% e 7,5% para as peças de madeira seca em alta temperatura, à 140°C e 180°C respectivamente.

Todas as peças de madeira seca à altas temperaturas, após a secagem apresentaram-se em perfeitas condições, apenas com algumas rachaduras superficiais nos topos e um leve escurecimento superficial removidos facilmente pela plaina.

3.2. Contração e Teor de Umidade de Equilíbrio

As árvores utilizadas neste experimento foram de diâmetros relativamente pequenos, e as tábuas retiradas fatalmente incluíam a medula, além de pequenos nós que não puderam ser evitados. Isto veio de certa maneira, a prejudicar os resultados aqui apresentados.

O quadro 1 apresenta os valores obtidos para contração e teor de umidade de equilíbrio para os corpos de prova secos nas três temperaturas.

Observando-se o Quadro 1, a contração é aparentemente maior em espessura que em largura para todas as condições de secagem utilizada. Isto deve-se principalmente aos seguintes fatores: a) pela metodologia adotada para a retirada das tábuas a contração em espessura representa a contração tangencial e portanto maiores valores são esperados; b) especialmente no caso da secagem à alta temperatura, o fato de que as células superficiais são restringidas de contraírem em largura pelas células do interior (hipótese formulada por Hann, 1964).

Para uma melhor comparação entre temperaturas, evitando-se variações inerentes à própria madeira e de pouco interesse para este estudo, e considerando-se a metodologia adotada para obtenção dos corpos de prova (Ver item 2.1.), estabeleceu-se uma razão entre os valores obtidos à alta temperatura e os obtidos na secagem à 20°C. Espera-se que a média dos valores desta razão sejam iguais à unidade se nenhuma alteração foi introduzida pelo método de secagem ou significantemente diferente da unidade quando ocorreu alguma alteração. Para esta análise utilizou-se do teste "t".

Quadro 1: Contração e Teor de umidade de equilíbrio para *Araucaria angustifolia* seca à diferentes temperaturas^a.

Propriedades	Temperatura de secagem		
	20°C	140°C	180°C
Contração \bar{x}	2,37	2,96	3,10
Largura $^b \delta$	0,66	1,28	0,63
Contração \bar{x}	3,56	4,26	4,32
Espessura $^b \delta$	0,50	1,01	0,96
Teor de umidade \bar{x}	12,0	8,4	7,5
Equilíbrio δ	0,21	0,55	0,65

\bar{x} — média

δ — desvio padrão

a — Valores médios baseados em 10 corpos de prova

b — Todas as medidas foram feitas em peças de madeira verde e após a secagem ao atingirem peso constante em câmara climatizada (20°C e 65% U.R.)

O Quadro 2 apresenta a comparação da contração entre os corpos de prova secos à alta temperatura e secos à 20°C. Apesar de valores bem maiores que 1 estarem presentes em todos os casos, e aparentemente indicando um aumento na contração com o aumento da temperatura de secagem, somente a contração na largura para a temperatura de 180°C apresentou diferença significante com um aumento acentuado na contração. Este fato não era esperado uma vez que o aumento na contração encontrado por outros autores é bem mais acentuado na espessura da peça (TOMASELLI, 1977; SANTINI, 1980 em publicação).

Quadro 2: Influência da secagem à alta temperatura na contração. Razão Contração (R.C.) = Alta Temperatura/Controle.

Temperatura	n	Largura		Espessura	
		R.C.	δ	R.C.	δ
140	10	1,28 ns	0,532	1,20 ns	0,288
180	10	1,40*	0,476	1,23 ns	0,328

ns = não significativo

* = significativo ao nível de 95%

δ = desvio padrão

A comparação entre os teores de umidade dos corpos de prova secos nas três condições deste experimento e acondicionados em câmara climatizada à 20°C e 65% de umidade relativa é apresentado no Quadro 3. Também neste caso é mantido a sistematica de razão entre os valores, conforme descrito anteriormente.

Quadro 3: Influência de secagem à alta temperatura no teor de umidade de equilíbrio da madeira (corpos de prova acondicionados à 20°C e 65% U.R.).

Temperatura	n	Umidade equilíbrio	
		R.C.	δ
140	8	0,702**	0,05
180	9	0,627**	0,06

** = Altamente significante

δ = Desvio padrão

Como era esperado, o teor de umidade de equilíbrio foi menor para a madeira seca à altas temperaturas do que para as peças de madeira secas em câmara climatizada (20°C e 65% U.R.). Isto é explicado principalmente devido ao efeito da temperatura na madeira, fazendo com que haja uma redução em sua higroscopidade. De acordo com Skaar (1972) a temperatura afeta a isoterma de sorção da madeira de duas maneiras: o efeito imediato da temperatura e o efeito da história da temperatura. O efeito imediato da temperatura é reduzir a higroscopidade da madeira para uma dada umidade relativa. Segundo Stamm e Lougborough (1935), citado por Skaar, o decréscimo do P.S.F. de Stika Spruce é de aproximadamente 0,1% por °C de aumento em temperatura entre 25° e 100°C. O outro efeito, segundo Stamm (1964) e citado por Skaar (1972), é que a exposição da madeira à altas temperaturas por longo tempo, faz

com que haja uma decomposição das hemiceluloses que são mais higroscópicas do que os outros constituintes primários da madeira e também degradam mais rapidamente para elevadas temperaturas do que celulose ou lignina.

