

UNESP - FEIS - DEFERS

DISCIPLINA: ARMAZENAMENTO E BENEFICIAMENTO DE GRÃOS

Exercício Modelo sobre Secagem de Grãos

Como técnico contratado para assessorar uma propriedade produtora de milho para grãos, efetuar uma análise da viabilidade econômica da secagem do produto na seguinte configuração:

- Produtividade esperada na propriedade: 7200 kg/ha (U = 13%);
- Área plantada com a cultura: 400 ha;
- Preço de comercialização do produto (U = 13%): R\$ 367,00/t (R\$ 22,00/sc);
- Se o produto secar naturalmente no campo até 13% b.u. terá uma expectativa de perdas de 3% em massa;
- Umidade média na colheita: 20% b.u.;
- Preço da lenha para a secagem a alta temperatura: R\$ 40,00/st, sendo sua massa específica 390 kg/m^3 (1 metro estéreo = 0,61 metro cúbico sólido de madeira) e seu poder calorífico 12.500 kJ/kg;
- Tarifa de energia elétrica: *Consumo* - R\$ 0,19/kWh; *Demanda* - R\$ 22,97/kW;
- Longevidade do secador: 20 anos, sendo que a atividade de produção de milho será responsável por 60% do investimento feito com o secador. O valor residual do secador após a vida útil é desprezível;
- Retorno do capital em aplicação financeira (custo de oportunidade): 12% ao ano.

- a) Calcular a massa de água existente na massa total de grãos colhidos após a secagem no campo (considerar as perdas no campo);
- b) Calcular a massa total de grãos com $U = 20\%$ b.u. e a massa total de água que deverá ser removida na secagem até $U = 13\%$ b.u.;
- c) Sabendo-se que uma colheitadeira de milho de 5 linhas operando 12 h diárias colhe 14 ha, em média, que massa de grãos úmidos (20% b.u.) será colhida diariamente (relacionada ao porte do secador), e em quanto tempo se processará a colheita (limitar o tempo de colheita em 30 dias no máximo);
- d) Selecionar o secador (relacionar os dados técnicos e custo de aquisição do secador selecionado) e calcular o tempo de operação diário do secador;
- e) Calcular a massa de água removida na secagem 20 para 13% b.u. em 1 h e a energia unitária (kJ/kg de água) para a secagem;
- f) Calcular o rendimento do secador;
- g) Energia e energia unitária (kJ/kg) necessária para o aquecimento do ar de secagem;
- h) Consumo e consumo unitário (kg/t) de lenha na fornalha;
- i) Despesa e despesa unitária (R\$/t) com a lenha utilizada na fornalha;
- j) Energia elétrica e energia elétrica unitária (kWh/t) consumida pelo ventilador para circulação do ar de secagem;
- k) Custo da energia elétrica e custo da e.e. unitária (R\$/t) com o ventilador;
- l) Custo energético e energético unitário (R\$/t) da secagem;
- m) Custo de depreciação e de oportunidade do secador (custos fixos);
- n) Custo da secagem e custo unitário da secagem (R\$/t) referente à parte fixa e à parte energética no secador;
- o) Custo total e unitário (R\$/t) referente às perdas ocorridas com a secagem no campo;
- p) Custo da secagem feita por terceiros (Cooperativa, p.e.) em que é cobrado R\$ 18,90/t (base na massa do produto final a $U = 13\%$);
- q) Parecer final.

SECADOR LINHA ADS - COLUNAS

Preços: Kepler Weber – novembro/2006 + 8,16% de atualização.



Modelo	Preço Total (R\$)
ADS KWR 10	132.720,00
ADS KWR 20	227.136,00
ADS KWR 30	281.216,00
ADS KWR 40	349.336,00
ADS KWR 60	454.272,00
ADS KWR 80	600.288,00
ADS KWR 100	667.888,00
ADS KWR 125	780.936,00
ADS KWR 150	940.992,00

