

UTILIZAÇÃO DE GLP NA SECAGEM DO ARROZ

¹Gilnei Carvalho Ocácia, ²Paulo Vilhena, ³Bernardo Liberman e
Carlos Aurélio Dilli Gonçalves

Departamentos: ¹Ciências Agrárias, ²PPGEAM (mestrando) e ³Matemática
Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)
CEP: 92420-280 , Canoas-RS. Tel: (51) 4779285 Fax: (51) 4771313

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma análise energética da secagem do arroz em células secadoras-armazenadoras, cotejando experimentos que utilizam ar natural e ar condicionado pela combustão de GLP. Os dados foram obtidos em três células, das cinco existentes no silo da Estação Experimental do Arroz (EEA), do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA), em Cachoeirinha, RS.

Na célula A: 3.900 sacos de 50 kilogramas de arroz , variedade IRGA-419, umidade inicial média amostral de 19,9% em base úmida e impureza média de 3,4%. O sistema operacional utilizado na secagem foi manual, sendo ligado o ventilador, de 12,5 CV, ininterruptamente, exceto nos dias chuvosos ou demasiadamente úmidos.

Na célula B: 3.700 sacos de arroz, variedade IRGA-416, umidade inicial média amostral de 19,9% em base úmida e com impureza média de 2,3. Foi utilizado um sistema operacional automatizado, que aciona o insuflador de ar, de 12,5 CV, sempre que o ar ambiente apresente condições para secagem do produto.

Na célula C: 3.400 sacos de arroz, variedade IRGA-410, umidade inicial média amostral de 18,8% em base úmida e impureza média de 4,4%. Foi utilizado o sistema operacional automatizado, aliado à queima de GLP, com utilização de um ventilador de aspiração.

Nas células A, B e C, os períodos de secagem foram, respectivamente, de cinco, dois e um mês, enquanto os correspondentes períodos de resfriamento e conservação foram de um, quatro e cinco meses. O consumo total de energia na célula A, foi de 24,7 MWh; na B, de 23,9 MWh; na C, de 23,8 MWh.

ABSTRACT

This paper presents an energetic analysis of rice drying in dryer storage cells, comparing experiments made using natural gas and air-conditioned through "LPG" combustion.

The data was obtained from three of the five cells existing at the grain silos located at

Estação Experimental do Arroz (EEA) – an experimental facility for the treating of rice - of the Instituto Rio-grandense do Arroz, in Cachoeirinha, Rio Grande do Sul, a southern state of Brazilian.

In the first cell, named A, were stored up to 3,900 sacks of 50 kg from the variety IRGA-419, with 19.9 % of initial average moisture in humid base and 3.4 % of average impurity. For drying, a manual operational system was used with a 12.5 HP ventilator working continuously, except in rainy or extremely humid days.

In the second cell, named B, were stored up to 3,700 sacks from the variety IRGA-416, with 19.9 % of initial average moisture in humid base and 2.3 % of average impurity. An automated operational system was used to set in motion a 12.5 HP air blower to work whenever background air presents conditions for drying the grains.

In the third cell, named C, were stored up to 3,400 sacks from the variety IRGA-410, with 18.8 % of initial average moisture in humid base and 4.4 % of average impurity. The automated operational system was used along with "LB" burning and a suction ventilator.

In cells A, B and C, the drying period was five, two and one month, respectively, while the corresponding cooling and conservation periods were one, four and five months, respectively. The total energy consumption was 24.7 MWh (cell A), 23.9 MWh (cell B) and 23.8 MWh (cell C).

INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido sobre um experimento realizado na Estação Experimental do Arroz (EEA) do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA), com a utilização de três, das cinco células de um silo de secagem e armazenagem de sementes de arroz (figura 1).

Baseado em dados experimentais, apresenta-se a secagem em células de armazenamento, avaliadas em três condições diferentes, determinando-se a energia necessária para secagem, bem como as curvas de secagem dos grãos.



Figura 1. Silo da EEA.

