

POTENCIAL DE AERAÇÃO DE GRÃOS COM AR NATURAL EM BOTUCATU, SP¹

V. A. GONÇALVES*

W. A. FERREIRA**

RESUMO

A aeração de grãos com ar natural é um processo dependente das condições climáticas locais, constantemente oscilantes no tempo. Através do emprego de modelos matemáticos de simulação foi avaliada a possibilidade de realização da aeração com ar natural para as condições climáticas de Botucatu.

A avaliação do potencial de aeração foi baseada no critério de operação do sistema de ventilação somente se a temperatura de bulbo seco do ar ambiente fosse igual ou inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular. Foram computadas as horas correspondentes aos períodos diários favoráveis, durante os anos de 1971 a 1975 e de 1977 a 1981, para as temperaturas de bulbo seco máximas admissíveis de 25°C, 23°C, 21°C, 19°C, 17°C, 15°C e 13°C.

A aeração intermitente, baseada no critério da diferença de temperatura entre o ar ambiente e o grão, pode ser realizada, nas condições analisadas, durante o ano todo para as temperaturas máximas admissíveis superiores a 19°C. Para as temperaturas de bulbo seco máximas admissíveis entre 13 e 19°C, pode ser realizada nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, encontrando as

1 Recebido para publicação em 15 de abril de 1986.

* Professor Assistente, nível 4, do Departamento de Engenharia Rural da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Campus de Goiânia.

** Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrômicas da UNESP, Campus de Botucatu.

condições mais favoráveis nos meses de junho e julho. A susceptibilidade ao reumedecimento cresce, por produto, na seguinte ordem: arroz, soja, milho, trigo, feijão e sorgo.

ABSTRACT

Grain aeration using ambient air was simulated under weather conditions in Botucatu.

Grain aeration potential was evaluated based on criterion of operating ventilation system if dry bulb temperatures are equal or lower than dew point temperatures of grain voids air.

Hours in the favourable periods for safe aeration were computed, from 1971 through 1975 and 1977 through 1981, for allowed maximum dry bulb temperatures of 25°C, 23°C, 21°C, 19°C, 17°C, 15°C and 13°C.

If maximum dry bulb temperatures are higher than 19°C, the selective aeration can be realized all the year. For maximum dry bulb temperatures between 13°C and 19°C, selective aeration is suitable in April, May, June, July, August and September, being the best selective aeration conditions in June and July. Rewetting risks arise in the following order: rice, soybean, corn, wheat, bean and sorghum.

INTRODUÇÃO

Aeração é a ventilação do grão armazenado a vazões específicas baixas com o objetivo principal de manutenção da qualidade. A passagem de volumes reduzidos de ar através da massa de grãos, ao teor de umidade recomendado ao armazenamento seguro, uniformiza e pode arrefecer a temperatura, evitando-se a migração da umidade, causa da rápida deterioração do produto (CLOUD & MOREY, s. d.; SHOVE, 1968; FRIESEN & HARMS, 1980; HALDERSON & SANDVAL, 1980; METZGER, 1980; LASSERAN, 1981; NAVARRO, 1981; SINHA *et alii*, 1981).

A compreensão da relação existente entre os parâmetros climáticos, temperatura de bulbo seco e umidade relativa, com o teor de umidade e a temperatura do grão armazenado é condição preponderante na adoção da aeração (KLINE & CONVERSE, 1981; PERSON *et alii*, 1986; FERREIRA, 1979). De acordo com McCUNE *et alii* (1963), o fluxo de umidade entre o ar e o grão sempre ocorre dos pontos de alta para os de baixa pressão de vapor; para o ar a pressão de vapor

é função da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa e para o grão depende de sua temperatura e de seu teor de umidade. Durante a aeração, o desequilíbrio entre as pressões de vapor do ar e do grão pode provocar a secagem ou o reumedecimento, quando a pressão de vapor for inferior ou superior à do grão, respectivamente.

As vazões específicas recomendadas à aeração devem ser suficientemente baixas, evitando-se a secagem ou o reumedecimento excessivos do produto. CALDERWOOD (1966) relata que o potencial de secagem do ar ambiente é praticamente todo utilizado durante o período em que a frente de aeração progride pelo produto, quando as vazões específicas são baixas. Para que não seja removido mais que um ponto percentual de umidade contida no grão, DE BEER (1972) recomenda que as vazões específicas sejam inferiores a $1,7 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-3}$.

Segundo FRIESEN & HARMS (1980), as vazões específicas recomendadas a nível de fazenda são, no mínimo, de $1 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-3}$ (normalmente entre 1 e $2 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-3}$) e na armazenagem comercial entre $0,3$ e $0,5 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-3}$, para o produto com teor de umidade recomendado ao armazenamento seguro. De acordo com NAVARRO (1981), as vazões específicas mais eficientes durante a aeração estão entre $0,83$ e $3,33 \text{ l.s}^{-1}.\text{t}^{-1}$ (aquém de $0,83 \text{ l.s}^{-1}.\text{t}^{-1}$ resultam em períodos de aeração completa muito longos e além de $3,33 \text{ l.s}^{-1}.\text{t}^{-1}$ provocam consumo excessivo de energia, decorrente da queda da eficiência do sistema); outrossim, nos climas subtropicais as vazões específicas inferiores a $0,3 \text{ l.s}^{-1}.\text{t}^{-1}$ são ineficientes. HOLMAN (1960) recomenda vazões específicas entre $1,3$ e $2,7 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-3}$ para os silos verticais e entre $0,4$ e $1,3 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-3}$ para os horizontais, determinadas com base na aeração intermitente do ventilador, quando as condições atmosféricas são favoráveis (temperatura de bulbo seco suficientemente baixa, sem o risco de reumedecimento).

