

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESEMPENHO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE
AERAÇÃO DE MILHO ARMAZENADO**

VÂNIA ROSAL GUIMARÃES NASCIMENTO

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

DESEMPENHO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE AERAÇÃO DE MILHO ARMAZENADO

Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, na área de concentração
Tecnologia Pós-Colheita.

VÂNIA ROSAL GUIMARÃES NASCIMENTO

Engenheira Agrícola

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marlene Rita de Queiroz

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

N17d Nascimento, Vânia Rosal Guimarães
Desempenho de diferentes estratégias de aeração de
milho armazenado / Vânia Rosal Guimarães Nascimento.
--Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Marlene Rita de Queiroz.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Milho - Armazenagem. 2. Cereais - Conservação.
3. Temperatura. 4. Umidade. 5. Aeração de grãos. I.
Queiroz, Marlene Rita. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.
Título.

Título em Inglês: Performance of different aeration strategies for stored corn

Palavras-chave em Inglês: Corn storage, Cereal - Conservation, Temperature,
Humidity, Grain aeration

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Luís Otávio Nunes da Silva, Benedito Carlos Benedetti

Data da defesa: 23/02/2010

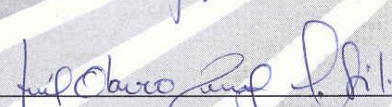
Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Vânia Rosal Guimarães Nascimento**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de fevereiro de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI



Prof. Dr.ª Marlene Rita de Queiroz – Presidente e Orientadora
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Luís Otávio Nunes da Silva – Membro Titular
UFRRJ



Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti - Membro Titular
Feagri/Unicamp
Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp

*“Dê-me, Senhor, agudeza para entender,
capacidade para reter, método e faculdade para
aprender, sutileza para interpretar, graça e
abundância para falar. Dê-me, Senhor, acerto ao
começar, direção ao prosseguir e perfeição ao
concluir”.*

São Tomás de Aquino

*Aos meus pais,
Otaídes e Felizarda,
aos meus irmãos, Gisele,
Marcos e Rafael
e ao meu marido, Carlos
Henrique.*

DEDICO

*A Deus, por me conceder
força e fé para persistir.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela inspiração, aos meus pais, pelo incentivo e ao meu esposo pelo companheirismo, vocês foram o meu ponto de partida.

Pela orientação, confiança e amizade da professora doutora Marlene Rita de Queiroz, sempre me incentivando a prosseguir na pesquisa.

Sou grata a todos os professores que participaram da minha formação profissional, da UFRRJ e da FEAGRI, pela transmissão de conhecimento e experiências nas disciplinas ministradas.

Agradeço aos funcionários da CPG por estarem sempre prontos a ajudar.

Aos funcionários do laboratório de protótipos, Chico, Luiz, José Maria e Davis, pela habilidade e técnica na adaptação dos silos. Ao Leandro, do laboratório de propriedades mecânicas dos materiais biológicos, por aplicar seus conhecimentos de instrumentação e suas idéias criativas em prol desta pesquisa.

Aos estagiários, Vanessa e Rodrigo, pela dedicação.

À profissional de pesquisa, Rosa Helena Aguiar, que muito me ajudou na parte prática do projeto, com sugestões, experiência, com a mão-na-massa e, sobretudo, pela amizade.

Aos profissionais de pesquisa, Túlio, Giovani e José Benedito, pelo apoio técnico concedido.

Às doutoras Leila da CATI, Flávia do Instituto Biológico, Jussara, da Bioware e ao mestre João Parisi do IAC, pelo auxílio relacionado às análises microbiológicas.

Aos amigos de todas as horas do laboratório de tecnologia pós-colheita, Carmel, Stella, Mara, Rívia, Maria Paula, Franciane, Rosália, Rafael, Chico e Davi.

Aos amigos e companheiros presentes no início ou final desta jornada, Conan, Adriana, Iris Cecília, Miguel, Franciana, Douglas, Yuri, Carol, Leonardo, Honorato, José Roberto e Marcos Yamakawa.

À Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP por conceder-me a oportunidade de realizar o mestrado em suas instalações. Aos financiamentos recebidos pela CPG-FEAGRI, FAEPEX e FAPESP para o desenvolvimento da pesquisa. Ao apoio da COPLACANA, pela doação de milho para os ensaios preliminares. Ao CNPq pela bolsa de estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo Geral	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Características da produção brasileira de milho	5
2.2 Importância do sistema de armazenagem	6
2.3 Fatores que influem na conservação de grãos armazenados.....	7
2.4 Fungos patogênicos e deterioradores de grãos	10
2.4.1 Análises de contagem de fungos utilizadas em grãos e sementes	13
2.5 Aeração de grãos.....	14
2.5.1 Principais objetivos da aeração de grãos	15
2.5.2 Aplicação de sistemas de aeração.....	16
2.5.3 Sistema de aeração e partes constituintes	18
2.5.4 Dimensionamento do sistema de aeração	18
2.5.5 Utilização de controladores na automação da aeração e critérios para a decisão de quando aerar	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Caracterização inicial.....	25
3.2 Construção e instrumentação dos silos	25
3.3 Dimensionamento do sistema de aeração	30
3.4 Preparo da matéria-prima.....	32
3.5 Estratégias de aeração	33
3.6 Análises.....	34
3.7 Testes estatísticos aplicados aos resultados	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 Matéria-prima	39
4.2 Temperatura	39
A. Ensaio 1	39
B. Ensaio 2	42

4.2.1	Redução da temperatura ao longo do período de aeração	44
4.2.2	Redução da temperatura de acordo com a altura da massa de grãos	47
4.2.3	Homogeneização da temperatura após 48 horas de aeração.....	55
4.2.4	Efeito das estratégias de aeração	60
4.2.5	Comparação da temperatura entre os sistemas de aeração de grãos secos e umidificados - ensaio 1	61
4.2.6	Comparação da temperatura entre os ensaios.....	62
4.3	Tempo de aeração	63
4.4	Umidade.....	64
4.4.1	Comparação da umidade entre alturas.....	66
4.4.2	Efeito da estratégia de aeração	67
4.4.3	Comparação da umidade entre ensaios 1 e 2.....	68
4.4.4	Comparação da umidade entre silos aerado e controle do ensaio 2	69
4.5	Fungos.....	69
A.	Ensaio 1	69
B.	Ensaio 2	73
4.6	Condutividade elétrica	78
A.	Ensaio 1	78
B.	Ensaio 2	81
4.6.2	Comparação da condutividade elétrica entre os ensaios 1 e 2.....	83
5	CONCLUSÕES.....	84
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	APÊNDICES	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de conservação de grãos.....	10
Figura 2. Diagrama de aeração	22
Figura 3. Equipamentos utilizados na pesquisa.....	30
Figura 4. Comportamento da temperatura em três alturas da massa de grãos de milho seco (11% b.u.) armazenados durante 24 dias de aeração contínua (a), noturna (b) e em condições de umidade de equilíbrio (c)	40
Figura 5. Variação da temperatura (a) e umidade relativa (b) do ar ambiente durante o período de 12/08 a 05/09/2009 (Ensaio 1 - milho seco)	40
Figura 6. Comportamento da temperatura em três alturas da massa de grãos de milho úmidos (16,8% b.u.) armazenados durante 24 dias de aeração contínua (a), noturna (b) e em condições de umidade de equilíbrio (c)	41
Figura 7. Variação da temperatura (a) e umidade relativa (b) do ar ambiente durante o período de 17/08 a 10/09/2009 (Ensaio 1 - milho úmido)	41
Figura 8. Comportamento da temperatura em três alturas da massa de grãos de milho secos (11,5% b.u.) armazenados durante 24 dias de aeração contínua (a), noturna (b), em condições de umidade de equilíbrio (c) e no silo controle (d).....	42
Figura 9. Variação da temperatura (a) e umidade relativa (b) do ar ambiente durante o período de 27/10 a 17/11/2009 (Ensaio 2 - milho seco)	43
Figura 10. Redução de temperatura por hora durante 48h de aeração das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m nos silos 1 (a), 2 (b) e 3 (c) do ensaio 1.....	49
Figura 11. Redução de temperatura por hora durante 48h de aeração das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m nos silos 4 (a), 5 (b) e 6 (c) do ensaio 1 – 17 a 19/08/2009.....	52
Figura 12. Redução de temperatura por hora durante 48h de aeração das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m nos silos 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 0 (d) do ensaio 2	54
Figura 13. Comportamento da temperatura dentro dos silos 1 (a), 2 (b) e 3 (c) considerando-se apenas os sensores centrais das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m (Ensaio 1 - milho seco).....	56
Figura 14. Comportamento da temperatura no interior dos silos 4 (a), 5 (b) e 6 (c) considerando-se apenas os sensores centrais das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m (Ensaio 1 - milho úmido).....	57

Figura 15. Comportamento da temperatura considerando-se apenas os sensores centrais e da altura 0,33 m dos silos 1, 2, 3 (a) e dos silos 4, 5 e 6 (b) do ensaio 1	58
Figura 16. Variação da umidade dos grãos nos silos de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6) com milho seco e úmido do ensaio 1	65
Figura 17. Variação da umidade dos grãos nos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) e sem aeração (0) com milho seco do ensaio 2	66
Figura 18. Imagens dos grãos de milho secos (a e b) e úmidos (c e d) após término do período de experimentação	73
Figura 19. Variação da contaminação dos fungos <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> e <i>Fusarium</i> nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m do silo 1 durante o armazenamento (Ensaio 2 – milho seco).....	74
Figura 20. Variação da contaminação dos fungos <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> e <i>Fusarium</i> nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m do silo 2 durante o armazenamento (Ensaio 2 – milho seco).....	75
Figura 21. Variação da contaminação dos fungos <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> e <i>Fusarium</i> nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m do silo 3 durante o armazenamento (Ensaio 2 – milho seco).....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de pressão e vazão do ar de aeração para milho seco (13%) e úmido (18%).	31
Tabela 2. Pressão calculada e fornecida pelo ventilador - grão seco (13%) e úmido (18%)	32
Tabela 3. Características físicas do milho seco utilizado nos ensaios 1 e 2	39
Tabela 4. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura do grupo 1 (primeiros dois dias), grupo 2 (terceiro ao décimo terceiro dia) e grupo 3 (décimo quarto ao vigésimo quarto dia) das estratégias de aeração contínua (silo 1), noturna (silo 2) e em condições de umidade de equilíbrio (silo 3) do ensaio 1 com milho seco.	45
Tabela 5. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura do grupo 1 (primeiros dois dias), grupo 2 (terceiro ao décimo terceiro dia) e grupo 3 (décimo quarto ao vigésimo quarto dia) – aeração contínua (silo 4), noturna (silo 4) e em condições de umidade de equilíbrio (silo 6) do ensaio 1 com milho umidificado.	45
Tabela 6. Dados da temperatura inicial, após 48 horas de aeração e redução de temperatura das estratégias de aeração contínua (silos 1 e 4), noturna (silos 2 e 5) e em condições de equilíbrio (silo 3 e 6) de milho seco (silos 1, 2 e 3) e umidificado (silos 4, 5 e 6).	46
Tabela 7. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura do grupo 1 (primeiros dois dias), grupo 2 (terceiro ao décimo terceiro dia) e grupo 3 (décimo quarto ao vigésimo quarto dia) das estratégias de aeração contínua (silo 1), noturna (silo 2), em condições de umidade de equilíbrio (silo 3) e do silo controle (0) do ensaio 2.	47
Tabela 8. Dados da temperatura inicial, após 48 horas de aeração e redução de temperatura das estratégias de aeração contínua (silos 1 e 4), noturna (silos 2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (silo 3 e 6) em milho seco (silos 1, 2 e 3) e umidificado (silos 4, 5 e 6).	47
Tabela 9. Mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de temperatura dos dois primeiros dias de aeração dos silos 1 (aeração contínua), 2 (aeração noturna) e 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio), de acordo com as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m.	48
Tabela 10. Mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de temperatura dos dois primeiros dias de aeração dos silos 4 (aeração contínua), 5 (aeração noturna) e 6 (aeração em condições de umidade de equilíbrio), de acordo com as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m.	51
Tabela 11. Mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de temperatura dos dois primeiros dias de aeração dos silos 1 (aeração contínua), 2 (aeração noturna), 3 (aeração	

em condições de umidade de equilíbrio) e 0 (controle), de acordo com as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m.....	53
Tabela 12. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) total dos dados de temperatura obtidos nos 24 dias de ensaio dos silos 1 (aeração contínua), 2 (aeração noturna), 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) e 4 (controle).	61
Tabela 13. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura totais, referentes aos 24 dias de ensaio dos silos de aeração contínua (1 e 4), aeração noturna (2 e 5) e aeração em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6), dos quais os silos 1, 2 e 3 continham milho seco e os silos 4, 5 e 6 milho umidificado.....	62
Tabela 14. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) total dos silos 1 (aeração contínua), 2 (aeração noturna) e 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) dos ensaios 1 e 2 com milho seco.....	63
Tabela 15. Teor de umidade dos grãos de milho (% b.u.) no primeiro dia do ensaio 1 nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos com grãos secos (1, 2 e 3) e com grãos umidificados (4, 5 e 6)	64
Tabela 16. Teor de umidade dos grãos de milho (% b.u.) no primeiro dia do ensaio 2 nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos com grãos secos (1, 2, 3 e 0).	64
Tabela 17. Teste de Tukey para comparação da umidade entre alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6) de milho seco (silos 1, 2 e 3) e de milho umidificado (silos 4, 5 e 6) do ensaio 1	67
Tabela 18. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as altura 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de umidade de equilíbrio (3) e controle (0) de milho seco do ensaio 2	67
Tabela 19. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6), em milho seco (1, 2 e 3) e umidificado (4, 5 e 6) do ensaio 1	68
Tabela 20. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de umidade de equilíbrio (3) e do silo controle (0) em milho seco do ensaio 2	68

Tabela 21. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração semelhantes dos ensaios 1 e 2. Silo 1 – aeração contínua; silo 2 – aeração noturna e silo 3 – aeração em condições de umidade de equilíbrio	69
Tabela 22. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) e o silo controle (0) ...	69
Tabela 23. Resultado de contagem em UFC g ⁻¹ obtidos a cada seis dias do período de aeração dos fungos <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> e <i>Fusarium</i> nas alturas A (0,54 m), B (0,33 m) e C (0,11 m) dos silos 1, 2 e 3 com milho seco.....	71
Tabela 24. Resultado de contagem em UFC g ⁻¹ obtidos a cada seis dias do período de aeração dos fungos <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> e <i>Fusarium</i> nas alturas A (0,54 m), B (0,33 m) e C (0,11 m) dos silos 4, 5 e 6 com milho umidificado.	72
Tabela 25. Teste de Tukey para análise da ocorrência do fungo <i>Aspergillus</i> em milho seco entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 2	77
Tabela 26. Teste de Tukey para análise da ocorrência do fungo <i>Penicillium</i> em milho seco entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 2	77
Tabela 27. Teste de Tukey para análise da ocorrência do fungo <i>Fusarium</i> em milho seco entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) do ensaio 2	77
Tabela 28. Teste de Tukey para análise da ocorrência dos fungos <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> e <i>Fusarium</i> em milho seco entre as estratégias de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3).....	78
Tabela 29. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m ao longo do período de ensaio nos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 1 com milho seco.....	79
Tabela 30. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m ao longo do período de ensaio nos silos de aeração contínua (4), noturna (5) e em condições equilíbrio (6) do ensaio 1 com milho úmido	80

Tabela 31. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m das estratégias de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 1 com grãos secos (1, 2 e 3) e úmidos (4, 5 e 6).....	80
Tabela 32. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre as estratégias de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de equilíbrio (3 e 6) com milho seco (1, 2 e 3) e úmido (4, 5 e 6)	81
Tabela 33. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica das alturas 0,54 m, 0,33 m e 0,11 m ao longo do período de ensaio nos silos de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de equilíbrio (3) e no silo controle (0) do ensaio 2.....	82
Tabela 34. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre as alturas 0,54,0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) do ensaio 2	82
Tabela 35. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre os tratamentos de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de umidade de equilíbrio (3) e com o silo controle (0) do ensaio 2	82
Tabela 36. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre os tratamentos semelhantes dos ensaios 1 e 2.....	83

RESUMO

A eficiência do processo de armazenagem de grãos não consiste apenas em “guardar” a produção agrícola, mas, sobretudo evitar a ocorrência de migração de umidade, incidência de insetos e desenvolvimento de microrganismos nos grãos durante esse processo. A técnica de aeração é atualmente empregada na redução e homogeneização da temperatura intergranular com o objetivo de minimizar esses problemas. Essa prática consiste na passagem forçada de ar ambiente através da massa de grãos. Assim, o objetivo desta pesquisa consistiu em avaliar e comparar o desempenho de três diferentes estratégias de aeração de grãos de milho, armazenados por vinte e quatro dias. As estratégias pesquisadas foram as seguintes: um sistema funcionando continuamente; outro sistema acionado durante o período da noite e um terceiro sistema que operou somente quando a umidade relativa do ar ambiente estava em equilíbrio com a umidade do ar interno aos grãos. Foram utilizados grãos de milho com dois níveis de umidade distintos, 13 e 18%. Realizou-se monitoramento contínuo da temperatura por meio de sensores instalados dentro dos silos e amostras de grãos foram retiradas durante os ensaios para determinação do teor de umidade, contagem de fungos e condutividade elétrica. Ao final dos ensaios, observou-se que todas as estratégias de aeração empregadas favoreceram redução de temperatura, em grãos secos (13%) e umidificados (18%). Porém, nenhuma estratégia manteve a temperatura no interior dos grãos homogênea durante o período de armazenamento. Ressalta-se, no entanto, que o sistema de aeração contínuo aplicado aos grãos de milho úmidos proporcionou menor heterogeneidade da temperatura ao longo da altura da massa de grãos, além de evitar o desenvolvimento de fungos. O teor de umidade dos grãos sofreu variações durante o período experimental, com tendência de secagem dos grãos ao final do processo. Verificou-se grande ocorrência de fungos nos grãos advindos do campo, principalmente *Fusarium* e *Penicillium*. A condutividade elétrica dos grãos de milho apresentou-se constante durante o período de armazenamento. A operação de aeração promoveu resfriamento dos grãos, entretanto em níveis elevados de temperatura e propícios para a incidência de insetos. Dessa forma, a aeração deve fazer parte do manejo integrado de pragas, mas não a única ferramenta.