DADOS TÉCNICOS SECADOR KW R – COLUNA – COM RESFRIAMENTO									
MODELO	Capacidade de secagem de 18% para 13% (t/h)		Capacidade estática (m³)	Vazão de ar (m³/h)	Potência ventilador (cv)	Energia necessária (kcal/h)	Consumo de Combustível (kg/h)		
	Soja	Milho					Lenha	Fuel-Oil	Gás
KW 10 ADS	9	6,8	17	22.500	1 x 7,5	430.000	154	45	36
KW 20 ADS	18	13,5	34	47.500	1 x 15	910.000	325	95	76
KW 30 ADS	26	19,8	42	65.000	1 x 20	1.230.000	439	128	103
KW 40 ADS	36	26,9	63	85.000	1 x 30	1.600.000	571	167	133
KW 60 ADS	58	43,4	77	130.000	2 x 20	2.450.000	875	255	204
KW 80 ADS	74	55,7	104	195.000	3 x 20	3.670.000	1.311	382	306
KW 100 ADS	86	64,5	123	223.500	3 x 25	4.200.000	1.500	438	350
KW 125 ADS	113	84,4	152	298.000	4 x 25	5.600.000	2.000	583	467
KW 150 ADS	130	97,5	181	372.500	5 x 25	7.000.000	2.500	729	583

NOTA: As capacidades de secagem bem como a quantidade de energia necessária e o consumo de combustível estão definidos para as seguintes condições:

- i) temperatura ambiente = 20°C;
- ii) umidade relativa ambiente = 60%;
- iii) pressão atmosférica = 717 mmHg (490 m de altitude);
- iv) massa específica = 750 kg/m³; v) impurezas = 1% máximo;
- vi) temperatura de secagem na câmara superior = 110°C;
- vii) temperatura de secagem na câmara intermediária = 90°C;
- viii) poder calorífico lenha = 2.800 kcal/kg (1 kcal = 4,186 kJ);
- ix) poder calorífico Fuel-Oil = 9.600 kcal/kg;
- x) poder calorífico gás = 12.000 kcal/kg.

a) Massa de água existente na massa total de grãos colhidos após a secagem no campo considerando as perdas:

- Produtividade com as perdas:

$$7.200 \text{ kg/ha} \times 0,97 = 6.984 \text{ kg/ha}$$

- Produção total:

$$6.984 \text{ kg/ha} \times 400 \text{ ha} = 2.793.600 \text{ kg} = 2.793,6 \text{ t}$$

- Massa total de água (13% b.u.):

$$0,13 = \frac{m_a}{2.793.600} \Rightarrow m_a = 363.168 \text{ kg}$$

b) Massa total de grãos com $U = 20\%$ b.u. e a massa total de água que deverá ser removida na secagem até $U = 13\%$ b.u.:

- Produção total sem as perdas:

$$7.200 \text{ kg/ha} \times 400 \text{ ha} = 2.880.000 \text{ kg} = 2.880 \text{ t}$$

- Massa total de água (13% b.u.):

$$0,13 = \frac{m_a}{2.880.000} \Rightarrow m_a = 374.400 \text{ kg}$$

- Massa total de matéria seca:

$$m_s = 2.880.000 - 374.400 = 2.505.600 \text{ kg}$$

- Massa total de água (20% b.u.):

$$0,20 = \frac{m_a}{2.505.600 + m_a} \Rightarrow m_a = 626.400 \text{ kg}$$

- Massa total de grãos úmidos (20% b.u.):

$$m_t = 2.505.600 + 626.400 = 3.132.000 \text{ kg}$$

- Massa total de água a ser removida na secagem:

$$m_{a(20)} - m_{a(13)} = 626.400 - 374.400 = 252.000 \text{ kg}$$

c) Massa de grãos úmidos (20% b.u.) colhida diariamente (relacionada ao porte do secador):

- Tempo total de colheita:

$$\frac{400 \text{ ha}}{14 \text{ ha/dia}} = 28,57 \text{ dias (tempo} < 30 \text{ dias estabelecidos)}$$

- Massa de grãos úmidos colhida diariamente:

$$\frac{3.132.000 \text{ kg}}{400 \text{ ha}} \times 14 \text{ ha/dia} = 109.620 \text{ kg/dia (20\%)}$$

d) Seleção do secador:

Por razão de economia, se deve adquirir o secador de menor preço de aquisição entre os modelos relacionados na tabela do fabricante (Modelo ADS em anexo), o que corresponde ao de menor capacidade de secagem, desde que atenda à demanda de secagem do produto proveniente da colheita (secar o que é colhido diariamente em até 24h). Se a variação de umidade dos grãos colhidos for diferente da divulgada na tabela, se deve calcular a capacidade de secagem do modelo conforme segue:

- Modelo ADS-KWR 10:

$$\frac{6.800 \text{ kg/h} \times 5\% (\text{entre } 18 \text{ e } 13\%)}{7\% (\text{entre } 20 \text{ e } 13\%)} = 4.857 \text{ kg/h}$$

