

**RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA ELÉTRICA, TEMPERATURA E
TEOR DE UMIDADE PARA MADEIRA DE *Pinus elliottii* Engelm
SUBMETIDA A DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM:
RESULTADOS PRELIMINARES**

Elio José Santini*
Jorge Luis Monteiro de Matos**

R E S U M O

Tábuas de *Pinus elliottii* Engelm com dimensões de 2,5 x 13,0 x 50,0 cm foram submetidas a secagem em estufa de laboratório controlada termostaticamente e sem circulação de ar, utilizando-se temperaturas de 50, 60, 70, 80, 90 e 100°C, com o objetivo de medir e correlacionar resistência elétrica, teor de umidade e temperatura da madeira. Para tanto, utilizou-se um sistema de aquisição de dados para monitorar a temperatura da estufa, resistência elétrica e temperatura da madeira, e o método gravimétrico para obtenção do teor de umidade médio da madeira, durante sua secagem.

Os resultados indicaram uma estreita correlação entre a temperatura da madeira e seu teor de umidade, baixa correlação entre resistência elétrica e o teor de umidade da madeira, na amplitude de 7 à 110%. A inclusão da temperatura da madeira nos modelos testados produziu excelentes equações de regressão, o que sugere a importância de sua utilização nas estimativas de teor de umidade. Tabela com os dados da análise de regressão, assim como os modelos de regressão para as seis temperaturas estudadas, são apresentadas.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem, umidade da madeira, temperatura da madeira, resistência elétrica, controle, *Pinus elliottii*.

* Engº Florestal., M.Sc., Prof. de Tecnologia da Madeira, Dep. de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, UFSC, 97.119-900-Santa Maria,RS.

** Engº Florestal., M.Sc., Prof. de Tecnologia da Madeira, Dep. de Engenharia e Tecnologias Rurais, Setor de Ciências Agrárias, UFPR, 80.035-010-Curitiba,PR.

ELECTRIC RESISTANCE, MOISTURE CONTENT, WOOD TEMPERATURE RELATIONSHIPS OF *Pinus elliottii* Engelm BOARDS AT SIX DRYING TEMPERATURES : PRELIMINARY RESULTS

S U M M A R Y

Pinus elliottii Engelm boards of 2,5x13,0x50,0cm were dried in a laboratory thermostatically controlled oven without air circulation, using temperatures of 50,60,70,80,90 and 100°C. The objective was to measure and to correlate electric resistance, wood temperature and moisture content, generating regression models to indirect estimate the wood moisture content. A data acquisition system was utilized to measure and control the oven temperature and wood temperature during drying. The gravimetric method was employed to calculate the actual average wood moisture content. The analysis showed a good correlation between wood temperature and wood moisture content, low correlation between electric resistance and wood moisture content, in the range of around 7% to 110%. The inclusion of wood temperature variable in the models gives excellent regression equations, indicating the importance of this variable in the wood moisture content estimates. Tables with regression analysis, data and multiple regression models to the six studied temperatures are presented.

KEY WORDS: Kiln drying, wood moisture content, wood temperature, electrical resistance, kiln control, *Pinus elliotti*.

INTRODUÇÃO

A existência de uma relação entre a umidade da madeira e a resistência à passagem de corrente elétrica, descoberta por Stamm a aproximadamente 70 anos, permitiu o desenvolvimento dos medidores de umidade tipo resistência elétrica, muito usados para estimar o teor de umidade da madeira. Esses instrumentos, contudo, oferecem confiabilidade apenas na faixa de umidade higroscópica, onde se verifica uma estreita correlação entre as variáveis. Mesmo assim, devem ser calibrados em função da espécie e temperatura da madeira,

visando a correção do seu teor de umidade. Acima do ponto de saturação das fibras, os medidores de umidade não oferecem estimativas confiáveis porque as alterações em resistência elétrica são muito pequenas para permitir medições precisas.

Para suprir esta deficiência e viabilizar o controle contínuo do teor de umidade da madeira durante a secagem em estufa, nos últimos anos tem sido conduzidos estudos sobre as interrelações da resistência a corrente contínua, temperatura e teor de umidade para diferentes espécies, no sentido de encontrar modelos que possibilitem estimativas mais precisas do teor de umidade da madeira.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a relação existente entre a temperatura e a umidade da madeira, bem como o desenvolvimento de modelos de regressão a partir das interrelações entre temperatura da madeira, resistência elétrica e umidade.