PALAVRAS-CHAVE: armazenagem, conservação de grãos, temperatura, umidade

ABSTRACT

The efficiency of grain storage doesn't consist only to "save" the agricultural production, but mainly to avoid the problem with the moisture migration, incidence of insects and development of microorganism in grains, during the process. Aeration is currently used for reducing and homogenization the intergranular temperature, aiming to minimize these problems. This practice consists of blowing ambient air through the grain mass. The objective of this research was to evaluate and compare the performance of three different strategies for aeration of corn grains, stored for twenty-four days. The strategies were: (1) a continuously system; (2) an aeration system activated only during the night and (3) an aeration system operating only when the relative humidity environment corresponds to the grains equilibrium moisture content. Corn grains at two different moisture content levels, 13 and 18% were used. Continuous monitoring of temperature was carried out through 12 sensors installed inside the bins. Grain samples were taken during the experiments for determination of moisture content, mold counts and electrical conductivity. At the end of the tests, all aeration strategies showed temperature reduction in to the bins with dried grain dry grains (11%) and wet grain (16,8%). However, any strategy maintained the homogeneous temperature inside the grain during the storage period. It is emphasized, however, that the continuous aeration system applied to the wet corn grain allowed low heterogeneity in the temperature along of the height of grain mass, and avoided the growth of mold. Grain moisture content changed during the experimental time with tendency of drying at the end of the process. There was a high occurrence of field mold in the grains, mainly *Fusarium* and *Penicillium*. Electrical conductivity of corn grains remained constant along the storage time. Aeration promoted cooling of the grains, however the temperature levels were high and appropriate conducive to the incidence of insects. Therefore, aeration should be a part of integrated pest management, but not the only tool.

KEYWORDS: storage, grain conservation, temperature, moisture content

1 INTRODUÇÃO

Da área cultivada de grãos no Brasil, safra 2008/09, que fechou o ano agrícola totalizando 47,7 milhões de hectares, 96,92% diz respeito a seis grandes culturas: soja (45,56%), milho (29,64%), feijão (8,77%), arroz (6,10%), trigo (5,08%) e algodão (1,77%). Em relação à safra 2007/2008 houve um crescimento de 0,6% na área de plantio do país, o que representa um adicional de 277,5 mil hectares (CONAB, 2009a).

Diante do pequeno incremento da área plantada, encontra-se numa situação de desvantagem ainda maior a produção de grãos. De acordo com o 12º levantamento de safra realizado pela CONAB (2009a), após uma safra recorde de 144,1 milhões de toneladas, safra 2007/2008, a estimativa de produção de grãos atual é de 134,3 milhões de toneladas, decréscimo de 6,8% em relação à safra anterior. A redução mais acentuada foi observada no milho 1ª e 2ª safras (8,5 milhões de toneladas) e na soja (2,9 milhões de toneladas).

A redução dos níveis atuais de perdas em todas as etapas compreendidas do plantio à comercialização de grãos torna-se ainda mais relevante que nos anos anteriores, de crescimento. Minimizar as perdas é uma forma de aumentar a disponibilidade de grãos, de forma que o máximo do produto chegue ao seu destino final, que é fundamentalmente atender à necessidade humana de alimentação.

No que diz respeito à armazenagem de grãos, mesmo com a estimativa de queda da produção, a capacidade estática brasileira de 125,7 milhões de toneladas não é suficiente para atender a demanda da produção de grãos, uma vez que parte dela está comprometida com os estoques reguladores (CONAB, 2009a). Aliado a isso, existem unidades armazenadoras que não sofreram adequação estrutural, de forma a acompanhar a evolução tecnológica do setor.

Entretanto, o problema da armazenagem não se restringe à capacidade estática insuficiente, uma vez que não basta abrigar os produtos agrícolas contra as intempéries climáticas, é indispensável a conservação das propriedades físicas e organolépticas do produto durante esse período. Isso só é possível mediante o emprego de técnicas adequadas que reduzam, a níveis aceitáveis, o processo de deterioração do produto. Esse processo é altamente dependente da temperatura e da umidade dos grãos e está relacionado com a respiração do produto e ação de microrganismos.

Em relação à temperatura, podem ocorrer migração e condensação de umidade em pontos da massa de grãos armazenada, quando a temperatura externa for superior ou inferior

às internas. Dessa forma, o produto será aquecido ou resfriado na região em contato com as paredes do silo, gerando assim um gradiente de temperatura dentro do mesmo. O ar intergranular é então movido por correntes convectivas, que carregam umidade (migração de umidade), podendo haver condensação em pontos mais frios da massa de grãos. Regiões com elevado teor de umidade favorecem a proliferação de microorganismos e o aumento da atividade fisiológica dos grãos (respiração e eventual germinação), que comprometem a qualidade do produto.

Os grãos armazenados a granel necessitam, portanto, de uma homogeneização e redução da temperatura para manter sua qualidade. A temperatura ideal, que favorece a redução da respiração de grãos secos e minimiza a atividade de microrganismo e insetos, fica em torno de 13 a 14 °C ou inferiores (TANAKA et al., 1997; RANALLI et al., 2002). Entretanto, manter os grãos armazenados sob essas condições de temperatura durante um ano nas regiões produtoras de grãos do país implicaria em mantê-los sob refrigeração nos períodos quentes do ano. Considerando-se que o valor agregado da maioria dos grãos é baixo em relação aos seus subprodutos industrializados o custo inerente à refrigeração torna-se inviável.

Outro método de redução da temperatura é a técnica de aeração com ar ambiente, que consiste na passagem forçada de ar pela massa de grãos armazenada. Nesta operação, geralmente, utilizam-se baixas vazões de ar, o que favorece menores custos de implantação e manutenção do sistema em relação a equipamentos de refrigeração. Os níveis de temperatura alcançados pela aplicação desta técnica são geralmente superiores aos obtidos na refrigeração e dependentes das condições climáticas locais.

Frente ao exposto, a hipótese deste trabalho baseia-se na teoria de que a aeração permite melhorar as condições de armazenamento, reduzindo e homogeneizando a temperatura dos grãos, porém existem estratégias de aeração técnica e economicamente mais eficientes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desse trabalho foi comparar o desempenho de três diferentes estratégias de aeração em silos de pequena escala, quanto à eficiência na redução e na homogeneização da temperatura, manutenção da umidade e do estado de sanidade de grãos de milho armazenados. As estratégias foram as seguintes: um sistema de aeração funcionando continuamente, outro sistema acionado durante o período da noite e um terceiro sistema operado somente quando a umidade relativa do ar ambiente estivesse em condições de equilíbrio com a umidade dos grãos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar os sistemas de aeração para produto úmido e seco, com base na vazão específica de ar e na pressão estática necessária;
- Construir silos em pequena escala, instrumentá-los com sensores de temperatura e com controle automático de acionamento dos ventiladores, de forma a promover as estratégias de aeração já mencionadas em grãos de milho com dois níveis de umidade inicial (13% e 18%);
- Avaliar a eficiência de cada estratégia de aeração e verificar a que obtém melhores resultados quanto à redução e homogeneização da temperatura, manutenção do teor de umidade e do estado de sanidade dos grãos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na safra 2007/2008 o Brasil fechou o ano com produção recorde de 144,1 milhões de toneladas de grãos, 8,6% superior à safra de 2006/2007. Em 2008/2009, porém, os preços da maioria das commodities agrícolas iniciaram um processo descendente no mercado internacional, enquanto os insumos estavam em movimento ascendente no período do plantio. A consequência deste fato foi a perda de renda por parte do produtor e queda na produção. De acordo com levantamento da CONAB, a safra 2008/09 sofreu redução de 6,8% em relação à anterior. Esta foi a primeira retração na produção nacional de grãos desde 2005 (CONAB, 2009a; CONAB, 2009b).

Diante deste cenário nacional, a redução dos níveis atuais de perdas em todas as etapas compreendidas do plantio à comercialização de grãos, torna-se ainda mais relevante que nos anos anteriores, de crescimento. Minimizar as perdas é uma alternativa de aumentar a disponibilidade de grãos, para que o máximo do produto chegue ao seu destino final.

Melhoria dos serviços de armazenagem e transporte é um aspecto que pode contribuir na redução de perdas. Segundo a CONAB (2007), os principais entraves para o escoamento da safra são a armazenagem, as estradas e os portos. Em pesquisa realizada pela mesma companhia, foi constatado um prejuízo de 1,34 bilhão de dólares por ano devido a perdas na pós-colheita.

Um fator que está diretamente relacionado a esse problema constitui-se na capacidade estática brasileira insuficiente, que atualmente totaliza 125,7 milhões de toneladas. Enquanto a produção brasileira de grãos sofreu um crescimento de 32,8% entre 2001 e 2008, passando de 96,8 milhões de toneladas para uma safra recorde de 144,1 milhões de toneladas, nesse mesmo período a capacidade estática de armazenagem apresentou um crescimento de 1,9% (CONAB, 2009c).

A distribuição dos armazéns no Brasil é de 50% na zona urbana, 32% na zona rural (grandes estruturas, cooperativas e outros), 13% na fazenda (nível de propriedades) e 5% na zona portuária. Ao comparar a capacidade de armazenagem na propriedade (13%), com a de países como a Argentina (35%) e EUA (65%), é possível perceber a necessidade de investimentos neste setor da agricultura brasileira (CONAB, 2007).

2.1 Características da produção brasileira de milho

No Brasil, todas as regiões são produtoras de milho, sendo a região sul a que contribui com maior volume e a região Norte a que produz em menor proporção. Na safra 2008/09, o Sul contribuiu com 37,41% do total, enquanto a produção do Norte representou apenas 2,46%. Em nível intermediário encontram-se o Centro-Oeste (29,58%), Sudeste (21,31%) e Nordeste (9,23%) (CIMILHO, 2009). Entretanto, Brum e Luft (2008) consideram a produção nacional de milho concentrada, uma vez que 2,4% dos produtores são responsáveis por 60,1% do volume de milho colhido no país, enquanto que 94,3% dos produtores somam apenas 30% da produção.

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de ciclo anual, que pode ser produzida duas vezes ao ano. A primeira safra é a principal, cujo plantio é realizado durante o período das chuvas, que varia entre fins de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste, e no início do ano na região Norte e Nordeste. A segunda safra, também conhecida como safrinha, refere-se ao milho de sequeiro, plantado extemporaneamente, no mês de fevereiro ou março, geralmente depois da soja precoce. O predomínio desse tipo de cultivo se dá na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais (EMBRAPA, 2009a).

A produção brasileira de milho, depois de apresentar um crescimento de 14,18% na safra 2007/08 (58,65 milhões de toneladas) em relação à safra 2006/07 (51,37 milhões de toneladas), demonstrou redução na produção de 14,56% na última safra 2008/09 (50,11 milhões de toneladas). A razão para essa redução foi a deficiência hídrica ocorrida no período de formação dos grãos da 1ª safra, principalmente nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. Destes, o mais prejudicado foi o Paraná cuja produção caiu 32,8%. O resultado de queda da produção também foi devido à redução da área plantada no Centro Sul do país, devido a problemas climáticos como a falta de umidade no solo no período da semeadura e o preço da soja mais atrativo no mercado. A 2ª safra também contribuiu para a redução da produção, uma vez que ocorreu estiagem no último trimestre de 2008 que provocou atraso na semeadura da safra de verão (CONAB, 2009a).

De acordo com prognóstico feito pelo IBGE, a 1ª safra de milho de 2010 terá produção de 33,1 milhões de toneladas, 2,2% inferior à observada em 2009, devido à retração na área total plantada (7,6%). Segundo o Instituto, os fatores que contribuem para esse quadro

constituem-se nos elevados custos de produção e a baixa cotação que o produto vem apresentado face aos volumes estocados decorrentes da não concretização das exportações previstas. Outro aspecto ressaltado refere-se à menor cotação desse produto em relação soja que provocou a migração dos produtores para a leguminosa, que apresenta maior liquidez (IBGE, 2009).

O principal destino da produção de milho é o comércio interno, em 2005/06 aproximadamente 92% foi para esse mercado. Dentro do país são dois os destinos da produção, o primeiro consiste no consumo próprio do estabelecimento, consumo animal e humano, e o segundo refere-se à oferta do produto no mercado consumidor, direcionado para fábricas de rações, indústrias químicas e mercado de consumo in natura. A parcela da produção de milho que é comercializada soma 68,75% do total, sendo direcionada às vendas para cooperativas, indústrias, intermediários e diretamente aos consumidores. As propriedades agrícolas que comercializam sua produção representam 32,83% (EMBRAPA, 2009b; BRUM e LUFT, 2008).

2.2 Importância do sistema de armazenagem

Guimarães e Barros (2006) consideram o armazenamento um problema dinâmico, pois a decisão de estocar produto no período corrente (safra) afeta o período futuro da entressafra.

Diante desse problema o sistema de armazenagem deve ser uma estratégia de política agrícola que garanta o abastecimento constante do mercado e favoreça estabilidade de preços. Para isso, o Governo compra alimentos dos mercados, interno e externo, e faz estoques reguladores, para corrigir os desequilíbrios decorrentes de manobras especulativas do mercado (SILVA, 2000).

Uma vez o produto armazenado, se faz necessário conservar suas propriedades físicas e organolépticas. Para isso, existem técnicas apropriadas que reduzem, a níveis aceitáveis, o processo de deterioração do produto. Os principais fatores que interferem na qualidade dos grãos durante esse período são a temperatura e a umidade dos mesmos e estão relacionados especialmente com a respiração do produto e à presença de microrganismos.

2.3 Fatores que influem na conservação de grãos armazenados

Diversos estudos a respeito de grãos armazenados indicam que a temperatura e o teor de umidade dos grãos são os fatores principais em uma armazenagem segura (PIXTON e WARBURTON, 1971; HALDERSON, 1985; QIU et al., 1987).

Os grãos, depois de colhidos continuam vivos e, portanto, respirando. Para a realização desse processo os grãos utilizam o oxigênio existente nos espaços intergranulares, sendo liberado, como produto dessa reação, gás carbônico (CO_2), água (H_2O) e calor. O processo respiratório é acompanhado de um comprometimento de substâncias nutritivas do produto, sendo afetado, principalmente, pela temperatura, teor de umidade dos grãos e pelos fungos associados à massa. Em relação à umidade dos grãos, aqueles armazenados secos, entre 11 e 13%, segundo a espécie, mantêm um processo respiratório discreto (PUZZI, 2000).

Ferreira (1979) ressalta que um volume de grãos armazenados é um sistema ecológico em que o processo de deterioração resulta da interação de variáveis físicas, químicas e biológicas. Nesse sistema atuam, principalmente, temperatura, umidade, localização geográfica, estrutura de armazenagem, propriedades físicas, químicas e biológicas da massa de grãos, microorganismos, insetos, ácaros, roedores e pássaros. A relação entre as variáveis citadas é complexa e exige a adoção de medidas multidisciplinares para o controle de perdas. Os métodos de controle que podem ser empregados consistem basicamente na diminuição da temperatura e do teor de umidade do grão, na supressão do teor de O_2 ou aumento de CO_2 da atmosfera intergranular e no tratamento químico do produto.

Afonso Júnior et al. (2000) avaliaram a viabilidade de sementes de soja com teores de umidade de 8, 10, 15 e 20% (b.u.) armazenadas sob cinco níveis de temperatura, 5, 10, 20, 30 e 40 °C. Realizando teste de germinação em intervalos de 10 dias por um período de 60 dias, os autores puderam verificar que as sementes com 8% de umidade mantiveram-se viáveis durante todo o período de armazenamento e as sementes com 15 e 20% de umidade sofreram considerável redução da viabilidade, principalmente, quando submetidas às temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Os autores destacam que, quando mantidas sob temperaturas de 5 e 10 °C, as sementes com 15 e 20% de umidade mantiveram seu potencial germinativo.

Segundo Bilia et al. (1994) a condição de armazenamento em câmara seca (22 °C e 35-45% UR) favorece melhor conservação da qualidade fisiológica de sementes de milho armazenadas em relação a câmara fria (10 °C e 90% UR) e condição ambiente (17-24 °C e 64-

83% UR). A câmara fria, no entanto, apresentou melhor conservação quando comparada com o armazenamento em condição ambiente.

De acordo com Lasseran (1981), grãos com alto teor de umidade correm o risco de desenvolvimento de fungos. Estabelece que grãos com umidade de 15% devem ser mantidos a temperaturas em torno de 18 °C ou abaixo e grãos com teor de umidade acima desse valor, se não mantidos a uma temperatura de 10 °C podem se deteriorar rapidamente.

