

RELAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE COM O CONSUMO DO COMBUSTÍVEL BPF NO PROCESSO DE SECAGEM DA MADEIRA EM UMA AGROINDÚSTRIA

Fabiane de Souza Bueno¹, Gislaine Cristina Batistela²

¹*Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: bybueno@hotmail.com*

²*Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: gbatistela@fatecbt.edu.br*

1 INTRODUÇÃO

O processo de fabricação de painéis de madeira compreende várias etapas, tais como: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação de adesivos e de aditivos químicos, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, resfriamento, acondicionamento, acabamento, classificação, embalagem e armazenamento (IWAKIRI, 2005 citado por WEBER, 2011).

A umidade das partículas da madeira afeta diretamente as propriedades e o processo de fabricação de painéis. Segundo Barros Filho (2009) citado por Pierre (2010) o teor de umidade das partículas é decisivo nas características e propriedades finais dos painéis, pois diminuirá a movimentação dimensional da peça evitando empenos ou rachaduras e conseqüentemente as peças de madeira poderão ser produzidas com maior precisão de dimensões proporcionando melhor desempenho em serviço.

A secagem da madeira caracteriza-se pelo processo de redução do teor de umidade com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável para o uso a que se destina. Este processo pode ser feito de duas maneiras: sob condições naturais (ar livre) ou por meio de estufas ou secadores.

Os secadores disponíveis para o processo de produção de painéis de madeira são tambores rotativos e utilizam resíduos de madeira, gás ou óleo combustível (BPF - Baixo Ponto de Fluidez) na geração de calor utilizado no processo de secagem para evaporar a umidade da madeira (LARA PALMA, 2009).

A aplicação de técnicas estatísticas está crescendo em virtude do aumento do emprego da abordagem quantitativa na resolução de problemas e principalmente na tomada de decisão, tornando-se de grande importância para o seguimento agroindustrial.

O objetivo deste trabalho é estudar o relacionamento entre o teor de umidade da madeira na etapa antecedente ao processo de secagem na fabricação de painéis de madeira com o consumo do combustível BPF utilizado no secador, por meio de modelos regressão linear múltipla.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os valores das séries históricas foram fornecidos por uma indústria de painéis em MDF e MDP da região de Botucatu – SP. O período de análises deste estudo é de janeiro a dezembro do ano de 2012.

As variáveis estudadas são: BPF (y): consumo de combustível BPF mensurado em litros; Umi (x_1): Teor de umidade do silo úmido (%); Ubu (x_2): Teor de umidade a base úmida (%); Ubs (x_3): Teor de umidade a base seca (%); Densi (x_4): densidade das toras de madeira no momento de chegada à indústria (g/cm³).

A densidade é a relação entre a massa seca da madeira e o volume saturado, ou seja, volume úmido. O teor de umidade a base seca na madeira mostra a porcentagem de água presente na madeira em relação ao peso seco e o teor de umidade a base úmida é a razão entre o peso da água presente na madeira e o peso total (água + madeira). O teor de umidade do silo úmido é teor de umidade das partículas de madeira na etapa antecedente ao processo de secagem.

Estas séries foram analisadas por meio da técnica estatística de modelos de regressão linear múltipla (DRAPER e SMITH, 1981), com a suposição de normalidade avaliada por meio do teste *Shapiro-Wilk* (SHAPIRO e WILK, 1965).

Para auxiliar as análises foram utilizados o *Microsoft Excell 2010* e o software *R-Gui*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tab. 1 encontram-se os valores das variáveis abordadas no estudo.

Tabela 1. Conjunto de dados.

Mês	BPF	Umi.	Ubu.	Ubs.	Densi
Janeiro	2265,45	51,86	31	44	0,457
Fevereiro	1746,29	50,41	30	43	0,465
Março	3919,16	54,02	33	49	0,451
Abril	4839,97	56,23	31	46	0,446
Mai	4177,29	54,48	32	49	0,424
Junho	7659,03	62,91	33	55	0,432
Julho	10312,74	63,79	35,5*	57,68	0,463
Agosto	8023,23	63,86	38	65	0,452
Setembro	9942,27	57,01	39	63	0,434
Outubro	5139,74	54,69	33	44	0,451
Novembro	6462,07	55,32	31	46	0,421
Dezembro	3842,48	47,67	26	36	0,411

*Ubu (%) do mês de julho não foi divulgada e seu valor foi estimado pela média entre o mês anterior (junho) e o mês posterior (agosto).