REVISÃO DE LITERATURA

Medidores tipo resistência elétrica

O medidor de umidade da madeira tipo resistência elétrica geralmente é um instrumento de corrente contínua (DC), que opera com base no princípio que a resistividade da madeira varia numa faixa extremamente ampla a medida que se altera o seu teor de umidade (SKAAR, 1972). A relação entre essas duas variáveis tem sido utilizada a muitas décadas para estimar o teor de umidade. O aparelho é projetado para medir a resistência elétrica entre dois eletrodos ou agulhas, que são cravados na madeira de modo a permanecerem alinhados ao longo da grã (MACKAY & OLIVEIRA, 1989).

A credibilidade dos medidores de umidade tipo resistência é geralmente boa na faixa higroscópica, entre 6 ou 7% até o ponto de saturação das fibras (PSF), a temperatura ambiente (SKAAR, 1972). Por esta razão é que a maioria dos pesquisadores citam o intervalo entre 6 a 25% (MACKAY & OLIVEIRA, 1989; CHEN et al., 1994) ou 7 a 30% (MACKAY, 1976a; HOLMES & FORRER, 1989; LUM, 1994) como os mais adequados para medir com precisão o teor de umidade através da técnica de resistência elétrica. Quando a madeira está mais seca que isto, a resistividade é muito alta para ser medida com

medidores de umidade comerciais comuns, e quando a madeira está muito úmida, as alterações em resistividade são muito pequenas para permitir medições precisas.

Fatores que influem no método de medição

JAMES (1964) enfatiza a importância dos medidores de umidade tipo resistência como ferramenta de determinação do teor de umidade da madeira. Contudo, para que as leituras desses instrumentos sejam confiáveis, salienta que vários fatores como espécie, temperatura, gradiente de umidade e tratamentos químicos devem ser considerados. Numa revisão sobre as literaturas existentes, VERMAAS (1975a) observa que além das variáveis da madeira como teor de umidade e sua distribuição, concentração de íons, direção da grã, lignina, extrativos, teor de cinzas, densidade e espécie, a medição da resistência corrente contínua da madeira é afetada também por variáveis experimentais. Em trabalho posterior, VERMAAS (1975b) informa que as variáveis experimentais mais importantes são gradiente de voltagem, tempo de eletrificação, eletrodos ou material de contato, força aplicada na amostra, formato e dimensões da amostra, voltagem residual e temperatura.

A resistividade elétrica varia em função do tipo de madeira, para um mesmo teor de umidade acima do PSF. Ocorrem também variações entre madeiras com respeito a suas resistividades a correspondentes teores de umidade na faixa higroscópicas. Devido a esta variação entre madeiras é necessário obter dados de calibração para várias espécies, os quais são então usados para corrigir as leituras obtidas diretamente a partir do medidor de umidade.

SKAAR (1972) acredita que o fator isolado mais importante que afeta a resistividade elétrica da madeira, ao lado do teor de umidade, é a temperatura. De acordo com JAMES (1968), o efeito da temperatura sobre as leituras dos medidores tipo resistência foi estudado por vários pesquisadores, como STAMM (1927), CLARK & WILLIAMS (1933), DAVIDSON (1958), KEYLWERTH & NOACK (1956), dentre outros. Os dados obtidos nos estudos de JAMES (1963) indicaram que tanto a condutância elétrica como a constante dielétrica aumentam ou com o aumento da temperatura ou do teor de umidade (JAMES, 1968). O efeito marcante da temperatura provavelmente está relacionado à energia de ativação, que é a energia requerida para dissociar íons condutores na madeira (VERMAAS, 1982a).

As leituras dos medidores de umidade tipo resistência elétrica, além das variáveis já discutidas, podem ser influenciadas pela presença na madeira de produtos preservativos ou retardantes de fogo. De acordo com JAMES (1966), muitos desses tratamentos são a base de sais inorgânicos, que podem agir como eletrólitos e, deste modo, alterar as propriedades elétricas da madeira. Em seus trabalhos, o autor verificou que o efeito dos preservativos sobre as leituras dos medidores de umidade elétricos foi praticamente negligenciável a baixos teores de umidade, mas o efeito dos preservativos tipo sais solúveis aumentou rapidamente com o aumento do teor de umidade.