O tempo requerido à realização da aeração completa de um determinado volume de grãos é aproximadamente o mesmo para diferentes temperaturas iniciais; entretanto, ocorrendo remoção de umidade do produto durante a aeração, o resfriamento resultante diminui o tempo total de operação do ventilador (HOLMAN, 1960). A duração da aeração completa é função da vazão específica empregada e do volume de ar necessário entre 1.000 e 1.200 m^3 por m^3 de grão e é igual ao tempo acumulado dos diversos períodos de aeração intermitente (BURREL, 1973; LASSERAN, 1981).

LASSERAN (1981) sugere que a aeração do grão seco (12 a 14%, base úmida), no verão, é mais conveniente no período noturno, quando é maior a possibilidade de arrefecimento da temperatura e a

energia elétrica é mais barata. Nos climas subtropicais, a aeração por insuflação à noite, quando a temperatura de bulbo seco é mais baixa e o ar ambiente está próximo à saturação, os danos decorrentes do reumedecimento são reduzidos, visto que o aumento de temperatura provocado pelo sistema de ventilação incrementa o potencial de retenção de vapor d'água do ar ambiente (NAVARRO, 1981).

Segundo PUZZI (1977) o Estado de São Paulo e a região Sul do Brasil apresentam condições favoráveis à aeração de grãos. Entretanto, SARTORI *et alii* (1976) atestam que o maior obstáculo à difusão da aeração no Brasil é o desconhecimento das relações entre as propriedades psicrométricas do ar ambiente e as condições do grão armazenado. FERREIRA *et alii* (1979), através de um estudo de simulação, para todo o Brasil, confirmou a afirmativa de PUZZI (1977) e FERREIRA (1979) encontrou, para o Estado de São Paulo, restrição à aeração de grãos apenas nas regiões litorâneas.

Neste trabalho, baseado no método de simulação, será determinado o potencial de aeração para o arroz, feijão, milho, soja, sorgo e trigo.

METODOLOGIA

A simulação da aeração foi procedida com base no critério de operação do ventilador somente quando a temperatura de bulbo seco do ar atmosférico for igual ou inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular, cuja temperatura de bulbo seco é igual à temperatura do grão, tg, e cuja umidade relativa está em equilíbrio com o teor de umidade do produto (Fig. 1). Para a temperatura de bulbo seco do ar atmosférico igual ou inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular, to, a respectiva pressão de vapor atual será sempre igual ou inferior à do ar intergranular Pvg (função da temperatura do grão tg e da umidade relativa de equilíbrio URE), evitando-se o processo de reumedecimento durante a aeração nas horas mais frias, mesmo que a umidade relativa seja igual a 100%.

Para a determinação do potencial de aeração foram utilizados dados horários de temperatura de bulbo seco de 1971 a 1975 e de 1977 a 1981, obtidos na estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas em Botucatu, São Paulo.

Na simulação foram considerados os teores de umidade (base úmida) adequados ao armazenamento seguro por um período de um ano (Quadro 1).

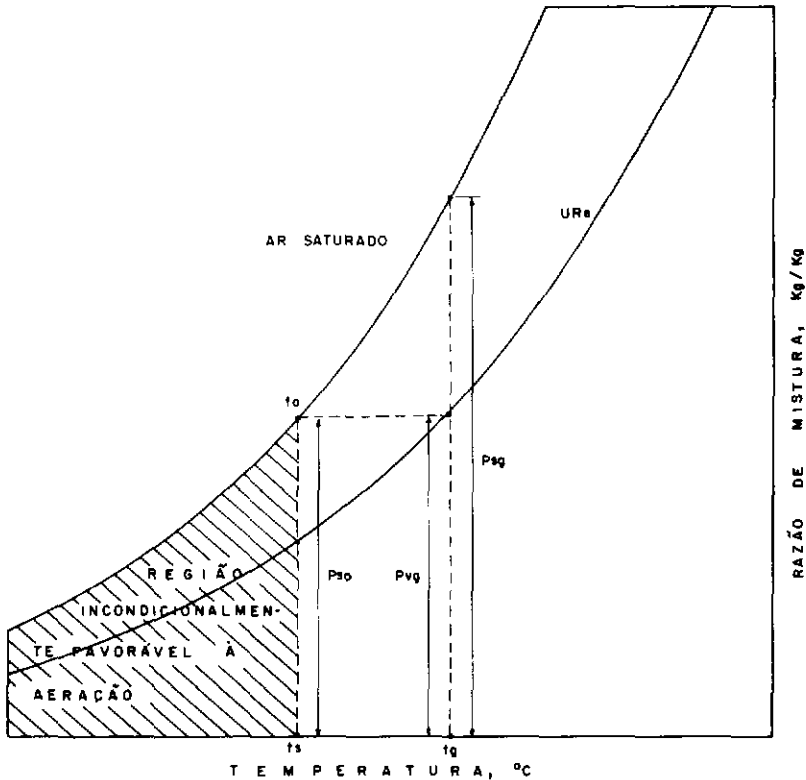


FIGURA 1 - Aeração seletiva com base na diferença entre a temperatura do grão (t_g) e a temperatura máxima admissível do ar ambiente (t_s); t_s é igual à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular (t_a).

QUADRO 1. Teores de umidade adequados ao armazenamento seguro durante um ano (OLIVEIRA *et alii*, 1974).

Grão	Teor de umidade %, base úmida.
Arroz	14
Feijão*	12
Miho	13
Soja	12
Sorgo	12
Trigo	13

* PUZZI (1973)

A temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular, considerada na simulação igual ao limite superior da temperatura de bulbo seco do ar ambiente, é obtida em função da umidade relativa em equilíbrio com o teor de umidade do grão, recomendada à armazenagem segura.

