

APÊNDICE D – Temperatura do ar de secagem

As medidas da temperatura do ar de secagem são imprescindíveis para a determinação dos coeficientes de transferência de calor e massa e também para calcular a eficiência da operação de secagem. No trabalho atual, a temperatura do ar foi alterada de acordo com a temperatura dos frutos de café. Na maior parte dos trabalhos sobre secagem encontrados na literatura, os pesquisadores mantêm a temperatura do ar constante e, portanto, há uma variação na temperatura do produto. Como os frutos de café são muito sensíveis aos efeitos das altas temperaturas na operação de secagem, o monitoramento da temperatura do ar torna-se imprescindível para o estabelecimento de uma relação entre temperaturas seguras do ar e as condições operacionais de secagem. Para isso, deve-se levar em conta também as condições do ar ambiente admitido no secador.

D.1 – Primeiro Planejamento de Secagem

As Figuras D.1 a D.11 apresentam a temperatura do ar, na entrada e na saída das bandejas vibradas do secador, para o primeiro planejamento de secagem.

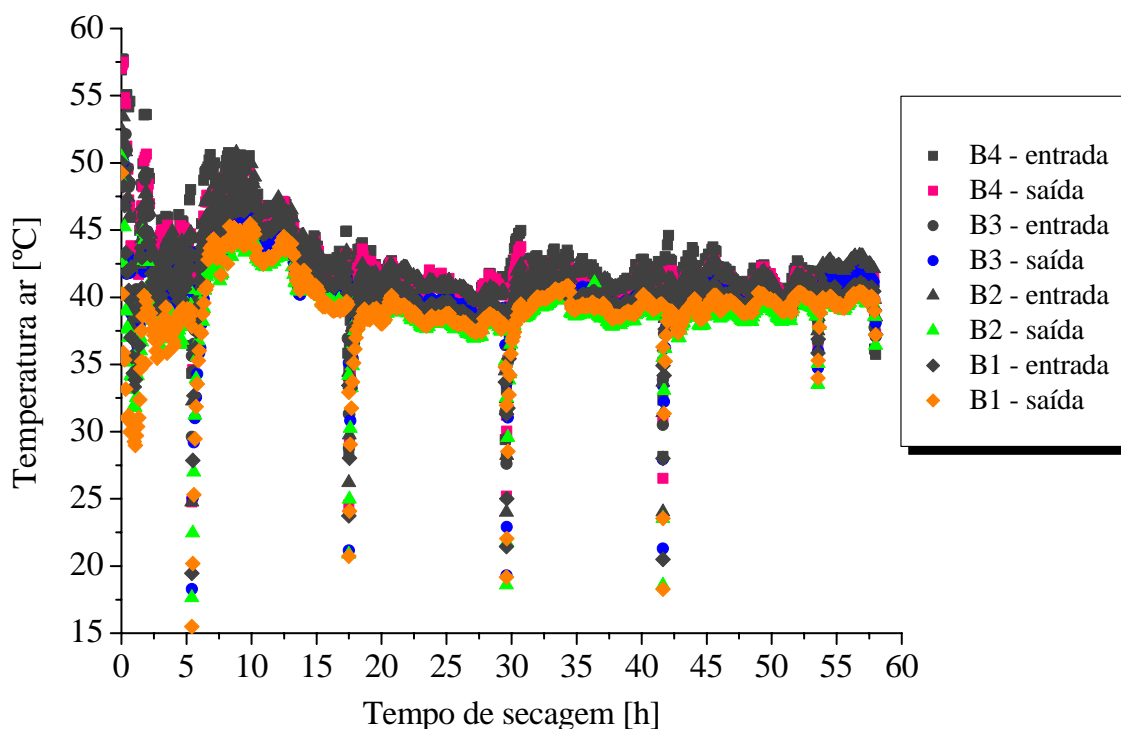


Figura D.1 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 1.

A maior temperatura é sempre do ar de entrada da Bandeja 4, pois ela está localizada na parte inferior do túnel de secagem e é onde primeiro o ar encontra o leito de café. Para todos os gráficos de temperatura do ar versus tempo de secagem, é observado que no início da secagem a diferença entre a temperatura do ar na entrada da Bandeja 4 e na saída da Bandeja 1 é muito maior do que ao final da secagem. No início da secagem, a massa de frutos de café é maior e mais úmida. Assim, há uma maior necessidade de calor, fornecido pelo ar, para aumentar a temperatura do fruto, principalmente devido ao efeito de resfriamento causado pela evaporação da água na superfície dos frutos de café. Ao final da secagem, a temperatura do ar, necessária para manter o valor desejado para a temperatura do fruto, é menor e, a diferença entre as temperaturas do ar nas entradas e saídas das bandejas e a temperatura do fruto diminui consideravelmente. Para o Experimento 1, no início da secagem tem-se uma diferença de aproximadamente 20°C e ao final, essa diferença diminui para 5°C.

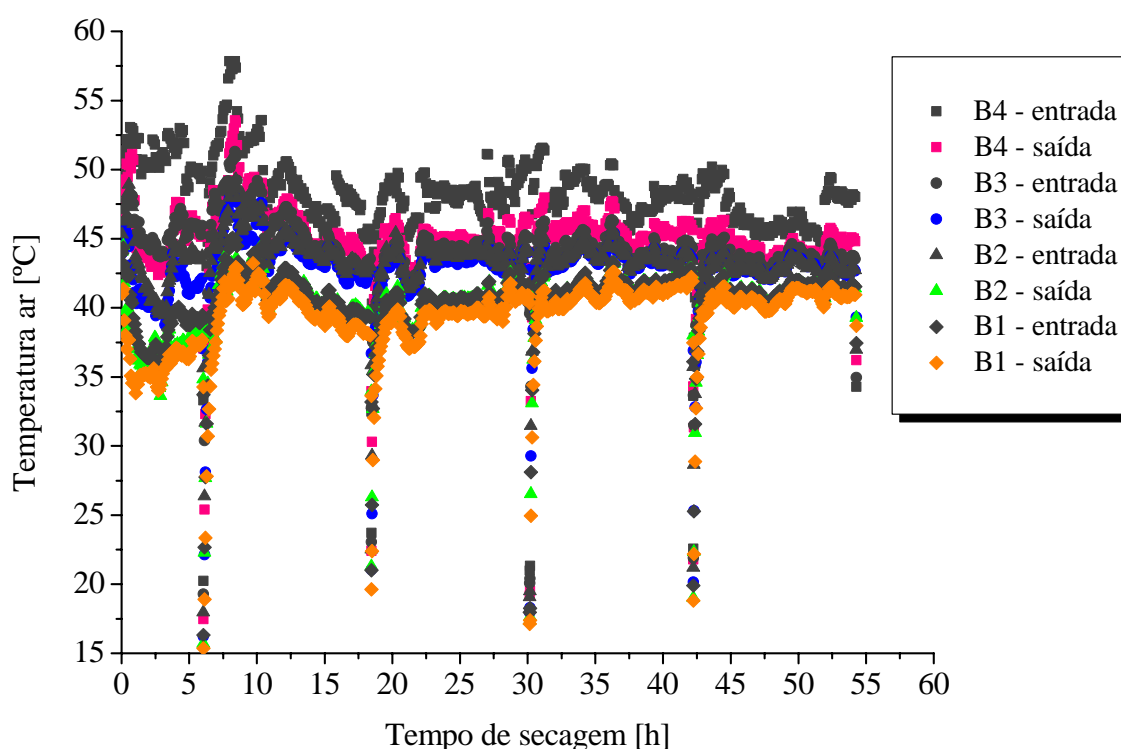


Figura D.2 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 2.

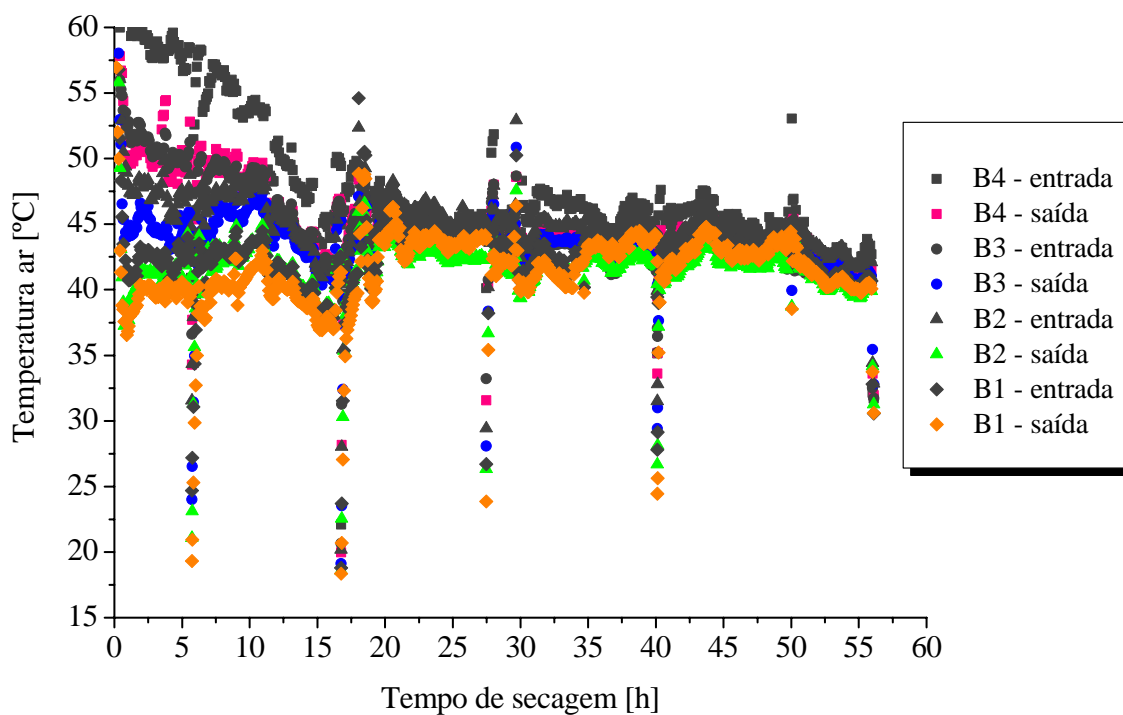


Figura D.3 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 3.

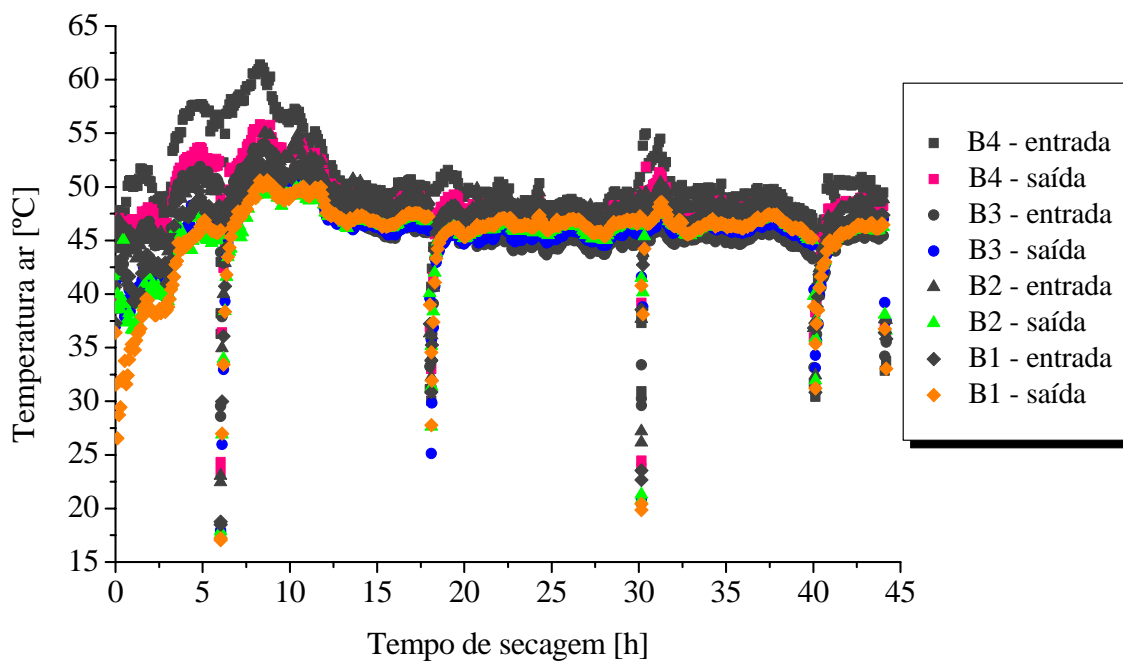


Figura D.4 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 4.

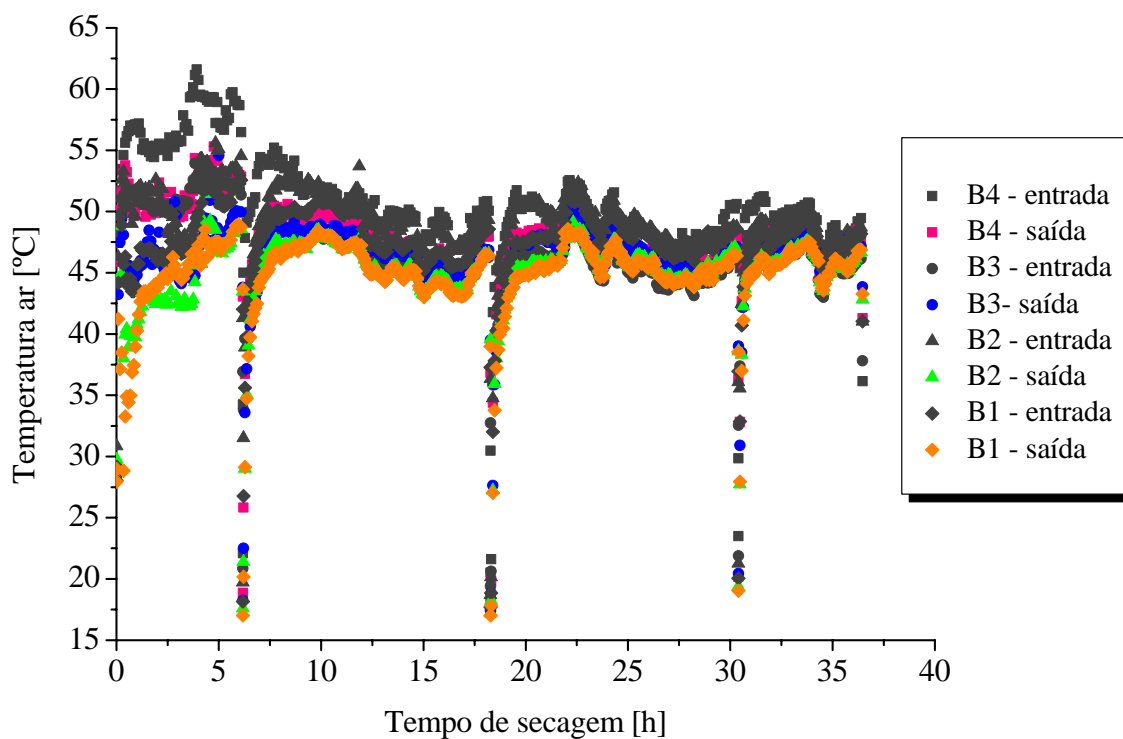


Figura D.5 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 5.