Este menor teor de umidade de equilíbrio pode ser considerado como um dos fatores responsáveis pela maior contração encontrada para corpos de prova secos à alta temperatura, além disso é de extrema importância considerando-se o aumento na estabilidade dimensional (Kininmonth, 1976).

3.3. Peso específico aparente

O peso específico aparente seco da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. submetida a três diferentes tratamentos de secagem é mostrado no Quadro 4. A diferença apresentada nos valores é relativamente pequena.

Quadro 4: Peso específico seco da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. seca sob diferentes temperaturas.

Peso específico aparente ($u=0\%$)	Temperatura de Secagem		
	20°C	140°C	180°C ^a
Média	0,459	0,446	0,441
Desvio padrão	0,06	0,06	0,06

^a = Valores baseados na média de 8 corpos de prova. Os demais valores foram calculados em base a 10 corpos de prova.

A comparação estatística entre os valores é apresentada no Quadro 5, utilizando-se da razão entre os pesos específicos da madeira seca à alta temperatura e da madeira seca à 20°C. Como pode ser observado, nenhum dos valores é estatisticamente significante, indicando portanto que o peso específico não é afetado pelo processo de secagem à alta temperatura.

Quadro 5: Influência da secagem à alta temperatura no peso específico da madeira. Razão P.E. = Alta Temperatura/Controle.

Temperatura	n	Peso específico	
		R.P.E.	δ
140	10	0,970 ns	0,065
180	8	0,968 ns	0,095

ns = não significativo

δ = desvio padrão

É necessário salientar que esperava-se observar um aumento no peso específico aparente com o aumento da temperatura de secagem uma vez que a contração aumentou com a temperatura.

3.4. Flexão Estática

O Quadro 6 mostra os resultados do teste de Flexão Estática. Os valores representam resistência para a madeira acondicionada na mesma temperatura e umidade relativa (20°C e 65% U.R.) e não no mesmo teor de umidade. Poder-se-ia corrigir estes valores utilizando fatores apresentados em trabalhos anteriores (TOMASELLI, 1977), no entanto, considerando-se a madeira acondicionada no mesmo clima, acredita-se apresentar melhor a situação prática.

Observando-se os valores apresentados, aparentemente o módulo de elasticidade, o módulo de ruptura, e o trabalho na carga máxima, sofrem redução quando comparando o material seco à 180°C com as duas outras temperaturas testadas 140°C e 20°C.

Quadro 6: Resultados de Flexão Estática para madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. submetida à secagem em 3 diferentes temperaturas.

Propriedade	Temperatura de Secagem		
	20°C	140°C	180°C ^a
σ_{LP} (Kg/cm ²)			
\bar{x}	569	626	577
δ	122	94	109
MOR (Kg/cm ²)			
\bar{x}	960	1080	940
δ	157	190	195
MOE (Kg/cm ²)			
\bar{x}	142263	144903	130535
δ	21750	20236	26558
TP MAX (Kg/cm ²)			
\bar{x}	0,889	0,886	0,693
δ	0,296	0,291	0,289

onde:

a = Valores baseados na média de 9 corpos de prova, os demais foram baseados em 8 corpos de prova.

σ_{LP} = Tensão no limite proporcional

MOR = Módulo de ruptura

MOE = Módulo de elasticidade

TP MAX = Trabalho na carga máxima

\bar{x} = Média

δ = Desvio padrão

Para uma avaliação estatística do efeito da temperatura na resistência à flexão estática utilizou-se também da razão entre os valores obtidos para a madeira seca à alta temperatura e os obtidos para a madeira seca à 20°C. Esta comparação é apresentada no Quadro 7. Como pode ser observado, nenhum dos valores é significante, o que leva à conclusão que o processo de secagem à alta temperatura, mesmo considerando temperaturas de até 180°C, não reduz a resistência à flexão estática da madeira jovem de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

Quadro 7: Influência da secagem à alta temperatura nas propriedades de flexão estática (R.F.E.) = Alta Temperatura/Controle.

Temperatura (°C)	n	σLP		MOE		MOR		T. P. MAX	
		R. F. E.	σ	R. F. E.	σ	R. F. E.	σ	R. F. E.	σ
140	7	1,048	ns	0,193	1,009	ns	0,174	1,112	ns
180	7	1,048	ns	0,164	0,988	ns	0,099	1,027	ns

ns = não significante

σ = desvio padrão

No entanto, deve ser observado que a razão existente entre valores de trabalho até a carga máxima para madeira seca à 180°C e seca a 20°C, apesar de não ser estatisticamente significante, indica a possibilidade de haver uma redução. Isto confirma alguns trabalhos anteriores, conduzidos com *Pinus radiata*, onde a propriedade mais afetada foi o trabalho até a carga máxima, principalmente quando considerou-se madeira juvenil (TOMASELLI, 1977).