As equações 1 e 4 (AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, 1983) em combinação com a equação 2 (CHAU, 1980) foram selecionadas para a determinação da umidade relativa de equilíbrio e temperatura do ponto de orvalho. A equação 1 recomendada pela ASAE (American Society of Agricultural Engineers), é aplicada a vários produtos (Quadro 2), facilitando o estudo comparativo dos resultados obtidos. A equação empírica 2 permite a estimativa rápida da temperatura do ponto de orvalho, com diferença não significativa em relação aos modelos recomendados pela ASAE (CHAU, 1980).

$$UR_e = 1 - \exp(-K \times (t_g + C) \times (TU)^N) \dots\dots\dots 1$$

$$t_o = 33,38269(Pso)^{0,2226162} + 7,156019 \ln(Pso) - 26,39589 \dots\dots 2$$

$$P_{vg} = P_{vg} = UR_e \times P_{sg}/1000 \dots\dots\dots 3$$

$$\ln(P_{sg}/R) = (A + B \times T_g + C \times (T_g)^2 + D \times (T_g)^3 + E \times (T_g)^4 / (F \times T_g - G \times (T_g)^2) \dots\dots\dots 4$$

$$T_g = t_g + 273,15 \dots\dots\dots 5$$

$$0 \leq t_g \leq 100^\circ C.$$

- P_{sg} = pressão de vapor do ar intergranular saturado, Pa;
- P_{so} = pressão de vapor do ar saturado à temperatura do ponto de orvalho, kPa;
- P_{vg} = pressão de vapor do ar intergranular à umidade relativa de equilíbrio e à temperatura do grão, kPa;
- t_g = temperatura do ar intergranular (temperatura do grão), °C;
- t_o = temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular, °C;
- T_g = temperatura do ar intergranular, K;
- TU = teor de umidade do grão armazenado, base seca, porcentagem;
- UR_e = umidade relativa de equilíbrio, decimal;
- exp = "e" elevado a ... (e = 2,718281828).

QUADRO 2. Valores das constantes para a equação de Henderson modificada 1 (AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, 1983).

Grão	Constantes		
	C	K	N
Arroz	51,161	$1,9187 \times 10^{-5}$	2,4451
Feijão	254,230	$2,0899 \times 10^{-5}$	1,8812
Milho	49,810	$8,6541 \times 10^{-5}$	1,8634
Soja	134,136	$30,5327 \times 10^{-5}$	1,2164
Sorgo	113,725	$0,8532 \times 10^{-5}$	2,4757
Trigo	64,346	$1,2299 \times 10^{-5}$	2,5558

$$A = - 27405,526$$

$$B = 97,5413$$

$$C = -0,146244$$

$$D = 1,2558 \times 10^{-4}$$

$$E = -4,8502 \times 10^{-8}$$

$$F = 4,34903$$

$$G = 3,9381 \times 10^{-3}$$

$$R = 22105649,25.$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no critério de realização da aeração, quando a temperatura de bulbo seco do ar ambiente é igual ou inferior à do ar intergranular (considerada igual à temperatura do grão), foram obtidos, por simulação, os resultados contidos nos Quadros 3, 4, 5, 6 e 7 e Figs. 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Na adoção desse critério é considerada a ajustagem contínua dos sensores de temperatura para o ar ambiente e para o grão. A observação dos valores constantes no Quadro 3 para a diferença entre a temperatura de bulbo seco do ar intergranular e a respectiva temperatura do ponto de orvalho afasta a possibilidade de reumedecimento do produto, podendo a aeração ser realizada mesmo durante períodos chuvosos ou nas primeiras horas da manhã, quando as temperaturas mais baixas elevam a umidade relativa do ar ambiente próximo à saturação.

Sendo a temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular igual à temperatura de bulbo seco máxima admissível durante todo o processo de aeração, a operação do ventilador será intermitente, ocorrendo decréscimo paulatino do número de horas diárias disposto, à medida que ocorre o arrefecimento da temperatura do grão.

Os dados contidos no Quadro 3 foram obtidos observando os teores de umidade adequados ao armazenamento seguro durante um ano, recomendados por OLIVEIRA *et alii* (1974).

QUADRO 3. Diferença entre a temperatura de bulbo seco do ar intergranular (temperatura do grão) e a respectiva temperatura do ponto de orvalho (temperatura de bulbo seco máxima do ar ambiente).

Temperatura do grão, °C	Arroz	Soja	Milho	Trigo	Feijão	Sorgo
40	4,2	6,0	6,6	7,7	10,2	10,2
39	4,2	6,0	6,6	7,8	10,2	10,2
38	4,3	6,0	6,7	7,8	10,2	10,2
37	4,3	6,0	6,8	7,9	10,1	10,2
36	4,4	6,1	6,8	7,9	10,1	10,2
35	4,4	6,1	6,9	8,0	10,1	10,1
34	4,5	6,1	6,9	8,0	10,0	10,1
33	4,5	6,1	7,0	8,1	10,0	10,1
32	4,6	6,1	7,0	8,1	10,0	10,1
31	4,6	6,1	7,1	8,2	9,9	10,1
30	4,7	6,1	7,2	8,2	9,9	10,1
29	4,8	6,1	7,2	8,3	9,8	10,1
28	4,8	6,1	7,3	8,3	9,8	10,1
27	4,9	6,1	7,4	8,4	9,8	10,1
26	4,9	6,1	7,4	8,4	9,7	10,1
25	5,0	6,1	7,5	8,5	9,7	10,1
24	5,1	6,1	7,6	8,5	9,7	10,1
23	5,1	6,1	7,6	8,6	9,6	10,1
22	5,2	6,1	7,7	8,7	9,6	10,1
21	5,3	6,1	7,8	8,7	9,6	10,1
20	5,3	6,1	7,8	8,8	9,5	10,1
19	5,4	6,2	7,9	8,8	9,5	10,1
18	5,5	6,2	8,0	8,9	9,4	10,1
17	5,5	6,2	8,1	9,0	9,4	10,1
16	5,6	6,2	8,1	9,0	9,4	10,1
15	5,7	6,2	8,2	9,1	9,3	10,1
14	5,7	6,2	8,3	9,2	9,3	10,1
13	5,8	6,2	8,4	9,2	9,3	10,1
12	5,9	6,2	8,4	9,3	9,2	10,1
11	6,0	6,2	8,5	9,4	9,2	10,1
10	6,1	6,2	8,6	9,4	9,2	10,1
09	6,1	6,2	8,7	9,5	9,1	10,1

QUADRO 4. Temperaturas de bulbo seco do ar intergranular correspondentes às temperaturas do ponto de orvalho (tomadas como as temperaturas de bulbo seco máximas do ar ambiente) empregadas na simulação.

Temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular ^b (°C)	Temperatura de bulbo seco do ar intergranular, ^a °C					
	Songo	Feijão	Trigo	Milho	Soja	Arroz
25	35,1 (10,1) ^c	35,1 (10,1)	33,1 (8,1)	32,0 (7,0)	31,6 (6,1)	29,7 (4,7)
23	33,1 (10,1)	33,0 (10,0)	31,2 (8,2)	30,2 (7,2)	29,1 (6,1)	27,8 (4,8)
21	31,1 (10,1)	30,9 (9,9)	29,3 (8,3)	28,3 (7,3)	27,1 (6,1)	25,9 (4,9)
19	29,1 (10,1)	28,8 (9,8)	27,4 (8,4)	26,4 (7,4)	25,1 (6,1)	24,1 (5,1)
17	27,1 (10,1)	26,8 (9,8)	25,5 (8,5)	24,5 (7,5)	23,1 (6,1)	22,2 (5,2)
15	25,1 (10,1)	24,7 (9,7)	23,6 (8,6)	22,6 (7,6)	21,1 (6,1)	20,3 (5,3)
13	23,1 (10,1)	22,6 (9,6)	21,7 (8,7)	20,8 (7,8)	19,2 (6,2)	18,4 (5,4)

a A temperatura do grão é considerada igual à temperatura do ar intergranular.

b A temperatura de bulbo seco máxima do ar ambiente é igual à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular.

c Diferença entre a temperatura do grão e a máxima admissível do ar ambiente.

QUADRO 5. Totais anuais e médias mensais das horas correspondentes aos períodos diários em que a temperatura de bulbo seco do ar ambiente é, no máximo, igual à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular.

Temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular (°C).	Período analisado									
	1971	1972	1973	1974*	1975	1977	1978	1979	1980	1981
25	7754	7866	7429	7151	7187	7299	7586	7812	7904	7813
	645,2	655,5	619,1	595,9	598,9	608,3	632,2	651,0	658,7	636,9
23	6993	6851	6360	6494	6320	6279 ^a	6794	7020	6969	6813
	582,8	570,9	530,0	541,2	526,7	523,3	566,2	585,0	580,8	567,8
21	5919	5630	4918 ^a	5497	5045	5034	5799	5945	5905	5836
	493,3	469,2	409,8	548,1	420,4	419,5	483,3	495,4	492,1	486,3
19	4427	3882	3493	4334	3432 ^a	3492	4601	4630	4422	4220
	368,9	324,3	291,1	361,2	286,0	291,0	383,4	385,8	368,5	351,7
17	3046	2222	2342	2971	2199	2127 ^a	3128	3241	2862	2734
	253,8	185,2	195,2	247,6	183,3	177,3	260,7	270,1	238,5	227,8
15	1735	982	1581	1621	1048	940 ^a	1932	2017	1772	1694
	144,6	81,8	131,8	135,1	87,3	78,3	161,0	168,1	147,7	141,2
13	660	345	819	711	455	328 ^a	832	1643	969	934
	55,0	28,8	68,3	59,3	37,9	27,3	69,3	136,9	80,8	77,8

* Não foi analisado o período de 11 a 21 de janeiro.

^a Totais mínimos anuais das horas cuja temperatura de bulbo seco do ar ambiente é inferior à temperatura do ar intergranular.

QUADRO 6. Totais mensais e respectivas médias diárias das horas correspondentes aos períodos diários do ano de 1977, em que a temperatura de bulbo seco do ar ambiente é, no máximo, igual à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular.

Mês	Temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular, 9C						
	25	23	21	19	17	15	13
Janeiro	551 17,8	444 14,3	289 8,4	42 1,4	0	0	0
Fevereiro	383 13,2	214 7,4	59 2,0	1 0	0	0	0
Março	510 16,5	410 13,2	270 8,7	104 3,4	5 0,2	0	0
Abril	628 22,3	614 20,5	512 17,1	380 12,7	221 7,4	53 1,8	4 0,1
Mai	707 22,8	643 20,7	553 18,2	431 13,9	297 9,6	156 5,0	83 2,7
Junho	714 23,8	678 22,5	633 21,1	538 17,9	408 13,6	213 7,1	55 1,8
Julho	679 21,9	572 18,5	490 15,8	361 11,6	200 6,5	100 3,2	24 0,8
Agosto	622 20,1	565 18,2	464 15,0	355 11,5	268 8,6	165 5,3	86 2,8
Setembro	605 20,2	528 17,6	445 14,8	347 11,6	249 8,3	132 4,4	76 2,5
Outubro	570 18,4	475 15,3	386 12,5	286 9,2	174 5,6	46 1,5	0
Novembro	621 20,7	540 18,0	438 14,6	289 9,6	134 4,5	37 1,2	0
Dezembro	603 21,5	535 19,2	515 16,6	353 11,5	171 5,5	38 1,2	0
Total	7299	6279	5034	3492	2127	940	328

QUADRO 7. Frequência dos meses com número máximo de horas, por ano, cuja temperatura é inferior à do ponto de orvalho do ar intergranular (temperatura de bulbo seco máxima admissível do ar ambiente) durante o período de 10 anos analisado.