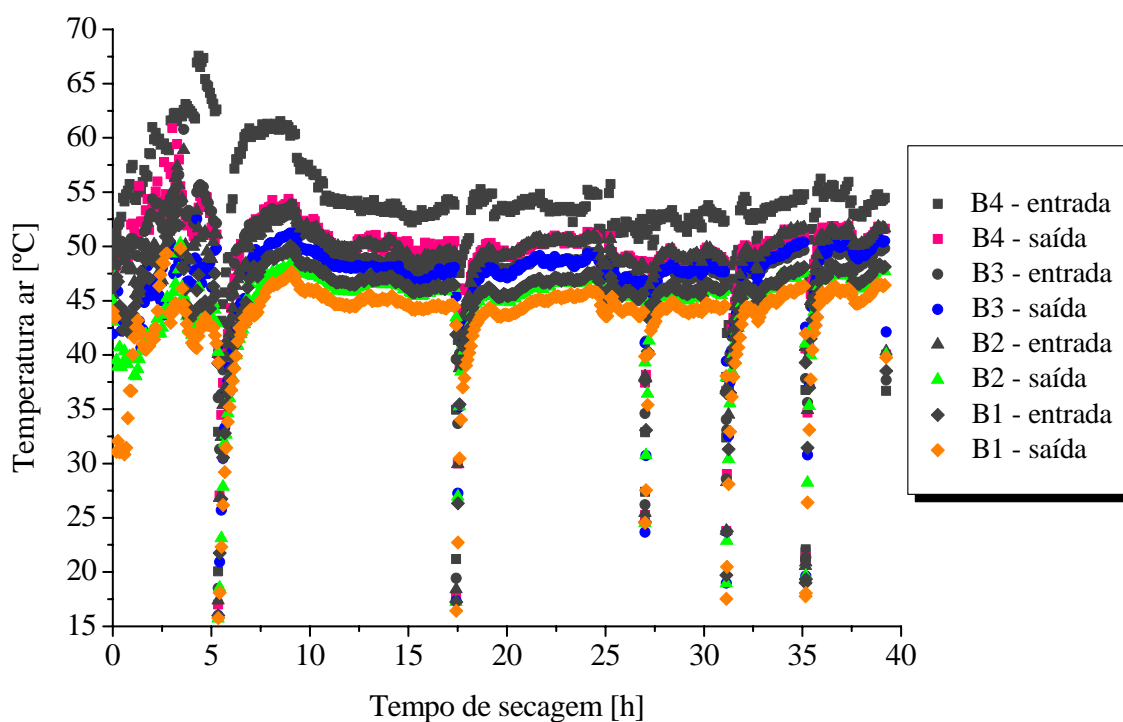


Figura D.6 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 6.

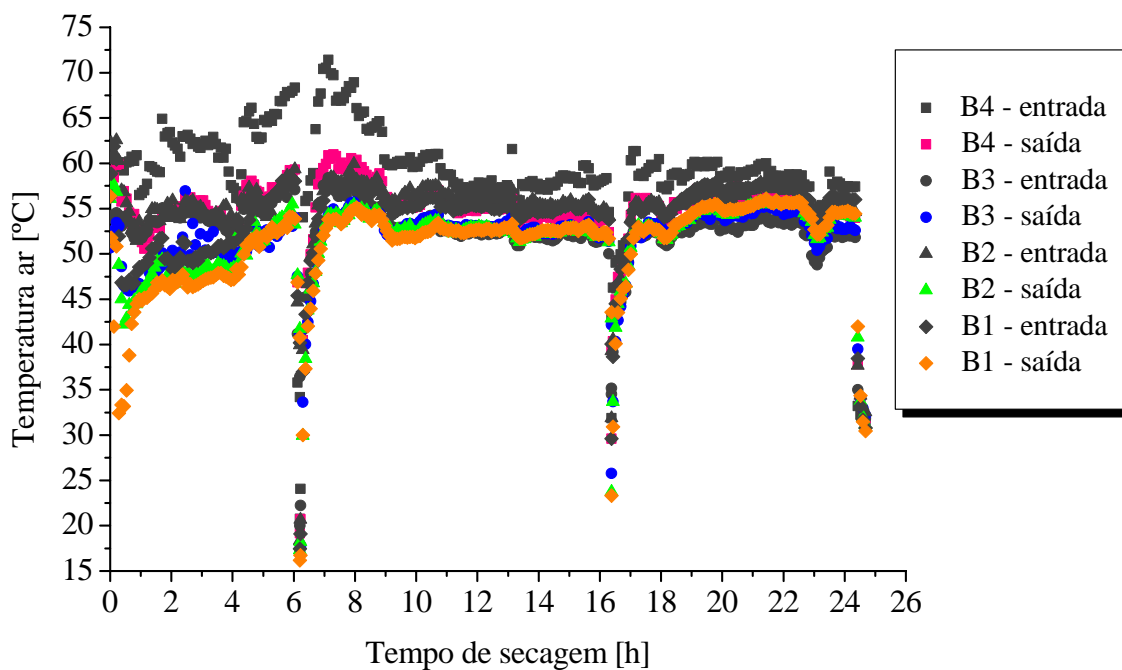


Figura D.7 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 7.

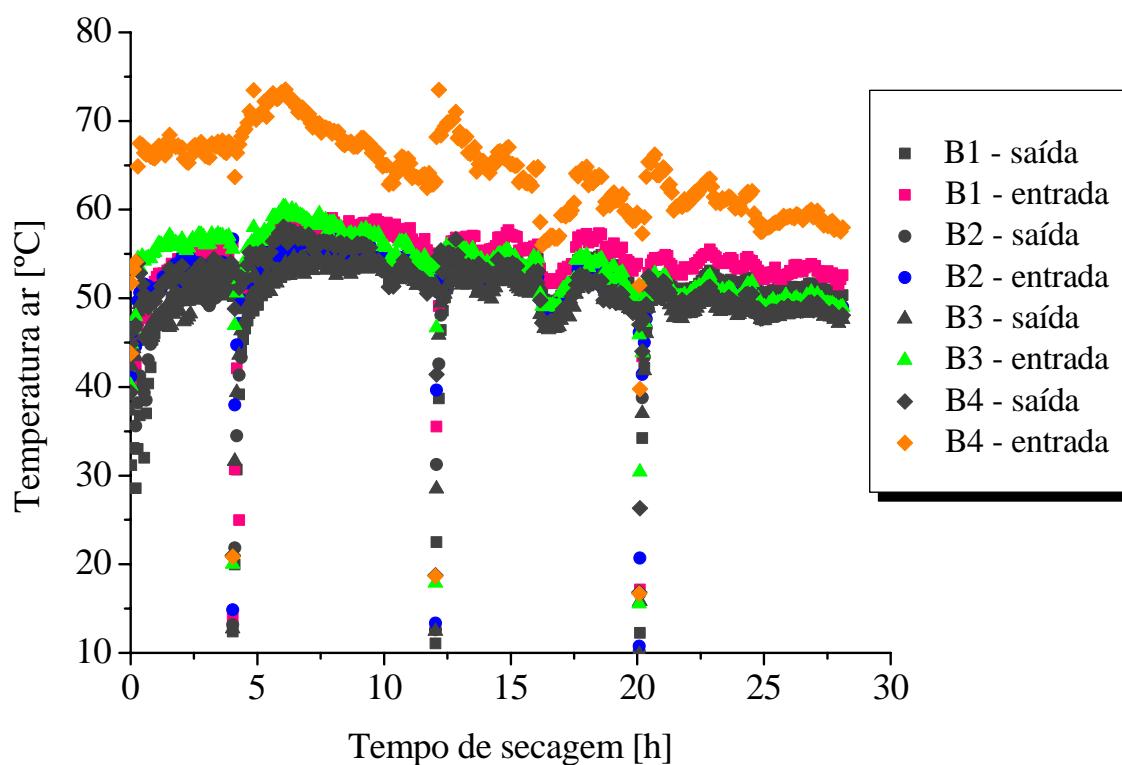


Figura D.8 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 7 (2005).

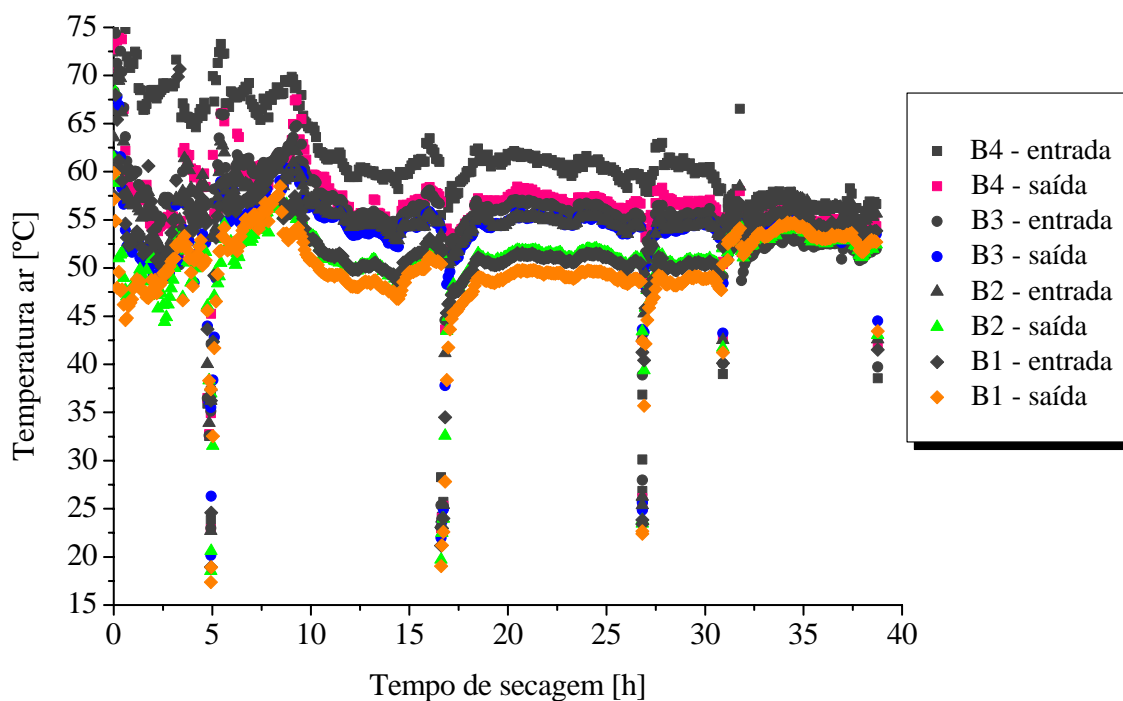


Figura D.9 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 8.

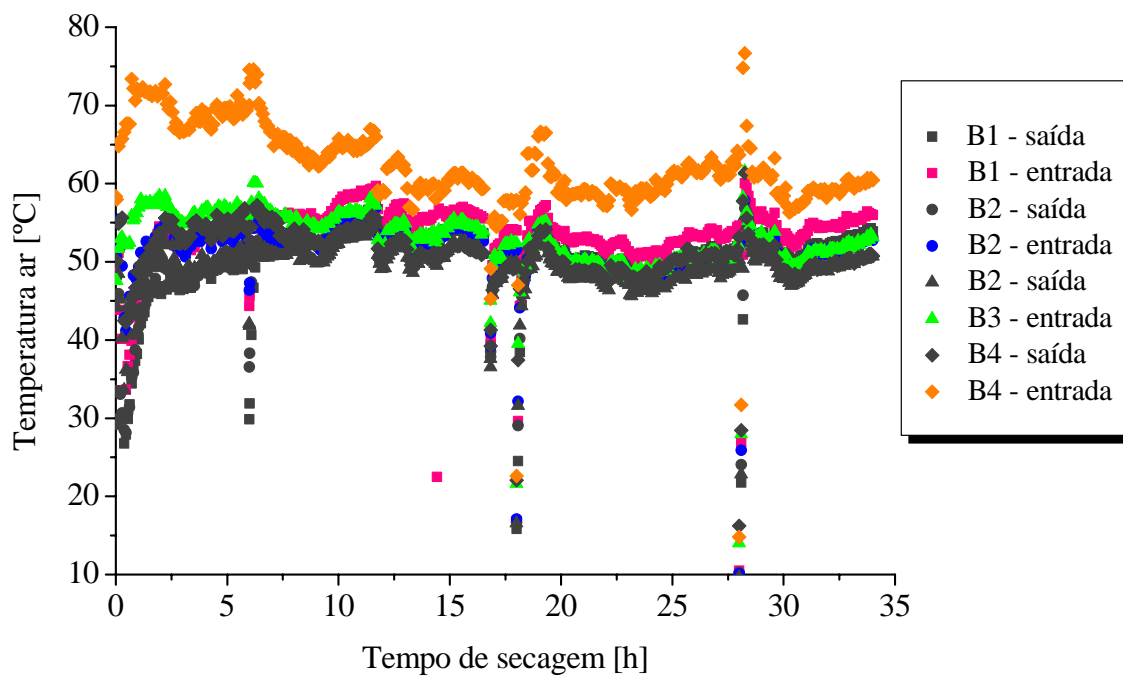


Figura D.10 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 8 (2005).