Importância da secagem

O arroz é um produto sazonal, necessitando ser armazenado ao longo do ano para que satisfaça as demandas industriais e comerciais, bem como para poder oportunizar aos produtores preços mais elevados para uma venda na entre-safra.

A armazenagem deve ser conduzida de forma adequada, objetivando minimizar a deterioração do produto. Para isso, o arroz deve ser armazenado com umidade e temperatura determinadas, evitando o ataque de fungos e insetos e reduzindo o metabolismo dos grãos. Segundo PUZZI (2000) a umidade é o elemento que governa a qualidade do produto armazenado.

Quando ocorre sua maturação fisiológica, este produto apresenta de 25 a 30% de umidade (GOMES & MERCH, 1982), devendo então ser colhido, evitando assim sua exposição a ação de agentes externos na lavoura. Em geral, o arroz é colhido com uma umidade elevada em relação a recomendada para uma armazenagem segura. A secagem deve ser promovida até que atinja a umidade adequada. GOMES & MERCH (1982) indicam como a umidade ideal de armazenamento para o arroz, 14%, em base úmida, para até um ano de armazenamento e de 13%, para até cinco anos de armazenamento, enquanto PUZZI (2000), para períodos longos de armazenamento, indica uma umidade de 12%, em base úmida, para o arroz em casca.

Tipos de secagem

Basicamente pode-se dividir os tipos de secagem em três:

- secagem estacionária, onde o ar de secagem atravessa uma camada de grãos, a qual está fixa em relação a estrutura do secador;
- secagem contínua, onde o grão entra úmido no secador e sai seco deste, com a massa de grãos fluindo continuamente;
- secagem intermitente, onde o grão, ora recebendo ar aquecido (quando está na câmara de secagem), ora não (quando está na câmara de equalização), circula pelo secador até que seja atingida a umidade desejada.

Secagem em células de armazenamento

A secagem em células de armazenamento, como a aqui apresentada, é um exemplo de secagem estacionária. Neste caso o secador é a própria célula de armazenagem. Duas podem ser consideradas como as principais dificuldades neste caso: desuniformidade e um período longo para secagem.

A desuniformidade acarreta em custo; em algumas partes, pela perda de peso (produto com umidade baixa em relação à recomendada para uma armazenagem segura). Em outras, pela susceptibilidade à deterioração (produto com umidade elevada em relação à recomendada).

O excessivo tempo de secagem pode constituir um prejuízo ao armazenista. Por um lado pode ocasionar uma significativa deterioração do produto, pois a secagem nestas condições é feita com temperaturas ótimas ao desenvolvimento de alguns microorganismos, além da umidade manter-se, durante um tempo prolongado, em níveis desaconselháveis à armazenagem. Por outro lado, destaca-se a inadequação das condições do produto (umidade superior a 13%) à industrialização.

É possível uniformizar a secagem através do conhecimento das condições do ar e do equilíbrio higroscópico dos grãos com este. Porém a uniformização requer um custo alto, seja pela utilização de equipamentos condicionadores do ar, seja pelo excessivo tempo de secagem.

CARACTERIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Foram utilizadas três células com capacidade de 5000 sacos, de 50 kg, de arroz.

Na célula A, foram secos e armazenados 3.900 sacos de arroz, variedade IRGA-419, com umidade inicial média amostral de 19,9%, em base úmida, com 3,4% de média de impurezas e 3,4%.

Nesta célula, o sistema operacional utilizado na secagem foi manual, sendo ligado o ventilador para aeração, ininterruptamente, exceto nos dias chuvosos ou demasiadamente úmidos.

Na célula B, foram secos e armazenados 3.700 sacos de arroz, variedade IRGA-416, com umidade inicial média amostral de 19,9%, em base úmida, com 2,3% de média de impurezas. Nesta célula foi utilizado um sistema operacional automatizado, responsável pelo acionamento do ventilador sempre que o ar ambiente apresentasse condições adequadas para secagem.

