

IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO PARA O CONTROLE AUTOMÁTICO DO PROCESSO DE AERAÇÃO DE GRÃOS DE MILHO¹

Vicente A. Gonçalves,² Widsney A. Ferreira,³
Marco Antônio M. Biaggione³ e Heloísa T. Faleiro Ramos²

ABSTRACT

An Algorithm for Corn Aeration Automatic Control

A computer simulation model which predicts conditions of stored corn with aeration and no aeration in a metallic bin, with a fully perforated ventilation floor, was developed. Historical weather records from 1977 were selected to simulate corn aeration, under weather conditions of Botucatu-SP. Under all procedures simulated, the grain moisture content reduction was less than one percentage point, there was no difference in final mean grain temperature and the average proportion of allowable storage time elapsed was moderate, depriving them as comparative parameters. Then the number of hours of fan operation was the prevalent parameter on formulation of control algorithm, based on criterion of fan operation permitted only when the dry bulb temperature of the ambient air is less than the maximum admissible dry bulb temperature previously determined by software.

KEY WORDS: Aeration, algorithm, process control.

RESUMO

Através de modelos matemáticos empíricos foi possível simular em computador o processo de aeração de grãos de milho, armazenado em silo metálico de piso perfurado. Foi simulado o critério sugerido da operação do ventilador, controlada pela amplitude existente entre a temperatura de bulbo seco máxima admissível, determinada pelo modelo de simulação ou experimentalmente, e a temperatura atual do grão, possibilitando a obtenção de informações para a formulação de um algoritmo para o controle automático através de *software*. O número de horas disponíveis para a operação do sistema de ventilação foi o parâmetro preponderante na definição da temperatura de controle do sistema de ventilação. Todos os procedimentos adotados durante o processo de simulação causaram redução do teor de umidade inferior a um ponto

1 - Entregue para publicação em fevereiro de 1996.

2 - Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. C.P. 131, CEP 74.001.970. Goiânia, Goiás.

3 - Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP - Botucatu-SP.

percentual, arrefecimento não muito diferenciado da temperatura do grão e deterioração moderada, descaracterizando-os como parâmetros de comparação.

PALAVRAS-CHAVE: Aeração, algoritmo, controle do processo.

INTRODUÇÃO

Aeração é a ventilação do grão armazenado a vazões específicas baixas com o objetivo principal de manter a qualidade do produto, não devendo ser confundida com a secagem com ar natural. A passagem de pequenos volumes de ar através da massa de grãos, com teor de umidade recomendado no armazenamento seguro, reduz os gradientes de temperatura, podendo também arrefecê-la, evitando-se a migração da umidade, causa da rápida deterioração (Cloud & Morey 1979, Shove 1968, Friesen & Harms 1980, Halderson & Sandvol 1980, Metzger 1980, Lasseran 1981, Navarro 1981, Sinha *et al.* 1981). De acordo com Navarro (1981), a velocidade de deterioração pode ser reduzida pela metade com o decréscimo de cerca de 10°C na temperatura do grão com o emprego bem planejado da aeração intermitente nos períodos diários em que as temperaturas são mais amenas.

Lasseran (1981) sugere que a aeração de grãos armazenados (12 a 14% de umidade, 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).

Holman (1960) recomenda que, para a equalização da temperatura do milho armazenado, a aeração deve ser realizada sempre que a temperatura do ar for de 5 a 8°C inferior à da porção mais quente do grão. Diversos pesquisadores são unânimes na adoção do critério da diferença de temperatura entre o ar e o grão, especialmente nas estações do ano e locais onde ocorrem diferenças acentuadas entre as temperaturas diurnas e noturnas (Kline & Converse 1961, Shove 1968, de Beer 1972, Burrell 1973, Sartori *et al.* 1976, Friesen & Harms 1980, Metzger 1980, Navarro 1981).