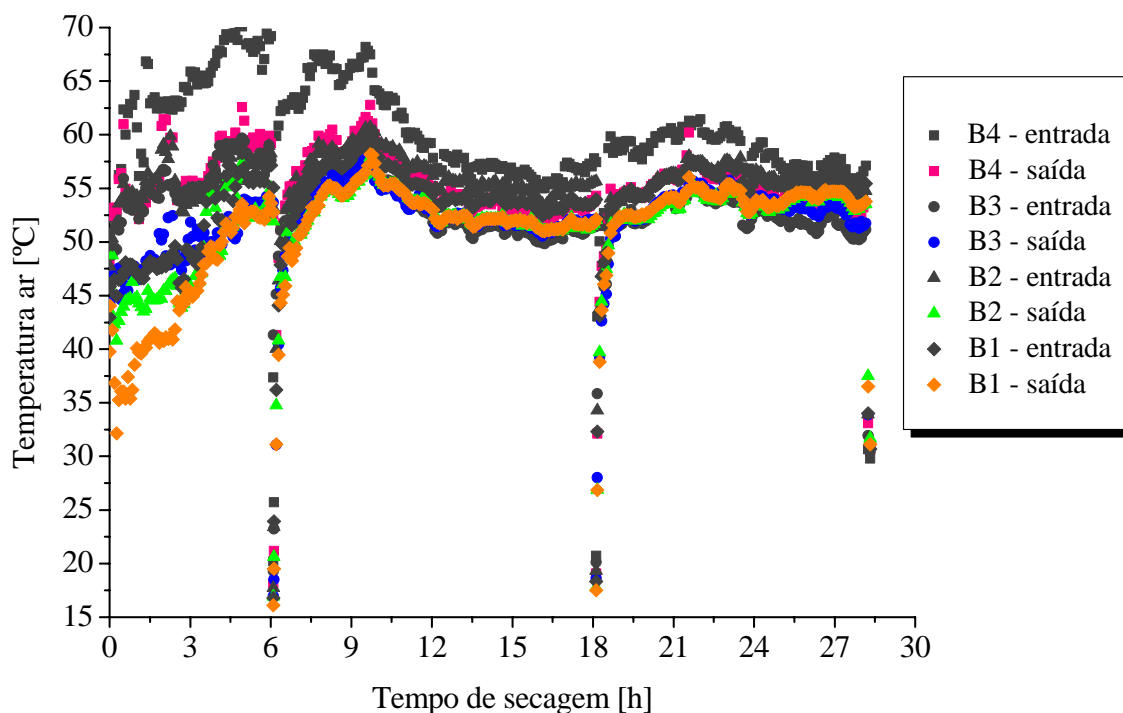


Figura D.11 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 9.

D.2 – Segundo Planejamento de Secagem

As Figuras D.12 a D.20 apresentam a temperatura do ar, na entrada e na saída das bandejas vibradas do secador, para o segundo planejamento de secagem.

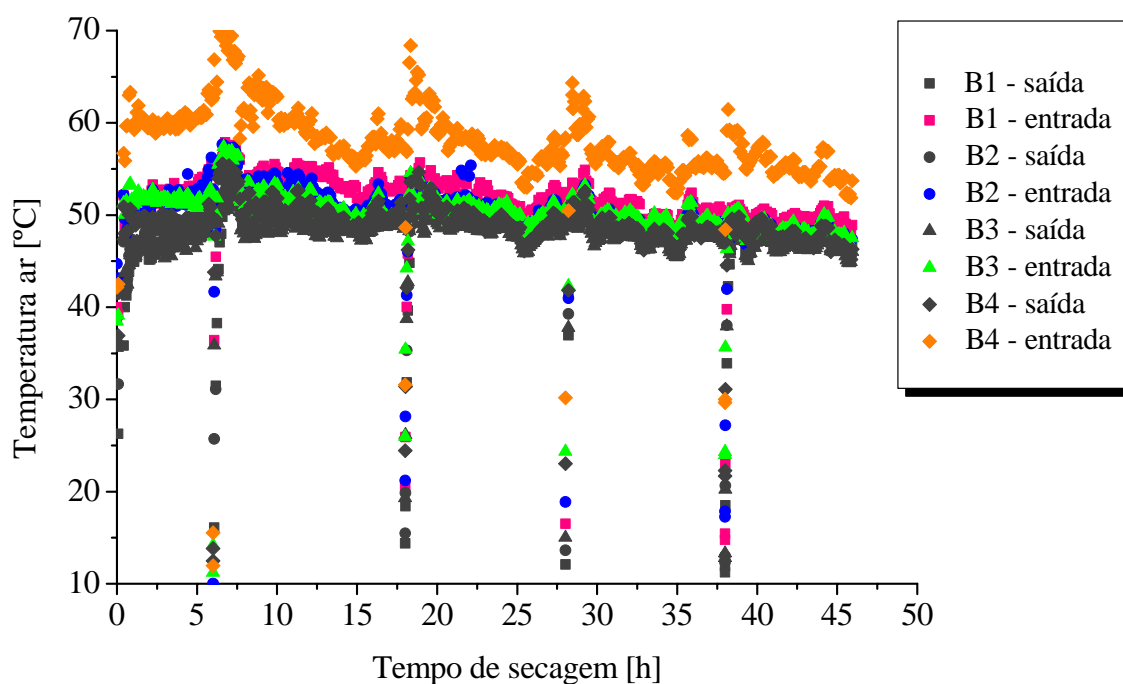


Figura D.12 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 1.

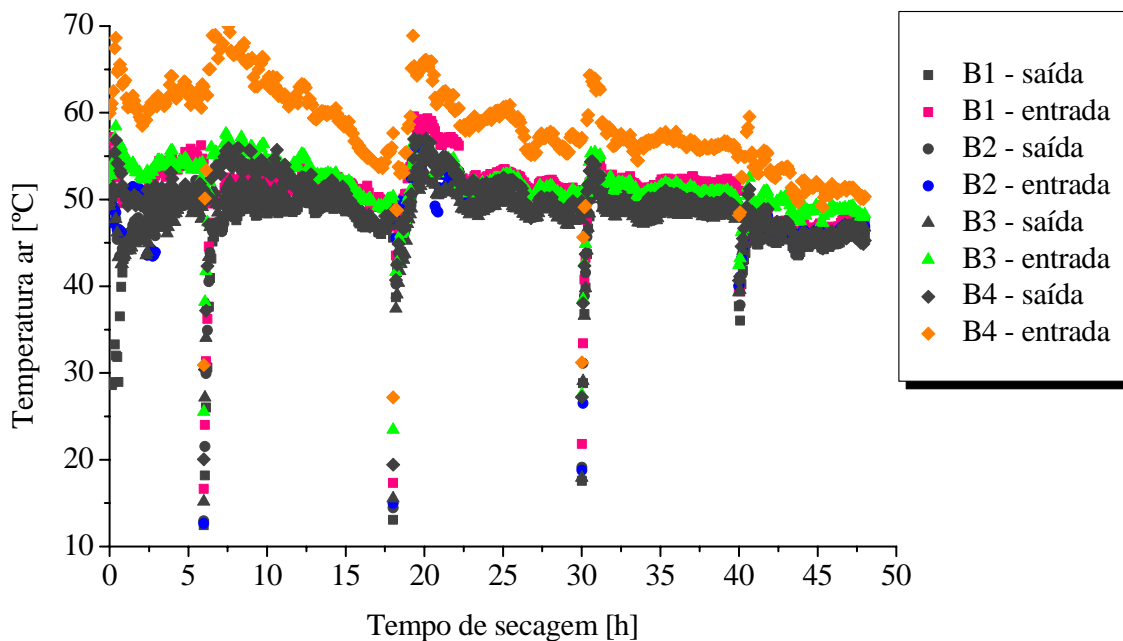


Figura D.13 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 2.

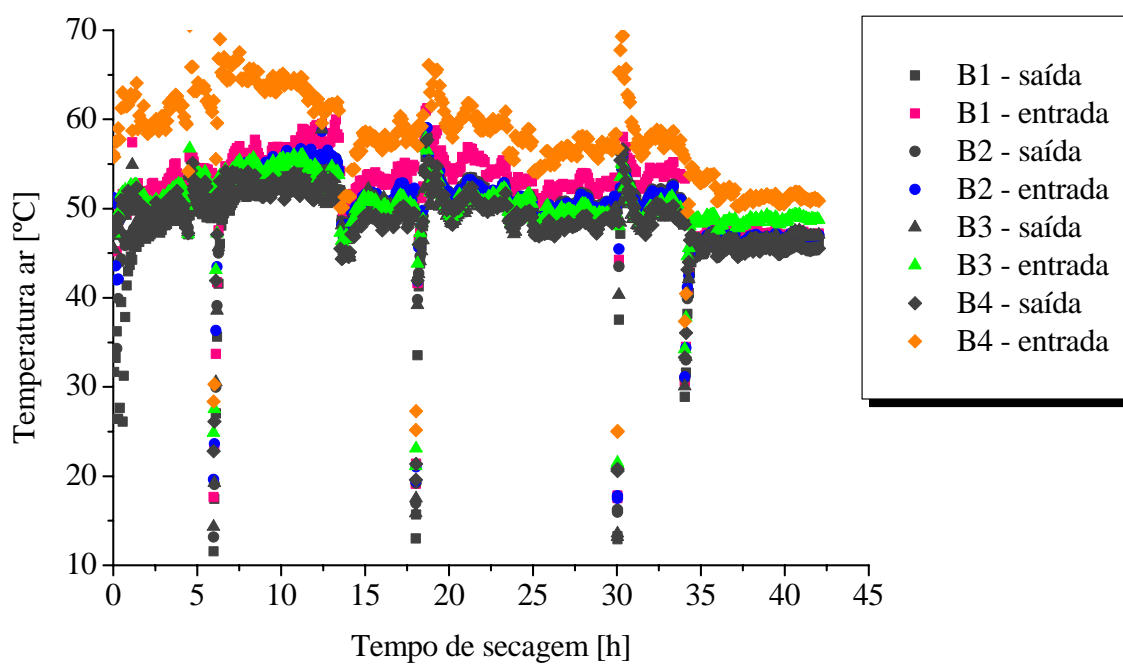


Figura D.14 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 3.

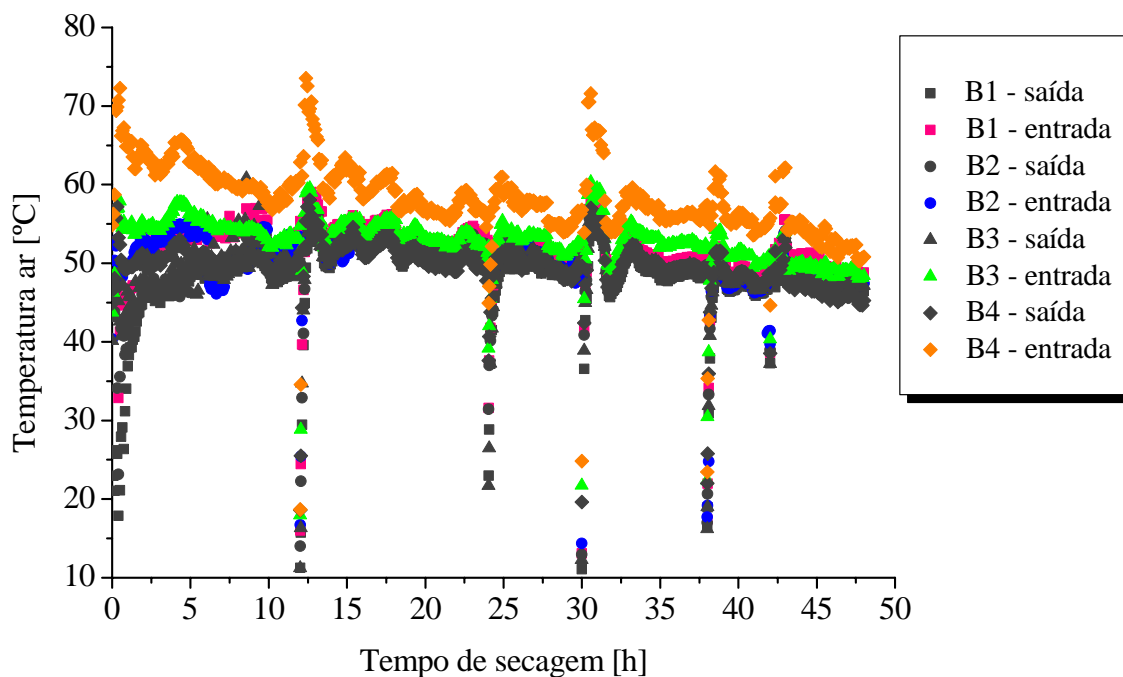


Figura D.15 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 4.

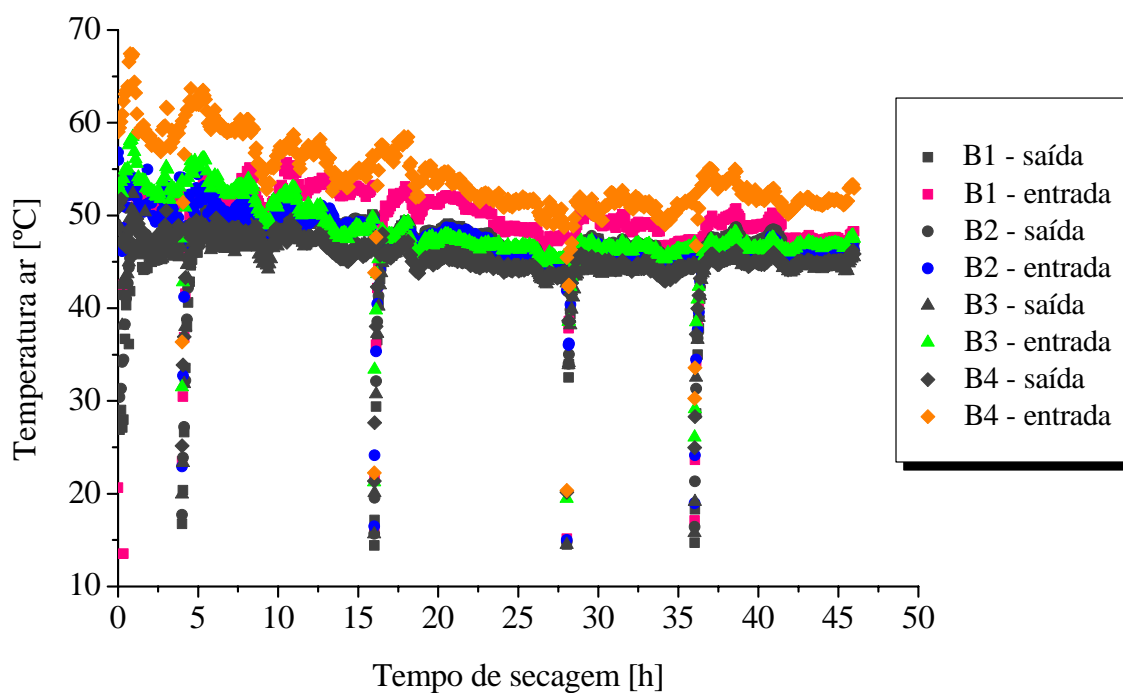


Figura D.16 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 5 (2005).