A razão principal de não ter sido encontrado significância na análise estatística, deve-se à dificuldade de obter-se corpos de prova combinados devido a defeitos na madeira utilizada, como já citado anteriormente.

4. CONCLUSÃO

Apesar da limitação deste experimento, algumas conclusões podem ser tiradas:

a) A secagem da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. à uma temperatura de 180°C induziu um aumento na contração da largura da tábua quando comparando-se com a madeira seca à 20°C, o que não era esperado. Em todos os outros casos, nenhuma diferença significativa foi observada.

b) O teor de umidade de equilíbrio reduz significantemente com o aumento da temperatura de secagem. Esta diminuição no teor de umidade de equilíbrio é importante em termos de estabilidade dimensional na madeira.

c) Nenhuma alteração foi observada no peso específico.

d) Comparando-se madeira jovem de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. seca à alta temperatura com a secagem à 20°C, nenhuma alteração é esperada em flexão estática. Apesar de não ser estatisticamente significante, há possibilidade de que alguma redução de implicação prática possa ocorrer no tratamento até a carga máxima, o que confirma resultados de estudos anteriores.

e) De um modo geral, todas as peças de madeira seca à alta temperatura, após a secagem apresentaram-se em perfeitas condições, apenas algumas, com rachaduras superficiais e um leve escurecimento superficial que foi facilmente removida em plaina.

f) Problema inerente à obtenção de corpos de prova, levam a sugerir que há a necessidade de novos experimentos nesta área, maior quantidade de material e principalmente material de maior uniformidade.

5. RESUMO

Este estudo teve o objetivo de determinar a influência da secagem à alta temperatura em algumas propriedades físicas e mecânicas de madeira jovem de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. O material foi submetido à secagem a 140°C e 180°C e comparado com testemunha submetida à secagem a 20°C.

O teor de umidade de equilíbrio foi significantemente reduzido pela secagem à alta temperatura, sendo que praticamente nenhuma diferença é esperada para a contração, peso específico e flexão estática (tensão no limite proporcional, MOR, MOE e trabalho até a carga máxima).

Devido à limitação deste estudo, há necessidade de que novas pesquisas sejam conduzidas, considerando-se principalmente material mais uniforme.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. ESPENAS, L.D. Shrinkage of Douglas-Fir, Western Hemlock, and Red Alder as affected by Drying conditions. *Forest Products Journal*, 21 (6) : 44-46, 1971.
2. GERHARDS, C.C. Effect of High-Temperature drying on Tensile Strength of Douglas-Fir 2 by 4's. *Forest Products Journal*, 29 (3) : 39-46, 1979.
3. HANN, R.A. Drying Yellow-Poplar at temperatures above 100°C. *Forest Products Journal*, 14 (5) : 215-220, 1964.
4. HUFFMAN, D.R. Kiln-Drying Aspen studs. *Forest Products Journal*, 22 (10) : 21-23, 1972.
5. ———, High-Temperature drying effect on the bending Strength of Spruce-Pine-Fir joists. *Forest Products Journal*, 27 (3) : 55-57, 1977.
6. KININMONTH, J.A. Effect of Timber drying Temperature on subsequent moisture and dimensional changes, New Zeland *Journal Forest Science*, 6 (1) : 101-107, 1976.
7. KOCH, P. & WALKER, W.L. Some mechanical properties of small specimens cut from 1,79-inch-thick souther pine dried for 6 hours at 300F or for 5 days at 180F — a comparison. *Wood and Fiber*, 8 (4) : 235-240, 1977.
8. SALAMON, M. Hight-temperature drying and its effect on wood properties. *Forest Products Journal*, 19 (3) : 27-34, 1969.
9. ———. Comparison of Kiln schedules for drying Spruce. *Forest Products Journal*, 23 (3) : 45-49, 1973.
10. ———. Effects of drying severity on properties of Western Hemlock. *Forest Products Journal*, 16 (1) : 39-46, 1966.
11. ———. Effect of high-temperature drying on quality and strength of Western Hemlock. *Forest Products Journal*, 15 (3) : 122-126, 1965.
12. SKAAR, C. *Water in Wood* 1. ed. New York, Syracuse University Press, 1972. 218 p. (Syracuse Wood Science Series, 4).
13. STEEL, R.F.D. & TORRIE, J.H. *Principles and Procedures of Statistics*. 1. ed. New York, McGraw-Hill, 1960. 473 p.
14. TOMASELLI, I. The effect of high temperature drying on some physical and mechanical properties of *Pinus radiata*, Univ. of Melbourne, 1977. 283 p. Tese Ph.D.
15. ———, Secagem de Madeira. Curitiba, 1979. Palestra proferida na Universidade de Brasília em janeiro de 1979.