Metzger (1980) relata que o controle por diferença de temperatura é o que oferece maior dificuldade de instalação e operação, já que, através desse procedimento, tenta-se monitorar as contínuas mudanças que ocorrem na massa de grãos armazenada, decorrentes das oscilações diárias e estacionais da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa do ar ambiente insuflado. Esse método de controle representa o nível ótimo do controle manual, caso seja realizada a monitoração contínua das mudanças da temperatura do grão diante das oscilações constantes das propriedades psicrométricas do ar ambiente. Tal procedimento é impraticável pelo método tradicional de controle, empregando o termostato e a termometria convencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação do processo de aeração foi realizada em microcomputador de 36 MHz, que satisfizesse plenamente os requisitos de velocidade requeridos pelo programa, cujas formas executáveis e listáveis foram geradas pelo compilador Fortran 77.

Para a seleção do ano, cujos registros climáticos horários foram empregados no processo de simulação, foram computadas todas as horas dos períodos diários favoráveis à aeração durante os anos de 1971 a 1975 e de 1977 a 1981, perfazendo o total de 10 anos, obtidos na estação meteorológica localizada na Faculdade de Ciências Agronômicas, em Botucatu-Estado de São Paulo, a 48° 29' 04" de longitude oeste, 22° 53' 22" de latitude sul e 880 m de altitude. A escolha recaiu sobre 1977, em função de suas condições climáticas terem sido as mais desfavoráveis ao processo de aeração de grãos dentro do período de 10 anos previamente analisado. Foram empregados como parâmetros de entrada, para cada intervalo de tempo seqüencial, os registros climáticos horários de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, brilho solar e velocidade média diária do vento; a reduzida amplitude na oscilação da pressão barométrica induziu à adoção de seu valor médio anual de 93,256 kPa.

Através da simulação do processo de aeração do milho a granel (Tabela 1), armazenado em silo metálico com piso perfurado (Figura 1), foi desenvolvido o algoritmo de controle que permite a implementação de um *software* em linguagem de baixo nível, possível de ser gravado permanentemente em memória Eprom do dispositivo eletrônico controlador do processo de aeração, o microprocessador (Figura 2). Além disso, foi proposta uma segunda alternativa de formulação do algoritmo de controle mais flexível, possibilitando o emprego da equação empírica 1, onde:

$$UR_e = 1 - \exp(-kk \times (tg + kr) \times (TU_f \times 100 / (100 - TU_f))^{kn}) \dots (1);$$

UR_e = umidade relativa de equilíbrio do grão, decimal;

tg = temperatura do grão, °C;

TU_f = teor de umidade do grão no fim do intervalo de tempo dt, base seca, %;

kk = 8,6541 x 10⁻³;

kn = 1,8634;

kr = 49,81;

exp = "e" elevado a ... (e = 2,718281828).

Essa equação reproduz a condição de equilíbrio entre o ar e o grão, no sentido de permitir a composição do *software* em linguagem de alto nível, acessível à memória RAM de um sistema mais complexo que, além de controlar a operação do ventilador, possibilite também a obtenção de dados correlatos às condições atuais do produto armazenado e do processo de aeração em curso, permitindo a visualização mediante um monitor de vídeo e a gravação em memória auxiliar para posterior consulta e/ou análise (Figura 3).

Tabela 1. Diferença DIFDT entre a temperatura média do ar intergranular na camada superior do milho armazenado e a respectiva temperatura do ponto de orvalho, para o teor de umidade igual a 13%, base úmida.