A influência dos gradientes de umidade sobre as leituras dos medidores pode ser substancial e pode conduzir a sérios erros (JAMES et al., 1984). No processo de secagem normal, durante o qual é desejável monitorar o teor de umidade, as camadas externas da madeira normalmente estão mais secas do que as do interior. Para minimizar este inconveniente nos medidores tipo condutância recomenda-se que os pinos dos eletrodos sejam introduzidos na madeira até uma profundidade entre 1/4 e 1/5 da espessura, na suposição que o teor de umidade a esta profundidade corresponde ao valor médio para a secção transversal (MACKAY, 1976; JAMES et al., 1984; WENGERT, 1992).

Medição contínua do teor de umidade da madeira

Os medidores de umidade tipo resistência corrente contínua atualmente disponíveis para monitorar o teor de umidade da madeira durante a secagem em estufa apresentam alguma forma de limitação quanto a precisão, causada pela falta de uma adequada compensação de temperatura, inadequada calibração em função da espécie, e/ou inaptidão para operar continuamente. A dificuldade de operação contínua, como seria necessário para controle de estufas de secagem, é causada pelos efeitos de polarização e eletrólise nos eletrodos, e embora alguns fabricantes tenham incluído contramedidas em seus equipamentos, muito pouco tem sido publicado sobre a técnica empregada (FORRER & VERMAAS, 1987). As limitações deste tipo de controle incluem a imprecisão de sistemas tipo resistência acima do PSF, e um programa baseado no tempo pode ter que ser usado até que este ponto seja atingido. WENGERT (1992) lembra que a medição da umidade acima de 30% com medidores tipo resistência elétrica é inseguro, devido a uma correlação irregular entre resistência e teor de umidade nesses níveis. Sob condições simuladas, FORRER & VERMAAS (1987) tentaram

desenvolver um novo medidor capaz de medir precisamente o teor de umidade entre 8 e 75%. Admitiram contudo, que na prática, leituras acima do PSF seriam consideradas apenas como “úteis”. Adicionalmente, a seleção de tábuas amostras para representar adequadamente toda a carga, e sua localização na carga, influencia claramente a precisão do sistema.

Os fabricantes europeus e americanos deste tipo de sistema de controle usam tipicamente microprocessadores ou computadores para armazenar uma seleção de programas baseados no tempo ou no teor de umidade. O computador também calcula continuamente novos ajustes para umidades de equilíbrio e temperaturas de secagem, dependendo do teor de umidade médio ou tempo, e coletam e armazenam dados sobre as condições de secagem, consumo de energia, etc., para preparar relatórios de manejo para cada operação de secagem (MACKAY & OLIVEIRA, 1989).

Estágio de desenvolvimento atual do sistema de medição

Os medidores tipo resistência corrente contínua, além da necessária introdução de agulhas ou pregos na madeira e de todos os cuidados inerentes a esse procedimento, na maioria dos casos não operam continuamente devido aos efeitos da polarização e eletrólise nos eletrodos (FORRER & VERMAAS, 1987). A Lignomat USA Ltd. usa agulhas teflonizadas e cabos elétricos isolados com teflon para as leituras do teor de umidade de amostras colocadas dentro da estufa. Em ambos os casos, o principal inconveniente dos instrumentos é o intervalo confiável de medição do teor de umidade, que geralmente oscila entre o PSF e aproximadamente 5%. Acima de 30% a alteração da resistência elétrica em função do teor de umidade é muito pequena, limitando a precisão das leituras dos sensores. Uma alternativa seria a utilização de um outro princípio de controle durante a secagem até o PSF, e a partir daí, os sensores estão aptos para controlar até o teor de umidade final.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais e procedimentos utilizados

Tábuas recém serradas de *Pinus elliottii* Engelm. com dimensões de 2,5 x 13,0 x 200 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente,

foram coletadas junto à serraria de Curitiba e transportadas para o Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná, onde o material foi identificado macroscopicamente.

A partir das tábuas, confeccionou-se 6 amostras com a mesma secção e aproximadamente 50 cm de comprimento, as quais foram pesadas para obtenção do peso inicial (Pu), e submetidas a 6 temperaturas de secagem: 50, 60, 70, 80, 90 e 100°C. Dos extremos de cada amostra foram retiradas duas secções de aproximadamente 2,5 cm, as quais foram utilizadas para obtenção do teor de umidade inicial (TU_i) de acordo com os procedimentos recomendados por SIMPSON (1991) e MACKAY & OLIVEIRA (1989).