Na célula C, foram secos e armazenados 3.400 sacos de arroz, variedade IRGA-410, com umidade inicial média amostral de 18,8%, em base úmida, com 4,4% de média de impurezas. Nesta unidade foi utilizado um sistema automático de operação, semelhante ao utilizado na célula B, porém com a adição de um sistema de queima de gás para aquecimento do ar quando as condições deste

não fosse adequada para a secagem. Este processo é conhecido como GNS (GLP – Natural – Solar).

Na tabela 1 são apresentadas características das células estudadas. Na célula C, além do ventilador de 12,5 CV, foi utilizado um motor de aspiração de 5 CV.

Tabela 1. Condições dos experimentos

| | Célula A | Célula B | Célula C |
|------------------|----------|----------|----------|
| Capac. (sacos) | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| Diâmetro (m) | 8,5 | 8,5 | 8,5 |
| Altura Útil (m) | 6,5 | 6,5 | 6,5 |
| Variedade | IRGA 419 | IRGA 416 | IRGA 410 |
| Carga (sacos) | 3.900 | 3.700 | 3.400 |
| Umidade Média | 19,5 | 19,9 | 18,8 |
| Impureza Média | 3,4 | 2,3 | 4,4 |
| Pot. Ventil.(CV) | 12,5 | 12,5 | 12,5 + 5 |
| Operação | Manual | Autom. | Autom. |
| Aquecimento | - | - | GLP |

A umidade dos grãos foi determinada com utilização de Infra-Vermelho, através de análises de amostras obtidas na superfície superior das células e de material coletado nas janelas laterais de inspeção, ao longo do tempo de secagem.

A temperatura dos grãos foi obtida em pontos amostrais distribuídos da seguinte forma: 3 cabos por célula, com 5 sensores em cada cabo, sendo os sensores igualmente espaçados no sentido vertical.

As condições do ar ambiente foram obtidas, de hora em hora, com a utilização de uma estação meteorológica.

Ajuste da umidade do ar de secagem de arroz

Para definição da programação da secagem, deve-se analisar dois pontos fundamentais: estado do ar de secagem (ou da mistura ar e vapor d'água) e equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz com o ar de secagem.

Para secagem, na região em que foi realizado o estudo, é considerado o equilíbrio higroscópico do arroz em casca com o ar a pressão de 0,1 MPa e umidade relativa de 70%. Verifica-se que para uma variação de até 12 graus centígrados na temperatura (entre 16 e 28°C), varia de 2,6 pontos percentuais a umidade de equilíbrio (de 12,7 a 15,3%), (FONTANA, 1986). A variação de temperatura é bem maior que a variação de umidade do arroz em casca em equilíbrio higroscópico com o ar em questão.

Como no período da secagem, em Cachoeirinha, geralmente as temperaturas médias são superiores a 20°C, o equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz em casca com o ar de secagem (que possui uma umidade máxima de referência igual a 70%) coincide com umidades dos grãos consideradas seguras ao seu armazenamento.

ESTIMATIVA DE CONSUMO DE GLP

A energia necessária para condicionamento do ar foi estimada pela sequência descrita nos tópicos apresentados a seguir.

Determinação da entalpia total em função da temperatura

É necessário o conhecimento das variações de entalpia entre os estados determinados, isto é, entre o estado inicial e o estado final da mistura. Os dados de temperatura média, máxima e mínima mensal, bem como da umidade relativa média mensal foram obtidos na estação do IRGA/EEA, localizada em Cachoeirinha, RS. Foi utilizada uma série histórica de 23 anos (1975 – 1997).

A variação de entalpia total é a variação de entalpia do ar seco somada a variação de entalpia do vapor d'água. Determina-se a variação de entalpia do sistema entre os estados 1 e 2 através de (1).

$$H_{1-2} (T) = H_2 - H_1 \quad (1)$$

Onde:

$H_{1-2} (T)$ é a variação de entalpia da mistura, kJ.kg⁻¹;

H_2 é a entalpia total da mistura no estado 2, kJ.kg⁻¹.