Sauer (1992), Puzzi (2000) e Weber (2001) abordam o problema da migração de umidade, que pode ocorrer em grãos armazenados tanto no período de inverno como no verão. A origem do problema é a influência da temperatura externa sobre os grãos localizados próximo às paredes do silo. No inverno, as baixas temperaturas resfriam esses grãos e devido às suas características de mau condutor térmico, os grãos localizados na parte central do silo se mantêm à temperatura inicial, gerando gradientes de temperatura na massa de grãos. Desse modo, o ar frio por ser mais denso produz um movimento de ar descendente na parte periférica do silo, enquanto o ar quente, de menor densidade, movimenta-se de forma ascendente na parte central. O ar quente, ao entrar em contato com os grãos frios da superfície e com o telhado, pode condensar-se, umedecendo esses grãos. No verão, ao contrário, o ar quente do ambiente externo sobreaquece o ar e os grãos junto às paredes do silo, gerando movimento de ar ascendente, enquanto no centro do silo o ar mais frio produz movimento de ar descendente, dessa forma, calor e umidade se depositam na parte inferior, no fundo do silo.

Ferreira (1979) também concorda que a temperatura no interior do silo é afetada pelas condições climáticas ao longo do seu diâmetro. O autor explica que a variação da temperatura da massa de grãos decresce à medida que se aumenta sua distância da parede. Acrescenta ainda que silos de pequenos diâmetros esfriam e aquecem mais rapidamente em períodos frios e quentes, respectivamente, enquanto silos de grandes diâmetros tendem a manter as temperaturas de seu centro por períodos longos e não flutuam tanto como os de células pequenas.

O isolamento térmico de um silo tem efeito semelhante ao aumento de diâmetro na célula, no que diz respeito às transferências de calor que ocorrem sobre ela (KELLY, 1973 citada por FERREIRA, 1979). O isolante térmico pode reduzir o efeito das variações diárias de temperatura sobre os grãos próximos à parede do silo, pode reduzir os gradientes de

temperatura na massa de grãos e, conseqüentemente, reduzir a migração de umidade dentro dele (FERREIRA, 1979).

De acordo com Ferreira (1979) o isolamento térmico de um silo consiste na adição de material com propriedades térmicas isolantes – condutividade térmica de 0,034 a 0,21 W/mK – à parede do silo. Afirmam ainda que silos isolados são menos afetados por aumentos de temperatura durante períodos quentes, porém não dissipam o calor interno tão rapidamente como as células não isoladas de mesmo diâmetro, nos períodos frios.

Danos mecânicos aos grãos e impurezas também influem nas condições do produto armazenado, uma vez que são os principais vetores e fornecem as condições necessárias ao desenvolvimento de insetos e fungos. Os danos mecânicos aos grãos são gerados no processo de colheita, limpeza, secagem, transporte e no armazenamento. Grãos partidos estão mais propensos ao ataque dos insetos e fungos, bem como a um aumento da atividade respiratória, com liberação de calor e água, causando grandes danos ao produto. As impurezas, por sua vez, favorecem a formação de focos de aquecimento, pois dificultam a passagem do ar de ventilação (WEBER, 2001).

O método ideal, na verificação de algum tipo de alteração na massa de grãos armazenada consiste na retirada de amostras. No entanto, é difícil obter, periodicamente, amostras representativas de uma grande quantidade de grãos armazenada em célula de silo ou armazém graneleiro. Felizmente, todos os fatores que ameaçam a perda da qualidade dos grãos causam um aumento de temperatura. Assim, o acompanhamento e registro constante da temperatura dos grãos podem contribuir na prevenção do processo de deterioração.

Puzzi (2000) afirma que a temperatura dos grãos é um bom índice do seu estado de conservação e que variações de temperatura devem ser encaradas com bastante cautela, detectando-se, o mais rápido possível, sua causa e procurando saná-la por meio de aeração ou transilagem.

O diagrama da Figura 1 indica a natureza dos riscos em função da temperatura e umidade dos grãos armazenados.

faixa de 95 a 100%, enquanto os fungos de armazenamento desenvolvem-se entre 70 e 90%. Em se tratando do teor de umidade do grão, vale ressaltar que espécies como *Aspergillus restrictus* podem ocorrer em trigo e milho a 13,5%, em soja com 13,0% e em sementes de girassol com teor de umidade de 9,5%.

Os danos provocados por fungos em grãos vão além daqueles físicos ou estéticos, podem ser em nível de formação de toxina. Algumas espécies de fungos, denominados, toxigênicos, podem produzir micotoxinas, substâncias químicas produzidas pelo metabolismo secundário de diversos fungos, que podem provocar doenças graves, como tumores cancerígenos. No entanto, somente a presença do fungo toxigênico não implica na produção de micotoxina, isso dependerá da capacidade de biossíntese do fungo e das condições climáticas existentes. Os fungos do gênero *Fusarium*, por exemplo, desenvolvem-se favoravelmente em temperatura na faixa de 20 a 25 °C, contudo, suas toxinas são produzidas sob condições de baixas temperaturas, como a zearalenona que é produzida em temperatura ótima de 10 a 12 °C. Desse modo, o *Fusarium* produz micotoxinas sob o efeito de choque térmico. Condições climáticas de alternância de temperaturas altas durante o dia e baixas durante a noite podem propiciar a formação dessas toxinas (BHATNAGAR et al., 1992; PINTO, 2008).

De acordo com Pinto (2008) um dos principais problemas de qualidade do milho diz respeito à possibilidade de presença de micotoxinas em grãos ardidos. Dentre essas, destacam-se as aflatoxinas, produzidas pelos fungos *Aspergillus flavus* e *A. parasiticus*, as fumosininas pelos fungos *Fusarium moniliforme* e *F. subglutinans*, a zearalenona pelo *Fusarium graminearum* e *F. poae*, as vomitoxinas pelo *Fusarium noniliforme*, e a toxina T-2 pelo *Fusarium sporotrichioides*. O autor ressalta ainda que as perdas qualitativas devidas à presença de grãos ardidos desvalorizam o produto e, principalmente, são uma ameaça à saúde humana e animal.

Silva et al. (2007) afirmam que os fungos toxigênicos mais importantes em alimentos são pertencentes aos gêneros *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* e, de acordo com Machado (1988), Brooker et al. (1992) e Ribeiro et al. (2003), esses fungos também são os principais deterioradores de grãos de milho armazenados e patógenos de sementes.

Machado (1988) alerta que na fase de armazenamento o risco de contaminação de sementes com fungos patogênicos é dependente do controle de fatores ambientais. Ressalta

que colheitas sob condições úmidas ou executadas com equipamentos desregulados, podem propiciar, desde o campo, a associação de fungos como *Aspergillus* e *Penicillium*. Esses fungos podem depreciar a qualidade das sementes quanto ao seu poder germinativo, colonizando o embrião; causar descoloração e apodrecimento com reflexos na viabilidade e no valor comercial e nutritivo das sementes; aumentar a taxa de ácidos graxos, provocando a rancificação de óleos; gerar aquecimento da massa de sementes, devido ao aumento da taxa respiratória e com isso uma deterioração mais rápida, bem como, produzir micotoxinas, substâncias que podem ser letais ao homem e aos animais.

Tanaka et al. (2001) estudaram a sobrevivência de fungos associados às sementes de milho durante 12 meses de armazenamento em câmara fria (14 °C; 40% UR) e em ambiente não controlado. Observaram que a sobrevivência dos fungos de campo decresceu durante o armazenamento em condições ambientes, quando comparado aos armazenados em câmara fria. Isto foi verificado, dentre outros fungos, com *Fusarium moniliforme*, cuja incidência inicial de 84% ainda era de 70% ao final de 12 meses em câmara fria, enquanto que em condições ambientes a incidência caiu gradativamente até 14% ao final do período. Os fungos *Aspergillus* e *Penicillium* tiveram suas incidências aumentadas durante o armazenamento, principalmente em ambiente não controlado. Os autores concluíram que o armazenamento em ambiente não controlado, embora tendo reduzido o inóculo de *F. moniliforme* e outros fungos importantes, poderia acelerar o processo de deterioração das sementes. Por outro lado, em câmara fria a viabilidade dos fungos é favorecida, comprometendo a qualidade sanitária das sementes.

Ribeiro et al. (2003) isolaram 23 espécies de fungos em pesquisa realizada com produtos derivados do milho (fubá, xerém e farinha de milho pré-cozida). Das espécies isoladas, os fungos de armazenamento, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Rhizopus* foram encontrados em grande parte dos produtos analisados. O *Penicillium* foi destacado como o dominante, pois ocorreu em todos os produtos analisados.

Márcia e Lazzari (1998) realizaram monitoramento de fungos de milho em grão, “grits” e fubá por quatro meses. Foram analisadas 81 amostras de cada produto e identificados fungos pertencentes aos gêneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor* e *Rhizopus* nas seguintes porcentagens de ocorrência: 100%; 97,5%; 82,7%; 32,1% e 14,8%, respectivamente.

Entretanto, o nível médio de infecção fúngica por unidade dos produtos estudados foi considerado baixo.

2.4.1 *Análises de contagem de fungos utilizadas em grãos e sementes*

Em grãos destinados ao consumo humano a metodologia de análise utilizada na detecção ou enumeração de fungos (bolors) é a contagem padrão em placas. De acordo com o Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos (SILVA et al., 2007) o procedimento dessa análise consiste na inoculação da amostra homogeneizada (e suas diluições) em meio de cultura à base de ágar contido em placas de Petri, seguido da incubação das placas até crescimento visível. Essa técnica parte da premissa de que cada célula microbiana presente na amostra, quando depositada em meio de cultura e incubada sob condições favoráveis, desenvolve uma colônia isolada. No entanto, como as células microbianas muitas vezes ocorrem em agrupamentos (pares, tétrades, cachos, cadeias, etc.) não é possível estabelecer uma relação direta entre o número de colônias e o número de células. Desse modo, a correlação é feita entre o número de colônias e o número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), que podem ser células individuais ou agrupamentos específicos de cada microrganismo.

Os métodos utilizados na contagem de fungos em sementes são denominados testes de sanidade e têm como objetivo determinar o estado sanitário de uma amostra de sementes e, conseqüentemente, do lote que representa. Referem-se à presença ou ausência de agentes patógenos, que além dos fungos também podem ser bactérias, vírus ou nematóides. Esses testes constituem-se de exames que podem ser realizados sem incubação, após incubação ou com plantas em crescimento. Os exames após incubação incluem o método do Papel de Filtro (Blotter Test), o método do Ágar e o método do Sintoma em Plântulas (BRASIL, 1992).

Além do meio de cultura utilizado, ressaltam-se outras duas diferenças entre os métodos de contagem padrão em placas com diluições e o Blotter Test: o processo de inoculação do produto em análise e o tipo de resultado. No primeiro, inocula-se uma solução, com determinada diluição, contendo o microrganismo, enquanto no segundo método o plaqueamento é feito com o próprio grão ou semente em estudo. A outra diferença refere-se ao resultado quantitativo que é obtido na primeira metodologia, enquanto na segunda

metodologia o resultado é qualitativo, indicando apenas ausência ou presença do microrganismo em estudo.

Na literatura encontram-se trabalhos em que o produto estudado é o milho ou seus derivados que utilizaram o plaqueamento direto (MÁRCIA e LAZZARI, 1998; TANAKA et al., 1997) e outros que optaram pelo método de contagem em placas com diluições (RIBEIRO et al., 2003).

2.5 Aeração de grãos

Puzzi (2000) e Lasseran (1981) definem aeração como a movimentação forçada de ar ambiente através da massa de grãos, para melhorar as condições de armazenamento, empregando-se pequeno fluxo de ar, geralmente na faixa de 3 a 12 m³.h⁻¹.t⁻¹ (0,05 a 0,20 m³.min⁻¹.t⁻¹) de grãos. Somente em casos muito particulares se utiliza ar resfriado artificialmente, por equipamentos frigoríficos.

De acordo com Sauer (1992), quando o ar entra em contato com os grãos, é estabelecida uma zona de transferência de calor e umidade entre eles, denominada frente (ou zona) de resfriamento. A altura da frente de resfriamento depende do tipo de grão, da velocidade do ar através dos grãos e da taxa de transferência de calor dos grãos para o ar.

Lasseran (1981) alerta que a velocidade de progressão da frente de resfriamento, em grãos com umidade acima de 20%, deve ser tal que a última camada de grãos seja resfriada antes de ser aquecida. Isso porque, as camadas anteriores, ao serem resfriadas, desprendem calor e aumentam rapidamente a temperatura do ar. Esse calor é levado para as camadas superiores.

No caso ideal do processo de resfriamento, o ar frio ao entrar em contato com a camada de grãos é aquecido à temperatura inicial dos mesmos antes de sair do sistema. Desse modo, todo aumento de temperatura do ar corresponde a uma redução da temperatura dos grãos. Quando a umidade do ar é menor que a dos grãos, também ocorre o efeito do resfriamento evaporativo, que consiste na remoção de umidade dos grãos (secagem) e umedecimento do ar. No processo de evaporação de umidade ocorre consumo de calor e, portanto resfriamento dos grãos. Daí vem o termo, resfriamento evaporativo (SAUER, 1992).

De acordo com Lasseran (1981), a quantidade de água evaporada no decorrer da aeração é tanto maior quanto mais quente e úmido estiver o grão e quanto maior for a diferença de temperatura entre este e o ar de aeração.

2.5.1 Principais objetivos da aeração de grãos

Weber (2001), Lasseran (1981) e Silva (2000) afirmam que o objetivo essencial da aeração é o resfriamento e a manutenção do grão a uma temperatura suficientemente baixa para assegurar uma boa conservação; secundariamente o interesse pode ser a secagem.

Os principais objetivos da aeração para Puzzi (2000) são: impedir a migração e a condensação de umidade; promover resfriamento da massa de grãos; aplicar fumigantes e remover maus odores.

O processo de aeração, homogeneizando a temperatura dos grãos reduz a possibilidade da formação de desníveis de umidade em toda a massa armazenada. Regiões apresentando alto teor de umidade favorecem a proliferação de fungos, deteriorando o produto. Dessa forma, o resfriamento da massa de grãos pode impedir o desenvolvimento desses microorganismos. Segundo Lasseran (1981), cereais podem ser armazenados com teores de umidade entre 14 e 15% de umidade, quando mantidos em temperaturas baixas.

De acordo com Weber (2001), existe uma finalidade estratégica para a realização da aeração. Assim, classifica a mesma em quatro tipos distintos, diferenciados pela vazão de ar utilizada no dimensionamento. São elas: aeração de manutenção; aeração corretiva; aeração de resfriamento e aeração secante.

A aeração de manutenção é classificada como aquela realizada em grãos secos, frios e limpos. A sua finalidade é neutralizar o aquecimento espontâneo dos grãos e as correntes de convecção, que se formam devido às diferenças de temperatura na massa. A aeração corretiva é realizada quando se verifica uma elevação da temperatura acima do normal, podendo ser causada por concentração de impurezas em um determinado ponto da massa, pelo desenvolvimento de microorganismos, por infiltração da umidade ou pelo acúmulo de finos e quebrados que impedem a passagem do ar. A aeração de resfriamento, por sua vez, é realizada em grãos quentes, depois do processo de secagem, com a finalidade de resfriá-los. Por fim, a aeração secante, refere-se à secagem no próprio silo (WEBER, 2001).

Noyes et al. (1995) afirmam que a aeração é uma ferramenta de baixo custo e eficaz na melhoria das condições de armazenagem, porque reduz a temperatura dos grãos e a migração de umidade. Reduzindo os pontos de alta temperatura, também reduz o desenvolvimento de fungos e insetos, os quais podem comprometer severamente a qualidade do produto armazenado.

2.5.2 Aplicação de sistemas de aeração

Dentre os estudos realizados sobre aeração, constam os que utilizaram essa técnica como ferramenta para a conservação de grãos armazenados e os que descreveram o processo com modelos matemáticos.

Conhecendo a vulnerabilidade do arroz à infestação de insetos no período de armazenagem, Ranalli et al. (2002) realizaram pesquisa para investigar a eficiência da aeração controlada com termostato na redução da temperatura dos grãos e na prevenção de infestação de insetos em relação à aeração controlada manualmente. Verificaram que os dois tratamentos reduziram o número de insetos, mas a estratégia de aeração controlada por termostato foi melhor que a operada manualmente. Desse modo, os autores afirmam que a aeração ambiente controlada pode ser uma alternativa eficiente contra a presença de insetos em grãos armazenados, podendo substituir o controle químico.

Realizando estudo com aeração em amendoim armazenado numa fazenda, no sudoeste dos Estados Unidos, Butts et al. (2006) verificaram que a aeração minimizou a produção de aflatoxina. Com grãos à temperatura inicial de aproximadamente 26 °C, temperatura ambiente de 14 °C e utilizando uma taxa de aeração de 0,31 m³ min⁻¹ t⁻¹ de ar, em 8 dias o sistema de aeração reduziu 6 °C de temperatura dos grãos.

Devilla et al. (2004) estudaram a variação de temperatura e umidade durante aeração de 4,32 toneladas de grãos de milho armazenados em silo. O objetivo foi determinar o tempo de aeração necessário para que houvesse uma diferença de temperatura de 3 °C entre a massa de grãos e o ambiente. O fluxo de ar utilizado foi de 0,0157 m³ s⁻¹ m⁻² (2,22 m³ min⁻¹ t⁻¹). Concluíram que um tempo de aeração de aproximadamente 70 h foi suficiente para que a diferença de temperatura entre a massa de grãos e o ambiente externo ao silo fosse de 3 °C.