As amostras foram submetidas a secagem em duas estufas de laboratório sem circulação de ar e com controle termostático da temperatura, ambas dotadas de orifícios superiores por onde são introduzidos termômetros. O termostato das estufas apresentou uma variação de ±10% nas temperaturas de secagem utilizadas.

O teor de umidade médio das amostras foi obtido através do método gravimétrico. Para tanto, uma balança mecânica de precisão decimal foi colocada sobre cada uma das estufas. Para possibilitar a pesagem periódica sem a abertura da estufa, um fio de metal preso inferiormente à balança e passando através do orifício do termômetro, manteve a amostra de madeira suspensa dentro da estufa durante todo o processamento da secagem (Figura 1). O teor de umidade da amostra foi obtido através da seguinte equação:

$$TU_{\text{amostra}} = \frac{Pa (TU_i + 100) - 100}{PU}$$

onde:

TU_{amostra} = teor de umidade da amostra de madeira, %;

TU_i = teor de umidade inicial da amostra de madeira, %;

Pa = peso atual da amostra de madeira, g;

Pu = peso úmido ou inicial da amostra de madeira, g.

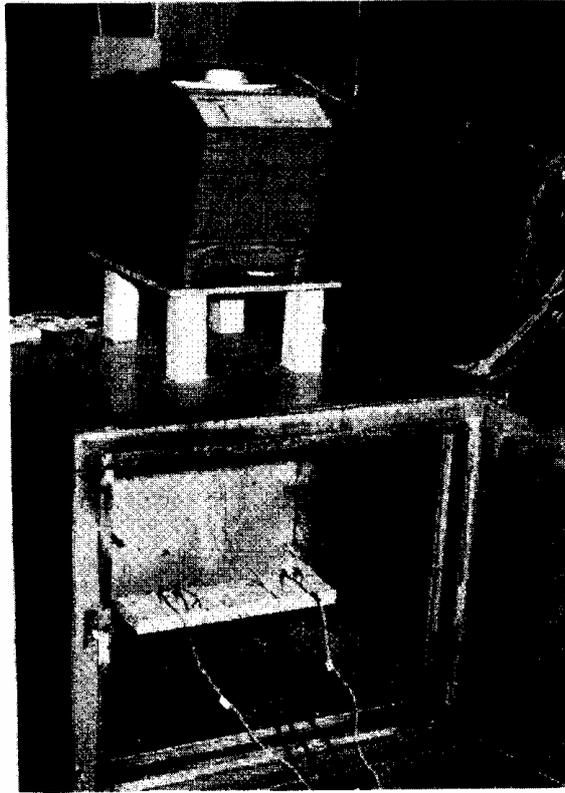


FIGURA 1: Equipamento de secagem e metodologia de determinação do teor de umidade.

As informações foram coletadas através de um sistema de aquisição de dados, composto de vários canais, para medir temperatura e resistência elétrica, e um "software" gerenciador do sistema, residente no microcomputador. Os sinais dos sensores foram condicionados (amplificados) e enviados a um "multiplex", que seleciona o canal a ser lido, e posteriormente conduzidos para um conversor A/D que está interligado diretamente a um microcomputador. O microcomputador utilizado foi um 386 DX, 40 MHz e 4 Mbytes de memória RAM, com monitor colorido SVGA.

Durante a operação de secagem em cada um dos tratamentos, o conjunto sistema de aquisição de dados/microcomputador fez o monitoramento da temperatura da estufa, resistência elétrica e temperatura da madeira. Cabos resistentes à temperaturas elevadas, contendo os sensores, foram introduzidos na estufa para coletar as informações. Estas foram gravadas em arquivos específicos, em intervalos de 1 a 2 minutos.

Um par de eletrodos isolados, com afastamento de 25 mm entre si e cravados na madeira a uma profundidade de aproximadamente 10 mm, possibilitou a medição da resistência elétrica, em ohms. Paralelo à largura da amostra, entre a superfície e o centro, perfurações com brocas de 4 mm permitiram a introdução de sensores para a medição da temperatura da madeira. Um sensor colocado próximo à amostra de madeira registrou a temperatura ambiente da estufa. (Figura 2).