- Tempo diário de operação do secador (≤ 24 h):

$$\frac{\text{Massa grãos colhidos por dia (kg/dia)}}{\text{Capacidade do Secador (kg/h)}} < 24 \Rightarrow \frac{100.800 \text{ kg/dia}}{4.857 \text{ kg/h}} = 20,75 \text{ h/dia}$$

$$\therefore 0,20 = \frac{m_a}{109.620} \Rightarrow m_a = 21.924 \text{ kg} \Rightarrow m_s = 87.696 \text{ kg}$$

$$\therefore 0,13 = \frac{m_a}{87.696 + m_a} \Rightarrow m_a = 13.104 \text{ kg} \Rightarrow m_t = 100.800 \text{ kg/dia}$$

- Informações gerais do secador selecionado:

- . Marca: Kepler
- . Modelo ADS-KWR 10
- . Custo R\$ 132.720,00
- . Capacidade de secagem: 6.800 kg/h (18 p/ 13% b.u.) e 4.857 kg/h (20 p/ 13% b.u.)
- . Potência do ventilador: 1 x 7,5 cv ($\cong 5,51$ kW)
- . Energia necessária para aquecimento do ar secagem: 430.000 kcal (1.800.000 kJ)
- . Consumo de lenha: 154 kg/h (Poder Calórico da lenha = 11.720 kJ/kg)

e) Massa de água removida na secagem 20 para 13% b.u. em 1 h e a energia unitária (kJ/kg de água) para a secagem:

- Massa de água removida na secagem de 20 para 13% b.u. em 1 hora:

$$0,13 = \frac{m_a}{4.857} \Rightarrow m_a = 631,4 \text{ kg} \Rightarrow m_s = 4857 - 631,4 = 4.225,6 \text{ kg}$$

$$0,20 = \frac{m_a}{4.225,6 + m_a} \Rightarrow m_a = 1.056,4 \text{ kg}$$

$$m_{a(20)} - m_{a(13)} = 1.056,4 - 631,4 = 425 \text{ kg}$$

- Energia unitária (kJ/kg) necessária para a secagem:

$$\frac{1.800.000 \text{ kJ}}{425 \text{ kg}} = 4.235,3 \text{ kJ/kg (de água removida)}$$

f) Rendimento do secador:

- Rendimento da secagem (η_s):

$$\eta_s = \frac{2.930,2 \text{ kJ/kg}}{4.235,3 \text{ kJ/kg}} = 0,69 \text{ ou } 69\%$$

OBS: Calor latente de vaporização da água para grãos com umidade entre 13 e 35%: 2.930,2 kJ/kg (HALL, 1980).

- Rendimento global (secagem + ventilação) – η_g :

$$\eta_g = \frac{2.930,2 \text{ kJ/kg}}{4.235,3 \text{ kJ/kg} + (5,51 \text{ kW} \times 1 \text{ h} \times 3600 \text{ kJ/kWh}) \div 425 \text{ kg}} = 0,684 \text{ ou } 68,4\%$$

g) Energia e energia unitária (kJ/t) necessária para o aquecimento do ar de secagem;

$$\frac{2.880.000 \text{ kg (massa total de grãos com 13% b.u.)}}{4.857 \text{ kg/h}} \times 1.800.000 \text{ kJ/h} = 1.067.295.600 \text{ kJ}$$

ou:

$$4.235,3 \text{ kJ/kg} \times 252.000 \text{ kg} = 1.067.295.600 \text{ kJ}$$

- Energia unitária (kJ/kg) necessária para a secagem:

$$\frac{1.067.295.600 \text{ kJ}}{2.880 \text{ t}} = 370.600 \text{ kJ/t}$$

h) Consumo e consumo unitário (kg/t) de lenha na fornalha:

$$\frac{1.067.295.600 \text{ kJ}}{12.500 \text{ kJ/kg}} = 85.383,65 \text{ kg}$$

- Consumo unitário (kJ/t):

$$\frac{85383,65 \text{ kg}}{2.880 \text{ t}} = 29,65 \text{ kg/t}$$

i) Despesa total e despesa unitária (R\$/t) com a lenha utilizada na fornalha:

$$\frac{85.383,65 \text{ kg}}{390 \text{ kg/m}^3} \times \frac{\text{R\$ } 40,00/\text{st}}{0,61 \text{ m}^3/\text{st}} = \text{R\$ } 14.356,23$$

- Despesa unitária (R\$/t):

$$\frac{\text{R\$ } 14.356,23}{2.880 \text{ t}} = \text{R\$ } 4,98/\text{t}$$

j) Energia elétrica e energia elétrica unitária (kWh/t) consumida pelo ventilador para circulação do ar de secagem:

$$20,75 \text{ h/dia} \times 28,57 \text{ dias} \times 5,51 \text{ kW} = 3.266,5 \text{ kWh} \rightarrow 11.759,3 \text{ kJ}$$