Lasseran (1981) realizou experimento de resfriamento de uma massa de 2,25 toneladas de grãos de trigo a temperatura e umidade iniciais de 27,5 °C e 20%,

respectivamente. O ar de aeração apresentava temperatura de bulbo seco de 19,6 a 20 °C, temperatura de bulbo úmido de 16 °C, umidade relativa de 68% e vazão específica de 33 m³ h⁻¹ m⁻³ de grãos (0,74 m³ min⁻¹ t⁻¹). O autor apresentou diversas equações para determinação da velocidade de propagação do resfriamento na massa de grãos, do tempo de resfriamento, do volume de ar necessário por metro cúbico de grãos e da perda de água ocasionada pela ventilação. Após 30 horas de aeração os grãos alcançaram temperatura média de 17,5 °C. A frente de resfriamento alcançou a camada superficial após 10 horas de aeração.

Oliveira et al. (2007) estudaram teórica e experimentalmente a dinâmica de resfriamento de grãos de soja armazenados em silo com aeração. A parte experimental consistiu da obtenção de dados de resfriamento da massa de grãos pré-aquecida para diferentes alturas e velocidades do ar, em um silo de bancada. Esses dados foram utilizados para posterior comparação com os resultados calculados por simulação dos modelos teóricos e validação dos mesmos. A análise teórica da dinâmica de resfriamento, por sua vez, foi simulada por dois modelos matemáticos. No primeiro modelo a massa de grãos foi dividida em duas zonas, pela fronteira móvel do resfriamento, as quais apresentavam diferentes difusividades térmicas. No outro modelo a divisão se deu em pequenas camadas e foi considerado que o equilíbrio térmico entre o ar e a massa de grãos era atingido instantaneamente. Esses modelos matemáticos apresentaram algumas limitações. A primeira delas, no modelo 1, refere-se à exclusão do fenômeno de transferência de massa e a outra em considerar a difusividade térmica das camadas constante. O modelo 2, entretanto, foi mais abrangente, considerando a conservação de energia do sistema e as propriedades físicas do grão (calor específico, peso específico e porosidade), obtendo por isso, melhor representação dos dados experimentais.

Devilla et al. (2005) utilizaram a técnica de elementos finitos para modelar a distribuição de ar em grãos de milho armazenados em silo metálico com sistema de aeração por dutos de distribuição do ar. Verificaram a ocorrência de regiões de baixa velocidade do ar no fundo do silo, proporcionando zonas com pouca aeração. Os autores ressaltam que esse fato pode comprometer o resfriamento dos grãos nessas zonas. Na superfície da massa de grãos, entretanto, a velocidade do ar tendeu a ser uniforme.

2.5.3 Sistema de aeração e partes constituintes

Um sistema de aeração geralmente é composto por: ventilador, duto de fornecimento do ar (ou expansão), câmara plenum, duto de aeração (ou fundo perfurado) e um controlador. O ventilador é o responsável por fornecer a quantidade de ar necessária ao resfriamento do produto, deve ser capaz de vencer a resistência oferecida à passagem do ar pela massa de grãos e acessórios do sistema. O ventilador pode insuflar ou succionar o ar ambiente. O seu rotor pode ser centrífugo ou axial (LASSERAN, 1981; BROOKER et al., 1992; PUZZI, 2000; SILVA, 2000).

A expansão constitui-se da parte que conecta o ventilador à câmara plenum, seu formato propicia que o ar insuflado no silo converta a energia cinética em energia potencial, necessária para penetrar na camada de grãos. Deve ter uma área transversal tal que a velocidade do ar não exceda o valor de 7,70 a 10,20 m.s⁻¹, para prevenir excesso de perda de carga dentro dos dutos (SILVA, 2000).

Os dutos de aeração ou fundo perfurado conduzem e distribuem o ar através da massa de grãos. A distribuição do ar por fundo perfurado apresenta custo inicial mais elevado que os condutos perfurados, entretanto, é a que permite melhor distribuição do ar nos grãos. Quando da utilização de dutos, a sua localização e o espaçamento entre eles é fator crucial no dimensionamento, pois influi diretamente na uniformidade de distribuição do ar (LASSERAN, 1981; BROOKER et al., 1992; PUZZI, 2000; SILVA, 2000).

2.5.4 Dimensionamento do sistema de aeração

A vazão de ar necessária, a pressão estática, a potência requerida pelo ventilador, a potência do motor, a área de perfurações e o tempo de resfriamento, são os parâmetros a dimensionar num projeto de sistema de aeração. Quando a distribuição do ar é realizada por meio de dutos também se faz necessário o dimensionamento do número de dutos e espaçamento entre eles (PUZZI, 2000; SILVA, 2000).

A vazão específica de ar varia em função do tipo de unidade armazenadora. Desse modo, Silva (2000) admite para silos verticais um fluxo de ar de 0,05 a 0,1 m³ min⁻¹ t⁻¹ de grãos (3 a 6 m³ h⁻¹ t⁻¹), e para estruturas horizontais entre 0,1 e 0,2 m³ min⁻¹ t⁻¹ de grãos (6 e 12 m³ h⁻¹ t⁻¹). A vazão específica também pode variar em função das condições atmosféricas, tipo de grãos, potência do motor, finalidade e tempo de aeração.

Observou-se, em trabalhos relacionados com aeração de grãos, que os autores utilizam uma faixa de vazão específica que varia além dos limites especificados por Silva (2000). Realizando aeração em milho, Devilla et al., (2004) utilizou vazão específica de $2,22 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ($0,0157 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$). Lasseran (1981), Reed e Harner III (1998) e Casada et al. (2002) aplicaram vazão específica de $0,74 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, $0,39 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ e $0,11 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, respectivamente, em pesquisas realizadas com trigo. Ranalli et al. (2002) trabalhando com arroz aplicou vazão específica de $1,3 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ e Butts et al. (2006) utilizou $0,31 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ trabalhando com amendoim.

A camada de grãos e o sistema de distribuição do ar oferecem uma resistência à passagem do ar. Desse modo, o ventilador deve fornecer uma pressão estática que seja superior a essa resistência. A pressão estática varia diretamente com a altura da massa de grãos e com a velocidade com que o ar atravessa essa camada (SILVA, 2000).

A potência do ventilador é determinada a partir dos dados de vazão de ar, pressão estática e eficiência do ventilador. Brooker et al. (1992) afirmam que o fluxo de ar deve ser determinado de forma a minimizar a potência requerida do ventilador de aeração.

Em relação ao sistema de distribuição do ar, a área perfurada deve ocupar no mínimo 10% da superfície total e as perfurações devem possuir diâmetros suficientemente pequenos para impedir a entrada de grãos nas tubulações.

2.5.5 Utilização de controladores na automação da aeração e critérios para a decisão de quando aerar

A operação de um sistema de aeração pode ser manual ou automatizado, com uso de controladores. Os critérios estabelecidos para definição de quando e quanto tempo o sistema deverá funcionar dependem do objetivo da aeração e geralmente são baseados na temperatura dos grãos e nas condições meteorológicas do ar ambiente, temperatura e/ou umidade relativa.

Os controladores de aeração podem ser termostatos e/ou umidostatos, que consideram, respectivamente, a temperatura e a umidade relativa do ar como parâmetro. Existem ainda sistemas que são operados de acordo com informações obtidas por termopares ou sensores de temperatura instalados no interior da massa de grãos armazenados.

A escolha da melhor estratégia de manejo de um sistema de aeração quanto à sua eficiência e custo é tema de diversos estudos.

Reed e Harner III (1998) partiram do pressuposto que muitos produtores temem realizar aeração com ar muito úmido, devido à possibilidade de elevação da umidade dos grãos e conseqüente deterioração, e então, realizaram testes de aeração com trigo em silos com dois tipos de controladores: um somente com termostato e outro com termostato e umidostato. O umidostato foi programado para desligar o sistema de aeração em umidade relativa acima de 90% e o termostato para realizar três ciclos de aeração. Os autores afirmam que nenhuma deterioração foi observada nos dois tratamentos, sendo que o uso do termostato proporcionou resfriamento do trigo mais rapidamente durante o primeiro ciclo de aeração, entretanto, demandou tempo maior para realizar os três ciclos. Os autores também ressaltam uma desvantagem do umidostato: a perda de precisão em temperatura e umidade relativa elevadas.

Ranalli et al. (2002) avaliaram a eficiência da aeração no controle da temperatura e de insetos em grãos de arroz armazenados. Utilizaram seis silos, dos quais três deles foram equipados com controlador de aeração, munido de termostato e umidostato, e os outros três foram aerados conforme o procedimento tradicional do administrador da fazenda. Verificaram que a redução de temperatura dos grãos com o controlador de aeração foi maior quando comparada à aeração tradicional e que este pode ser um tratamento eficiente contra insetos na armazenagem de arroz, bem como uma alternativa útil na substituição do controle químico.

Casada et al. (2002) e Akdogan e Casada (2006) afirmam que é importante considerar se ambos, a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, são aceitáveis para uma adequada aeração de resfriamento. Estudando o monitoramento de temperatura e estratégias de aeração de trigo armazenado em planícies centrais dos Estados Unidos, Casada et al. (2002) realizaram aeração controlada por termostato em três ciclos nos anos 2000 e 2001. Os autores verificaram melhores temperaturas mais adequadas ao controle de insetos nos grãos aerados em relação aos armazenados sem aeração. Entretanto, no estudo realizado em 2001, embora a temperatura fosse baixa, a umidade relativa do ar no período noturno era alta, o que provocou um ligeiro reumedecimento e aumento da temperatura dos grãos, devido ao efeito do calor latente.

Sauer (1992) explica que em aeração com ar à umidade relativa superior à de equilíbrio com os grãos, ocorre elevação da umidade dos mesmos até a condição de equilíbrio ser alcançada. Se o processo ocorrer adiabaticamente, o calor de condensação da umidade adicionada aos grãos também aquece o ar.

Akdogan e Casada (2006), estudando o efeito da umidade do ar no controle da aeração de trigo vermelho duro de inverno, desenvolveram um procedimento para calcular a temperatura efetiva, que leva em consideração a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido e a umidade do grão para prever a temperatura final dos grãos após a aeração. Dados climáticos históricos, obtidos de hora em hora, foram utilizados para determinar a disponibilidade de horas de aeração para uma condição de temperatura final dos grãos abaixo de 24 °C. Os grãos resfriados foram altamente influenciados pela umidade relativa. Verificaram que a disponibilidade de horas de aeração, considerando umidade do ar em equilíbrio com os grãos e temperatura abaixo de 24 °C foi reduzida 78% quando comparada ao cálculo baseado apenas na temperatura de bulbo seco.

Em diversos trabalhos avaliou-se a realização de aeração controlada operada em ciclos, sendo que um ciclo de aeração foi considerado completo quando, por medições de temperatura, verificou-se que a frente de resfriamento já havia atravessado a massa de grãos.

Reed e Harner III (1998) utilizaram regime de três ciclos, em aeração de grãos de trigo recém-colhidos, o controlador foi programado para acionar o ventilador quando a temperatura de bulbo seco do ar ambiente estivesse em 22 °C ou valores inferiores. Depois de completado o primeiro ciclo o controlador foi reprogramado para 15 °C e, posteriormente, para 8 °C.

Ranalli et al. (2002), em Arkansas, realizaram aeração de arroz com teor de umidade entre 12 e 14%. O sistema de aeração foi controlado por termostato e umidostato em três ciclos, as programações utilizadas foram: 23,9 °C e 75% UR; 15,5 °C e 70% UR; 7,2 °C e 65% UR. Os autores afirmam que a umidade relativa de equilíbrio foi determinada pela equação de Henderson Modificada.

Uma comparação entre estratégias de aeração controlada por termostato de dois e três ciclos foi desenvolvida por Casada et al. (2002). O estudo foi realizado nos anos de 2000 e 2001 com grãos de trigo em Kansas. A programação utilizada na aeração com três ciclos à temperatura de 24 °C no verão, 15 °C no início do outono e 7 °C no final do outono. A aeração em dois ciclos, por sua vez, foi operada somente no outono com temperatura de 15 °C e, posteriormente, 7 °C.

Literaturas relacionadas ao tema fornecem recomendações, baseadas na temperatura e umidade dos grãos e do ar ambiente, que podem ser consideradas no manejo do sistema de

aeração manual e na para programação de sistemas automáticos. Alguns autores propõem até mesmo equações para determinação do tempo de aeração.

De acordo com Puzzi (2000), a umidade relativa do ar de aeração deve ser de, no máximo, 70% UR, uma vez que os grãos com teor de umidade adequado para o armazenamento encontram-se em equilíbrio com umidade relativa máxima de 70% do ar intergranular.

Em relação à temperatura, Puzzi (2000) e Weber (2001) estabelecem que a decisão de aerar só deve ser tomada quando a temperatura do ar externo for inferior à da massa de grãos em, pelo menos, 6 °C ou forem constatados pontos na massa de grãos com diferenças de temperatura iguais ou maiores que esse valor.

Silva (2000) apresenta um diagrama (Figura 2) que estabelece as seguintes condições para a realização da aeração:

- Umidade relativa maior que 90%: aeração somente quando a diferença de temperatura entre o ar e os grãos for maior que 5 °C;
- Umidade relativa menor ou igual a 60%: aeração somente em grãos úmidos ou que estejam à temperatura bastante superior à do ar, para evitar supersecagem dos grãos;
- Quando a diferença de temperatura entre o ar e os grãos for de 3 a 5 °C a aeração é recomendada, mas se for menor que 3 °C, torna-se desnecessária;
- Gradiente de temperatura superior a 7 °C torna a aeração possível, entretanto pode provocar condensação de umidade na superfície ou nas paredes do silo.

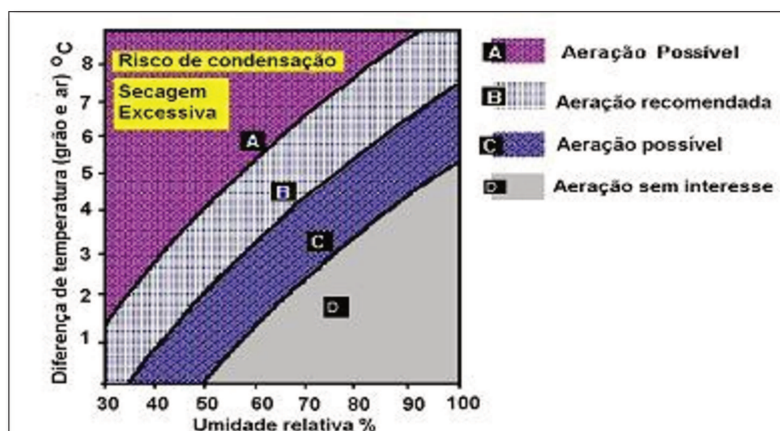


Figura 2. Diagrama de aeração
Fonte: SILVA (2000)

Para a determinação do tempo de aeração, Brooker et al. (1992) propuseram uma equação de balanço de calor que determina o tempo aproximado de uma aeração de manutenção, baseado no modelo de camada estacionária. Para a aplicação da equação se faz necessário que as seguintes condições sejam satisfeitas:

- O grão e o ar intergranular estejam em equilíbrio em temperatura e umidade durante todo o período da aeração.
- As condições ambientais podem ser representadas por valores médios de temperatura ($T_{entrada}$) e umidade ($H_{entrada}$).
- A umidade do ar de saída é conhecida e permanece constante durante todo o período de aeração.
- Uma pequena camada da zona de resfriamento é assumida.

A equação proposta é a seguinte:

$$t = \frac{W_g C_g (\theta_{inicial} - \theta_{final})}{G_a \rho_a C_a (\theta_{inicial} - T_{entrada}) + G_a \rho_a h_f (H_{entrada} - H_{saída})} \quad (1)$$

Onde: t é o tempo de aeração; W_g é a massa de grãos; C_g é o calor específico do grão; $\theta_{inicial}$ e θ_{final} , são, respectivamente a temperatura inicial e final do grão; G_a é a vazão de ar; ρ_a é a densidade do ar; C_a é o calor específico do ar; $T_{entrada}$ é a temperatura do ar de entrada; h_f é o calor latente de vaporização e $H_{entrada}$ e $H_{saída}$ são, respectivamente, a umidade do ar de entrada e de saída.

Quando os grãos são resfriados com ar à temperatura ambiente, a equação fica:

$$t = \frac{W_g C_g}{G_a \rho_a C_a} \quad (2)$$

Brooker et al. (1992) ressaltam que o tempo de resfriamento calculado pela Equação 1 é menor do que o tempo necessário para resfriar os grão numa condição real. Porque a equação considera a espessura da zona de resfriamento insignificante. Explica que, para uma profundidade finita da zona de resfriamento, a diferença entre as temperaturas inicial e do ar de aeração será menor que o valor usado na Equação 1 para um período de tempo limitado. Sugerem, portanto, que o tempo determinado pela Equação 1 seja multiplicado por 1,25.

Prolongar o tempo de aeração não é recomendado, uma vez que pode resultar em encolhimento (secagem), reduzindo a massa dos grãos armazenados (CASADA et al., 2002).

Brooker et al. (1992) relembram pontos importantes de serem observados nas estratégias de aeração:

- Para resfriar de 3 a 5 °C em relação à média diária da temperatura ambiente, são necessários 30 dias de aeração em climas temperados e de 15 a 20 dias em regiões de clima tropical e subtropical;
- A média do tempo de resfriamento diário é de 10 horas;
- O sistema de aeração deve ser acionado o mais rápido possível, até mesmo antes do silo estar totalmente carregado;
- O sistema de aeração não deve ser operado em período chuvoso e com neblina.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização inicial

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Tecnologia Pós-colheita da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

Nos ensaios foram utilizados grãos de milho (*Zea mays* L.), safra 2008/2009, adquiridos no comércio local. As características físicas, como dimensões, massa específica aparente e real, e porosidade dos lotes foram determinadas de forma semelhante ao proposto por Benedetti (1987) e estão informadas nos itens adequados.

3.2 Construção e instrumentação dos silos

Seis silos em escala laboratorial foram construídos e instrumentados com sensores de temperatura, umidade relativa e ventiladores.