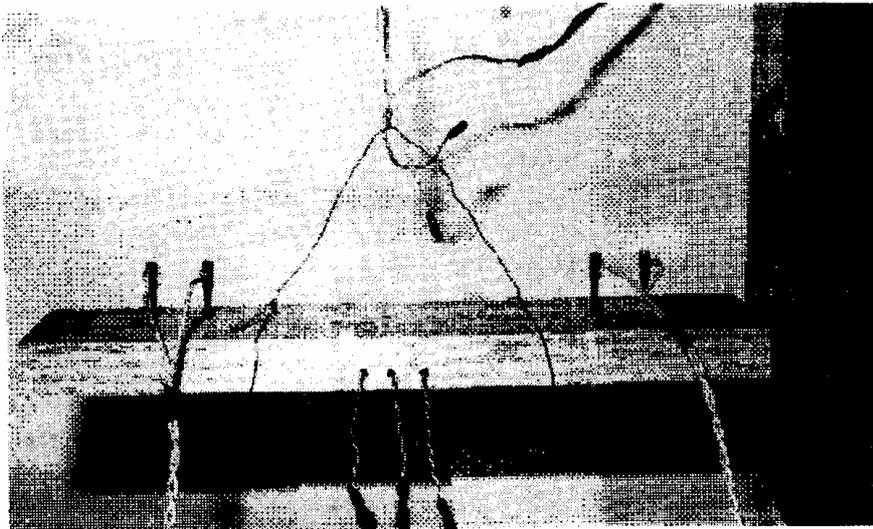


FIGURA 2: Sensores para medição da temperatura da estufa, resistência elétrica e temperatura da madeira.

Análise e processamento dos dados

A partir dos dados obtidos através do sistema de aquisição, procedeu-se a análises da correlação entre o teor de umidade da madeira obtido gravimetricamente, temperatura da madeira, temperatura da estufa e resistência elétrica da madeira. Conforme dados de literatura, os valores da variável resistência elétrica foram linearizados pela transformação logarítmica.

A partir da obtenção dos maiores valores de relação entre variáveis (matriz de correlação) procedeu-se a análises de regressão simples e múltiplas, visando a geração e adequação de modelos estimadores para os valores observados.

Nas regressões lineares simples, relacionou-se teor de umidade (TU) e temperatura da madeira (Tm), e teor de umidade com logaritmo da resistência elétrica (LnR). Nas regressões múltiplas foram incluídas as duas variáveis independentes anteriores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relação entre teor de umidade e resistência elétrica da madeira

O princípio dos aparelhos que medem o teor de umidade da madeira se baseiam na relação entre este e o logaritmo da resistência elétrica, na faixa de umidade higroscópica. No intervalo de umidade em estudo, acima da faixa mencionada, detectou-se baixa correlação entre as variáveis, evidenciada pelos baixos coeficientes de determinação (R^2), - que variaram entre 33,5% (60°C) e 61,6% (90°C) -, baixos valores de teste F, e elevados valores de desvio padrão da estimativa, para as seis temperaturas de secagem.

Relação entre teor de umidade e temperatura da madeira

A correlação entre temperatura interna e teor de umidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. para as seis temperaturas de secagem estudadas, bem como as equações, os coeficientes de correlações e o número de observações, são apresentados na Figura 3. As duas curvas externas representam os limites superior e inferior de cada tratamento, ao passo que a intermediária corresponde a média admitida para o modelo, ao nível de 95% de probabilidade.

As dispersões dos pontos observados em cada modelo de regressão podem ser atribuídas às imprecisões nas medições de teor de umidade e temperatura da madeira, devido as variações do termostato, nos equipamentos utilizados. A

necessidade de manter a temperatura do bulbo seco constante durante a operação de secagem foi um dos pontos destacados nos estudos de PANOW & NESTER (1985).