Tabela 1. Média, Quartil 1, Mediana, Quartil 3, Máximo, Mínimo, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação das variáveis estudadas.

Variáveis					
Medida	BPF	Umi	Ubu	Ubs	Densi
Média	5694,14	56,02	32,71	49,81	0,44
Q1	3899,99	53,48	31,00	44,00	0,43
Mediana	4989,85	55,00	32,50	47,50	0,45
Q3	7750,08	58,49	33,63	55,67	0,45
Máx.	10312,74	63,86	39,00	65,00	0,47
Min.	1746,29	47,67	26,00	36,00	0,41
D.P	2804,41	5,20	3,53	8,68	0,02
C.V. (%)	49,25	9,28	10,87	18,27	3,90

Analisando a Tab. 2 observa-se que o consumo médio do combustível BPF no período analisado é de 5694,14 litros, sendo que o consumo máximo é de 10312,74 litros e mínimo de 1746,29 litros, com uma amplitude de 8566,45 litros.

Observando o coeficiente de variação, verifica-se que houve maior variabilidade nos dados de consumo do combustível BPF (49,25%) e a menor variabilidade (3,9%) na densidade básica.

Em relação à umidade, o teor de umidade a base úmida apresenta média de 32,71%, e desvio padrão de 3,53%, sendo menor que o teor de umidade a base seca, com média de 49,81% e desvio padrão de 8,68%. Já o teor de umidade do silo úmido tem seu valor médio em 56,02% e desvio padrão de 5,20%.

Em continuação, realiza-se o teste de *Shapiro-Wilk* (SHAPIRO e WILK, 1965) a fim de verificar a suposição de normalidade da variável consumo do combustível BPF (variável resposta). Considerando-se o nível de 5% de significância, o valor p do teste ($p=0,5534$) indica a não rejeição da hipótese de normalidade para a variável em estudo ($p>0,05$).

Inicialmente, ajusta-se o modelo linear múltiplo em função das variáveis Umi, Ubu, Ubs e densi (variáveis regressoras). Na Tab. 3 encontra-se o resumo da análise de variância para o ajuste do modelo de regressão linear múltipla considerando todas as variáveis, ou seja, o modelo utilizado é $y_j = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \varepsilon_j$, onde $\beta_j, j=0, 1, \dots, 4$, são os parâmetros do modelo a serem estimados (coeficientes de regressão) e ε_j são os erros aleatórios.

Tabela 3. Resumo da análise de variância do ajuste de regressão múltipla.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Estatística F	Valor p
Regressão	4	17.605.252,5	7,66	0,0107*
x_1	1	56.524.207	24,59	0,0016*
x_2	1	4.387.725	1,91	0,2096
x_3	1	518.199	0,23	0,6494
x_4	1	8.990.879	3,91	0,0885
Resíduo	7	2.298.667		
Total	11			

*(p<0,05)

Considerando a primeira linha da Tab. 3, verifica-se que pelos menos uma variável regressora explica significativamente a variação que ocorre na variável resposta ($p=0,0107$). Observa-se que a variável teor de umidade do silo úmido (x_1) explica significativamente a variação que ocorre na variável resposta, porém, as variáveis Ubu (x_2), Ubs (x_3) e densidade básica (x_4) não foram estatisticamente significativas, ou seja, os coeficientes estimados para os parâmetros são iguais a zero, caracterizando redundância dessas variáveis no ajuste do modelo. Essa redundância é dependente da estrutura de correlação existente entre as variáveis do modelo, como pode ser visto na matriz de correlação a seguir:

	BPF	Umi	Ubu	Ubs	Densi
BPF	1	0,8083	0,7529	0,8088	-0,0582
Umi		1	0,7458	0,8444	0,2454
Ubu			1	0,9476	0,3318
Ubs				1	0,2180
Densi					1

Os valores 0,7458 e 0,8444 representam as correlações entre o teor de umidade silo úmido e o teor de umidade a base úmida (Ubu) e o teor de umidade a base seca (Ubs), respectivamente, indicando alta associação entre as variáveis.