Intervalo de temperatura do grão, °C	DIFDT(°C)	Intervalo de temperatura do grão, °C	DIFDT (°C)	Intervalo de temperatura do grão, °C	DIFDT (°C)
3,0-3,2	9,3	23,9-25,3	7,5	56,3-58,3	5,7
3,3-4,2	9,2	25,4-26,9	7,4	58,4-60,5	6,6
4,3-5,2	9,1	27,0-28,5	7,3	60,6-62,7	5,5
5,3-6,2	9,0	28,6-30,1	7,2	62,8-64,9	5,4
6,3-7,3	8,9	30,2-31,7	7,1	65,0-67,2	5,3
7,4-8,3	8,8	31,8-33,4	7,0	67,3-69,5	5,2
8,4-9,5	8,7	33,5-35,1	6,9	69,6-71,9	5,1
9,6-10,6	8,6	35,2-36,9	6,8	72,0-74,3	5,0
10,7-11,8	8,5	37,0-38,6	6,7	74,4-76,7	4,9
11,9-13,0	8,4	38,7-40,5	6,6	76,8-79,3	4,8
13,1-14,3	8,3	40,6-42,3	6,5	79,4-81,8	4,7
14,4-15,5	8,2	42,4-44,2	6,4	81,9-84,5	4,6
15,6-16,8	8,1	44,3-46,1	6,3	84,6-87,2	4,5
16,9-18,2	8,0	46,2-48,1	6,2	87,3-90,0	4,4
18,3-19,5	7,9	48,2-50,0	6,1	90,1-92,9	4,3
19,6-20,9	7,8	50,1-52,1	6,0	93,0-95,9	4,2
21,0-22,4	7,7	52,2-54,1	5,9	96,0-99,0	4,1
22,5-23,8	7,6	54,2-56,2	5,8	9,1-100,0	4,0

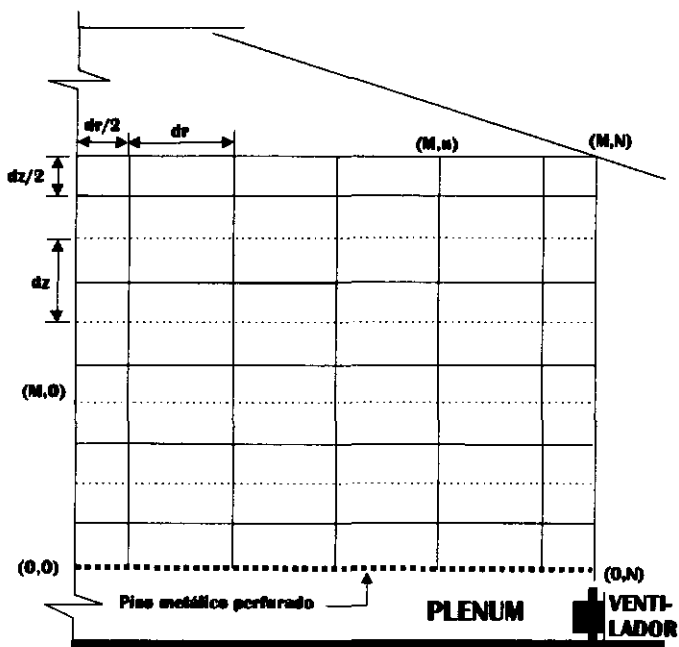


Figura 1. Silo cilíndrico dividido em M (elementos verticais) e N+1 (elementos radiais), para a simulação da condução; e 2M (camadas verticais) e N+1 (colunas), para a simulação da convecção forçada.

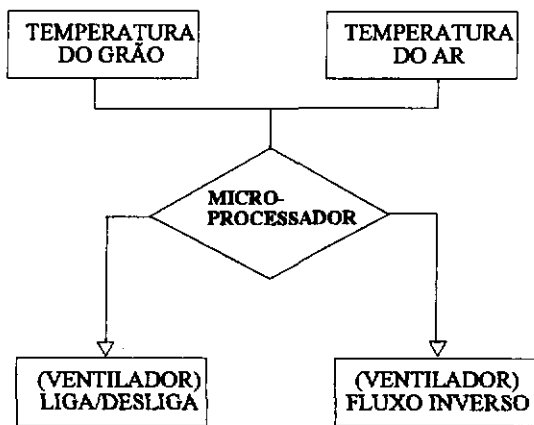


Figura 2. Diagrama de blocos do sistema de automação do processo de aeração de grãos.