H_1 é a entalpia total da mistura no estado 1, kJ.kg⁻¹.

A entalpia da mistura é, então, obtida pela equação (2).

$$H = (h_{as} \cdot m_{as} + h_v \cdot m_v)_i \quad (2)$$

Onde:

h_{as} é a entalpia do ar seco, em kJ.kg⁻¹.

h_v é a entalpia do vapor de água, em kJ.kg⁻¹

m_{as} é a massa de ar seco, kg.

m_v é a massa de vapor de água, kg.

As grandezas termodinâmicas foram obtidas de BORGNAKKE et alii (1998).

Variação de temperatura ao longo do dia

Por não se dispor de dados de variações de temperatura do ar ao longo do dia na série histórica, supõem-se que a temperatura varie desde a média das mínimas mensais, às sete horas e trinta minutos, até a média das máximas mensais, de uma forma ajustada por uma equação (3) de segundo grau.

$$T(t) = At^2 + Bt + C \quad (3)$$

Onde:

$T(t)$ é a temperatura da mistura, °C;
A, B e C são coeficientes da parábola;
 t é a hora do dia

Determinação da pressão de saturação do vapor d'água em função da temperatura

A pressão de saturação do vapor d'água, a uma temperatura T e e pressão atmosférica de 100 kPa, foi ajustada com a equação 4.

$$p_g(T) = 0,8137e^{0,0514T} \quad (4)$$

Onde:

$p_g(T)$ é a pressão de saturação do vapor d'água na temperatura T , kPa.

Determinação da pressão parcial do vapor d'água e do ar seco

$$p = p_a + p_v \quad (5)$$

Onde:

p é a pressão da mistura, kPa;
 p_a é a pressão do ar seco, kPa;
 p_v é a pressão do vapor d'água, kPa;
Substituindo na equação acima p por 100kPa (que é a pressão atmosférica considerada), resulta:

$$p_a + p_v = 100 \text{ kPa} \quad (6)$$

A pressão de vapor, conhecendo-se a umidade relativa e a pressão de saturação para a temperatura considerada, pode ser calculada por:

$$p_v = \phi \cdot p_g \quad (7)$$

Onde:

ϕ é a umidade relativa do ar

A pressão parcial do ar seco é obtida por:

$$p_a = 100 - (\phi \cdot p_g) \quad (8)$$

Onde:

p_a é a pressão do ar seco, kPa;
 ϕ é a umidade relativa;
 p_g é a pressão de saturação para a temperatura considerada, kPa.

Determinação da umidade absoluta do ar

A umidade específica do ar é considerada constante ao longo do dia:

$$\omega = m_v \cdot m_a^{-1} \quad (9)$$

onde:

m_v é a massa do vapor d'água, kg;
 m_a é a massa do ar seco, kg.

Considerando-se o ar como uma mistura de gases perfeitos, a equação acima pode ser escrita da seguinte forma:

$$\omega = M_v \cdot p_v \cdot (M_a \cdot p_a)^{-1} \quad (10)$$

Onde:

M_v é o peso molecular do vapor d'água, kg.kmol⁻¹;

M_a é o peso molecular do ar seco, kg.kmol⁻¹;

ω é a umidade absoluta ou específica da mistura (adimensional);

p_v é a pressão parcial do vapor d'água na mistura, kPa;

p_a é a pressão parcial do ar seco na mistura, kPa.

Assim,

$$p_a = 100 - (\phi \cdot p_g) \quad (11)$$

e, então,

$$\omega = 0,622 \cdot \phi_m \cdot 0,8137e^{0,0514T_m} \cdot (100 - (\phi_m \cdot 0,8137e^{0,0514T_m}))^{-1} \quad (12)$$

Onde:

ϕ_m é a umidade relativa média mensal da série histórica (adimensional);

T_m é a temperatura média mensal obtida na série histórica, °C;

ω é a umidade específica, considerada constante para variações de umidade e temperatura do ar ao longo do dia.