- Energia elétrica unitária (kWh/t):

$$\frac{3.266,5 \text{ kWh}}{2.880 \text{ t}} = 1,1342 \text{ kWh/t} \rightarrow 4.083,1 \text{ kJ/t}$$

k) Custo da energia elétrica e custo unitário da e.e. (R\$/t) com o ventilador:

- Custo do consumo de energia elétrica:

$$3.266,5 \text{ kWh} \times \text{R\$}0,190/\text{kWh} = \text{R\$} 620,64$$

- Custo da demanda de energia elétrica (considerando uso do ventilador em 2 meses):

$$5,51\text{kW} \times \text{R\$} 22,97/\text{kW} \times 2 = \text{R\$} 253,13$$

- Custo da energia elétrica:

$$\text{R\$} 620,64 + \text{R\$} 253,13 = \text{R\$} 873,77$$

- Custo unitário:

$$\frac{\text{R\$} 873,77}{2.880\text{t}} = \text{R\$} 0,30/\text{t}$$

l) Custo energético e energético unitário (R\$/t) da secagem:

$$\text{R\$} 14.356,23 + \text{R\$} 873,77 = \text{R\$} 15.230,00$$

- Custo energético unitário:

$$\frac{\text{R\$} 15.230,00}{2.880\text{t}} \cong \text{R\$} 5,29/\text{t}$$

m) Custo de depreciação e de oportunidade do secador (custos fixos):

- Custo de depreciação:

$$\left(\frac{\text{R\$} 132.720,00 - 0}{20 \text{ anos}} \right) \times 0,60 = \text{R\$} 3.981,60 \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{R\$} 3.981,60}{2.880\text{t}} = \text{R\$} 1,38/\text{t}$$

- Custo de oportunidade:

$$\text{R\$} 132.720,00 \times 0,12 \times 0,60 = \text{R\$} 9.555,84 \quad \Rightarrow \quad \frac{\text{R\$} 9.555,84}{2.880\text{t}} = \text{R\$} 3,32/\text{t}$$

n) Custo da secagem e custo unitário da secagem (R\$/t) referente à parte fixa e à parte energética no secador:

$$\text{R\$} 3.981,60 + \text{R\$} 9.555,84 + \text{R\$} 15.230,00 = \text{R\$} 28.767,44$$

- Custo unitário:

$$\frac{\text{R\$} 28.767,44}{2.880\text{t}} \cong \text{R\$} 9,99/\text{t}$$

o) Custo total e unitário (R\$/t) referente às perdas ocorridas com a secagem no campo:

$$7,2 \text{ t/ha} \times 0,03 \times 400 \times \text{R\$} 367,00/\text{t} = \text{R\$} 31.708,80$$

- Custo unitário:

$$\frac{\text{R\$} 31.708,80}{2.880\text{t}} = \text{R\$} 11,01/\text{t}$$

p) Custo da secagem feita por terceiros (Cooperativa, p.e.) em que é cobrado R\$ 18,90/t (base na massa do produto final a U = 13%):

$$2880t \times R\$ 18,90/t = R\$ 54.432,00$$

q) Parecer final:

Além dos custos da secagem calculados, existem outros como: seguro dos equipamentos, manutenção e reparos, mão-de-obra na operação e manutenção dos secadores e o custo energético com o elevador de caçambas no secador. Contudo, são custos de menor grandeza em relação aos calculados. Em contrapartida, a área plantada com a cultura do milho fica disponível mais cedo para a implantação de uma nova cultura.

O custo da secagem foi 90,7% do custo referente às perdas ocorridas quando a secagem ocorre no campo em condições naturais. Sendo assim, é verificada a vantagem (apesar de não acentuada) de se proceder a colheita antecipada seguida de secagem artificial. Deve-se salientar que do custo unitário da secagem, R\$ 9,99/t, 47% foi devido ao custo fixo, ou seja, depreciação e custo de oportunidade, R\$ 1,38/t e R\$ 3,32/t, respectivamente. Neste caso, seria interessante utilizar mais intensamente o secador, prestando tal serviço aos produtores vizinhos, o que reduziria a participação do milho no investimento.

Por sua vez, o custo da secagem feita por terceiros, neste caso uma Cooperativa, seria maior ainda (R\$ 18,90/t) representando um custo 89% maior em relação ao feito no secador da propriedade e 72% maior em relação ao feito no campo considerando as perdas.