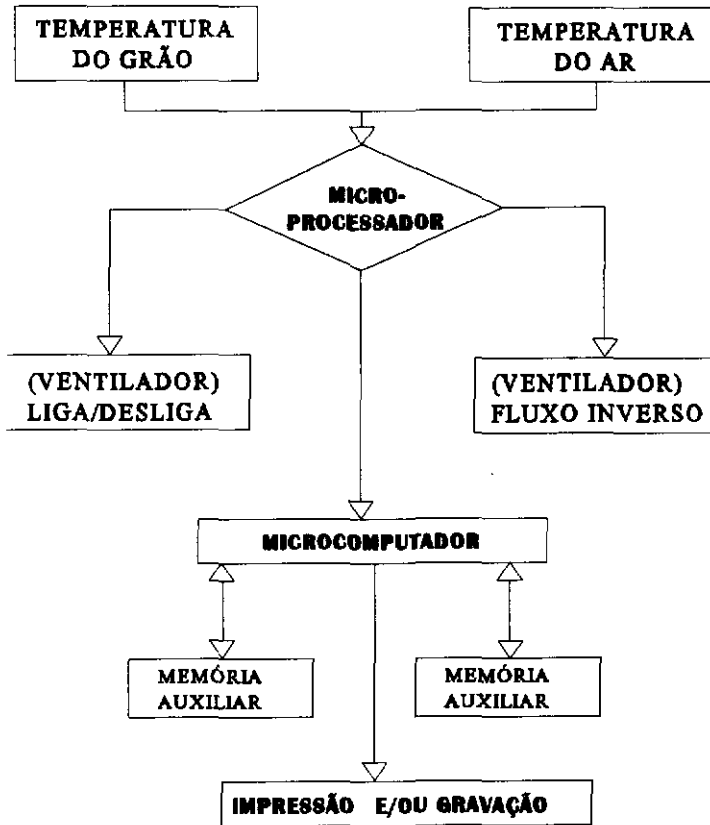


Figura 3. Diagrama de blocos do sistema de automação e registro de dados do processo de aeração de grãos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fundamentado nos resultados apresentados, mediante a simulação dos controles do sistema de ventilação, chegou-se ao consenso de que o controle automático, que pode ser plenamente viabilizado pelo emprego de um microprocessador e respectivos dispositivos eletrônicos periféricos, é o que apresenta maior eficiência operacional do sistema de ventilação, permitindo a ajustagem progressiva da temperatura de controle através de *software*.

A Figura 2 ilustra a configuração mais simplificada do sistema de controle delineado, que deverá ser programado em linguagem de baixo nível, permitindo a maximização do aproveitamento do potencial de processamento do microprocessador nas aplicações dedicadas.

A formulação do algoritmo de controle, esquematizado no Diagrama Nassi-Shneiderman (Figura 4), somente foi possível devido à adoção do critério de operação do sistema de ventilação, quando a temperatura de bulbo seco do ar ambiente for igual ou inferior à temperatura máxima admissível (TMAX), igual à temperatura do ponto de orvalho mais o fator de correção DTMAX, obtido por simulação nas condições climáticas locais ou experimentalmente pelo acionamento do sistema de ventilação.

No caso da inversão do fluxo de ar, ou seja, mudança da insuflação para a sucção, o componente correlato será incorporado ao *software* após certo tempo de experiência com o sistema de controle, porque o programa de simulação da aeração de grãos de milho não detecta o reumedecimento localizado junto à entrada de ar no interior do silo metálico.

Para o caso de um sistema mais complexo dotado de teclado e terminal de vídeo (Figura 3) que, além da função de controle, possibilite o registro de dados em memória auxiliar, a montagem do *software* pode ser implementada em linguagem de alto nível, cujo algoritmo básico de controle passaria a ser o do diagrama N-S da Figura 5.