Variação da umidade específica em função do tempo

A determinação da variação da umidade específica em função do tempo ao longo do dia requer o conhecimento de muitas variáveis. A evaporação e a condensação são duas das quais necessita-se para determina-se esta variação ao longo do dia.

A variação de umidade específica ao longo do dia pode ser ajustada pelo conhecimento de propriedades termodinâmicas do ar, como umidade e temperatura (considerando pressão constante) em intervalos de tempo regulares.

Uma variação de 0,001 a 0,002 kg de vapor d'água por kg de ar seco (que é a variação diária encontrada em muitos pontos medidos) representa uma variação decimal na temperatura e na umidade relativa. Como os dados obtidos de umidade relativa são expressos por números inteiros e de temperatura são números com precisões decimais, não acrescenta-se um erro apreciável ao considerar a umidade específica média como constante ao longo do dia, considerando-se média àquela relativa a temperatura média mensal e a umidade relativa média mensal.

Temperatura em função da umidade específica e da umidade relativa

Conhecendo-se o ponto em que a umidade relativa é igual a do *set-point*, podemos encontrar a temperatura em função desta e da umidade específica, isolando a temperatura na equação acima.

$$T(\omega, \phi_r) = 19,455 \cdot \ln [(100 \cdot \omega) \cdot (0,8137 \cdot \phi_r (0,622 + \omega))^{-1}] \quad (13)$$

Onde:

$T(\omega, \phi_r)$ é a temperatura do ar em função da umidade específica e da umidade relativa, °C;

ϕ_r é a umidade relativa de referência (adimensional).

Energia requerida para condicionamento do ar de secagem

A energia requerida para condicionamento do ar (mantendo-o com umidade relativa máxima igual a de *set-point*, ϕ_r) pode, finalmente, ser determinado pela seguinte equação:

$$E = \int_{t_{\min}}^{t(\omega, \phi_r)} [h(T(\omega, \phi_r)) - h(T(t))] \cdot m \cdot dt \quad (14)$$

Onde:

E é a energia diária requerida para condicionamento do ar de secagem, kJ;

m é a vazão mássica do secador, ou silo-secador, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

Assim é obtido o consumo energético total diário estimado com a vazão mássica obtida pela equação 15..

$$m = \rho \cdot V \cdot A \quad (15)$$

Onde:

ρ é a massa específica do ar, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

V é a velocidade do ar na célula, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

A é a área da seção transversal, m^2 .

RESULTADOS E CONCLUSÕES

As curvas de secagem das três células (figura 2) foram obtidas a partir de amostras retiradas na superfície da célula, com calor de dois estágios. Este ponto foi escolhido para determinação da umidade do produto porque a frente de secagem desloca-se de baixo para cima.

Considerou-se o produto seco quando apresentou umidade em base úmida menor que 13,6%.

Na tabela 2 são apresentados os valores estimados de consumo de GLP calculados segundo o processo descrito nesse trabalho, considerando-se que a secagem seja realizada dentro de cada mês. Na tabela 3, são apresentados os valores de consumo de

energia para as três células analisadas, onde verifica-se que o consumo de gás, com o queimador sendo utilizado por um mês, foi de 405 kg. Como a secagem nesta célula foi iniciada a partir de 15 de abril, o valor estimado obtido com a utilização das séries históricas, é de 380,5 kg.

Tabela 2. Estimativa de consumo de GLP, ano a ano, de acordo com o mês de realização da secagem