Mês	Temperatura de bulbo seco máxima admissível, °C						
	25	23	21	19	17	15	13
Maio	-	-	-	-	1	1	-
Junho	2	5	4	6	6	4	4
Julho	6	5	5	3	2	4	3
Agosto	2	-	-	1	1	1	3
Setembro	-	-	1	-	-	-	-
Total	10	10	10	10	10	10	10

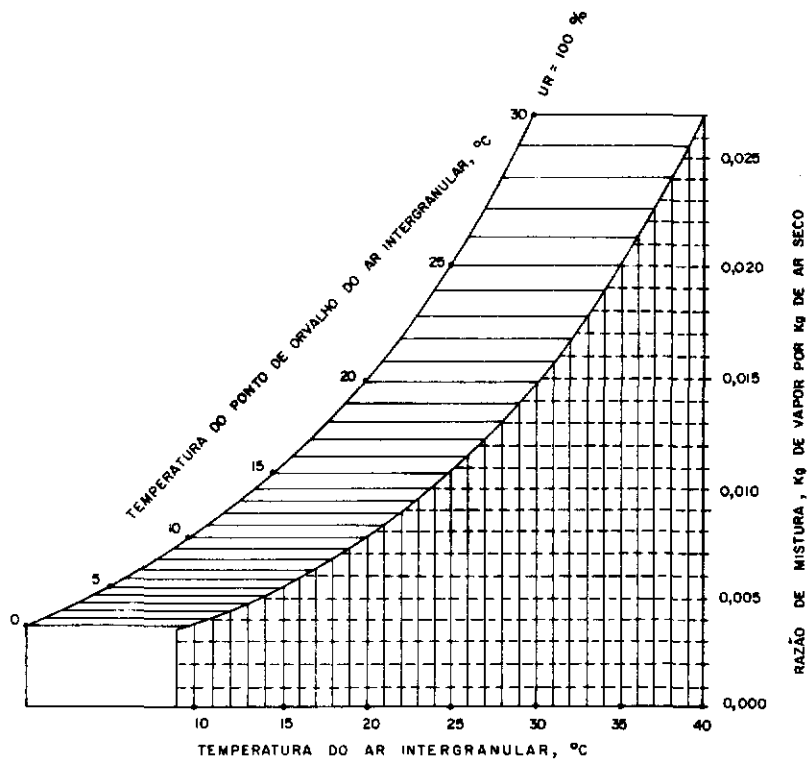


FIGURA 2 - Curva de equilíbrio entre o ar e o sorgo com 12% de umidade, base úmida.

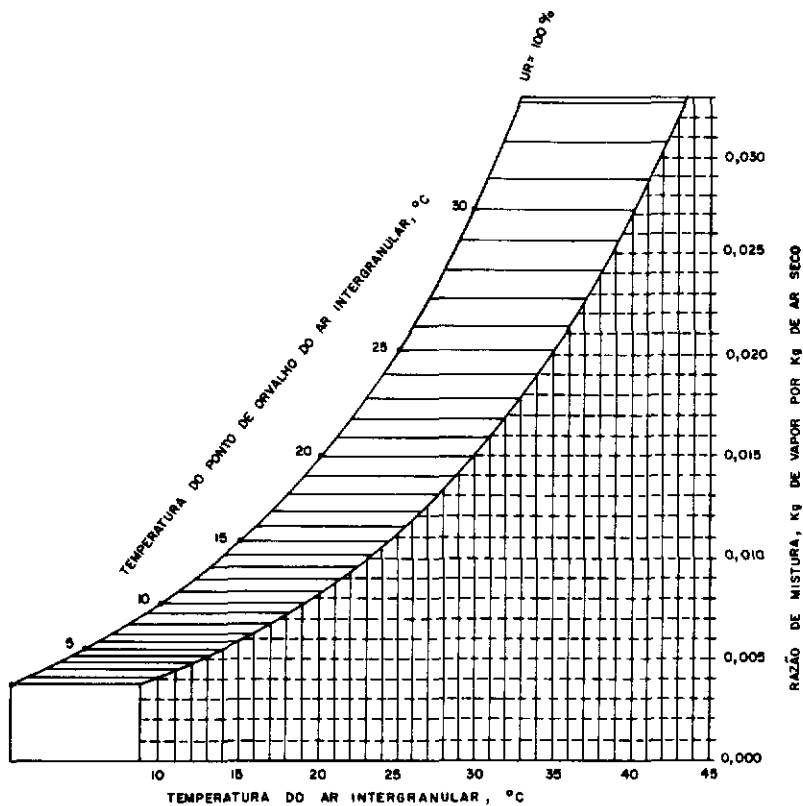


FIGURA 3 - Curva de equilíbrio entre o ar e o feijão com 12% de umidade, base úmida.

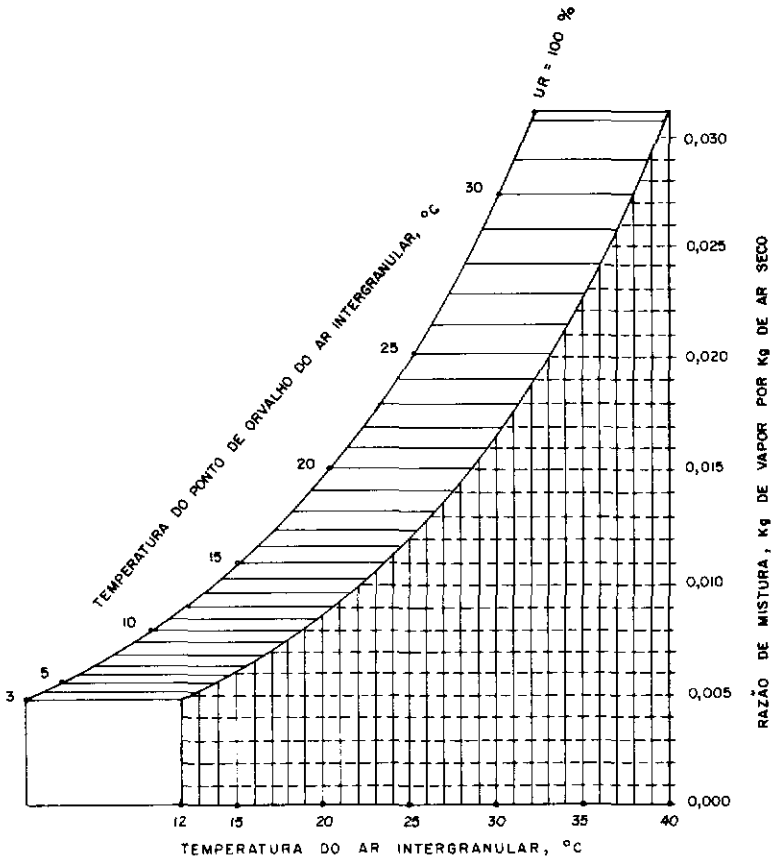


FIGURA 4 - Curva de equilíbrio entre o ar e o trigo com 13% de umidade, base úmida