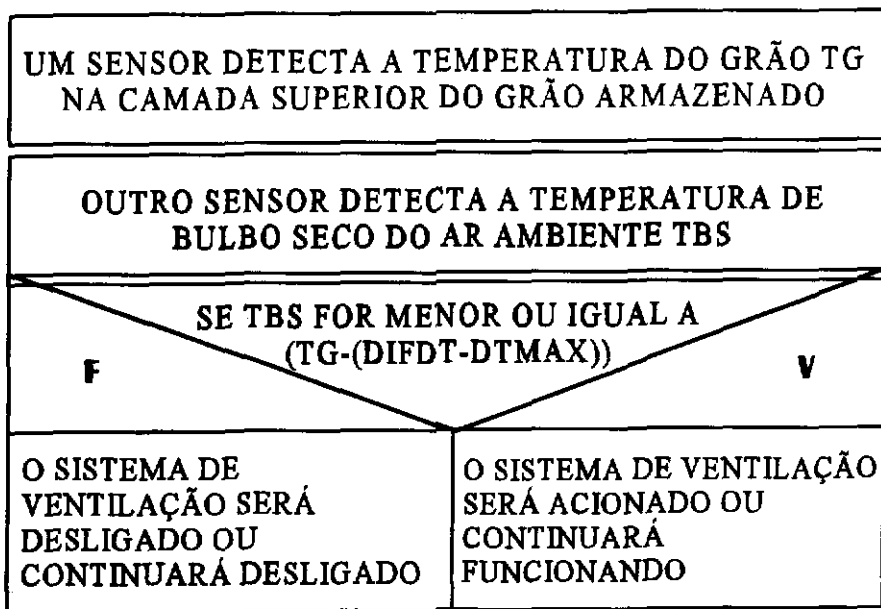


Figura 4. Diagrama de Nassi-Shneiderman representando o algoritmo para a configuração mais simples do sistema de controle ilustrado na Figura 2.