| ano | mar | abr | mai | jun |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1975 | 391,27 | 483,11 | 436,37 | 466,87 |
| 1976 | 337,17 | 389,15 | 511,73 | 409,66 |
| 1977 | 323,73 | 412,22 | 544,10 | 543,67 |
| 1978 | 277,40 | 299,02 | 314,04 | 372,33 |
| 1979 | 292,19 | 431,53 | 400,46 | 458,48 |
| 1980 | 306,30 | 307,36 | 468,15 | 380,32 |
| 1981 | 396,57 | 337,92 | 472,06 | 421,82 |
| 1982 | 294,49 | 296,30 | 357,38 | 437,96 |
| 1983 | 333,15 | 398,45 | 475,72 | 348,63 |
| 1984 | 277,62 | 295,32 | 425,71 | 511,19 |
| 1985 | 324,56 | 435,98 | 426,50 | 465,78 |
| 1986 | 322,34 | 404,05 | 406,17 | 489,50 |
| 1987 | 325,22 | 405,63 | 384,05 | 472,83 |
| 1988 | 231,93 | 320,08 | 413,85 | 481,61 |
| 1989 | - | 480,39 | 470,11 | 583,57 |
| 1990 | 393,59 | 525,31 | 520,99 | 505,80 |
| 1991 | 308,16 | 436,52 | 452,90 | 530,60 |
| 1992 | 459,89 | 496,54 | 553,80 | 617,16 |
| 1993 | 442,66 | 344,47 | 446,50 | 481,90 |
| 1994 | 355,47 | 439,14 | 548,83 | 274,86 |
| 1995 | 124,85 | 171,95 | 98,20 | 341,06 |
| 1996 | 276,21 | 249,80 | 258,11 | 325,90 |
| 1997 | 188,12 | 395,10 | 263,53 | 327,92 |
| Média | 313,82 | 358,30 | 403,42 | 430,23 |

É interessante, que entre secagem, resfriamento e conservação, considerado um período de seis meses para que o produto possa ser comercializado no período de preços mais elevados, o consumo total de energia, nos três processos, ficou muito próximo, em torno de 24.000 kWh. No primeiro processo, pelo uso um pouco mais intenso do ventilador, o consumo energético aproximou-se de 24.700 kWh.

No caso de haver necessidade de comercialização em um tempo menor, há que considerar-se as diferenças nos tempos de secagem, que seguiram a seguinte ordem nas células secadoras-armazenadoras: menor tempo, 27 dias, para secagem com ar condicionado pela queima do gás (GNS); após, para sistema automatizado de

Tabela 3. Consumo de energia nas células de secagem e armazenamento

| Célula | Etapa | Horas | Meses | Energia Elétrica | | GLP (kgf) | GLP (kWh) | TOTAL (kWh) |
|--------|------------|-------|-------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|-------------|
| | | | | Consumo total (kWh) | Demanda mensal (kW) | | | |
| 3 | Secagem | 1968 | 5 | 20.574,55 | 10,45 | 0 | 0,00 | 20.574,55 |
| | Resf.+cons | 394 | 1 | 4.119,09 | 10,45 | 0 | 0,00 | 4.119,09 |
| | Total | 2362 | 6 | 24.693,64 | 10,45 | 0 | 0,00 | 24.693,64 |
| 4 | Secagem | 381 | 2 | 3.983,18 | 10,45 | 0 | 0,00 | 3.983,18 |
| | Resf.+cons | 1907 | 4 | 19.936,82 | 10,45 | 0 | 0,00 | 19.936,82 |
| | Total | 2288 | 6 | 23.920,00 | 10,45 | 0 | 0,00 | 23.920,00 |
| 5 | Secagem | 384 | 1 | 4.014,55 | 10,45 | 405 | 4.945,00 | 8.959,55 |
| | Resf.+cons | 1422 | 5 | 14.866,36 | 10,45 | 0 | 0,00 | 14.866,36 |
| | Total | 1806 | 6 | 18.880,91 | 10,45 | 405 | 4.945,00 | 23.825,91 |