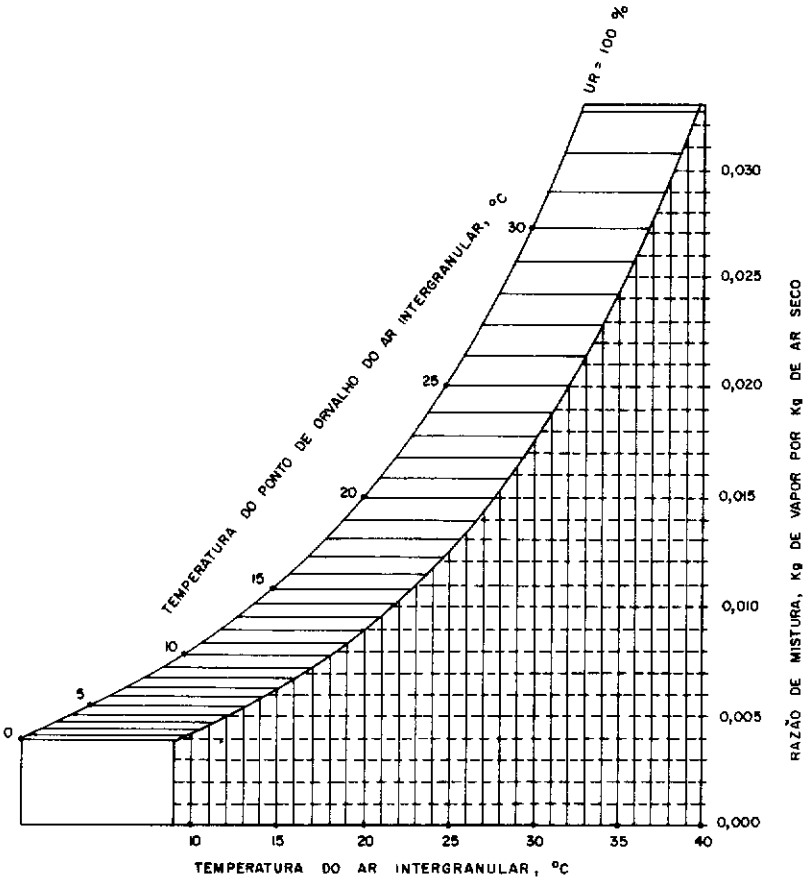


FIGURA 5 - Curva de equilíbrio entre o ar e o milho com 13% de umidade, base úmida.

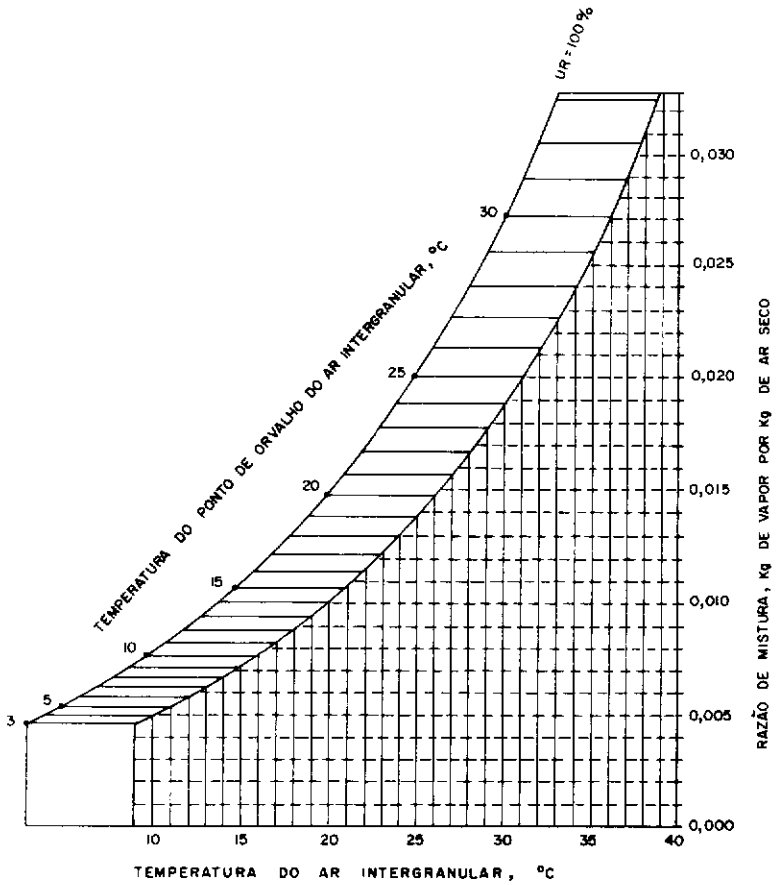


FIGURA 6 - Curva de equilíbrio entre o ar e a soja com 12% de umidade, base úmida.