Latões de óleo diesel com dimensões 0,57 m de diâmetro e 0,85 m de altura foram adaptados a silos mediante a construção de expansão, câmara plenum e telhado. A expansão foi acoplada à parte inferior dianteira do latão com comprimento de 0,60 m e seção variando de 0,04 x 0,04 m na extremidade da conexão com o ventilador até 0,20 x 0,57 m (Altura x Largura) no encaixe na câmara plenum. Foi instalada uma chapa perfurada a 0,20 m de altura e à região delimitada entre o fundo do latão e a chapa perfurada denominou-se de câmara plenum. O telhado foi construído em formato piramidal com base quadrada de 0,70 m de lado, cuja diferença entre a forma da seção circular do silo e a quadrada do telhado permitia a exaustão do ar da aeração (Figura 3A).

Foi realizado isolamento externo dos silos com uma camada de 0,01m de poliestireno expandido (isopor), com o objetivo de reduzir o efeito das condições meteorológicas sobre as paredes dos silos.

Com o objetivo de favorecer a retirada de amostras dos silos foram feitas três aberturas circulares em suas paredes, com diâmetro de 0,051 m (2”), dotada de tampas rosqueadas e posicionadas nas alturas 0,31 m, 0,53 m e 0,74 m em relação à base dos silos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**B). Outros acessórios, como suportes para a instalação dos termopares dentro dos silos e suporte para a chapa perfurada também foram construídos (Figura 3D).

Um inversor de frequência foi utilizado para variar a rotação do ventilador, de forma a ajustá-la a valores correspondentes à vazão de ar de projeto (Figura 3I).

A vazão dos ventiladores foi monitorada indiretamente por sensores ópticos conectados a um circuito eletrônico digital. Esses sensores foram instalados em linha, de modo que, quando as pás do ventilador interrompiam o feixe de luz gerado pelo sensor, um sinal era enviado para o circuito (Figuras 3C e 3J). Assim, o circuito determinava a frequência de rotação do ventilador e por meio de uma curva de calibração com o anemômetro de pás, a velocidade do ar (Equação 3). A partir da velocidade do ar, e sendo conhecida a área do anemômetro, determinava-se a vazão de ar. A curva de calibração encontra-se no Apêndice 1.

$$y = 112,26x + 70,472 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9898$$

onde, y é a frequência em rotações por segundo, x é a velocidade do ar (m s^{-1}) e R^2 é o raio de correlação entre as variáveis x e y .

O monitoramento da temperatura dos grãos foi realizado por meio de sensores digitais da marca Dallas, modelo DS18B20 com precisão $\pm 0,5^\circ\text{C}$, faixa de operação -55 a $+125^\circ\text{C}$ e resolução $0,0625^\circ\text{C}$. O protocolo de comunicação utilizado nesse sensor é denominado 1-Wire® e requer apenas uma linha de dados para comunicação com o microcomputador.

Na câmara plenum e na parte interna do telhado foram instalados sensores para monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar de entrada e saída dos silos. Os sensores de temperatura e umidade relativa são da marca Sensirion, modelo SHT75. Nesses sensores a medida da umidade relativa é realizada por um elemento capacitivo e a temperatura é medida por um circuito “band-gap”, o qual utiliza uma junção PN diretamente polarizada como referência de tensão. A tensão varia com a temperatura e, dessa forma, o circuito converte a variação de tensão (mV) em temperatura ($^\circ\text{C}$). As características de desempenho do sensor de umidade relativa são: resolução 0,4 a 0,05%; precisão $\pm 1,8\%$; faixa de operação 0 a 100%. O sensor de temperatura, por sua vez, apresenta resolução de 0,04 a 0,01 $^\circ\text{C}$, precisão $\pm 0,3^\circ\text{C}$ e faixa de operação -40 a $+123,8^\circ\text{C}$.

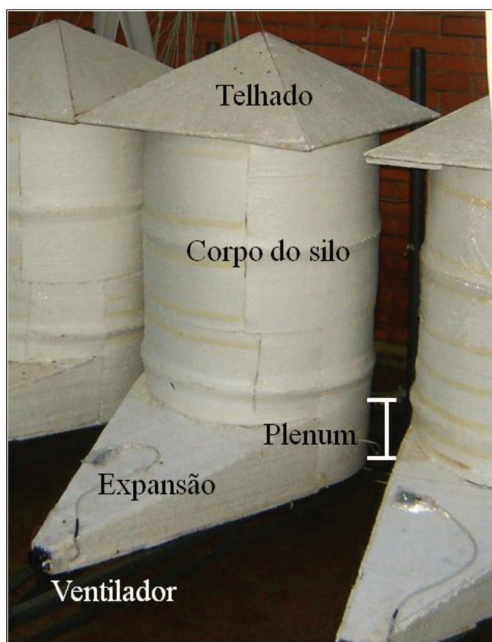
Os sensores foram ligados a um sistema de aquisição de dados, que recebeu as leituras e as transmitiu via rádio para um receptor conectado a uma porta USB do computador. Os dados recebidos ou enviados foram todos gerenciados por um programa denominado CPS, cuja interface amigável permitiu fácil utilização.

O sistema de aquisição de dados é composto por placas e pelo sistema de transmissão de dados. Esse equipamento tem três placas com 24 canais, apropriadas para a conexão de sensores de temperatura e uma placa com 12 canais para sensores de temperatura e umidade relativa, perfazendo um total de 84 canais (Figura 3K).

O monitoramento das condições climáticas, temperatura e umidade relativa do ar, foi realizado por um higrotermógrafo digital da marca CE, modelo center 342, que opera na faixa de -30 °C a +70 °C e 0% a 100% de UR. Esse aparelho apresenta precisão de $\pm 0,4$ °C e $\pm 3\%$ de UR, resolução de 0,1 °C e 0,1% de UR e memória para 32000 leituras (Figura 3L).

Na automação da estratégia de aeração noturna utilizou-se temporizador da marca COEL, modelo RTST/20 que apresenta 20 memórias para programação, 16 tipos de programas diários ou semanais e acionamento manual ou automático da saída.

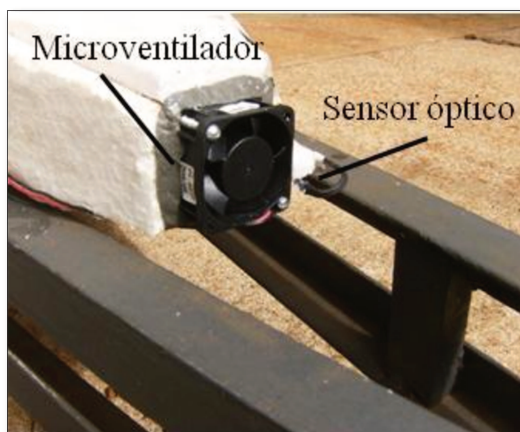
Um controlador de umidade, umidostato, foi o responsável pelo acionamento automático da estratégia de aeração cujo parâmetro de controle consistia na umidade relativa do ar ambiente em condições de equilíbrio com o teor de umidade do grão. O umidostato foi conectado a uma interface serial e a um computador, visando o armazenamento dos dados de leitura de umidade relativa do ar e do período de acionamento do sistema de aeração. O umidostato é da marca Full Gauge, modelo MT 531 Ri plus, apresenta umidade de controle de 20% a 85% e umidade de operação de 10% a 90%. A interface serial também é da marca Full Gauge, modelo CONV 256 e apresenta oito portas RS-485 independentes para conexão de controladores.



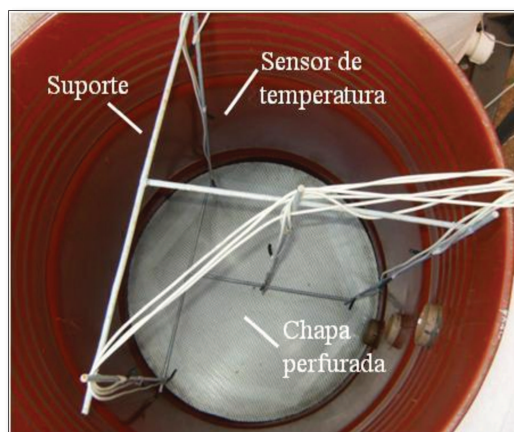
A. Parte dianteira do silo



B. Aberturas para retiradas de amostras



C. Microventilador acoplado à expansão



D. Parte interna dos silos



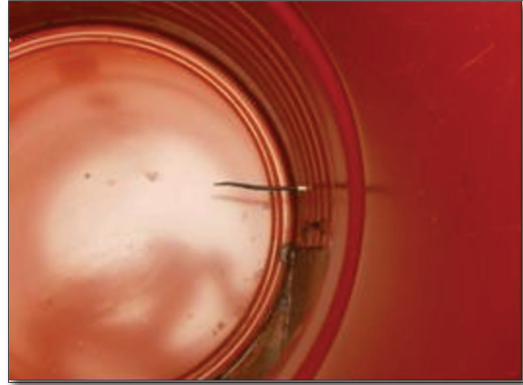
E. Amotras e calador



F. Posição do sensor de temperatura e umidade relativa no telhado



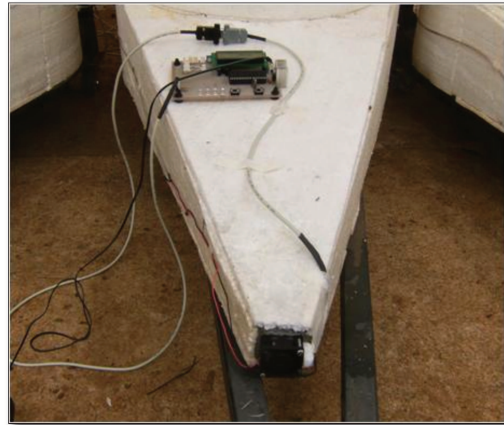
G. Vista externa: sensor de temperatura e umidade relativa no plenum



H. Vista interna: sensor de temperatura e umidade relativa no plenum



I. Inversor de frequência



J. Sensor óptico e circuito digital



K. Sistema de aquisição de dados



L. Higrotermógrafo



M. Temporizadores



N. Umídestatos

Figura 3. Equipamentos utilizados na pesquisa

3.3 Dimensionamento do sistema de aeração

O dimensionamento do sistema de aeração consistiu no cálculo da vazão de ar e da pressão estática do ventilador.

A vazão de ar foi calculada com base na vazão específica máxima recomendada para regiões quentes: $0,10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ para grãos secos e $0,60 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ para grãos úmidos, de acordo com Silva (2000).

A pressão estática foi obtida pela soma da perda de carga gerada pela camada de grãos e pelo sistema de distribuição do ar. A compactação dos grãos não foi considerada devido ao curto período de realização dos ensaios (24 dias) e à ausência de vibração por parte do ventilador. Para o cálculo da perda de carga gerada pela camada de grãos foi utilizada a Equação 4 (Brooker et al., 1992) com as constantes a e b específicas para baixas vazões de ar (ASABE, 2007). A perda de carga gerada pelo sistema de distribuição do ar foi estimada em 20% da resistência oferecida pelos grãos (SILVA, 2000).

$$\Delta P_g = \frac{a Q_a^2 h_g}{\ln(1 + b Q_a)} \quad a = 9,77 \times 10^3 \text{ Pa s}^2 \text{ m}^{-3} \text{ e } b = 8,55 \text{ m}^2 \text{ s m}^{-3} \quad (4)$$

onde, ΔP_g é perda de carga na camada de grãos (Pa), Q_a é a vazão por área transversal do silo ($\text{m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$) e h_g é a altura da coluna de grãos (m).

Desse modo, calcularam-se a vazão e a pressão estática para seleção do ventilador a ser utilizado, considerando-se a quantidade de 130 kg de milho (Tabela 1).

Tabela 1. Dados de pressão e vazão do ar de aeração para milho seco (13%) e úmido (18%)

Umidade inicial	Pressão (mmca)	Vazão (m³ min⁻¹)
13%	0,09	0,01
18%	0,52	0,08

Foram utilizados microventiladores elétricos axiais da marca Qualitas, modelo Q40SD4, vazão máxima $3,0 \pm 5\%$ L s⁻¹, pressão máxima 3,0 mmca, potência nominal 1,2 W, rotação $8340 \pm 10\%$ RPM e diâmetro do rotor 40 mm.

Com o auxílio do inversor de frequência e do sensor óptico foi possível realizar o ajuste da vazão do ventilador para o valor de projeto. Ao variar a rotação do ventilador, alterou-se também sua característica de pressão. Entretanto, não foi possível realizar a medição dessa pressão devido à dificuldade de encontrar instrumentos adequados para a escala. Então, utilizaram-se equações da lei de semelhança de ventiladores para calcular a nova pressão de operação (SILVA, 2000; BROOKER et al., 1992).

$$\begin{aligned}
 Q \therefore n \quad \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{n_1}{n_2} \\
 H \therefore n^2 \quad \frac{H_1}{H_2} &= \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2
 \end{aligned} \tag{5}$$

onde, Q é a vazão (m³ s⁻¹), n é a rotação (rpm), H é a pressão (mmca) e $\therefore$ indica proporção.

Desse modo, obtiveram-se os valores de pressão efetivamente fornecidos pelo ventilador (Tabela 2). Pode-se observar que a pressão fornecida para o ensaio com grãos secos é inferior ao valor de projeto. Entretanto, ressalta-se que esse valor ainda se encontra dentro da faixa de pressão recomendada, que corresponde ao valor de vazão específica mínima (0,03 m³ min⁻¹ t⁻¹) recomendada para regiões quentes (SILVA, 2000).

Tabela 2. Pressão calculada e fornecida pelo ventilador - grão seco (13%) e úmido (18%)

Pressão (mmca)	Grão seco	Grão úmido
Calculada	0,09	0,52
Fornecida	0,02	0,58

3.4 Preparo da matéria-prima

Um dos objetivos da pesquisa foi estudar os efeitos da aeração em milho seco (13% b.u.) e úmido (18% b.u.). O milho adquirido encontrava-se seco, então, uma parte foi umidificada conforme descrito abaixo.

Umidificação. A amostra de grãos foi subdividida em unidades de 10 kg, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos pretos. Adicionou-se água aos grãos, cuja quantidade foi calculada de acordo com a Equação 6. Realizou-se o revolvimento dos mesmos duas vezes ao dia para que a água fosse absorvida uniformemente. Por um período de quatro dias os grãos foram mantidos em câmara (17 °C) para completa absorção da água adicionada. Embora a expressão “milho úmido” não seja a mais adequada em razão do procedimento utilizado, essa terminologia será utilizada no texto para facilitar sua identificação.

$$Mar = Maf - Mai \quad (6)$$

$$Ui = \frac{Mai}{Mt}$$

$$Mai = Ui \times Mt$$

$$M_{MS} = Mt - Mai$$

$$Ud = \frac{Maf}{Maf + M_{MS}}$$

onde, Mai: massa de água inicial dos grãos (g); Maf: massa de água final (g); Mar: massa de água real, a ser adicionada (g); M_{MS} : massa de matéria seca dos grãos (g); Mt: massa total dos grãos (g); Ud: umidade desejada (decimal, b.u.); Ui: umidade inicial (decimal, b.u.).

Antes de serem levados aos silos os grãos foram aquecidos, conforme descrito abaixo, visando simular o processo de aquecimento espontâneo que pode ocorrer durante a armazenagem.

Aquecimento. Foi realizado com energia solar, sendo os sacos plásticos pretos contendo os grãos (camada de 0,08 m) expostos ao sol e movimentados periodicamente até alcançarem a temperatura desejada. A elevação da temperatura foi acompanhada por termômetros. Cada saco plástico continha 10 kg de grãos e serviram também para evitar a variação da umidade dos grãos durante o processo.

Devido ao aquecimento os grãos de milho sofreram secagem, desse modo, o milho seco ficou com teor de umidade inicial de 11% (b.u.) e o milho úmido 16,8% (b.u.).

3.5 Estratégias de aeração

Realizaram-se dois ensaios de aeração, ambos com duração de 24 dias. No primeiro ensaio realizou-se aeração de milho seco e milho umidificado. Para isso foram utilizados seis silos, sendo que nos três primeiros (Silo 1, Silo 2 e Silo 3) foi realizada aeração com milho seco ($U_i=11\%$ b.u.) e nos outros três (Silo 4, Silo 5 e Silo 6) fez-se aeração com milho umidificado ($U_i=16,8\%$ b.u.). Devido a limitações práticas o ensaio com milho umidificado, de 12 de agosto a 04 de setembro de 2009, foi iniciado com uma defasagem de cinco dias em relação ao ensaio com milho seco de 17 de agosto a 10 de setembro.

Os tratamentos de aeração foram: aeração contínua (Silos 1 e 4), aeração noturna (Silos 2 e 5) e aeração em condições de equilíbrio entre o ar ambiente e os grãos (Silos 3 e 6).

O segundo ensaio foi realizado apenas com grãos de milho secos (11,5% b.u.), no qual foram utilizados os silos 1, 2 e 3. A este ensaio acrescentou-se um silo controle, sem aeração (Silo 0). Esse ensaio foi realizado no período de 24 de outubro a 17 de novembro de 2009.

Aeração contínua. Nesta estratégia, o sistema de aeração operou ininterruptamente durante todo o período de 24 dias.

Aeração noturna. Realização de aeração apenas no período noturno. Um temporizador realizou acionamento automático desse sistema de aeração das 20 horas de um dia às 6 horas do dia seguinte.