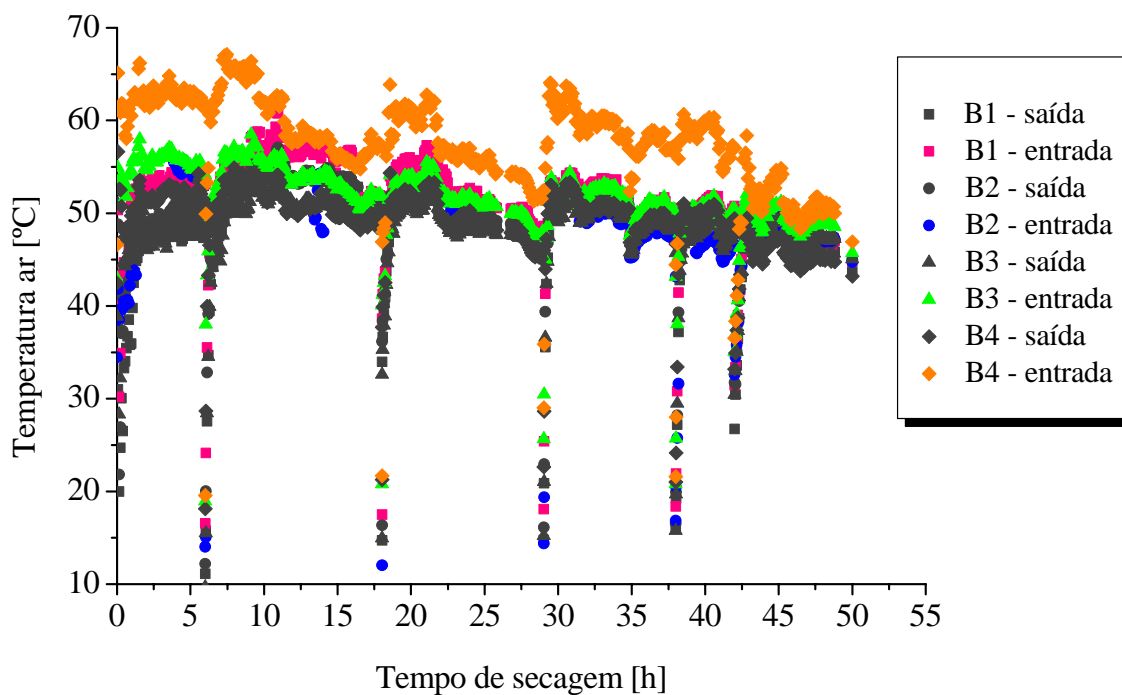


Figura D.17 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 6.

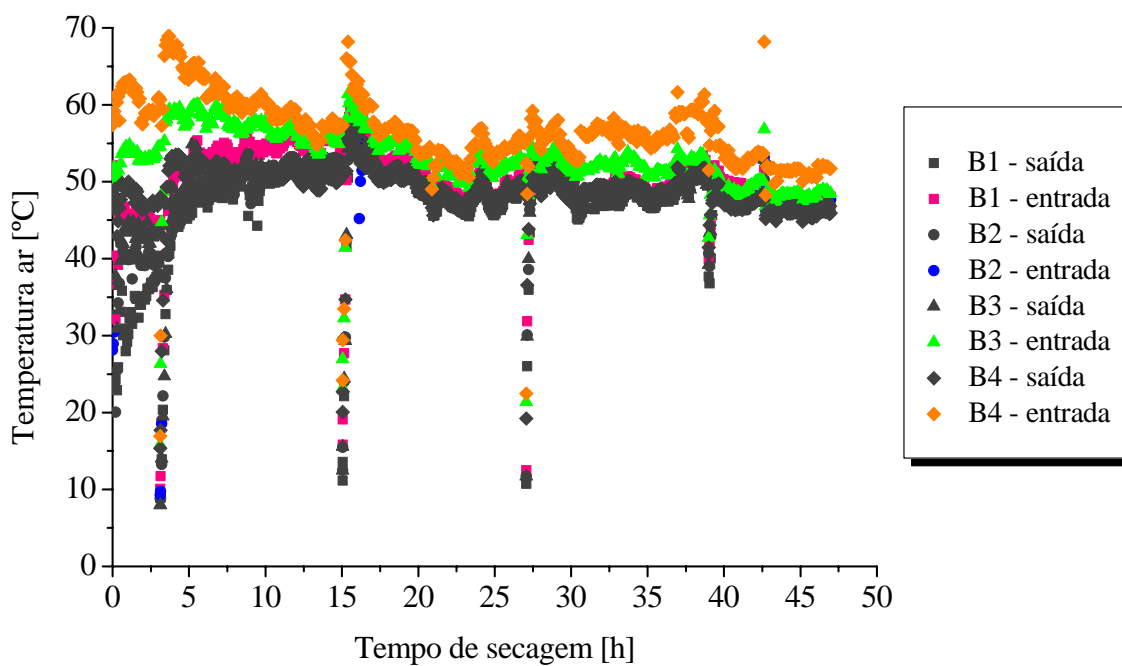


Figura D.18 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 7.

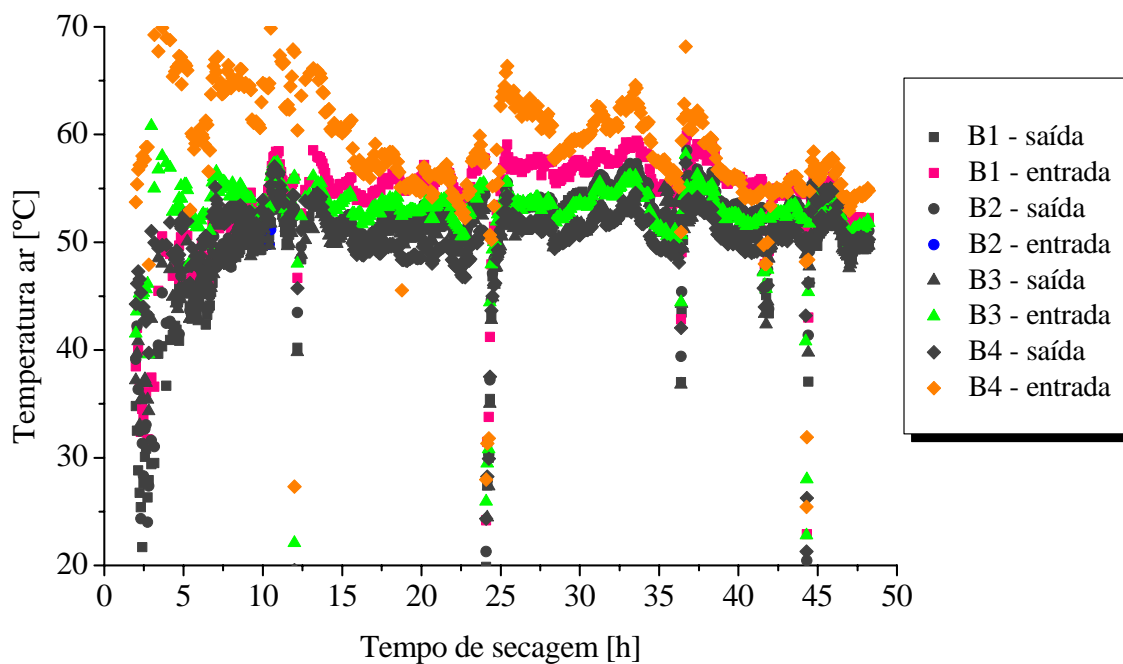


Figura D.19 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 8.

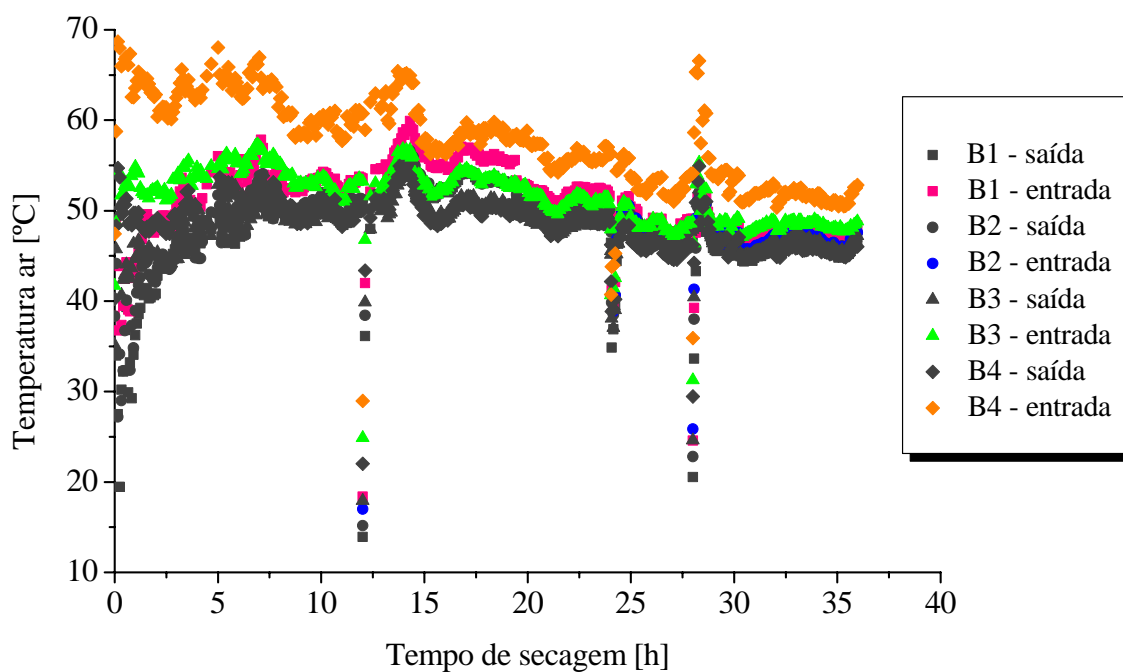


Figura D.20 – Temperatura do ar na entrada e na saída das bandejas, para o Experimento 9.

APÊNDICE E – Massa média de um fruto de café

A massa média de uma partícula de café foi calculada a partir da massa dos quatro frutos de café retirados do secador durante a secagem para determinação do conteúdo de umidade. Os resultados, para o primeiro e o segundo planejamento de secagem, foram plotados em função do tempo e uma reta foi ajustada aos dados experimentais.

E.1 – Primeiro Planejamento de Secagem

As Figuras E.1 a E.11 indicam o comportamento da perda de massa média de um fruto de café no decorrer da secagem.

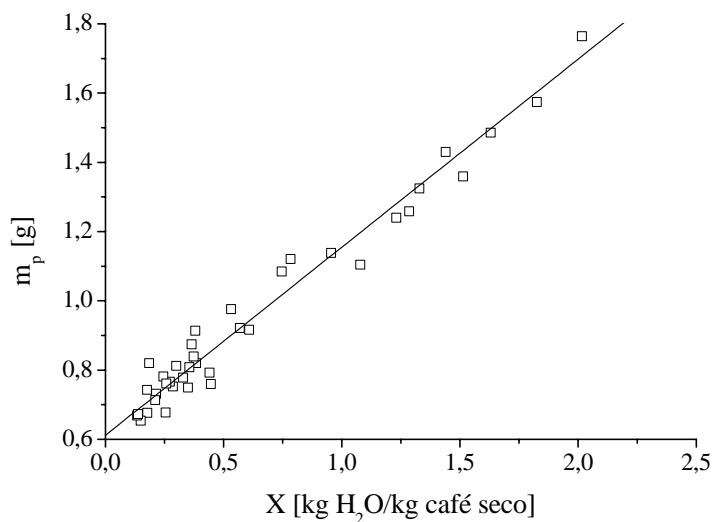


Figura E.1 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 1, variedade Mundo Novo.

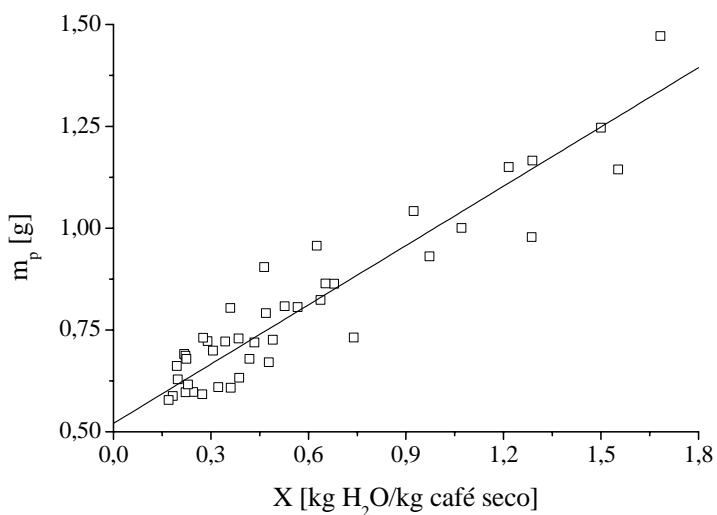


Figura E.2 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 2, variedade Mundo Novo.