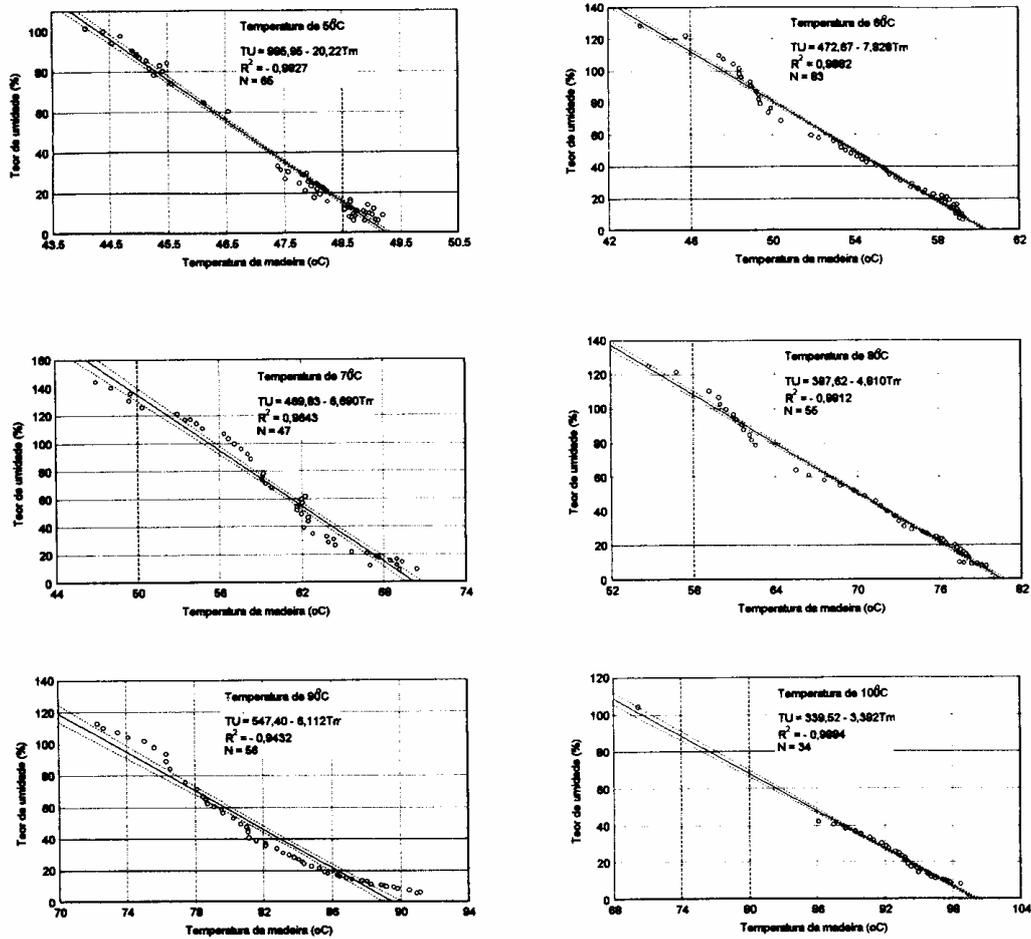


FIGURA 3: Gráficos das relações entre teor de umidade (TU) e temperatura da madeira (Tm) para as temperaturas estudadas.

Os resultados evidenciaram a existência de estreita correlação entre teor de umidade e temperatura interna para as seis temperaturas de secagem estudadas. Estudos anteriores já haviam constatado que a temperatura interna é um bom indicador do teor de umidade interno da madeira durante a secagem a alta temperatura (PANOW & NESTER, 1984), e especialmente para a consecução do final da secagem (KEYLWERTH et al., 1955; TOMASELLI, 1977).

Embora não tenha sido objetivo deste estudo, verificou-se que a temperatura intermediária, medida a $\frac{1}{4}$ da espessura da madeira, correlacionou-se melhor com o teor de umidade gravimétrico do que aquelas obtidas no centro ou na superfície da madeira. KOTOK et al. (1969), apoiados no efeito de resfriamento da superfície produzido pelo calor de vaporização durante o período de taxa de secagem constante, acreditavam que a temperatura superficial era a mais indicada, mas encontraram um R^2 de apenas 0,68. VERMAAS & NEVILLE (1988) plotaram o teor de umidade em função da temperatura superficial, temperatura interna e diferença entre temperatura do bulbo seco/temperatura interna, e acreditam que esta última é mais factível para ser aplicada em sistemas de controle.

Relação entre teor de umidade, resistência elétrica e temperatura da madeira

Os modelos matemáticos tradicionalmente utilizados no desenvolvimento dos medidores de umidade consideram o logaritmo da resistência elétrica como uma função do teor de umidade da madeira abaixo do PSF (SKAAR, 1972), porque nesta faixa higroscópica as variáveis se correlacionam melhor. Nos modelos determinados por VERMAAS (1982b) para *Pinus pinaster* e *Pinus radiata* foram usados teores de umidade médios entre 3,2 e 24,6%. Acima do PSF as alterações em resistência elétrica são muito pequenas para permitir medições precisas no teor de umidade. Nesses níveis, a medição do teor de umidade é insegura devido a uma correlação irregular entre resistência e teor de umidade (WENGERT, 1992).