Aeração em condições de equilíbrio. Acionamento do sistema de aeração apenas quando a umidade relativa do ar ambiente estava em condições de equilíbrio com a umidade do grão. Para esse tratamento, considerou-se uma faixa de $\pm 2\%$ em relação ao valor da umidade relativa de equilíbrio para operação do sistema. Desse modo, para milho seco (13%)

o umidostato acionava o sistema de aeração entre 68% a 72% de UR e na faixa de 83% a 87% de UR para milho umidificado (18%).

3.6 Análises

Temperatura. O monitoramento da temperatura da massa de grãos foi realizado por sensores de temperatura instalados nas seguintes alturas dos silos: logo abaixo da superfície da massa de grãos (54 cm), na parte central (33 cm) e logo acima da chapa perfurada (11 cm). Em relação às seções transversais, três termopares foram posicionados próximos à parede do silo em pontos correspondentes aos vértices de um triângulo equilátero e um no centro, resultando em 4 termopares por altura e 12 termopares dentro do silo (Figura 3D). Sensores de medidas simultâneas de temperatura e umidade relativa foram instalados no plenum e na parte interna do telhado, com a finalidade de se conhecer esses dados na entrada e na saída dos silos (Figuras 3F, 3G e 3H). Assim, ao todo, foram utilizados 72 sensores de temperatura e 12 sensores de temperatura e umidade relativa. Os dados de temperatura foram armazenados em intervalos de 5 minutos.

Amostragem. A amostragem de grãos foi realizada por intermédio de um calador, composto por seis janelas, das quais cinco penetraram no silo (Figura 3E). O processo de coleta de amostras se deu pelos seguintes procedimentos: inserção do calador fechado nas aberturas do silo; abertura das janelas para entrada dos grãos; fechamento das janelas e retirada do silo. Sobre uma mesa, abriram-se as janelas do calador e verteram-se os grãos de forma a coletar uma amostra por janela (uma repetição). Foram utilizadas amostras de quatro janelas (quatro repetições) para as seguintes determinações: umidade, contagem de fungos e condutividade elétrica, conforme métodos descritos a seguir.

Umidade. O teor de umidade foi determinado a cada três dias pelo método-padrão da estufa à 105 ± 3 °C por 24 horas, em quadruplicata, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992) e com a Portaria nº 845 (BRASIL, 1976).

Contagem de Fungos. Foram utilizadas duas metodologias na contagem de fungos: a contagem de colônias por plaqueamento em superfície e o teste do papel de filtro (Blotter Test). Essas análises foram realizadas com cinco e três repetições, respectivamente. Amostras foram retiradas no primeiro dia e a cada seis dias durante o ensaio, totalizando cinco análises por ensaio.

A contagem de fungos por plaqueamento em superfície foi realizada no primeiro ensaio em grãos de milho secos e umidificados, seguindo a seguinte metodologia. A amostra para plaqueamento foi preparada com a adição de 25 g de milho moído em 225 mL de Água Peptonada Tamponada (diluição 1:10 ou 10^{-1}). Os tubos de diluição foram preparados com 9 mL de água destilada e esterilizada. As amostras foram diluídas até a diluição 1:100 (10^{-2}). De cada uma das duas diluições, alíquotas de 0,1 mL foram transferidas para cinco placas de Petri com o meio de cultura Ágar Batata Dextrose com Cloranfenicol. As placas foram incubadas à temperatura ambiente de 25 °C por 72 horas. Após esse período foi feita a contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) por meio da identificação no aspecto macroscópico e microscópico das mesmas (RIBEIRO et al., 2003), com o objetivo de identificar as colônias de *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*. O cálculo dos resultados foi realizado multiplicando-se a quantidade de UFC g^{-1} pelo inverso da diluição. No caso da diluição 10^{-1} , multiplicou-se por 10 e na diluição 10^{-2} multiplicou-se por 10^2 . O resultado final foi multiplicado por 10 (dez), para levar em conta o volume 10 vezes menor (que 1 mL) inoculado. Quando não se observou crescimento de algum dos fungos nas placas considerou-se o número de colônias da primeira diluição inoculada como sendo 1 e calculou-se o resultado como descrito anteriormente, registrando-se então o resultado final acompanhado do símbolo (<), sendo este um valor estimado (SILVA, 2007).

O teste do papel de filtro (Blotter Test) com congelamento foi aplicado no segundo ensaio em grãos de milho secos. Os grãos foram colocados, devidamente espaçados, em recipientes gerbox contendo uma folha de papel germiteste umedecida com água destilada. Em seguida, foram mantidos durante 24 horas em temperatura de 20 °C e fotoperíodo de 12/12 horas de escuro e luz fluorescente branca de 40 W em câmara de incubação B.O.D. Para inibir a germinação dos grãos, os mesmos foram congelados durante 24 horas. Após esse período os recipientes retornaram à câmara de incubação por oito dias. Os grãos foram analisados individualmente, utilizando-se um microscópio estereoscópico e quando necessário foram examinadas lâminas ao microscópio composto, detectando-se a presença dos principais fungos encontrados em grãos de milho (SOAVE e WETZEL, 1987). O resultado foi dado em porcentagem do número de grãos infectados com cada fungo (BRASIL, 1992; MACHADO, 1988).

Condutividade elétrica. A determinação da condutividade elétrica seguiu metodologia adaptada de AOSA (1983). Pesaram-se aproximadamente 10 g de milho e adicionaram-se 80 mL de água deionizada. As amostras foram, então, mantidas em câmara de incubação por 24 horas a 25 °C para embebição. Após esse período a solução foi agitada e filtrada para a leitura em condutivímetro da marca Digimed, modelo DM-31. Esta análise foi realizada em triplicata e o resultado expresso em $\mu\text{S cm}^{-1}$.

3.7 Testes estatísticos aplicados aos resultados

Teste de Mann-Whitney

Também conhecido como Teste U, faz parte dos testes não-paramétricos, ou seja, aqueles destinados a analisar dados que não satisfazem as exigências dos testes paramétricos, em que os valores das variáveis estudadas devem ter distribuição normal. Esse teste é um substituto do teste t para amostras independentes (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

“O teste U baseia-se no seguinte raciocínio: se na amostra A os valores são, em geral, menores do que na amostra B, quando se ordenam do menor ao maior os valores das duas amostras juntas, os postos ocupados pelos indivíduos da amostra A serão, em geral, menores do que os ocupados pelos da amostra B. Consequentemente, o posto médio em A será também menor do que o posto médio em B. Uma diferença estatisticamente significativa entre os dois postos médios estará indicando que a população A tem um valor de tendência central menor do que a população B” (CALLEGARI-JACQUES, 2003, p. 167).

Esse teste foi aplicado aos dados depois de se perceber, por intermédio de histogramas, que não havia normalidade na distribuição dos mesmos.

Nos resultados do teste, utilizou-se o p-valor (valor padronizado) como critério para rejeição ou não rejeição da hipótese de igualdade. O p-valor foi obtido a partir do resultado da estatística do teste e será apresentado nas tabelas de resultados. Quando os dados apresentam uma forte evidência contra os pressupostos da hipótese nula (H_0), a magnitude da estatística do teste se torna grande e o p-valor do teste se torna pequeno o suficiente para que se rejeite a hipótese nula. O p-valor, ao contrário do valor da estatística do teste, não depende do tamanho amostral, mas sim do nível de significância adotado. Em todos os testes realizados utilizou-se

nível de significância de 5%. Desta forma, os critérios empregados no processo de decisão basearam-se nas seguintes observações:

$$\text{Se } \begin{cases} p - \text{valor} > 0,05 & \therefore \text{aceita} - \text{se } H_0 \\ p - \text{valor} < 0,05 & \therefore \text{rejeita} - \text{se } H_0 \end{cases}$$

Redução da Temperatura. Na análise de redução da temperatura ao longo do período de aeração, os dados foram separados em três grupos. No primeiro grupo, estão todas as medições de temperatura realizadas nos dois primeiros dias, as demais medições foram divididas em dois grupos iguais, correspondendo, portanto, ao grupo 2 os dados de temperatura do terceiro ao décimo terceiro dia e ao grupo 3 do décimo quarto ao vigésimo quarto dia de ensaio.

A metodologia utilizada consistiu em comparar as medianas dos grupos 1 e 2 e dos grupos 1 e 3, a fim de verificar se houve redução significativa da temperatura. Utilizou-se então o Teste de Mann-Whitney para testar a igualdade de duas medianas populacionais. Esse teste foi utilizado para avaliar as seguintes hipóteses.

H_0 : A mediana do grupo 1 é igual a mediana do grupo 2 (ou 3),

H_1 : A mediana do grupo 1 é maior que a mediana do grupo 2 (ou 3).

Redução da temperatura por altura da massa de grãos. Para analisar o resfriamento ao longo da altura da massa de grãos foram tomados os dados de temperatura nas três alturas de cada silo referentes apenas aos dois primeiros dias, período de maior taxa de resfriamento. Aplicou-se então, o Teste de Mann-Whitney para verificar a igualdade de duas medianas populacionais.

Hipóteses:

H_0 : As medianas são iguais;

H_1 : As medianas são diferentes.

Teste de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin

O Teste de estacionariedade de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) foi aplicado aos dados de temperatura para avaliar se a distribuição dos dados foi homogênea (ou estacionária) após os dois primeiros dias de ensaio. Esse teste baseia-se na premissa de que uma série dita estacionária se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante. Todavia, quando uma série flutua ao redor de um nível por certo tempo e depois muda de nível e flutua ao redor de um novo nível, ou quando ela muda de inclinação, ou ambas as coisas, ela é dita não-estacionária (KWIATKOWSKI et al., 1992).

Homogeneização da temperatura após 48 horas de aeração. Com o objetivo de verificar se os dados de temperatura se mantiveram homogêneos a partir do terceiro dia, ou seja, se houve baixa variabilidade na temperatura ao longo dos dias foi realizada uma análise de estacionariedade desses dados. Neste caso, consideraram-se os dados de temperatura como séries e aplicou-se o teste de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS).

O teste foi utilizado para avaliar as hipóteses:

H_0 : A série é estacionária;

H_1 : A série é não-estacionária.

Teste de Tukey

O teste de Tukey foi utilizado na análise dos dados de umidade, de contagem do ensaio 2 e nos dados de condutividade elétrica. Esse teste é paramétrico e utilizado em comparações de médias.

Os testes estatísticos foram realizados com auxílio dos softwares Minitab versão 15 e Assistat versão 7.5 beta.

Os resultados das análises serão apresentados na seguinte sequência: temperatura, tempo de aeração, umidade, fungos e condutividade elétrica. A discussão dos resultados baseou-se em dois tipos de comparações, entre as estratégias de aeração (silos) e entre as alturas (0,54 m, 0,33 m e 0,11 m em relação à chapa perfurada) de um mesmo silo. Também se realizou análise comparativa entre os ensaios 1 e 2, exceto para os resultados de contagem de fungos, pois as metodologias empregadas foram distintas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Matéria-prima

As características físicas dos lotes de grãos de milho adquiridos para serem utilizados nos ensaios são apresentadas na Tabela 3.

Observa-se que os grãos utilizados no ensaio 1 apresentaram teor de umidade inicial superior aos grãos do ensaio 2; maiores valores de massa e dimensões e, em contrapartida, menores valores de massa específica aparente e real. A porosidade foi influenciada pelas dimensões dos grãos, ou seja, os de maiores dimensões (ensaio 1) apresentaram maior porosidade que os de menores (ensaio 2).

Tabela 3. Características físicas do milho seco utilizado nos ensaios 1 e 2

Propriedades	Ensaio 1	Ensaio 2
Teor de umidade (% b.u.)	12,94	11,96
Massa do grão (g)	0,3652	0,3211
Dimensões principais do grão		
Comprimento (mm)	11,51 ± 1,55	11,29 ± 1,61
Largura (mm)	8,56 ± 1,10	8,35 ± 0,78
Espessura (mm)	4,90 ± 1,12	4,76 ± 0,94
Massa específica aparente (kg m ⁻³)	636,0 ± 2,7	676,2 ± 2,2
Massa específica real (kg m ⁻³)	1225,8 ± 22,1	1267,2 ± 23,6
Porosidade calculada (%)	48,12	46,6

4.2 Temperatura

A. Ensaio 1

No primeiro ensaio obtiveram-se os seguintes resultados experimentais de temperatura em grãos de milho secos e úmidos submetidos à aeração (Figuras 4 e 6). As curvas 0,54, 0,33 e 0,11 m correspondem às alturas da massa de grãos e cada ponto da curva à média das temperaturas registradas nos quatro sensores instalados em cada altura. As condições meteorológicas, temperatura e umidade relativa ambiente, no período de realização do ensaio com milho seco são apresentadas na Figura 5 e com milho úmido na Figura 7.

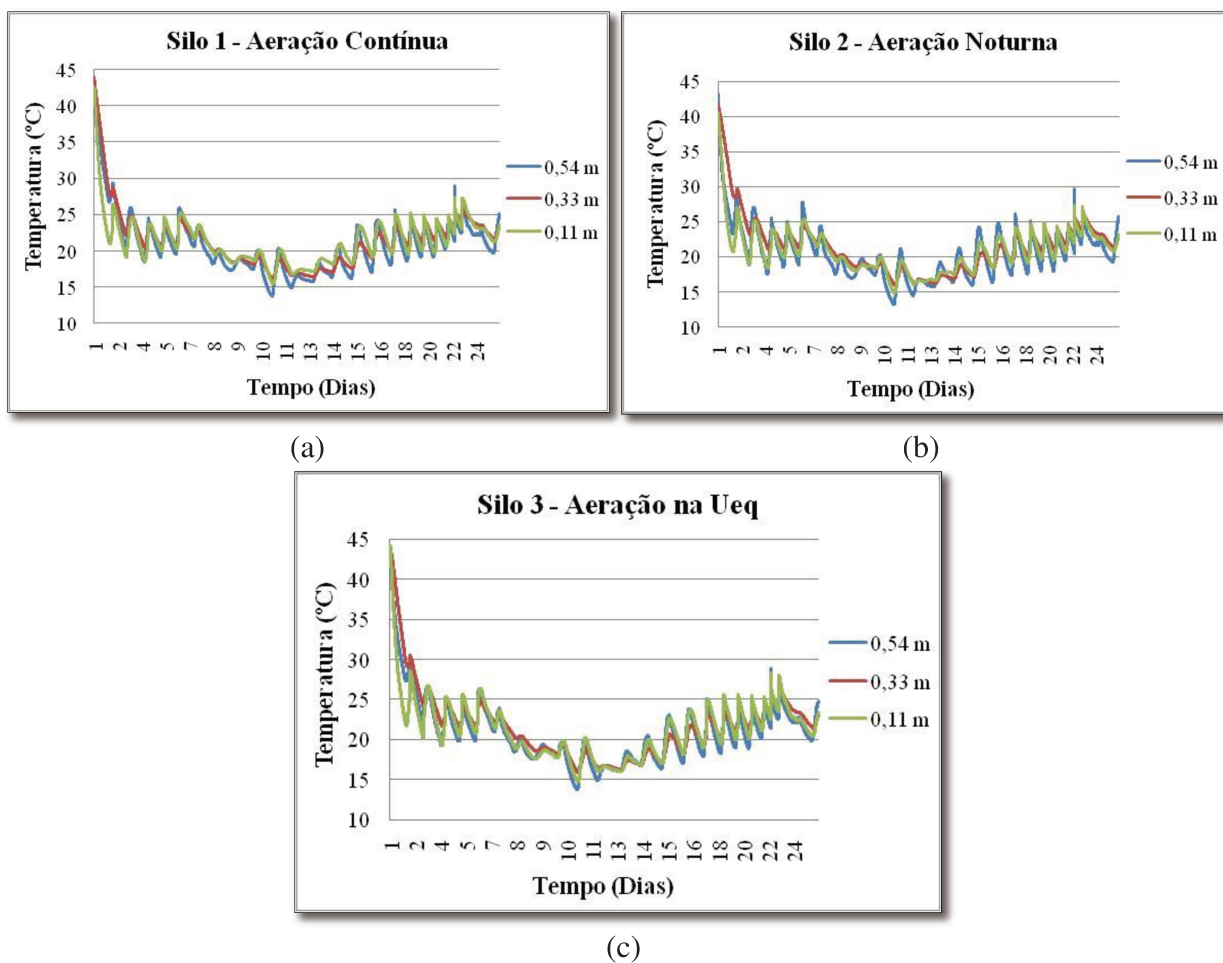


Figura 4. Comportamento da temperatura em três alturas da massa de grãos de milho seco (11% b.u.) armazenados durante 24 dias de aeração contínua (a), noturna (b) e em condições de umidade de equilíbrio (c)

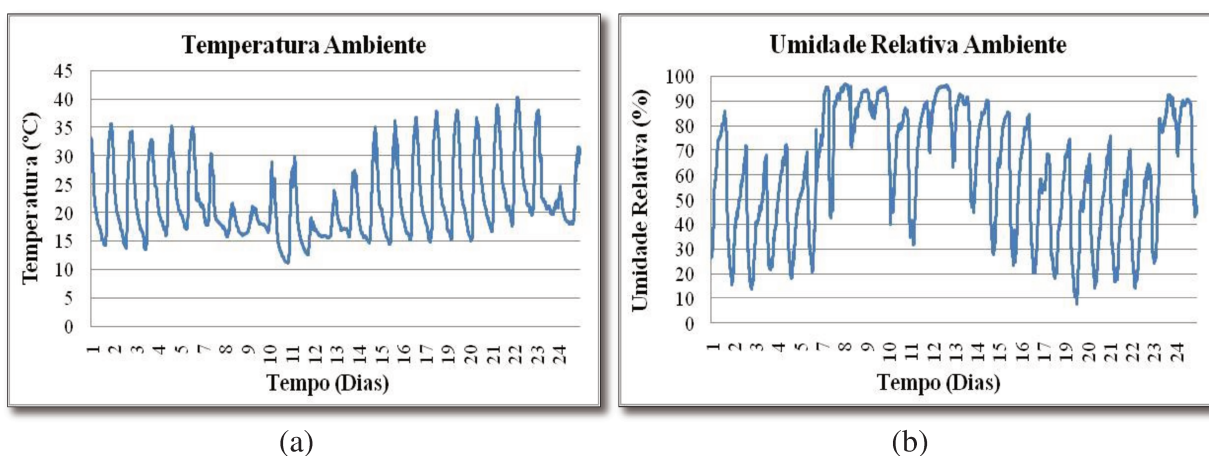


Figura 5. Variação da temperatura (a) e umidade relativa (b) do ar ambiente durante o período de 12/08 a 05/09/2009 (Ensaio 1 - milho seco)