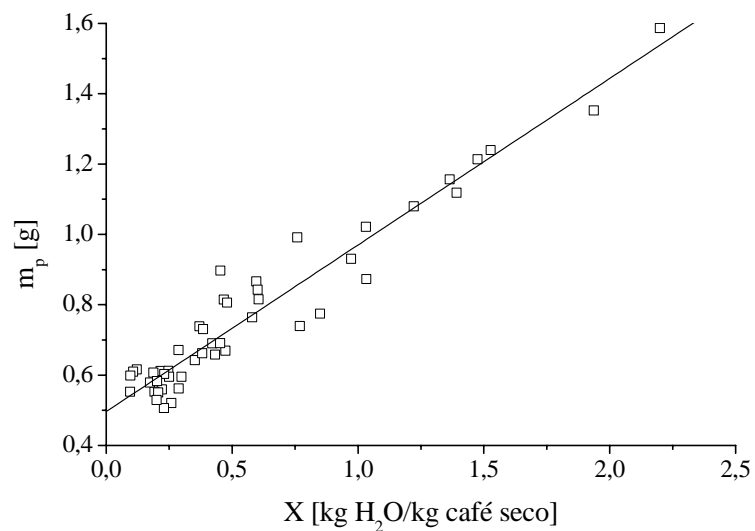


Figura E.3 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 3, variedade Mundo Novo.

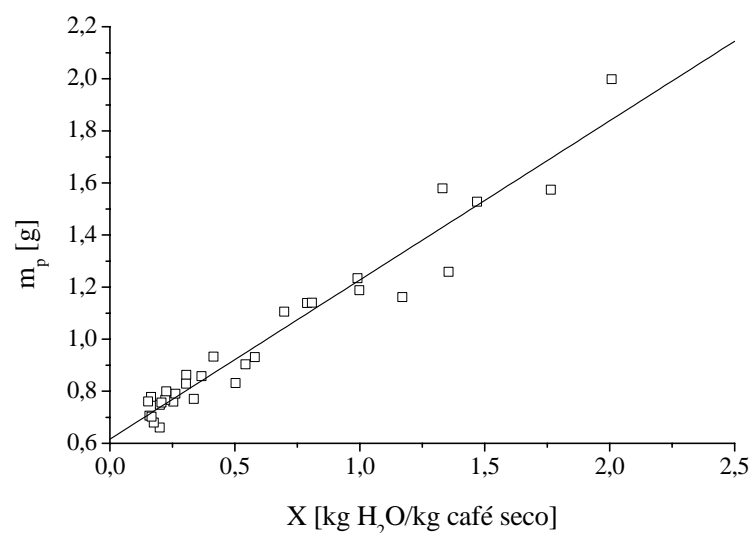


Figura E.4 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 4, variedade Mundo Novo.

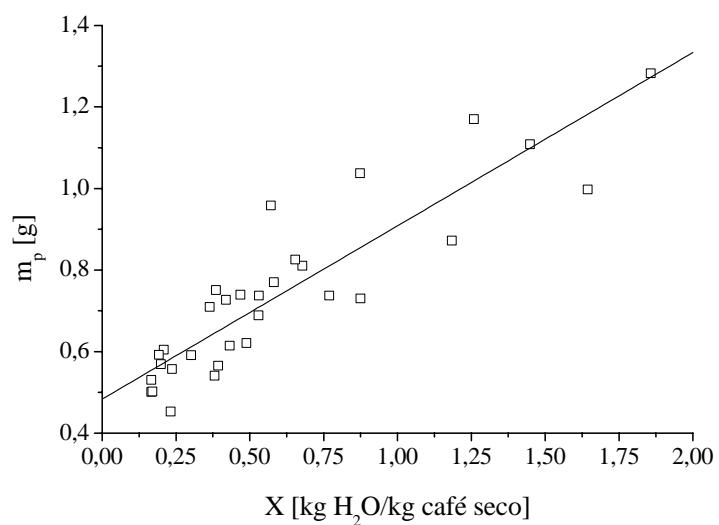


Figura E.5 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 5, variedade Catuaí.

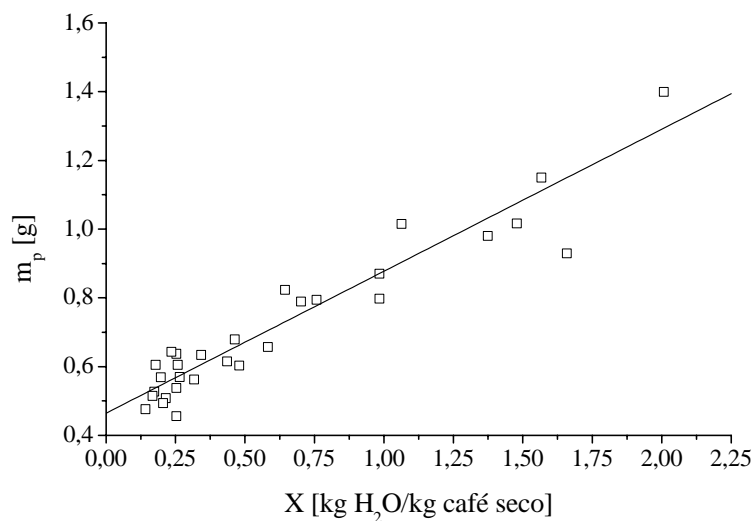


Figura E.6 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 6, variedade Catuaí.

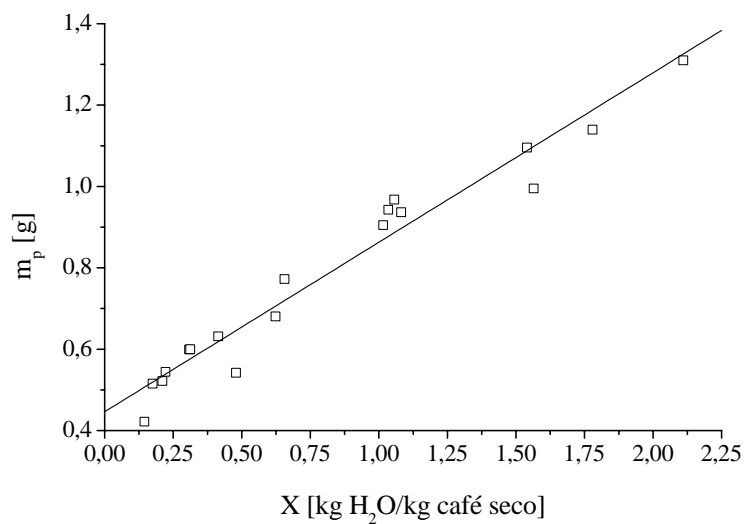


Figura E.7 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 7, variedade Catuaí.

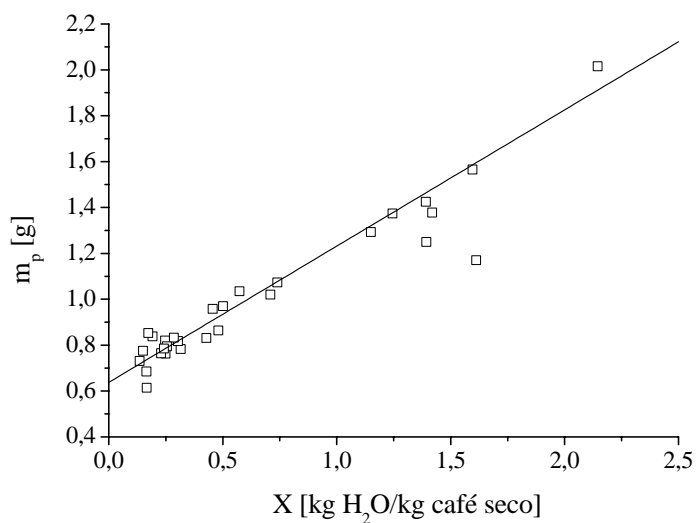


Figura E.8 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 7 (Catuaí 2005).

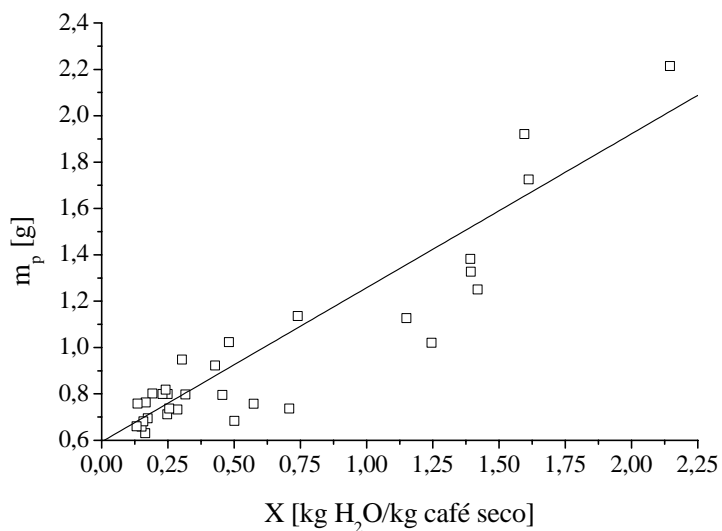


Figura E.9 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 8, variedade Acaia.

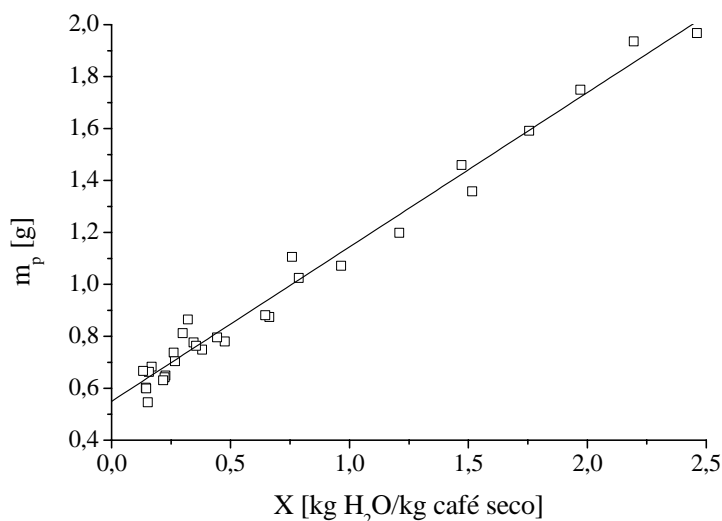


Figura E.10 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 8 (Acaia 2005).

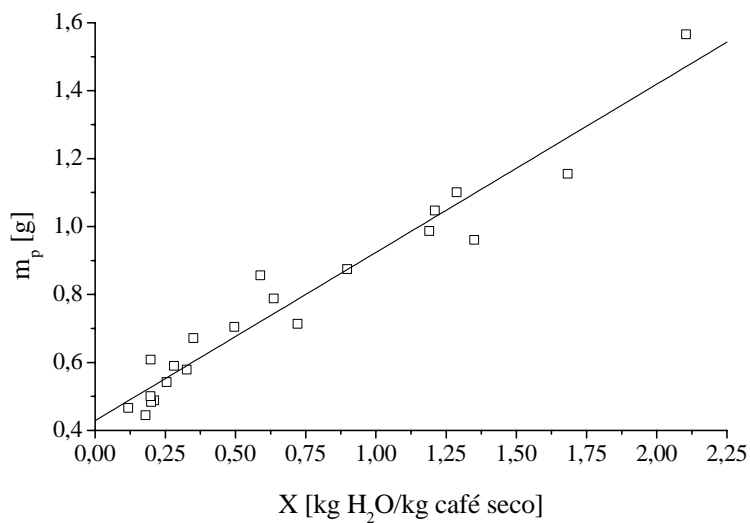


Figura E.11 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 9, Mundo Novo.

Os pontos experimentais das Figuras E.1 a E.11 mostram que há uma expressiva diminuição da massa de um fruto de café no decorrer da secagem. Os frutos de café com maior massa inicial são provenientes da variedade Acaia, seguido da variedade Mundo Novo. Já os frutos de café com menor massa inicial foram aqueles provenientes da variedade Catuaí, independentemente do conteúdo de umidade inicial.

A redução média da massa de um fruto de café para a variedade Mundo Novo foi de 66%, para a variedade Acaia foi de 70% e a variedade Catuaí teve a menor redução da massa média de um fruto de café: 64%. Esses resultados indicam que as variedades com maior quantidade de casca (ver Seção 4.7.1, Capítulo 4) apresentaram maior redução da massa média de um fruto de café.

A variabilidade da massa de café, principalmente, ao final da secagem é devido à heterogeneidade intrínseca dos frutos de café quanto ao tamanho. O ideal seria a realização da secagem com amostras de frutos de café classificados quanto ao tamanho. Entretanto, as amostras coletadas não eram suficientes para classificar os frutos de café com mesma distribuição granulométrica e em quantidades necessárias para a efetuar a secagem. A colheita foi conduzida de forma a evitar desperdício de frutos de café, os quais eram fornecidos por produtores que comercializam esse produto.

A Equação (E.1) é a reta de ajuste dos pontos de massa média do fruto de café (m_p) em função do conteúdo de umidade. A Tabela E.1 mostra o coeficiente angular (a) e o linear (b), bem como o coeficiente de correlação (R^2).

$$m_{p[i]} = a_{[i]}X + b_{[i]} \quad (E.1)$$

Tabela E.1 – Coeficientes da Equação (E.1), para um intervalo de confiança de 95%.

Experimento [i]	a	b	R^2
1	0,54	0,61	0,97
2	0,48	0,52	0,90
3	0,47	0,50	0,93
4	0,61	0,62	0,95
5	0,42	0,48	0,82
6	0,41	0,46	0,89
7	0,42	0,45	0,95
7 (2005)	0,59	0,64	0,97
8	0,66	0,59	0,95
8 (2005)	0,59	0,55	0,98
9	0,50	0,43	0,95

E.2 – Segundo Planejamento de Secagem

As Figuras E.12 a E.21 indicam o comportamento da perda de massa média de um fruto de café no decorrer da secagem.