Numa tentativa de minimizar as imprecisões das medições dos medidores tipo resistência elétrica acima do PSF, e a partir dos resultados obtidos no item anterior, incluiu-se a temperatura da madeira nos modelos. As equações de regressão, bem como os coeficientes encontrados para as seis temperaturas de secagem estudadas, são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Modelos experimentais de equação de regressão relacionando teor de umidade (TU), temperatura da madeira (Tm) e logaritmo da resistência elétrica (LnR).

Ts °C	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	N	R ² %	S	F	TUi %	TUf %
50	TU = 1000,68 - 20,36Tm + 0,142LnR	65	98,2	4,146	1773,93	144,66	6,14
60	TU = 465,96 - 7,61Tm - 0,351LnR	83	98,8	3,546	3285,88	134,95	6,75
70	TU = 468,97 - 7,16Tm + 2,139LnR	47	96,5	8,116	632,50	151,00	7,85
80	TU = 386,98 - 4,76Tm - 0,157LnR	55	99,1	3,395	2944,83	134,14	7,43
90	TU = 480,75 - 6,22Tm + 4,280LnR	52	99,4	2,411	4147,78	150,14	5,70
100	TU = 347,31 - 3,68Tm + 1,039LnR	34	99,4	1,407	2536,48	118,02	8,33

onde: Ts = temperatura de secagem; N = número de observações; R² = coeficiente de determinação; S = desvio padrão da estimativa; F = F calculado; Tui = teor de umidade inicial; Tuf = teor de umidade final.

A inclusão da variável temperatura da madeira nos modelos testados, promoveu aumentos substanciais na precisão das medidas estimativas do teor de umidade. Esta variável contribuiu para melhorar os índices indicadores da qualidade dos modelos e reduziu os resíduos dos valores calculados e estimados pelos mesmos.

O momento mais apropriado para a tomada das medições é outro ponto importante a ser considerado. Conforme mencionado anteriormente, a temperatura da estufa oscilou em torno de 10% para cima e para baixo do valor fixado no termostato.

Essa variação provocou oscilações desproporcionais na temperatura da madeira e também na resistência elétrica. Com a elevação da temperatura de secagem, a resposta das variáveis em questão não foi imediata, e esse retardamento poderia resultar em medições errôneas. Em razão disso, adotou-se como sistemática o registro das variáveis exatamente no instante em que a temperatura da estufa atingiu o valor pré-estabelecido para cada tratamento, durante a sua queda. Com essa providência foi possível obter modelos de regressão mais ajustados para as seis temperaturas de secagem.

Alguns modelos apresentados na Tabela 1 foram melhorados substituindo-se a variável dependente da equação pelo logaritmo natural da mesma. Os coeficientes de correlação encontrados para as temperaturas de secagem de 50, 60 e 80°C foram, respectivamente, 99,5%, 99,8% e 99,6%.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos neste estudo, conduzido com madeira de *Pinus elliottii* E. submetida a temperaturas de secagem de 50, 60, 70, 80, 90 e 100°C, permitem as seguintes conclusões:

a) Através da análise de regressão linear, constatou-se a existência de estreita correlação entre a temperatura e o teor de umidade da madeira para as seis temperaturas estudadas;

b) A temperatura medida a $\frac{1}{4}$ da espessura da madeira foi a que melhor se correlacionou com o teor de umidade da madeira;

c) A inclusão da temperatura da madeira nos modelos testados produziu excelentes equações de regressão, o que demonstra sua importância para as medidas estimativas do teor de umidade da madeira;

d) O uso do logaritmo do teor de umidade, em substituição a variável dependente usual, produziu melhorias substanciais no coeficiente de correlação, erro padrão da estimativa e variância, para alguns tratamentos.

Estes resultados não devem ser considerados definitivos. Em futuros estudos, recomenda-se o uso de equipamentos dotados de dispositivos modernos para controle da temperatura de secagem, equipados de bulbo úmido e sistema de circulação de ar, para avaliar o efeito destes parâmetros sobre a temperatura da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEN, Z., WENGERT, E.M., LAMB, F.M. A technique to electrically measure the moisture content of wood above fiber saturation. *For. Prod. J.*, Madison, v. 44, n. 9, p. 57-62, Sept 1994.
- FORRER, J.B., VERMAAS, H.F. Development of an improved moisture meter for wood. *For. Prod. J.*, Madison, v. 37, n. 2, p. 67-71, Feb. 1987.
- HOLMES, S.; FORRER, J. Lumber moisture content and temperature changes with kiln conditions. *For. Prod. J.*, Madison, v. 39, n. 4, p. 67-70, Apr. 1989.
- JAMES, W.L. Calibration of electric moisture meters for some wood species grown in Hawaii. FPL, USDA, For. Serv., Madison, n. 61, p. 1-25, Oct. 1964. Research Note.