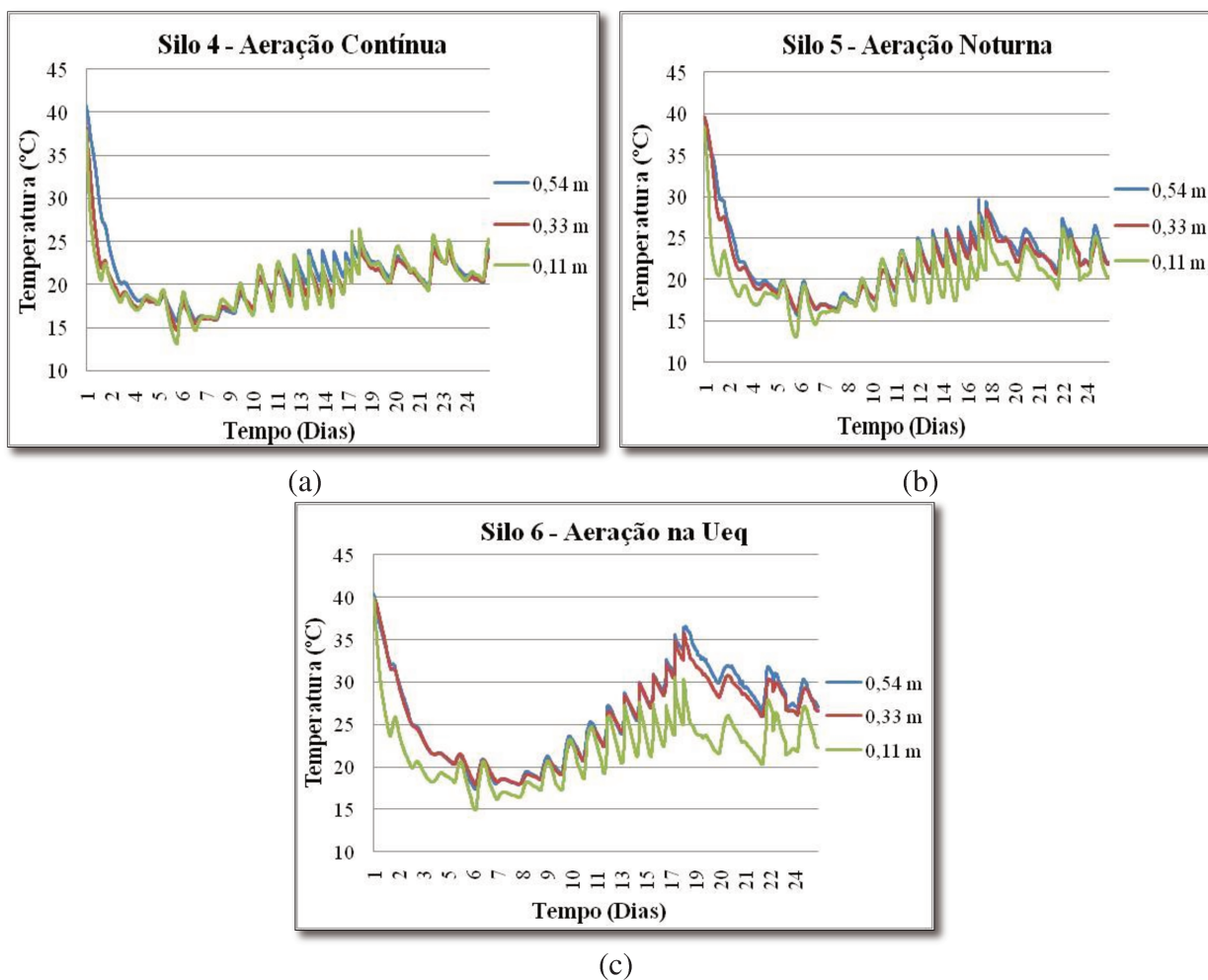


Figura 6. Comportamento da temperatura em três alturas da massa de grãos de milho úmidos (16,8% b.u.) armazenados durante 24 dias de aeração contínua (a), noturna (b) e em condições de umidade de equilíbrio (c)

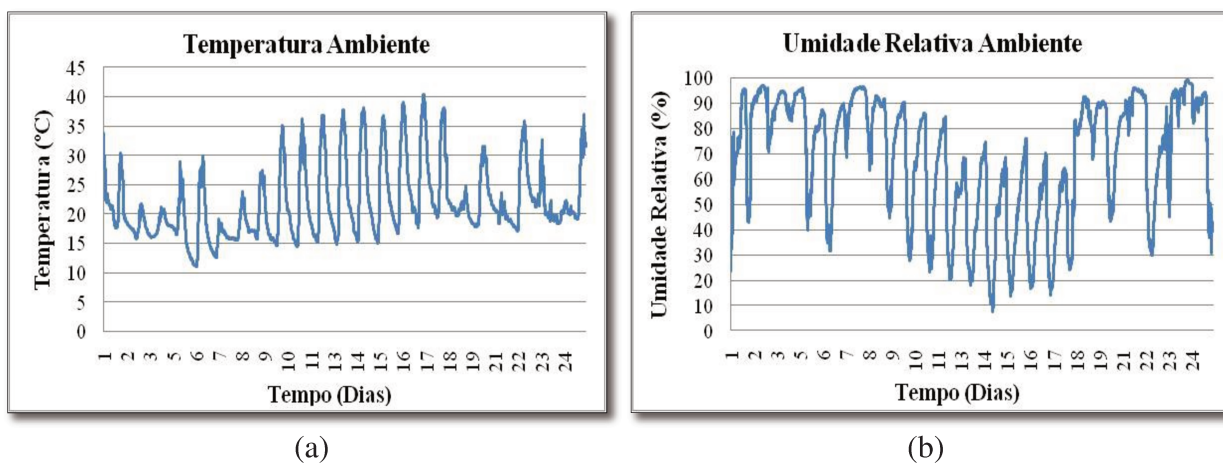


Figura 7. Variação da temperatura (a) e umidade relativa (b) do ar ambiente durante o período de 17/08 a 10/09/2009 (Ensaio 1 - milho úmido)

B. Ensaio 2

No segundo ensaio obtiveram-se os seguintes resultados de temperatura em grãos de milho aerados secos (Figura 8). As curvas 0,54, 0,33 e 0,11 m são correspondentes à média da temperatura observada por quatro sensores instalados em cada altura. As condições meteorológicas, temperatura e umidade relativa ambiente, no período de realização do ensaio são apresentadas na Figura 9.

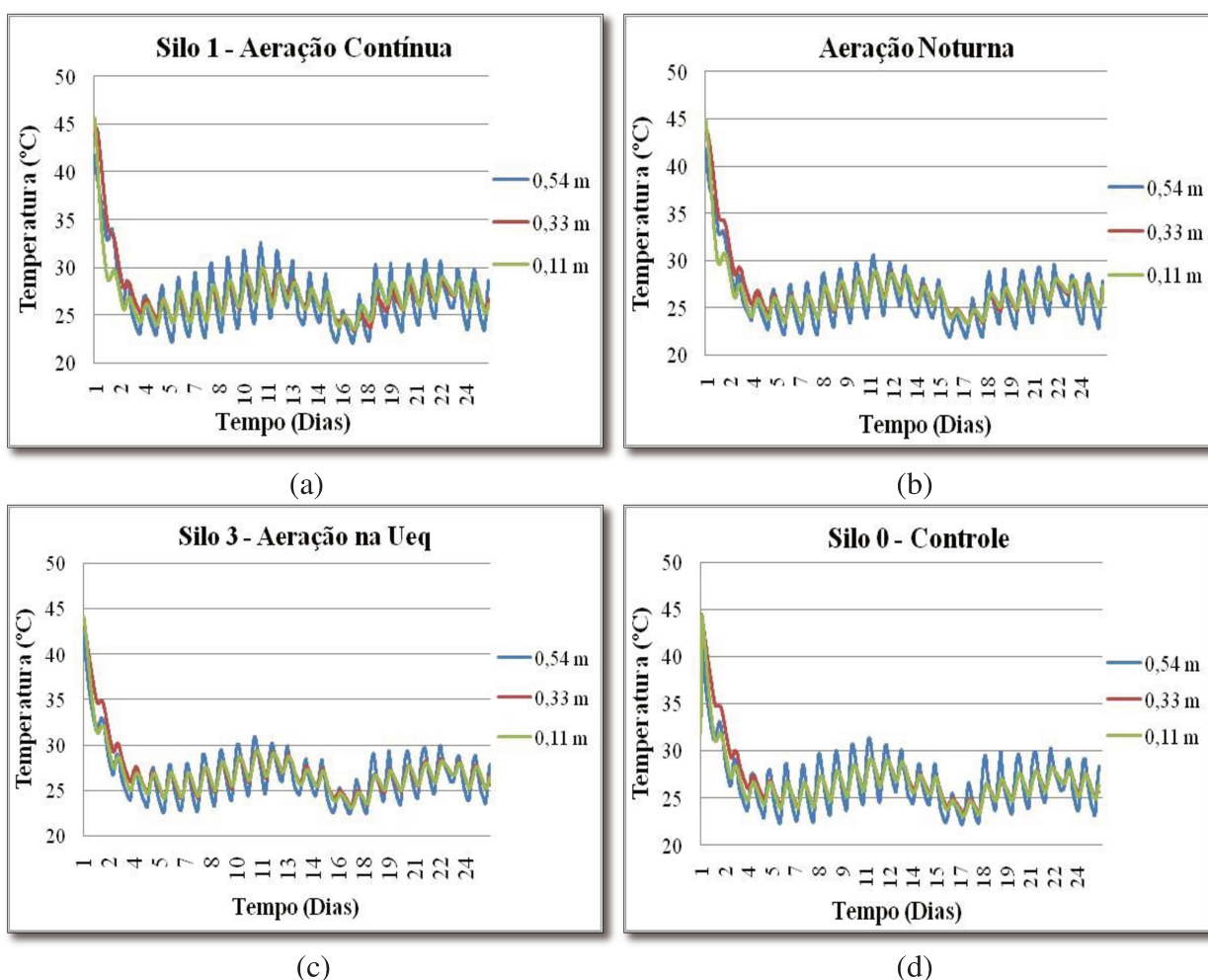


Figura 8. Comportamento da temperatura em três alturas da massa de grãos de milho secos (11,5% b.u.) armazenados durante 24 dias de aeração contínua (a), noturna (b), em condições de umidade de equilíbrio (c) e no silo controle (d)

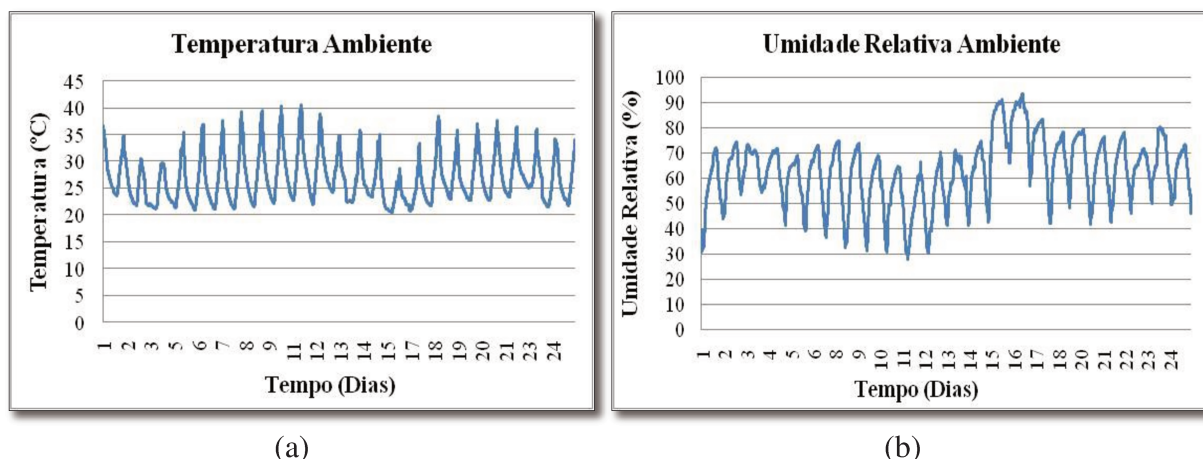


Figura 9. Variação da temperatura (a) e umidade relativa (b) do ar ambiente durante o período de 27/10 a 17/11/2009 (Ensaio 2 - milho seco)

Observando-se as Figuras 4, 6 e 8, verifica-se que no ensaio 1 a temperatura dos grãos secos foi reduzida a níveis mais baixos, em torno de 25 °C, quando comparadas com o experimento 2, que ficou próxima a 28 °C. Isso ocorreu devido às condições climáticas (Figuras 7 e 9) do período em que foram realizados os ensaios. Durante o ensaio 1 (12 de agosto a 05 de setembro de 2009), as temperaturas média, máxima e mínima foram de 22,19 °C, 40,30 °C e 11,10 °C, respectivamente, enquanto no período em que ocorreu o experimento 2 (24 de outubro a 17 de novembro de 2009) a temperatura média foi de 26,81 °C, máxima 40,64 °C e mínima 20,57 °C.

Retirando-se os dados de temperatura dos dois primeiros dias, observou-se que no ensaio 1 com grãos secos (Figura 4) todas as estratégias de aeração proporcionaram temperatura dos grãos geralmente abaixo de 26 °C, valor esse próximo ao obtido por Casada et al. (2002), que alcançaram nível de 24 °C após realizar aeração em trigo no verão de Kansas (Estados Unidos). Entretanto, em relação ao ensaio 2 (Figura 8) a temperatura dos grãos ficou abaixo de 30 °C.

Para avaliar o estado de conservação dos grãos com base nos valores de temperatura obtidos nos ensaios após a aeração, pode-se utilizar a Figura 1. Considerando-se que os grãos foram armazenados com teor de umidade inicial em torno de 13%, verifica-se que o ambiente de armazenamento está propício ao desenvolvimento de insetos. Navaro et al. (citado por CASADA et al., 2002) e Ranalli et al. (2002), corroborando com a Figura 1, afirmam que temperatura na faixa de 27 a 34 °C favorece o desenvolvimento de insetos.

4.2.1 Redução da temperatura ao longo do período de aeração

A. Ensaio 1 - Milho seco e úmido

Realizando-se comparações entre as medianas dos grupos 1 (primeiros dois dias), 2 (terceiro ao décimo terceiro dia) e 3 (décimo quarto ao vigésimo quarto dia) obteve-se em todos os testes p-valor igual a zero, isto é, têm-se evidências suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade de medianas (Apêndices 2 e 3). A mediana do grupo 1 foi significativamente maior que a mediana dos grupos 2 e 3 (Tabelas 4 e 5), o que permite afirmar que houve redução significativa da temperatura dos grãos ao longo do período de aeração em todos os tratamentos do ensaio 1, tanto em milho seco como em milho umidificado.

Observou-se que todas as estratégias de aeração promoveram redução de temperatura dos grãos nas primeiras 48h de ensaio. No entanto, em cada estratégia valores diferentes de temperatura foram registrados após dois dias de aeração. Na Tabela 6 são apresentados os dados de temperatura inicial, da temperatura observada após 48 horas de aeração e os valores de redução da temperatura em cada silo nesse período. É possível observar que, em milho seco (silos 1, 2 e 3), a estratégia que obteve maior redução da temperatura foi a que realizou aeração em condições de umidade de equilíbrio, seguida pela aeração contínua e por último pela aeração noturna. Em relação a aeração de milho umidificado (silos 4, 5 e 6), a estratégia que apresentou melhor desempenho quanto à redução de temperatura foi a estratégia de aeração contínua, enquanto a aeração noturna obteve desempenho intermediário e a de menor eficiência foi a aeração em condições de umidade de equilíbrio.

Tabela 4. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura do grupo 1 (primeiros dois dias), grupo 2 (terceiro ao décimo terceiro dia) e grupo 3 (décimo quarto ao vigésimo quarto dia) das estratégias de aeração contínua (silo 1), noturna (silo 2) e em condições de umidade de equilíbrio (silo 3) do ensaio 1 com milho seco.

		Altura 0,54 m			Altura 0,33 m			Altura 0,11 m		
	Grupo	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
Silo 1	1	27,4725	5,3226	19,37	27,8388	6,1782	22,19	23,3500	5,6179	24,06
	2	19,0575	2,7808	14,59	19,6633	2,4244	12,33	19,7300	2,4006	12,17
	3	20,9800	2,3685	11,29	21,9567	2,3409	10,66	21,8400	2,0911	9,57
Silo 2	1	25,6438	4,8191	18,79	28,8800	5,4217	18,77	23,3638	5,3966	23,10
	2	18,9975	3,0375	15,99	19,8700	2,6442	13,31	19,4325	2,5904	13,33
	3	20,7800	2,4454	11,77	21,4175	2,4094	11,25	21,2475	2,1695	10,21
Silo 3	1	28,3713	4,8938	17,25	29,6900	5,7531	19,38	24,8475	5,6347	22,68
	2	19,2950	2,9523	15,30	19,9325	2,8502	14,30	19,3875	3,0271	15,61
	3	20,8575	2,3301	11,17	21,5288	2,4795	11,52	21,5425	2,4995	11,60

Tabela 5. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura do grupo 1 (primeiros dois dias), grupo 2 (terceiro ao décimo terceiro dia) e grupo 3 (décimo quarto ao vigésimo quarto dia) – aeração contínua (silo 4), noturna (silo 4) e em condições de umidade de equilíbrio (silo 6) do ensaio 1 com milho umidificado.