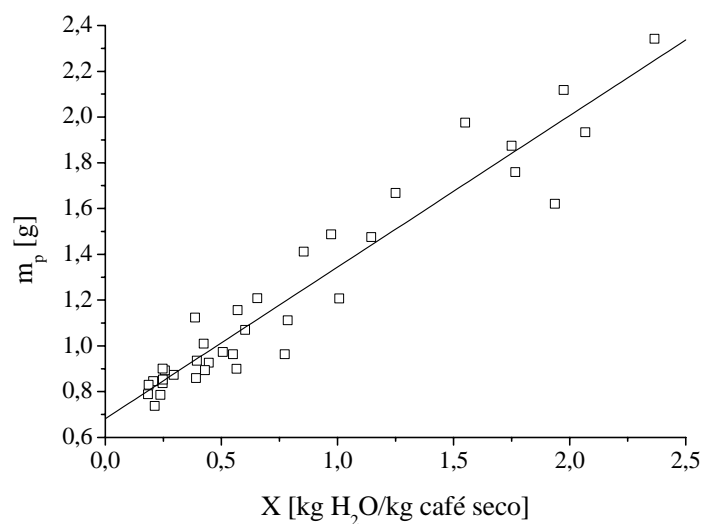


Figura E.12 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 1.

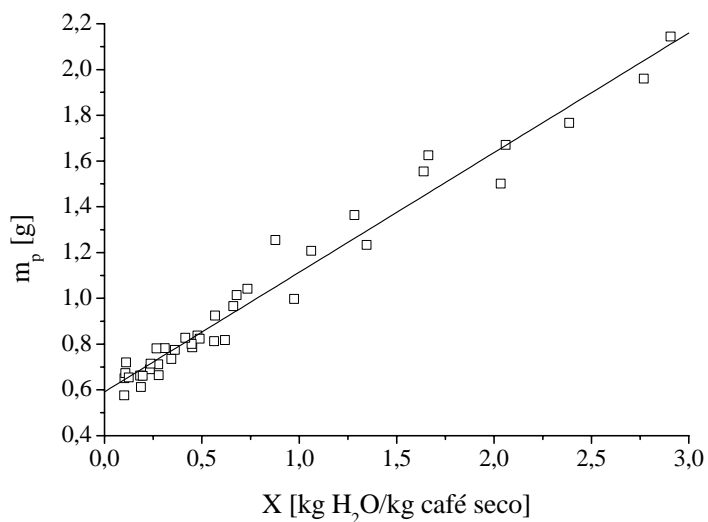


Figura E.13 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 2.

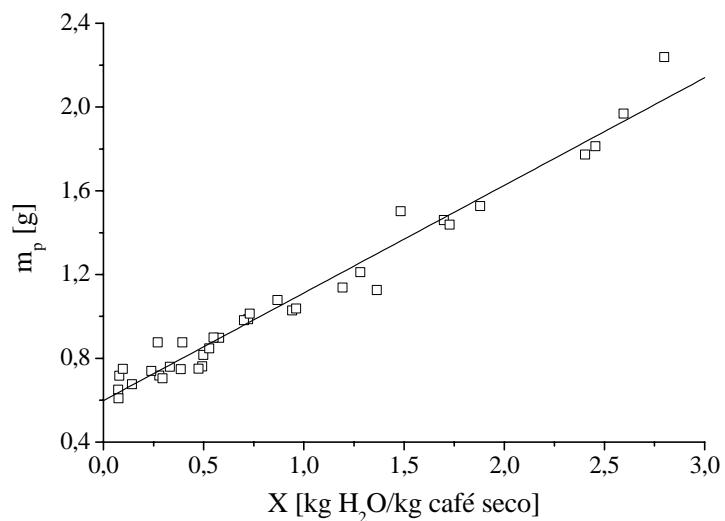


Figura E.14 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 3.

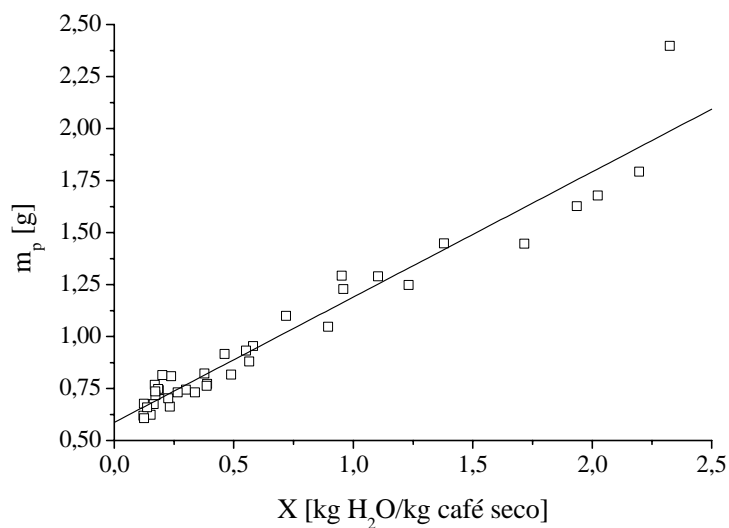


Figura E.15 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 4.

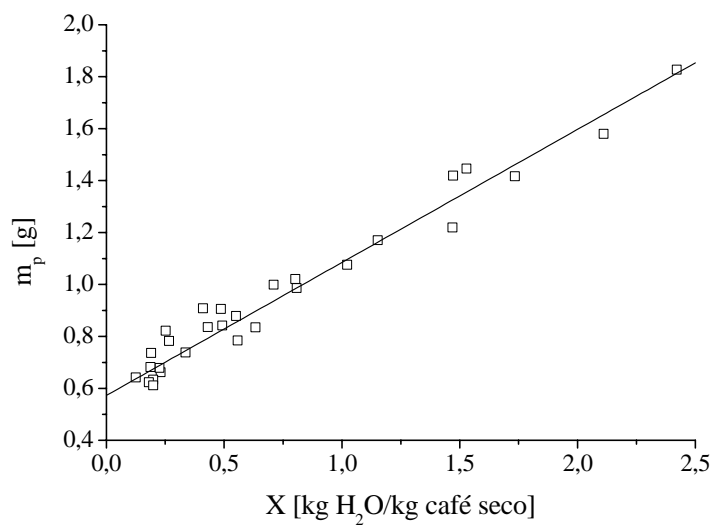


Figura E.16 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 5.

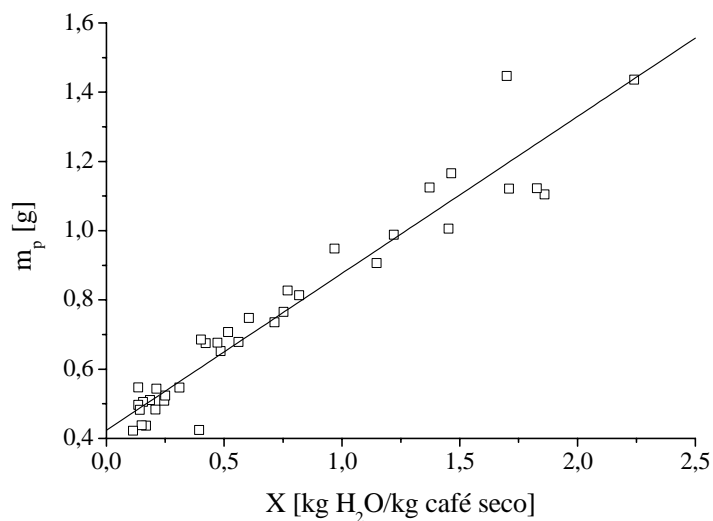


Figura E.17 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 5 (2005).

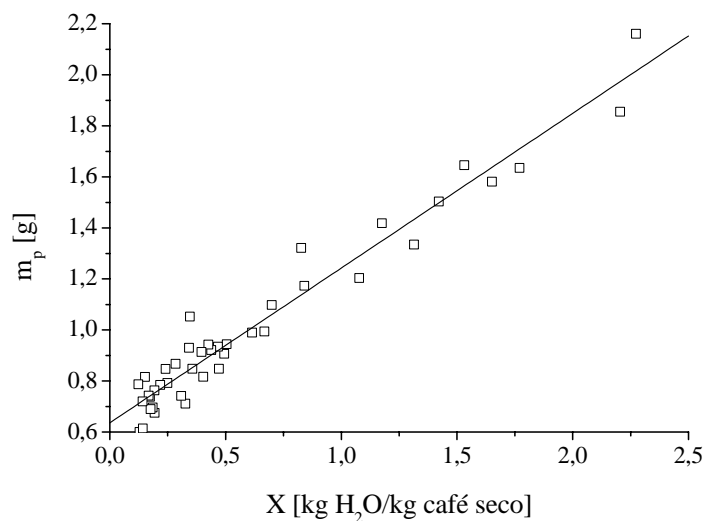


Figura E.18 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 6.

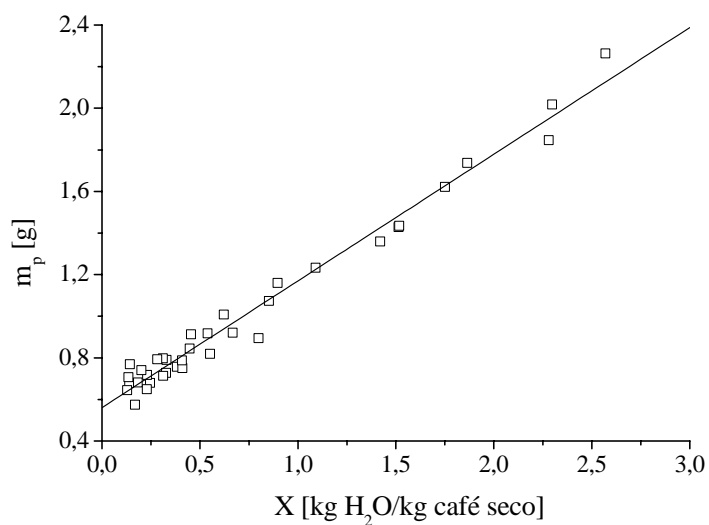


Figura E.19 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 7.

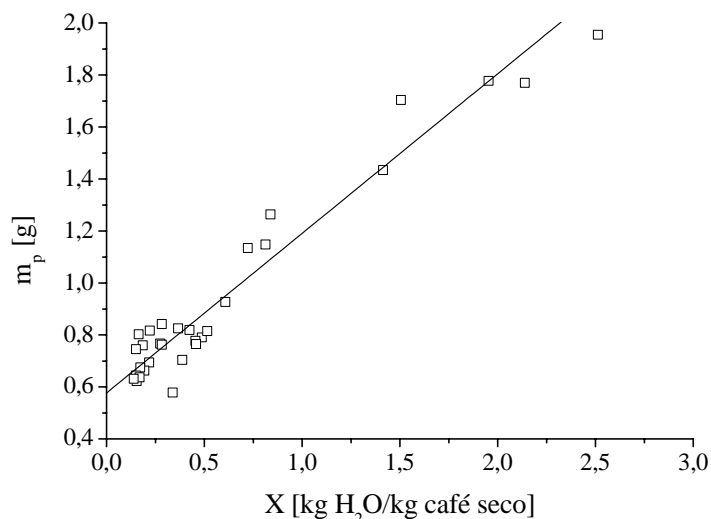


Figura E.20 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 8.

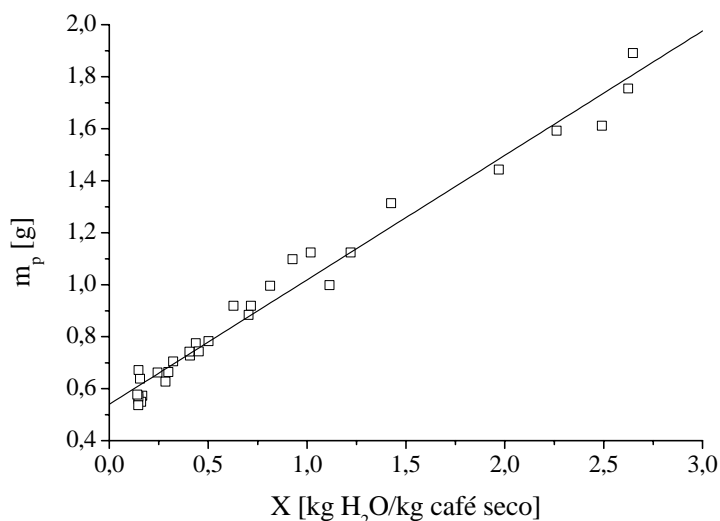


Figura E.21 – Massa média de um fruto de café para o Experimento 9.

Os pontos experimentais das Figuras E.12 a E.21 mostram que há uma expressiva diminuição da massa de um fruto de café no decorrer da secagem. A redução média foi de 70%, o que representa um índice maior do que a redução observada para a variedade Mundo Novo, safra 2003. A massa média inicial de um fruto de café também apresentou valores maiores do que para o primeiro planejamento de secagem. A massa média inicial para a variedade Mundo Novo, safra 2003, foi de aproximadamente 1,70 g enquanto que para a variedade Mundo Nova, safra 2004, a massa média inicial foi de 2,12 g.

As diferenças entre os frutos de café da safra 2003 e 2004 (variedade Mundo Novo) também foram observadas quanto à pegajosidade e tamanho do fruto, que foram maiores para os frutos de café da safra 2004. Contudo, é importante ressaltar que as condições climáticas,

do solo, a irrigação e a localização da propriedade podem influenciar nas características dos frutos de café. Essas características influenciaram a intensidade vibracional (ver Seção 5.4.1.2, Capítulo 5) e o coeficiente de dispersão dos frutos de café (ver Seção 6.4.2.1, Capítulo 6).

Dessa forma, a secagem de materiais agrícolas é dificultada pelo fato de que a matéria prima não é padronizada, com conteúdo de umidade, diâmetro de partícula, densidade, rugosidade, entre outras características, variáveis de um ano para o outro e até mesmo ao longo da mesma safra. Essas características influenciam diretamente no desempenho dos secadores e equipamentos utilizados no processamento de materiais agrícolas, exigindo mais experiência de projetistas e flexibilidade dos operadores.

A Equação (E.1) é a reta de ajuste dos pontos de massa média do fruto de café (m_p) em função do conteúdo de umidade, para a segunda etapa de secagem. A Tabela E.2 mostra os valores do coeficiente angular (a) e do linear (b), bem como o coeficiente de correlação (R^2).

Tabela E.2 – Coeficientes da Equação (E.1), para um intervalo de confiança de 95%.