Ajusta-se, então, um novo modelo excluindo as variáveis Ubu (x_2), Ubs (x_3) e densidade básica (x_4). As estimativas dos parâmetros encontram-se na Tab. 4.

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros.

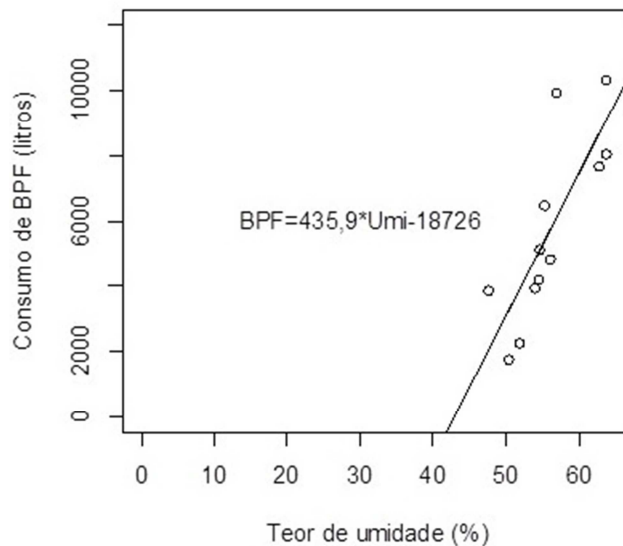
Parâmetros	Estimativa	Valor p
β_0	-18726	0,0078*
β_1	435,9	0,0015*

*($p < 0,05$)

O coeficiente de determinação, R^2 , representa a proporção da variação explicada pelo modelo regressão, ou seja, é a medida que diz “quão bem” a reta de regressão da amostra se ajusta aos dados. Neste estudo o valor do R^2 é de 0,6187, isto é, 61,87% das informações são explicadas pelo modelo ajustado $B\hat{P}F = 435,9 Umi - 18726$.

Na Fig. 1 encontra-se o gráfico do consumo de combustível BPF em função do teor de umidade do silo úmido com a reta descrita pelo modelo ajustado.

Figura 1. Consumo de combustível BPF em função do teor de umidade do silo úmido



Pela análise realizada, é possível mostrar que existe uma relação linear (associação) entre o consumo do combustível BPF e o teor de umidade do silo úmido, ou seja, o teor de umidade do silo úmido pode ser utilizado para explicar o consumo do combustível BPF.

O valor do parâmetro β_1 representa a taxa de crescimento da variável resposta em função da variável regressora, ou seja, a cada aumento de 1% do teor de umidade do silo úmido o consumo do combustível BPF aumenta em 435,9 litros.

4 CONCLUSÕES

Foi possível mostrar que existe uma relação linear (associação) entre o consumo do combustível BPF e teor de umidade das partículas de madeira (teor de umidade do silo úmido) na etapa antecedente ao processo de secagem, ou seja, o teor de umidade do silo úmido pode ser utilizado para explicar o consumo do combustível BPF.

Em continuidade do trabalho, será necessário utilizar o procedimento de análise de resíduos, para verificar a qualidade do modelo ajustado.

5 REFERÊNCIAS

- DRAPER, N. R., SMITH, H. Applied regression analysis. New York:John Wiley & Sons. 1981.
- LARA PALMA, H. A. Painéis de madeira. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas. 2009. 40 p.
- PIERRE, F. C. Caracterização Físico Mecânica de Painéis Aglomerados de Eucalyptus Grandis com adição de resíduos Industriais Madeireiros, Tese de Doutorado, FCA, UNESP, Botucatu. Disponível em: <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/index.php?programa=6&curso=2&MM_insert=form1>. Acesso em 05 fev. 2013.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete sample). Biometrika, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.
- WEBER, C. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduo de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados, Dissertação de Mestrado, PPGEF, UFPR, Curitiba. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2011/d567_0772-M.pdf>. Acesso em: 14 maio 2013.