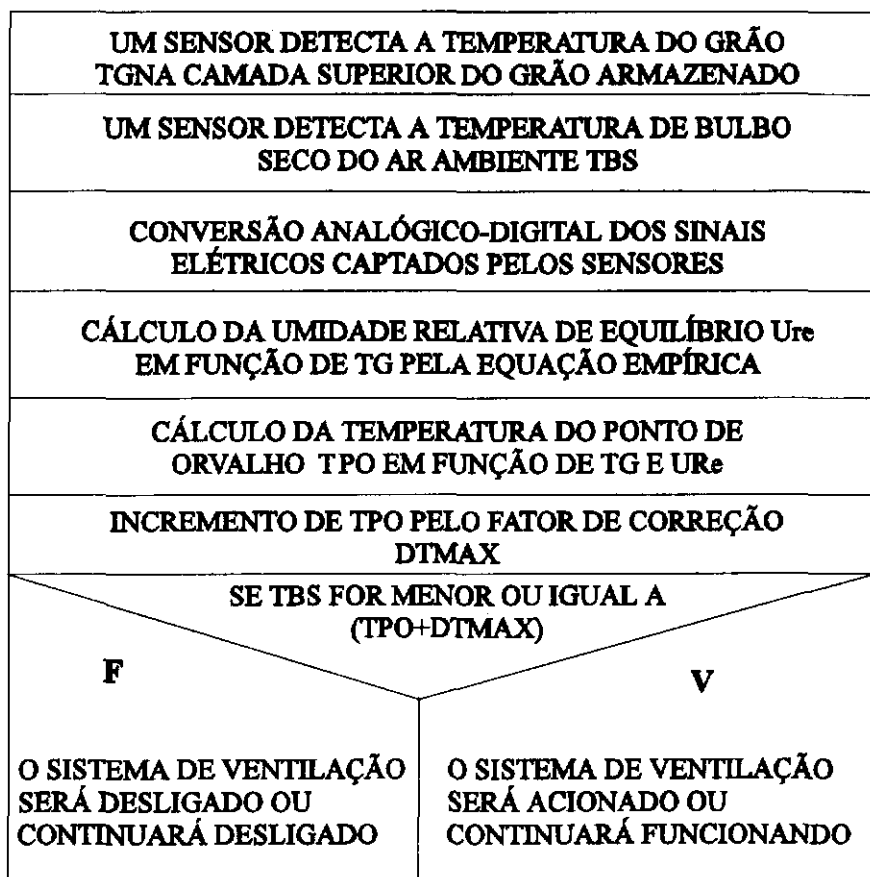


Figura 5. Diagrama de Nassi-Shneiderman representando o algoritmo para a configuração mais complexa do sistema de controle, ilustrado na Figura 3.

CONCLUSÕES

A verificação e a análise dos resultados, oriundos da simulação da aeração do milho, com teor de umidade inicial de 13%, base úmida, armazenado em silo metálico de piso perfurado, permitiram chegar às seguintes conclusões:

a) O número de horas disponíveis à operação do ventilador, nas condições climáticas específicas em que foi realizada a simulação, foi o parâmetro preponderante na definição da temperatura de controle do sistema de ventilação. Todos os procedimentos de controle simulados causaram redução do teor de umidade inferior a um ponto percentual e arrefecimento não

muito diferenciado da temperatura do grão, descaracterizando-os como parâmetros de comparação.

b) O processo seletivo de aeração de grãos de milho, realizado nos períodos cujas temperaturas de bulbo seco do ar ambiente são iguais ou inferiores à temperatura do ponto de orvalho do ar intergranular – considerada como temperatura de controle máxima admissível TMAX e recalculada ininterruptamente por *software* –, elimina a eficiência do processo, ainda que se atinjam os níveis desejáveis de redução da temperatura do grão. A anomalia foi corrigida pela adoção do fator de correção DTMAX igual a 4 ou 5°C, adicionado à temperatura do ponto de orvalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burrel, N. J.** 1973. Aeration systems. London Road: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 45p.
- Cloud, H. A., & R. V. Morey.** 1979. Management of stored grain with aeration. St. Paul. University of Minesota. 8p.
- De BeeR, A. G.** 1972. Drying and storing agriculture products on the farm. Farming in South Africa, [s.l.], p. 29-68.
- Friesen, O. H. & H. P. Harms.** 1980. Movement of natural air through grain. Winnipeg: Ministry of Agriculture, Agdex 732-1. 20p.
- Halderson, J. L. & L. E. Sandvol.** 1980. Maintaining stored grain quality. Aberdeen: University of Idaho, Current Information Series n. 518. 5p.
- Holman, L. E.** 1960. Aeration of grain in commercial storages. Washington D. C.: Agricultural Marketing Service (United States Department of Agriculture), Marketing Research Report. n. 178. 46p.
- Kline, G. L. & H. H. Converse.** 1961. Operating grain aeration systems in the hard winter area. Washington (D. C.): Agricultural Marketing Service (United States Department of Agriculture). 22p.
- Lasseran, J. C.** 1981. Aeração de grãos. Viçosa, MG, Centreinar. 131p.
- Metzger, J. F.** 1980. Aeration of stored wheat in the Canadian Prairies. Winnipeg. Dissertação de Mestrado - Universidade de Manitoba.
- Navarro, S.** 1981. Aeration of grain in subtropical climates. Bet-Dagan (Israel): Agricultural Research Organization. 124p.
- Lani, D. B.** 1976. Preservação de soja armazenada a granel, mediante emprego de aeração mecânica para melhoria das condições de armazenamento. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP, 47:75-110.
- Shove, G. C.** 1968. Acrating stored dry grain. Urbana: Circular 984. 11p.
- Sinha, R. N., J. T. Mills, H. A. H. Wallace & W. E. Muir.** 1981. Quality assessment of rape seed stored in ventilated and non-ventilated farm bins. Sciences des Aliments, Winnipeg (Manitoba), 1(2):247-63.