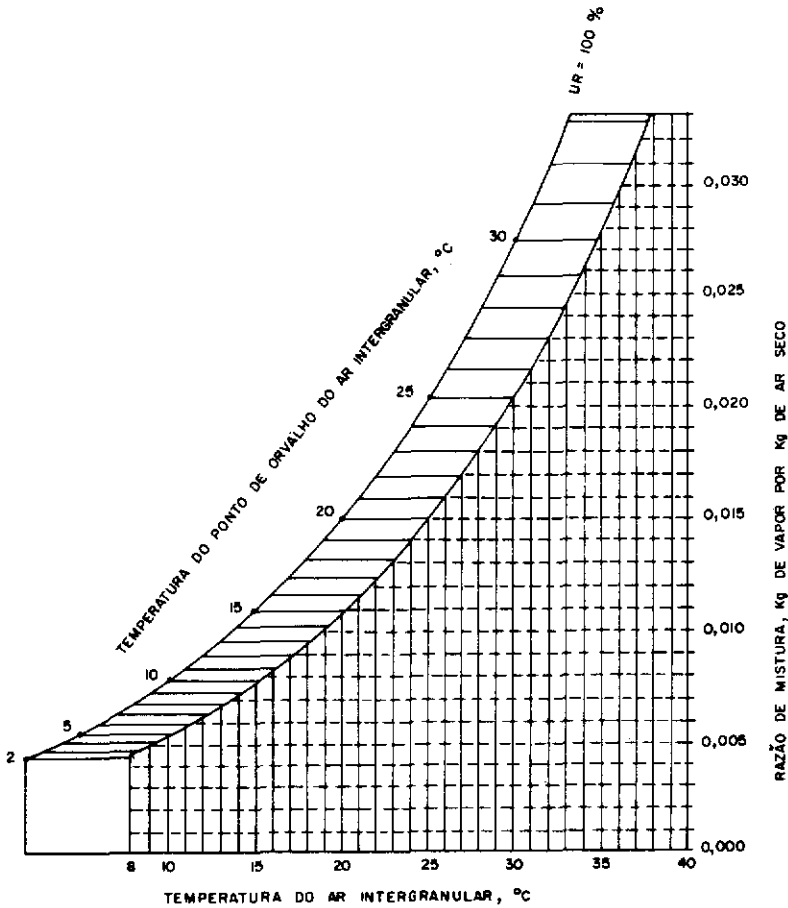


FIGURA 7 - Curva de equilíbrio entre o ar e o arroz com 14 % de umidade, base úmida.

Aos teores de umidade analisados e na amplitude de temperatura do grão de 9 a 40°C, é possível a realização da aeração independentemente das condições higrométricas do ar ambiente, quando a diferença entre a temperatura do grão e a do ar for de 4,2 a 6,1°C para o arroz, 6,0 a 6,2°C para a soja, 6,6 a 8,7°C para o milho, que está dentro da amplitude indicada por HOLMAN (1960), 7,7 a 9,5°C para o trigo, 9,1 a 10,2°C para o feijão e 10,1 a 10,2°C para o sorgo. Observa-se que a susceptibilidade ao reumedecimento, quando realizada a aeração sob condições climáticas adversas, cresce, por produto, na seguinte ordem: arroz, soja, milho, trigo, feijão e sorgo. Assim que ocorre o arrefecimento da temperatura do grão, aumenta a amplitude da diferença entre a temperatura do ar intergranular e a respectiva temperatura do ponto de orvalho para o arroz, milho e trigo, diminui para o feijão e permanece praticamente constante para a soja e o sorgo.

Teores de umidade do grão superiores aos analisados (Figs. 2 a 7) aumentam a possibilidade de realização da aeração, já que a diferença entre a temperatura do grão e a do respectivo ponto de orvalho (ou temperatura de bulbo seco do ar ambiente máxima admissível) é menor diminuindo os riscos de condensação nos períodos de umidade relativa alta. Entretanto, CLOUD & MOREY (s. d.), SHOVE (1968) e THOMPSON (1972) sugerem que as vazões específicas devem ser incrementadas para que a aeração completa ocorra dentro do período de armazenamento seguro. Naturalmente ocorrerá aumento na taxa de secagem do grão, geralmente desejável, quando o produto contém umidade acima do teor recomendado ao armazenamento seguro pelas normas comerciais.

Na simulação foram computadas as horas dos períodos diários favoráveis à aeração durante os anos de 1971 a 1975 e de 1977 a 1981 (Quadro 5). Baseando-se no critério da diferença de temperatura entre o ar e o grão para a operação do sistema de ventilação (Quadro 3), as temperaturas de bulbo seco máximas do ar ambiente de crescem durante o processo de aeração, à medida que ocorre o arrefecimento da temperatura do grão. Na simulação foram considerados somente os períodos com temperaturas de bulbo seco máximas de 25°C, 23°C, 21°C, 19°C, 17°C, 15°C e 13°C (Quadro 4).

Constatou-se (quadro 5) que o ano de 1977 foi o que apresentou as condições mais desfavoráveis à aeração com o objetivo de arrefecimento da temperatura do grão, com número de horas disponíveis à operação do ventilador de 2127, 940 e 328 para as temperaturas de bulbo seco máximas admissíveis do ar ambiente de 17°C, 15°C e 13°C, respectivamente.

Nas condições analisadas, foi possível simular a operação do ventilador durante todo o ano de 1977 para as temperaturas de

bulbo seco máximas admissíveis do ar ambiente de 19°C, 21°C, 23°C e 25°C (Quadro 6), com restrição ao mês de fevereiro para a temperatura de bulbo seco de 19°C. Observa-se que, operando o sistema de ventilação a temperatura de bulbo seco do ar ambiente igual ou inferior a 19°C, não é possível arrefecer a temperatura do grão aquém de 29,1°C, para o sorgo, 28,8°C, para o feijão, 27,4°C, para o trigo, 26,4°C, para o milho, 25,1°C, para a soja, e 24,1°C, para o arroz (Quadro 4). Para as temperaturas de bulbo seco máximas admissíveis do ar ambiente de 13°C, 15°C e 17°C, com a manutenção das diferenças de temperatura previstas entre o ar e o grão é impossível a operação do ventilador nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro do ano de 1977, com a ressalva de maior possibilidade de arrefecimento da temperatura do grão nos três últimos. Realizando a aeração, quando a temperatura de bulbo seco máxima admissível do ar ambiente for de 13°C, de acordo com o critério proposto as temperaturas mínimas do grão não serão inferiores a 23,1°C, para o sorgo, 22,6°C, para o feijão, 21,7°C, para o trigo, 20,8°C, para o milho, 19,2°C, para a soja, e 18,4°C, para o arroz. Os resultados correlatos aos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro indicam ser esse período o mais favorável à realização da aeração para equalização e arrefecimento da temperatura no município de Botucatu, quando observado o critério da diferença de temperatura entre o ar e o grão.