- _____. Effect of temperature on readings of electric moisture meters. **For. Prod. J.**, Madison, v. 18, n. 10, p. 23-31, Oct. 1968.
- _____. Effects of wood preservatives on electric moisture-meter readings. FPL.USDA For. Serv., Madison, n. 106, p. 1-20, Aug. 1966. Research Note.
- _____. CHOONG, E.T., ARGANBRIGHT, D.G. et al. Moisture levels and gradients in commercial softwood dimension lumber shortly after kiln-drying. **For. Prod. J.**, Madison, v. 34, n. 11/12, p. 59-64, Nov/Dec. 1984.
- KEYLWERTH, R., GAISER, H., MEICHSNER, H. Untersuchungen an einer Heissdampftrockenanlage. **Holz Roh-Werkstoff**, Berlin, v. 13, n. 1, p. 5-20, 1955. For. Abstr., Farnham Royal, v. 17, n. 2, p. 288, 1956. Ref. 2168. Resumo.
- KOTOK, E.S., LOWERY, D.P., JENSEN, C.E. Surface temperature as an indicator of wood moisture content during drying. **For. Prod. J.**, Madison, v. 19, n. 9, p. 80-82, Sept. 1969.
- LUM, C. Practical moisture and species correction tables. In: **ASTMHAND-HELD MOISTURE METER WORKSHOP (1993 : Madison). Proceedings**. Madison, 1994. p. 23-28.
- MACKAY, J.F.G. Effect of moisture gradients on the accuracy of power-loss moisture meters. **For. Prod. J.**, Madison, v. 26, n. 3, p. 49-52, Mar. 1976.
- _____. OLIVEIRA, L.C. **Kiln operator's handbook for Western Canada**. Vancouver, Forintek Canada Corp. 1989. 61p. (Special Publication No. SP-31).
- PANOW, S., NESTER, M.R. Drying and point determination during high-temperature drying. **For. Prod. J.**, Madison, v. 35, n. 10, p. 51-55, Oct. 1985.
- _____. **Some moisture content/temperature/time relationships for individual timber specimens during high temperature drying**. Queensland, Dep. of Forestry Queensland, n. 39, p. 1-10, 1984. Research Note.
- SIMPSON, W.T. Dry kiln operator's manual. **Agric. Handb.**, Madison, n. 188, p. 1-274, 1991.
- SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218p. (Syracuse Wood Science Series, 4).

- TOMASELLI, I. **The influence of high-temperature drying on some physical and mechanical properties of *Pinus radiata* D. Don.** Melbourne: 1977. 264p. Thesis (Doctor of Philosophy) - Faculty of Agriculture and Forestry, University of Melbourne.
- VERMAAS, H.F. A summary of literature references of factors affecting moisture content determination with D.C. resistance measurements. **South Afr. For. J.**, Stellenbosch, South Africa, n. 95, p. 35-36, 1975a.
- VERMAAS, D.C. Resistance moisture meters for wood. Part I: Review of some fundamental considerations. **South Afr. For. J.**, Stellenbosch, South Africa, n. 121, p. 88-92, June 1982a.
- _____. D.C. Resistance moisture meters for wood. Part II: The influence of temperature and moisture content on the resistance of two South African Pines. **South Afr. For. J.**, Stellenbosch, South Africa, n. 122, p. 70-81, 1982b
- _____. Experimental variables affecting the measurement of the DC resistance of wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 29, n. 4, p. 140-144, Aug. 1975b.
- VERMAAS, D.C., NEVILLE, C.J. Low temperature drying of *Eucalyptus grandis*. A preliminary laboratory evaluation. **Holzforschung**, Berlin, v. 42, n. 4, p. 265-271, Aug. 1988.
- WENGERT, E.M. Technology helps pinpoint lumber moisture content. **For. Ind.**, San Francisco, CA, v. 119, n. 3, p. 19-20, May/June 1992.