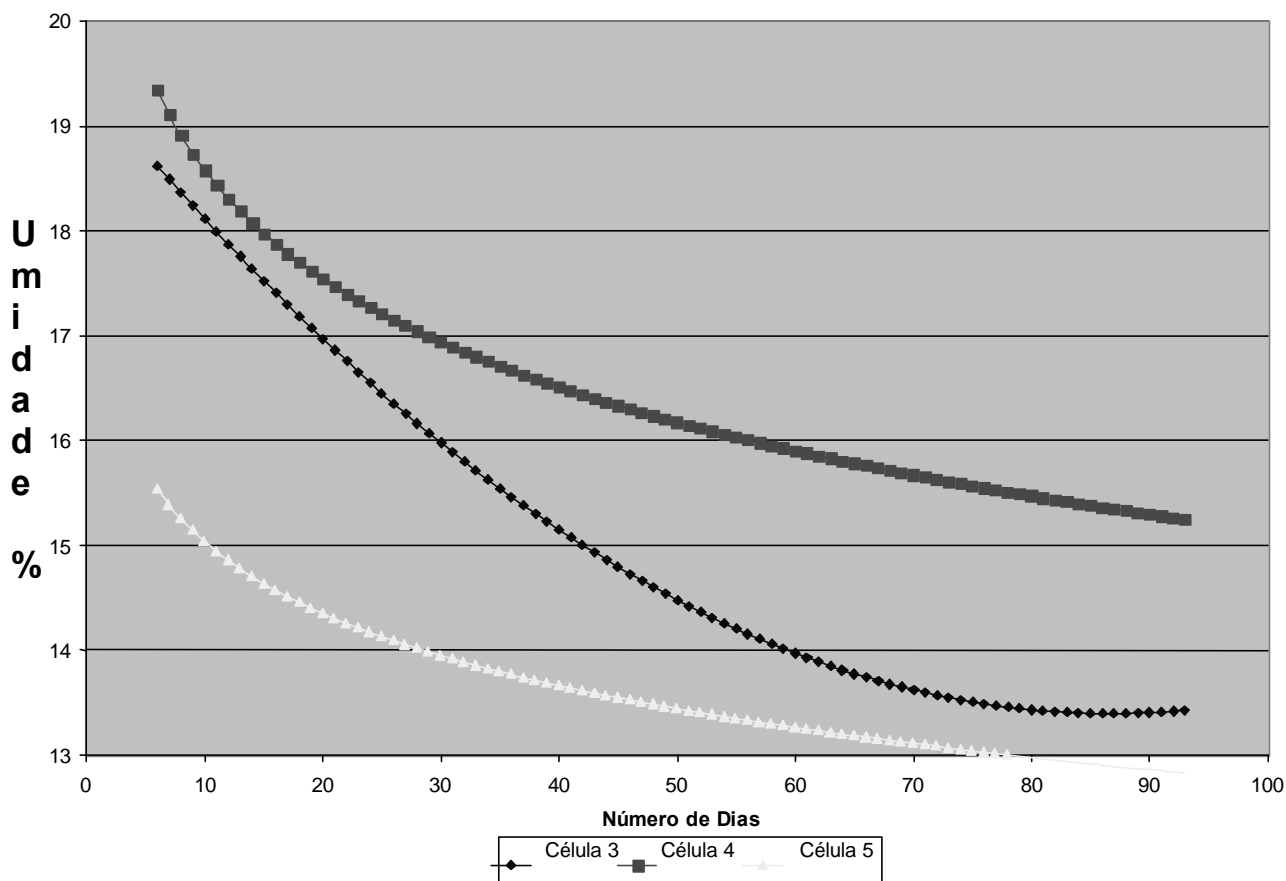


Figura 2. Curvas de secagem para as três células secadoras-armazenadoras.

aeração (65 dias); e um maior tempo para o sistema de aeração com acionamento manual (100 dias).

BIBLIOGRAFIA

[1] PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, SP: 2000.

- [2] GOMES, N.K. & MERCH R.F. **Armazenamento de grãos**. Administração Amaral de Souza. Porto Alegre, RS: 1982.
- [3] FONTANA, C. **Propriedades físicas e térmicas do arroz**. Edições UFSM. Santa Maria, RS: 1986.
- [4] BORGNAKKE, C., SONNTAG, R.E. & WYLEN, G.J.V. **Fundamentos da termodinâmica**. Editora Edgard Blucher LTDA. São Paulo, SP: 1998.