No período de 10 anos analisado, a frequência dos meses com número máximo de horas, por ano, cuja temperatura é inferior às de bulbo seco máximas empregadas na simulação (Quadro 7), indica os meses de junho e julho como sendo os mais favoráveis à realização da aeração no município de Botucatu.

CONCLUSÕES

Nas condições analisadas, o estudo da possibilidade de realização da aeração com ar natural, em Botucatu, permitiu chegar às seguintes conclusões:

- 1) na aeração a susceptibilidade do grão ao reumedecimento cresce na seguinte ordem: arroz, soja, milho, trigo, feijão e sorgo;
- 2) na amplitude de temperatura do grão entre 9 e 40°C, é possível a realização da aeração, independentemente das condições higrométricas, quando a temperatura do grão for superior em relação à de bulbo seco de 4,2 a 6,1°C para o arroz, 6,0 a 6,2°C para a soja, 6,6 a 8,7°C para o milho, 7,7 a 9,5°C para o trigo, 9,1 a 10,2°C para o feijão e 10,1 a 10,2°C para o sorgo;

3) de acordo com o critério da diferença de temperatura entre o ar e o grão, em Botucatu é possível a realização da aeração seletiva durante o ano todo (com restrição ao mês de fevereiro), quando a temperatura de bulbo seco máxima admitida para o ar for superior a 19°C e durante os meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro quando as temperaturas de bulbo seco máximas estiverem entre 13 e 19°C, sendo os meses de junho e julho os mais favoráveis.

LITERATURA CITADA

- AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK. 30. ed. Saint Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1983. 853 p.
- BURREL, N. J. Aeration systems. London Road, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 1973. 45 p.
- CALDERWOOD, D. L. Use of aeration to aid rice drying. Trans. ASAE, 9(6): 893-95, 1966.
- CHAU, K. V. Some new empirical equations for properties of moist air. Trans. ASAE, 23(5): 1266-71, 1980.
- CLOUD, H. A. & MOREY, R. V. Management of stored grain with aeration. Saint Paul, University of Minnesota, s. d., 8 p.
- DE BEER, A. G. Drying and storing agricultural products on the farm. Farm. S. Africa, 29-68, 1972.
- FERREIRA, W. A. Controle de temperatura em sistemas aerados e não aerados de armazenamento de grãos. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1979. 128 p. Tese Livre Docência.
- FERREIRA, W. A.; MUIR, W. E.; FRASER, B. M. Aeration of corn in Brazil. Winnipeg, University of Manitoba, 1979. 9 p.
- FRIESEN, O. H. & HARMS, H. P. Movement of natural air through grain. Winnipeg, Ministry of Agriculture, Agdex 732-1, 1980. 20 p.
- HALDERSON, J. L. & SANDVOL, L. E. Maintaining stored grain quality. Aberdeen, University of Idaho, Current Information Series nº 518, 1980. 5 p.

- HOLMAN, L. E. Aeration of grain in commercial storages. United States Department of Agriculture, Marketing Research Report nº 178, 1960, 46 p.
- KLINE, G. L. & CONVERSE, H. H. Operating grain aeration systems in the hard winter wheat area. United States Department of Agriculture, 1961, 22 p.
- LASSERAN, J. C. Aeração de grãos. Viçosa, CENTREINAR, 1981. 131 p.
- MCCUNE, W. E.; PERSON Jr., N. K.; SORENSON Jr., J. W. Conditioned air storage of grain. Trans. ASAE, 6(3): 186-89. 1963.
- METZGER, J. F. Aeration of stored wheat in the Canadian Prairies. Winnipeg, Universidade de Manitoba, 1980, Tese de Mestrado.
- NAVARRO, S. Aeration of grain in subtropical climates. Bet-dagan (Israel), Agricultural Research Organization, 1981. 124 p.
- OLIVEIRA, L. C. H. de; MERCH, R. V.; LENZ, J. M. da R.; LIMA FILHO, P. R.; SOARES, F. N. Grãos; beneficiamento e armazenamento. Porto Alegre, Sulina, 1974. 148 p.
- PERSON Jr., N. K.; SORENSON Jr., J. W.; MCCUNE, W. E. Thermodynamic considerations in designing controlled storage environment for bulk grain. Trans. ASAE, 9(4): 520-23, 1966.
- PUZZI, D. Conservação dos grãos armazenados. São Paulo, Agronômica Ceres, 1977.
- SARTORI, M. R.; d'AMICO, C. R.; COSTA, S. I. da; LEITÃO, M. F. F.; JORDÃO, B. A.; ORTOLANI, D. B. Preservação de soja armazenada a granel, mediante emprego de aeração mecânica para melhoria das condições de armazenamento. Bol. Inst. Technol. Alimento, 47: 75-110, 1976.
- SHOVE, G. C. Aerating stored dry grain. Urbaná, University of Illinois, circular 984, 1968, 11 p.
- SINHA, R. N.; MILLS, J. T.; WALLACE, W. E.; MUIR, W. E. Quality assessment of rapeseed stored in ventilated and non-ventilated farm bins. Sci. Alimento, 2: 247-63, 1981.
- THOMPSON, T. L. Temporary storage of high moisture shelled corn using continuous aeration. Trans. ASAE, 15(2): 333-37, 1972