Experimento [i]	a	b	R^2
1	0,66	0,68	0,92
2	0,52	0,59	0,97
3	0,51	0,60	0,97
4	0,60	0,59	0,94
5	0,51	0,57	0,97
5 (2005)	0,45	0,42	0,93
6	0,61	0,64	0,95
7	0,61	0,56	0,98
8	0,61	0,58	0,94
9	0,48	0,54	0,98

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUZEID, A. –Z. M.; FUERSTENAU, D. W.; SASTRY, K. V. S. Transport behavior of particulate solids in rotary drums: scale-up of residence time distribution using the axial dispersion model. **Power Technology**, v. 27, p. 241-250, 1980.
- AFONSO JR., P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 384 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- AFONSO JR., P. C.; CORRÊA, P. C.; PINTO, F. A. C.; SAMPAIO, C. P. Estudo do encolhimento do fruto de café durante o processo de secagem. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Brasília. **Anais ... Brasília: EMBRAPA Café e MINASPLAN**, 2000. v. 2, p. 1138-1141.
- AFONSO JR., P. C.; CORRÊA, P. C.; PINTO, F. A. C. e SAMPAIO, C. P. Shrinkage evaluation of five different varieties of coffee berries during the drying process. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 4, p. 481-485. 2003.
- AGUILERA, J. M. Tamaño y forma de partículas. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. p. 29-48.
- AKIYAMA, T.; NAITO, T.; KANO, T. Vibrated beds of wet particles. **Powder Technology**, v. 43, p. 215-222, 1986.
- ALHAMDAN, A.; SASTRY, S. K. Residence time distribution of food and simulated particles in a model horizontal swept surface heat exchanger. **Journal of Food Process Engineering**, v. 21, n. 2, p. 145-180, 1998.
- ALKHADDAR, R. M.; HIGGINS, P. R.; PHIPPS, D. A.; ANDOH, R. Y.G. Residence time distribution of a model hydrodynamic vortex separator. **Urban Water**, v.3, p. 17-24, 2001.
- AMBLER, P. A.; MILNE, B. J.; BERRUTI, F.; SCOTT, D. S. Residence time distribution of solids in a circulating fluidized bed: experimental and modeling studies. **Chemical Engineering Science**, v. 45, n. 8, p. 2179-2186, 1990.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ASHRAE Handbook**. Fundamentals. Atlanta, 1985. cap. 6.
- ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Caffeine: a well known but a little mentioned compound in plant science. **TRENDS in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 407-413, 2001.
- AURIAULT, J. L.; ADLER, P. M. Taylor dispersion in porous media: analysis by multiple scale expansions. **Advances in Water Resources**, v. 18, n. 4, p. 217-226, 1995.
- BANZATTO, L. L. **Secador de bandejas vibradas: controle do escoamento dos sólidos e**

regeneração do potencial do ar de secagem. 2000. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.

- BARCA, A. A. L. **Classificação de Café**. [S.l.: s.n.], [1998?]. 71 p.
- BEECKMANS, J. M.; MACWILLIAM, K. Stabilization of a fluidized bed by horizontal vibrations. **Powder Technology**, v. 45, n. 2, p. 177-181, 1986.
- BERBET, P. A.; QUEIROZ, D. M.; SILVA, J. S.; PINHEIRO FILHO, J. B., Drying of coffee (*Coffea arabica* L.) in a fixed bed with a simulated periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 59, p. 195-202, 1994.
- BERBET, P. A.; QUEIROZ, D. M.; SILVA, J. S.; PINHEIRO FILHO, J. B., Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, p. 167-173, 1995.
- BICHSEL, B. Diffusion phenomena during the decaffeination of coffee beans. **Food Chemistry**, v. 4, n. 1, p. 53-62, 1979.
- BORRELLI, R. C.; ESPOSITO, F.; NAPOLITANO, A.; RITIENI, A.; FOGLIANO, V. Characterization of a new potential functional ingredient: coffee silverskin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 52, p. 1338-1343, 2004.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 652 p.
- BRENES, E. R.; BOLAÑOS, I.; BURCIAGA, R.; JIMENO, M.; SALAS, F. Café Britt, S. A. **Journal of Business Research**, v. 38, p. 23-33, 1997.
- BROD, F. P. R.; PARK, K. J.; ALMEIDA, R. G. Image analysis to obtain the vibration amplitude and the residence time distribution of a vibro-fluidized dryer. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, C2, p. 157-163, 2004.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**, Westport: AVI Publishing Company, 1974, 265 p.
- BUFFHAM, B. A.; MASON, G. Holdup and dispersion: tracer residence times, moments and inventory measurements. **Chemical Engineering Science**, v. 48, n. 23, p. 3879-3887, 1993.
- BUFFHAM, B. A.; NAUMAN, E. B. Residence-time distributions at high recycle ratios. **Chemical Engineering Science**, v. 39, n. 5, p. 841-849, 1984.
- CAMARGO, R.; TELLES Jr., A. Q. **O Café no Brasil: sua aclimação e industrialização**. Série de Estudos Brasileiros. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, Ministério da Agricultura, v.2, n.4, 1953, p.541-569.
- CARDOSO, D. Ascensão dos Cafés Tipo Gourmet. **Gazeta Mercantil**, Agribusiness, Finanças & Mercados, p. B-4, 4 de jun. 2001.
- CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; SOUZA, S. M. C. Fatores que afetam a qualidade

- do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas: Fundação CARGILL, 1980. 326 p.
- CHANDARANA, D. I.; UNVERFERTH, J. A. Residence time distribution of particulate foods at aseptic processing temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 28, p. 349-360, 1995.
- CHEAH, C.; HIRT, D. E.; CHEAH, C.; LIU, Y. A.; SQUIRES, A. M. A vibrofluidized-bed heat exchanger for heat recovery from a hot gas I: feasibility study of a pilot-scale system. **Powder Technology**, v. 55, n. 4, p. 257-267, 1988.
- CHEN, W.; YANG, W.; WANG, J.; JIN, Y.; TSUTSUMI, A. Characterization of axial and radial liquid mixing in a liquid-solid circulating fluidized bed. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, v. 40, n. 23, p. 5431-5435, 2001.
- CLARKE, R. J. Water and minerals contents. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea: chemistry**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. v. 1, p. 42-82.
- CLIFFORD, M. N. Chlorogenic acids. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea: chemistry**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. v. 1, p. 153-202.
- CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; SAMPAIO, C. P.; CARDOSO, J. B. Estudo da variação da forma dos frutos de café em processo de secagem. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Brasília. **Anais ... Brasília: EMBRAPA Café e MINASPLAN**, 2000. v. 1, p. 695-698.
- CRISTOVAM, E.; RUSSELL, C.; PATERSON, A.; REID, E. Gender preference in hedonic ratings for espresso and espresso-milk coffees. **Food Quality and Preference**, v. 11, p. 437-444, 2000.
- CRONIN, K. Probabilistic simulation of batch tray drying using Markov chains and the Monte Carlo technique. **Journal of Food Process Engineering**, v. 21, n. 6, p. 459-483, 1998.
- CUSSLER, E. L. **Mass transfer in fluid systems**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 580 p.
- DALEFFE, R. V.; FREIRE, J. T. Efeito da distribuição de partículas sobre a fluidodinâmica de leitos fluidizado, vibrado e vibrofluidizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 31., 2004, Uberlândia. **Anais XXXI ENEMP**. Uberlândia: UFU, 2004. CD-ROM.
- DALEFFE, R. V.; FREIRE, J. T. Influência dos parâmetros vibracionais sobre a fluidodinâmica do leito vibrofluidizado em presença de pasta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 31., 2004, Uberlândia. **Anais XXXI ENEMP**. Uberlândia: UFU, 2004. CD-ROM.
- DANCKWERTS, P. V. Continuous flow systems: distribution of residence times. **Chemical Engineering Science**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 1953.

- DAS, I.; DAS, S. K.; BAL, S. Drying performance of a batch type vibration aided infrared dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 129-133, 2004.
- DE GASPARI-PEZZOPANE, C.; MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R. Variabilidade genética do rendimento intrínseco de grãos em germoplasma de *Coffea*. **Bragantia**, v. 63, n. 1, p. 39-54, 2004.
- DUTRA, E. R.; OLIVEIRA, L. S.; AFONSO, R. J. C. F. Análise da composição dos gases de torrefação de café visando controle de processo. In: JORNADA DE ENGENHARIA QUÍMICA, 6., 1999, Uberlândia. **Anais ...** Universidade Federal de Uberlândia e Universidade Federal de Minas Gerais. Uberlândia, 1999, p.151-154.
- ECCLES, E. R. A. Flow and heat transfer phenomena in aerated vibrated beds. 1990. 202 f. Tese (Ph.D. Chemical Engineering) – McGill University, Montreal, 1990.
- ERDÉSZ, K. **Vibrational thermal processing equipment: design and application**. [S.l.: s.n.], 1991. 132 f.
- ERDÉSZ, K.; MUJUMDAR, A. S. Hydrodynamic aspects of conventional and vibrofluidized beds: a comparative evaluation. **Powder Technology**. v. 46, n. 2-3, p. 177-181, 1986.
- ERDÉSZ, K.; SZALAY, A. Experimental study on the vibrational transport of bulk solids. **Powder Technology**. v. 55, n. 2, p. 87-96, 1988.
- FINZER, J. R. D. **Secagem de fatias de cebola em leito vibro-fluidizado**. 1984. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.
- FINZER, J. R. D. **Desenvolvimento de um secador de leito vibro-jorrado**. 1989. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.
- FINZER, J. R. D.; KIECKBUSCH, T. G. Secagem em sistemas com vibração. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. **Tópicos especiais em secagem**. São Carlos: UFSCar, 1992. v. 1, p. 87-127.
- FINZER, J. R. D.; LIMAVERDE, J. R.; FREITAS, A. O.; LIMAVERDE JÚNIOR, J. R. Drying with recycle of coffee berries in vibrated trays dryer. **Drying'98**, v. B, p. 1468-1475, 1998.
- FINZER, J. R. D.; LIMAVERDE, J. R., FREITAS, A. O.; LIMAVERDE JÚNIOR, J. R.; SFREDO, M. A. Drying of coffee berries in a vibrated tray dryer operated with solids recycle and single-stage. **Journal of Food Process Engineering**, v. 26, n. 2, p.207-222, 2003.
- FINZER, J. R. D.; MENEZES, E. A.; LIMAVERDE, J. R. Drying coffee beans in vibrated trays dryer. **Drying Technology**, v. 15, n. 6-8, p. 1983-1994, 1997.
- FLAMENT, I. **Coffee flavor chemistry**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 410 p.
- FOGLER, H. S.; BROWN, L. F. Distributions of residence times for chemical reactors. In: FOGLER, H. S. **Elements of chemical reaction engineering**. 2. ed. New Jersey:

- Prentice-Hall, 1992, p. 708-758.
- FOLSTAR, P. Lipids. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea: chemistry**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. v. 1, p. 203-222.
- FONTAINE, J.; RATTI, C. Lumped-parameter approach for prediction of drying kinetics in foods. **Journal of Food Process Engineering**, v. 22, n. 4, p. 287-305, 1999.
- FREITAS, A. O. **Secagem de café em múltiplas bandejas vibradas com recirculação**. 1998. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1998.
- FYHR, C.; KEMP, I. C.; WIMMERSTEDT, R. Mathematical modelling of fluidised bed dryers with horizontal dispersion. **Chemical Engineering and Processing**, v. 38, p. 89-94, 1999.
- GAUTAM, A.; CHOUDHURY, G. S. Screw configuration effects on residence time distribution and mixing in twin-screw extruders during extrusion of rice flour. **Journal of Food Process Engineering**, v. 22, n. 4, p. 263-285, 1999.
- GOLLÜCKE, A. P. B.; TANIWAKI, M. H.; TAVARES, D. Q. Survey on ochratoxin a in brazilian green coffee destined for exports. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 641-645, 2004.
- GRIGG, D. The worlds of tea and coffee: patterns of consumption. **GeoJournal**, v. 57, p. 283-294, 2002.
- GUIMARÃES, A. C.; BERBET; P. A.; SILVA, J. S. Ambient-air drying of pre-treated coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 69, p. 53-62, 1998.
- GUPTA, R.; MUJUMDAR, A. S. Aerodynamic and thermal characteristics of vibrated fluid beds – a review. **Drying'80**. New York: Hemisphere/McGraw-Hill, 1980. v. 1, p. 141-150.
- HAN, W.; MAI, B.; GU, T. Residence time distribution and drying characteristics of a continuous vibro-fluidized bed. **Drying Technology**, v. 9, n. 1, p. 159-177, 1991.
- HARRIS, A. T.; DAVIDSON, J. F.; THORPE, R. B. A novel method for measuring the residence time distribution in short time scale particulate systems. **Chemical Engineering Journal**, v. 89, p. 127-142, 2002.
- HASATANI, M.; ITAYA, Y.; MIURA, K. Drying of granular materials in an inclined vibrated fluidized bed by combined radiative and convective heating. **Drying Technology**, v. 9, n. 2, p. 349-366, 1991.
- HIMMELBLAU, D. M.; BISCHOFF, K. B. **Process analysis and simulation**: deterministic systems. New York: John Wiley & Sons, 1968. 348 p.
- IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit operations in Food Engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2003. 889 p.

- ILLY, E. A saborosa complexidade do café: a ciência que está por trás de um dos prazeres simples da vida. **Scientific American Brasil**, n. 2, p. 48-53, julho de 2002.
- IWE, M. O.; VAN ZUILICHEM, D. J.; NGODDY, P. O.; ARIAHU, C. C. Residence time distribution in a single-screw extruder processing soy-sweet potato mixtures. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 34, p. 478-483, 2001.
- JHAM, G. N.; VELIKOVA, R.; MULLER, H. V.; NIKOLOVA-DAMYANOVA, B.; CECON, P. R. Lipid classes and triacylglycerols in coffee samples from Brazil: effects of coffee type and drying procedures. **Food Research International**, v. 34, p. 111-115, 2001.
- KAGE, H.; NISHIHARA, K.; ISHIMATSU, H.; OGURA, H.; MATSUNO, Y. Effect of drying on powder coating efficiency and agglomeration in vibro-fluidized bed. **Drying Technology**, v. 19, n. 2, p. 359-373, 2001.
- KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon, 1978. 358 p.
- KNIGHT, C. A.; KNIGHT, I.; MITCHELL, D. C.; ZEPP, J. E. Beverage caffeine intake in US consumers and subpopulations of interest: estimates from the share of intake panel survey. **Food and Chemical Toxicology**, v. 42, n. 12, p.1923-1930, 2004.
- KOWALSKI, S. J. Thermomechanical approach to shrinking and cracking phenomena in drying. **Drying Technology**, v. 19, n. 5, p. 731-765, 2001.
- LANGRISH, T. A. G.; PAPADAKIS, S. E.; BAKER, C. G. J. Residence times of two- and three-component mixtures in cascading rotary dryers. **Drying Technology**, v. 20, n. 2, p. 325-350, 2002.
- LE MAGUER, M.; MAZZA, G. An engineering analysis of the drying of carrots in a vibro fluidizer. In: **Engineering and Food**, v. 1, Engineering Sciences in the Food Industry. New York: Elsevier Applied Science, 1985. pp. 235-243.
- LEVENSPIEL, O. **Chemical reaction engineering**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1972, 578 p.
- LEVENSPIEL, O. **Engenharia das reações químicas**. Tradução: Calado, V. M. A.; Tavares, F. W. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000, 563 p.
- LEWIS, M. J. **Physical properties of foods and food processing systems**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1987. 465 p.
- LIU, Q.; MONTROSS, M. D.; BAKKER-ARKEMA, F. W. Stochastic modelling of grain drying: Part 1. Experimental investigation. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 66, p. 267-273, 1997.
- MACRAE, R. Nitrogenous components. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea: chemistry**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. v. 1, p. 115-152.
- MADHIYANON, T.; SOPONRONNARIT, S.; TIA, W. A mathematical model for continuous drying of grains in a spouted bed dryer. **Drying Technology**, v. 20, n. 3, p. 587-614, 2002.

- MARTIN, A. D. Interpretation of residence time distribution data. **Chemical Engineering Science**, v. 55, p. 5907-5917, 2000.
- MARTINS, R. S. **Modelagem de transportador vibratório linear com excitação eletromagnética**: aplicação a casos reais. 1997. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1997.
- MARTINS, R. S. **Modelagem de transportador vibratório linear**. 2001. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.
- MATIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.
- MELLOWES, W. A. A vibratory filtration model for candle-type filters. **Powder Technology**, v. 43, n. 3, p. 203-212, 1985.
- MENEZES, E. A. **Secador de bandejas vibradas aplicado à secagem de grãos de café**. 1996. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1996.
- MENEZES, E. A.; FINZER, J. R. D.; OLIVEIRA, D. L.; LIMAVERDE, J. R. A study of the drying performance of a vibrating tray dryer. **Drying Technology**, v. 16, n. 9 & 10, p. 1987-1998, 1998.
- MONTEDO, O. R. K. **Coefficiente de transferência de calor de um corpo submerso (cilindro ou esfera) para um leito vibro-fluidizado**. 1992. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1992.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 817 p.
- MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; DE MARIA, C. A. B. Componentes voláteis do café torrado. Parte II: Compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 195-203, 2000.
- MOREIRA, T. Água motiva disputa entre cafeicultores. **Gazeta Mercantil Triângulo Mineiro**. Agronegócios. Uberlândia, p. 8, 13 de mar. 2000.
- MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. **Response surface methodology**: process and product optimization using designed experiments. 2. ed., New York: John Wiley & Sons, 2002. 798 p.
- NAUMAN, E. B. Residence time distributions in systems governed by the dispersion equation. **Chemical Engineering Science**, v. 36, p. 957-966, 1981.
- NAVARINI, L.; FERRARI, M.; LIVERANI, F. S.; LIGGIERI, L.; RAVERA, F. Dynamic tensiometric characterization of espresso coffee beverage. **Food Hydrocolloids**, v. 18, n. 3, p. 387-393, 2004.
- NILSSON, L. Influence of solids dispersion on the heat transfer process in a longitudinal-flow fluidized bed. **Chemical Engineering Science**, v. 43, n. 12, p. 3217-3223, 1988.

- NONHEBEL, G.; MOSS, A. A. H. **Drying of solids in the chemical industry**. London: Butterworths, 1971. 301 p.
- NUNES, F. M.; COIMBRA, M. A. Influence of polysaccharide composition in foam stability of espresso coffee. **Carbohydrate Polymers**, v. 37, p. 283-285, 1998.
- OTTINO, J. M. The art of mixing with an admixture of art: viewing creativity through P. V. Danckwerts's early work. **Chemical Engineering Science**, v. 55, p. 2749-2765, 2000.
- PAKOWSKI, Z.; MUJUMDAR, A. S.; STRUMILLO, C. Theory and application of vibrated beds and vibrated fluid beds for drying processes. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Advances in drying**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1984. v. 3. p. 245-306.
- PALÁCIOS-CABRERA, H.; TANIWAKI, M. H.; MENEZES, H. C.; IAMANAKA, B. T. The production of ochratoxin A by *Aspergillus ochraceus* in raw coffee at different equilibrium relative humidity and under alternating temperatures. **Food Control**, v. 15, p. 531-535, 2004.
- PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, p. 193-199, 2002.
- PARRY, J. L. Mathematical modelling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: a review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 32, p.1-29, 1985.
- PHELPS, D. S. C.; RUTHVEN, D. M. Performance of an endless-belt counter-current contactor for vapor-phase adsorption: dispersion and residence time distribution. **Industrial & Engineering Chemical Research**, v. 40, p. 2168-2175, 2001.
- PONTE, S. The 'Latte Revolution'? Regulation, markets and consumption in the global coffee chain. **World Development**, v. 30, n. 7, p. 1099-1122, 2002.
- PYDISETTY, Y.; KRISHNAIAH, K.; VARMA, Y. B. G. Axial dispersion of solids in spiral fluidised beds. **Powder Technology**, v. 59, p. 1-9, 1989.
- RAMASWAMY, H. S.; ABDELRAHIM, K. A.; SIMPSON, B. K.; SMITH, J. P. Residence time distribution (RTD) in aseptic processing of particulate foods: a review. **Food Research International**, v. 28, n. 3, p. 291-310, 1995.
- REAY, D.; BAKER, C. G. J. Drying. In: DAVIDSON, J. F.; CLIFT, R.; HARRISON, D. **Fluidization**. 2. ed. London: Academic Press, 1985. p. 529-562.
- RENAUD, M.; THIBAUT, J.; ALVAREZ, P. I. Influence of solids moisture content on the average residence time in a rotary dryer. **Drying Technology**, v. 19, n. 9, p. 2131-2150, 2001.
- REVISTA CAMPO & NEGÓCIO. Alto Cafezal produz o mais fino café do Cerrado. **Revista Campo & Negócio**, v. 1, n. 4, julho de 2003.
- RICHELLE, M.; TAVAZZI, I.; OFFORD, E. Comparison of the antioxidant activity of

- commonly consumed polyphenolic beverages (coffee, cocoa, and tea) prepared per cup serving. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 3438-3442, 2001.
- ROBERTS, A. W. Vibration of fine powders and its application. In: FAYED, M. E.; OTTEN, L. **Handbook of powder science and technology**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984. p. 181-229.
- ROBINSON, B. A.; TESTER, J. W. Characterization of flow maldistribution using inlet-outlet tracer techniques: an application of internal residence time distributions. **Chemical Engineering Science**, v. 41, n. 3, p. 469-483, 1986.
- ROETZEL, W.; BALZEREIT, F. Determination of axial dispersion coefficients in plate heat exchangers using residence time measurements. **Revue Générale de Thermique**, v. 36, n. 8, 635-644, 1997.
- SAHOO, R. K.; ROETZEL, W. Hyperbolic axial dispersion model for heat exchangers. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 45, p. 1261-1270, 2002.
- SALTOS, H. A. Métodos estadísticos. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. p. 369-399.
- SATIJA, S.; ZUCKER, I. L. Hydrodynamics of vibro-fluidized beds. **Drying Technology**, v. 4, n. 1, p. 19-43, 1986.
- SAX, M. I. **Industrial pollution**. New York: Van Nostrand Company. 1974. 701 p.
- SCHOLZ, M. B. S.; ANDROCIOLO FILHO, A.; CARNEIRO FILHO, F. Ocorrência de fermentação durante a secagem do café (*Coffea arabica*) em terreiro convencional. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Brasília. **Anais ... Brasília: EMBRAPA Café e MINASPLAN**, 2000. v. 1, p. 695-698, 2000.
- SFREDO, M. A. **Secagem de café para obtenção de bebidas finas**. 2002. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.
- SFREDO, M. A.; FINZER, J. R. D.; LIMAVERDE, J. R. Heat and mass transfer in coffee fruits drying. **Journal of Food Engineering**, v. 70, n. 1, p. 15-25, 2005.
- SHARP, J. R. A review of low temperature drying simulation models. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 27, p.169-190, 1982.
- SHEI, H. J.; CHEN, Y. L. Computer simulation on intermittent drying of rough rice. **Drying Technology**, v. 20, n. 3, p. 615-636, 2002.
- SILVA, J. S.; BERBET, P. A. **Colheita, secagem e armazenagem de café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 1999. 146 p.
- SILVA, J. S. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: UFV, 2000.
- SILVA-MORIS, V. A.; ROCHA, S. C. S. Development of a vibrofluidized bed and fluid-dynamic study with dry and wet adipic acid. **Brazilian Journal of Chemical**

- Engineering**, v. 20, n. 4, p. 423-434, 2003.
- SINGH, B.; RIZVI, S. S. H. Residence time distribution (RTD) and goodness of mixing (GM) during CO₂-injection in twin-Screw extrusion. Part I: RTD studies. **Journal of Food Process Engineering**, v. 21, n. 2, p. 91-110, 1998.
- SMITH, A. W. Introduction. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea: chemistry**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. v. 1, p. 42-82.
- SMOLDERS, K.; BAEYENS, J. Overall solids movement and solids residence time distribution in a CFB-riser. **Chemical Engineering Science**, v. 55, p. 4101-4116, 2000.
- SOPONRONNARIT, S.; WETCHACAMA, S.; TRUTASSANAWIN, S.; JARIYATONTIVAIT, W. Design, testing, and optimization of vibro-fluidized bed paddy dryer. **Drying Technology**, v. 19, n. 8, p. 1891-1908, 2001.
- SOUZA, C. A. G. **Análise de um processo de recobrimento de comprimidos e um sistema vibro-jorrado bidimensional**. 1997. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- SPIEGEL, M. R. **Manual de fórmulas, métodos e tabelas de matemática**. São Paulo: Makron/McGraw-Hill, 1992. 420 p.
- STEFFANI, K.; PLATZER, B. Influence of velocity profile and diffusion on residence time distributions: mesoscopic modeling and application to Poiseuille flow. **Chemical Engineering and Processing**, v. 41, p. 143-155, 2002.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. Montreux: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 448 p.
- TEIXEIRA, A. A.; FIGUEIREDO, J. P. Efeito do brunimento sobre a qualidade do café. **Biológico**, São Paulo, v. 51, n. 9, p. 233-237, 1985.
- THOMAS, B.; LIU, Y. A.; CHAN, R.; SQUIRES, A. M. A method for observing phase-dependent phenomena in cyclic systems: application to study of dynamics of vibrated beds of granular solids. **Powder Technology**, v. 52, p. 77-92, 1987.
- THOMSON, W. T.; DAHLEH, M. D. **Theory of vibration with applications**. 5. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998. 524 p.
- TORRES, A. P.; OLIVEIRA, F. A. R. Residence time distribution studies in continuous thermal processing of liquid foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 1-30, 1998.
- TORRES, A. P.; OLIVEIRA, F. A. R.; FORTUNA, S. P. Residence time distribution of liquids in a continuous tubular thermal processing system. Part I: Relating RTD to processing conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 35, p. 147-163, 1998.
- VAN DEN BROECK, C. Taylor dispersion revisited. **Physica A**, v. 168, p. 677-696, 1990.
- VANĚČEK, V.; MARKVART, M.; DRBOHLAV, R. **Fluidized bed drying**. London:

- Leonard Hill, 1966. 195 p.
- VARADHARAJU, N.; KARUNANIDHI, C.; KAILAPPAN, R. Coffee cherry drying: a two-layer model. **Drying Technology**, v. 19, n. 3 & 4, p. 709-715, 2001.
- VIANNA, O. Piraju investe no café e já ganha prêmios. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, Caderno G, p. 3. 7 de jun. de 2000.
- VILELA, E. R. Secagem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18 n. 187, p. 55-63, 1997.
- VINCENT, J. C. Green coffee processing. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea: technology**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1987. v. 2, p. 1-33.
- WEBER, T. W. **An introduction to process dynamics and control**. New York: John Wiley & Sons, 1973. 433 p.
- WEI, F.; ZHU, J. Effect of direction on axial solid dispersion in gas-solids concurrent upflow and downflow systems. **The Chemical Engineering Journal**, v. 64, p. 345-352, 1996.
- WOODMAN, J. S. Carboxylic acids. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffea: chemistry**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. v. 1, p. 266-289.
- WU, C. F. J.; HAMADA, M. **Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization**. New York: John Wiley & Sons, 2000. 630 p.
- YANAGIMOTO, K.; OCHI, H.; LEE, K.; SHIBAMOTO, T. Antioxidative activities of fractions obtained from brewed coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 592-596, 2004.
- ZACTITI, E. M.; FINZER, J. R. D.; LIMAVERDE, J. R.; BANZATTO, L. L. Comparação entre sistemas de secagem de café. **Ciência & Engenharia**, v. 13, n. 1, pp. 19-23, 2004.
- ZHOU, T.; KAGE, H.; FUNAOKA, S.; OGURA, H. Fluidization behavior of glass beads under different vibration module. **Advanced Powder Technology**, v. 12, n. 4, p. 559-575, 2001.
- ZHOU, T.; KAGE, H.; FUNAOKA, S.; OGURA, H. The bubble behavior in a new-type horizontal vibro-fluidized bed. **Journal of Chemical Engineering of Japan**, v. 35, n. 8, p. 737-743, 2002.