		Altura 0,54 m			Altura 0,33 m			Altura 0,11 m		
	Grupo	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
Silo 4	1	26,7000	6,3223	23,68	22,0750	5,2177	23,64	21,0125	4,2476	20,21
	2	18,2025	1,8090	9,94	17,9325	1,6624	9,27	17,8875	1,9686	11,01
	3	22,1675	1,2083	5,45	21,4175	1,2318	5,75	21,5875	1,7629	8,17
Silo 5	1	29,3375	5,1138	17,43	27,1975	5,7375	21,10	21,1050	4,9706	23,55
	2	19,2000	2,0449	10,65	18,8400	1,8516	9,83	17,7475	2,1852	12,31
	3	24,4350	1,7346	7,10	23,6225	1,4801	6,27	21,4500	1,9320	9,01
Silo 6	1	31,7475	4,5354	14,29	31,4350	4,7661	15,16	24,3075	5,0240	20,67
	2	20,8075	2,3791	11,43	20,7475	2,2365	10,78	18,9175	2,3577	12,46
	3	29,9175	2,4844	8,30	29,0575	2,1180	7,29	23,8700	1,9709	8,26

Tabela 6. Dados da temperatura inicial, após 48 horas de aeração e redução de temperatura das estratégias de aeração contínua (silos 1 e 4), noturna (silos 2 e 5) e em condições de equilíbrio (silo 3 e 6) de milho seco (silos 1, 2 e 3) e umidificado (silos 4, 5 e 6).

Silos	Início	48 horas	Redução de temperatura
1	42,58	24,20	18,38
2	41,79	24,79	17,00
3	44,07	25,64	18,43
4	38,19	19,10	19,09
5	38,96	21,43	17,53
6	39,78	24,64	15,14

B. Ensaio 2 – Milho seco

Analisando-se a redução de temperatura no ensaio 2 aplicou-se o Teste de Mann-Whitney aos dados e observou-se que em todos os testes, o p-valor encontrado foi zero, isto é, têm-se evidências suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade de medianas (Apêndice 4). Desta forma, pode-se concluir que a mediana do grupo 1 foi significativamente maior que a mediana dos grupos 2 e 3, o que permite afirmar que houve redução significativa da temperatura dos grãos em todos os tratamentos do ensaio 2 com grãos secos.

Na Tabela 7 encontram-se os valores de mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, utilizados no teste de Mann-Whitney.

Todos os tratamentos de aeração permitiram redução da temperatura dos grãos de milho nos dois primeiros dias de experimentação, todavia pode-se observar, pela Tabela 8, que a estratégia de aeração contínua obteve maior redução de temperatura que as demais. Ao contrário do ensaio 1 com milho seco, no caso do ensaio 2, também com milho seco, a estratégia de aeração em condições de umidade de equilíbrio apresentou o menor valor de redução de temperatura. Vale ressaltar que até mesmo no silo controle verificou-se redução de temperatura.

Tabela 7. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura do grupo 1 (primeiros dois dias), grupo 2 (terceiro ao décimo terceiro dia) e grupo 3 (décimo quarto ao vigésimo quarto dia) das estratégias de aeração contínua (silo 1), noturna (silo 2), em condições de umidade de equilíbrio (silo 3) e do silo controle (0) do ensaio 2.

		Altura 0,54 m			Altura 0,33 m			Altura 0,11 m		
	Grupo	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
Silo 1	1	33,1675	4,3007	12,97	33,5425	5,4578	16,27	29,3100	5,2728	17,99
	2	26,1225	2,5201	9,65	26,6225	1,3291	4,99	26,4875	1,4899	5,62
	3	25,7625	2,2231	8,63	26,5275	1,3302	5,01	26,7600	1,4367	5,37
Silo 2	1	32,8550	4,0217	12,24	34,2450	4,8075	14,04	30,2300	5,2063	17,22
	2	25,5725	2,0634	8,07	26,1688	1,3182	5,04	25,9050	1,3634	5,26
	3	25,2300	1,9628	7,78	26,0600	1,2188	4,68	26,1075	1,2501	4,79
Silo 3	1	32,1825	4,0204	12,49	34,7125	4,1292	11,90	31,7625	4,6676	14,70
	2	26,1350	2,0827	7,97	26,6525	1,3856	5,20	26,5900	1,3127	4,94
	3	25,8100	1,9315	7,48	26,2475	1,3096	4,99	26,1975	1,3313	5,08
Silo 0	1	31,8425	3,7562	11,80	34,7150	4,3120	12,42	31,4650	4,8041	15,27
	2	26,215	2,2966	8,76	26,5575	1,3358	5,03	26,2938	1,3450	5,12
	3	25,8075	2,0728	8,03	26,1525	1,2569	4,81	26,0288	1,3349	5,13

Tabela 8. Dados da temperatura inicial, após 48 horas de aeração e redução de temperatura das estratégias de aeração contínua (silos 1 e 4), noturna (silos 2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (silo 3 e 6) em milho seco (silos 1, 2 e 3) e umidificado (silos 4, 5 e 6).

Silos	Início	48 horas	Redução de temperatura
1	43,76	28,40	15,36
2	43,56	28,42	15,14
3	43,59	28,98	14,61
0	44,31	29,12	15,19

4.2.2 Redução da temperatura de acordo com a altura da massa de grãos

A. Ensaio 1 – Milho seco

Avaliando-se agora a redução da temperatura entre as alturas 0,54 m (superior), 0,33 m (intermediária) e 0,11 m (inferior) da massa de grãos, aplicou-se o Teste de Mann-Whitney e observou-se que o p-valor de todas as combinações dos resultados de temperatura das alturas foram inferiores a 0,05 para o ensaio 1 com milho seco (Apêndice 5), desse modo, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as medianas. Portanto, pode-se concluir que existiu diferença significativa da temperatura entre as alturas da massa de grãos.

A Tabela 9 apresenta os valores de mediana utilizados no teste de Mann-Whitney, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação desses dados.

Tabela 9. Mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de temperatura dos dois primeiros dias de aeração dos silos 1(aeração contínua), 2 (aeração noturna) e 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio), de acordo com as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m.

	Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Silo 1	Mediana	27,4725	27,8388	23,3500
	DP	5,3226	6,1782	5,6179
	CV	19,37	22,19	24,06
Silo 2	Mediana	25,6438	28,8800	23,3638
	DP	4,8191	5,4217	5,3966
	CV	18,79	18,77	23,10
Silo 3	Mediana	28,3713	29,6900	24,8475
	DP	4,8938	5,7531	5,6347
	CV	17,25	19,38	22,68

Para ilustrar a diferença da redução de temperatura entre as alturas de cada silo, construíram-se gráficos de redução de temperatura por hora nas alturas 0,54 m (superior), 0,33 m (intermediária) e 0,11 m (inferior) dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) durante os dois primeiros dias do ensaio 1 (Figura 10). As barras verticais dos gráficos correspondem às diferenças entre a temperatura inicial e a temperatura observada a cada hora.

Em todos os gráficos é possível notar, pela linha de contorno dos dados, o efeito da temperatura ambiente sobre a variação de temperatura dos grãos, que em período noturno e início da manhã favoreceu a maior redução de temperatura (entre 6 e 18h, que corresponde ao período entre 19h da noite e 7h da manhã) e, em seguida, quando as temperaturas se elevaram, os valores de redução de temperatura diminuíram. No período compreendido por essa análise pode-se observar dois ciclos desse processo.

No gráfico do silo 1 verifica-se que a redução de temperatura foi maior na altura mais próxima da entrada de ar (0,11 m), seguida da altura intermediária (0,33 m) e por último da altura superior (0,54 m). No caso do silo 2, a altura de grãos com maior redução de temperatura durante, praticamente, todo o período foi a altura superior, seguida pela altura inferior e por fim a altura intermediária. O silo 3, por sua vez, apresentou uma terceira combinação de redução de temperatura das alturas. Neste caso, a altura inferior obteve maior

redução de temperatura, ficando a altura superior em segundo nível e a altura intermediária por último.

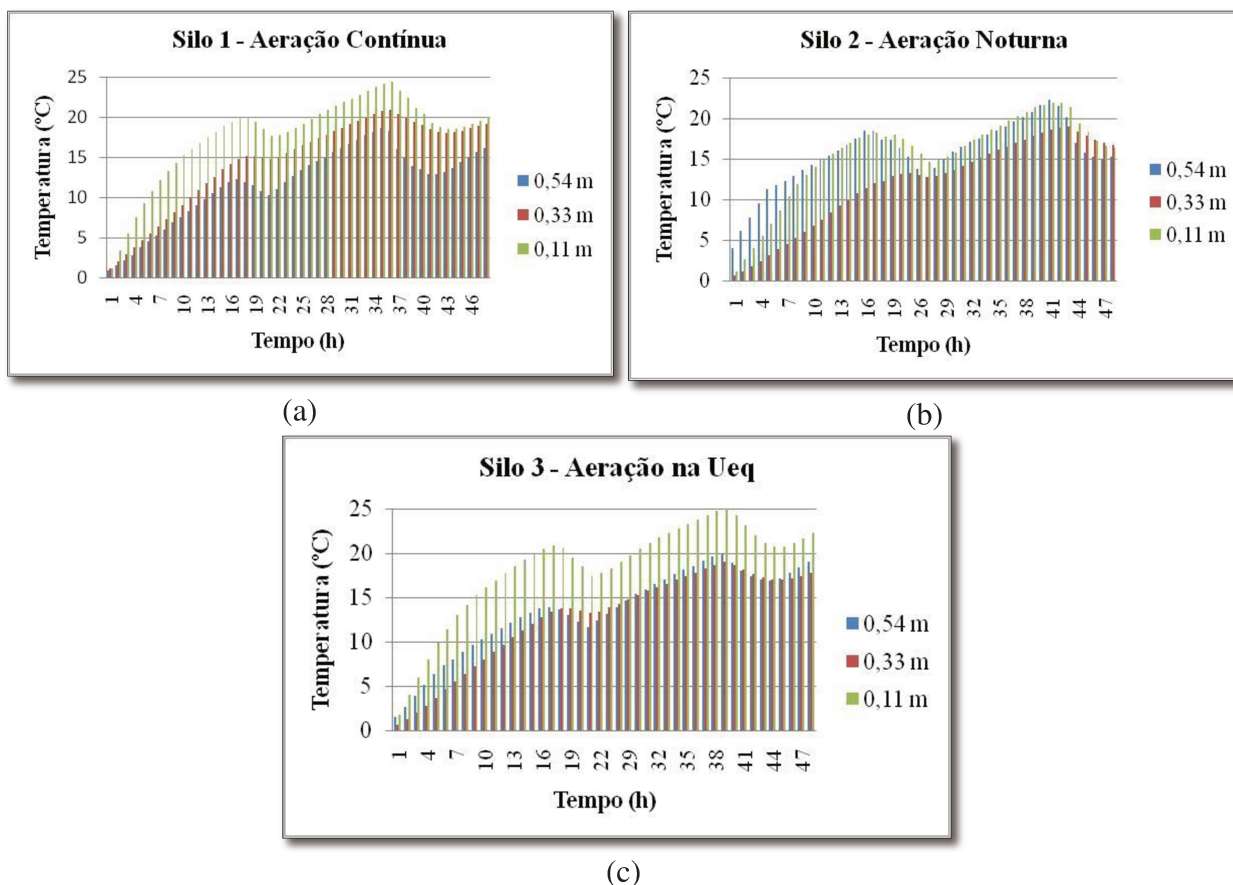


Figura 10. Redução de temperatura por hora durante 48h de aeração das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m nos silos 1 (a), 2 (b) e 3 (c) do ensaio 1.

As transferências de calor que ocorrem num silo são principalmente por condução e por convecção. Considerando-se uma altura de grãos no interior de um silo, verifica-se transferência de calor por condução entre as partículas e por convecção no ar intergranular. Ao se considerar a superfície da massa de grãos no interior de um silo isolado, observa-se transferência de calor convectivo gerada pela movimentação de ar e em razão das diferenças entre a temperatura da superfície e o ar em volta (BENEDETTI, 1992; FERREIRA, 1979). A partir desse pressuposto infere-se que além do efeito da aeração, outras variáveis também contribuíram para o resfriamento dos grãos. No caso dos grãos localizados na região superficial e no fundo do silo supõe-se que ocorreu transferência de calor por convecção entre estes e o ar ambiente. Enquanto os grãos próximos da parede do silo e imediatamente acima da chapa perfurada perderam temperatura pelo processo de transferência de calor por condução,

uma vez que as paredes do silo e a chapa perfurada encontravam-se com temperaturas inferiores à dos grãos no início dos ensaios.

Desse modo, atribui-se que parte da redução de temperatura da altura superior do silo 2 e do silo 3 foi devida às causas mencionadas anteriormente. Outro aspecto que pode ter favorecido esse resultado, especialmente no silo 2, foi a posição de instalação dos sensores de temperatura, muito superficiais, sofrendo maiores efeitos das condições ambientes.

Considera-se, de forma geral, que o resfriamento das alturas foi devido à passagem da frente de resfriamento através dos grãos, mas também pode ser atribuído às condições ambientes. No período analisado o sistema de aeração contínua permaneceu ligado durante 48 horas, enquanto o de aeração noturna durante 20 horas e a aeração em condições de equilíbrio 1h36min.

B. Ensaio 1 – Milho umidificado

Considerando-se ainda somente os dados de temperatura dos primeiros dois dias, realizou-se comparação da redução de temperatura por altura da massa de grãos em cada tratamento de aeração de milho úmido. Aplicou-se a esses dados o Teste de Whitney para verificar a igualdade de duas medianas populacionais.

No Apêndice 6 verifica-se que apenas entre as alturas 0,54 e 0,33 m do silo 6 o p-valor foi maior que 0,05 e, portanto, tem-se evidências suficientes para não rejeitar a hipótese de igualdade de medianas. Nos outros casos, o p-valor encontrado foi igual a zero, isto é, rejeita-se a hipótese de igualdade de medianas. Desse modo, pode-se concluir que a mediana da temperatura da altura 0,54 m foi significativamente igual à mediana da temperatura da altura 0,33 m do silo 6. Quanto às demais alturas, as medianas de temperatura foram significativamente diferentes.

A Tabela 10 apresenta os valores de mediana utilizados no teste de Mann-Whitney, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação desses dados.

Para melhor compreensão desses resultados, a Figura 11 apresenta gráficos do resfriamento nas alturas dos silos.

Em todos os silos a maior redução de temperatura, nas primeiras 16h, ocorreu na altura C. Esse resfriamento é mais expressivo nos silos de aeração noturna (silo 5) e nas condições de equilíbrio (silo 6).

Tabela 10. Mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de temperatura dos dois primeiros dias de aeração dos silos 4 (aeração contínua), 5 (aeração noturna) e 6 (aeração em condições de umidade de equilíbrio), de acordo com as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m.

	Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Silo 4	Mediana	26,7238	22,0825	21,0125
	DP	6,3204	5,2188	4,2492
	CV	23,65	23,63	20,22
Silo 5	Mediana	29,3625	27,1975	21,1125
	DP	5,1096	5,7362	4,9729
	CV	17,40	21,09	23,55
Silo 6	Mediana	31,7775	31,4350	24,3088
	DP	4,5311	4,7623	5,0244
	CV	14,26	15,15	20,67

Percebe-se que no silo 4, de aeração contínua, o resfriamento das alturas ocorreu de forma menos heterogênea do que nos demais silos. Isso se deu, provavelmente devido ao maior tempo de funcionamento do sistema de aeração (48h), que favoreceu a frente de resfriamento passar pela altura inicial (0,11 m), atravessar a altura central (0,33 m) e alcançar a altura superficial (0,54 m), uniformizando então, a temperatura do silo por algumas horas. Verifica-se também que a altura A obteve maior redução de temperatura que as demais alturas, provavelmente em razão da soma dos efeitos do resfriamento devido à aeração e do resfriamento natural de convecção entre os grãos da superfície e o ar ambiente.

Pela análise do silo 5, de aeração noturna, observa-se a mesma sequência de resfriamento das alturas que ocorreu no silo 4, diferindo no entanto, na redução de temperatura que foi menos proporcional entre as alturas. Quando se observam as primeiras sete horas de ensaio, período em que o sistema de aeração ficou desligado visualiza-se que a altura 0,54 m estava com taxa de resfriamento maior em relação à altura 0,33 m, a partir desse momento a velocidade de resfriamento foi invertida, de forma que a altura 0,33 m apresentou então maior taxa de resfriamento, justamente a partir do momento em que o sistema de aeração iniciou seu funcionamento, lembrando que o ensaio iniciou-se às 13h20min e o sistema de aeração noturno foi acionado às 20h. Ressalta-se que mesmo antes de ligar o sistema de aeração, todas as alturas já estavam sendo resfriadas naturalmente, pelas causas já mencionadas, entretanto, quando o sistema de aeração foi acionado notou-se o seu efeito, mesmo que de forma sutil. O sistema permaneceu ligado por dez horas, após esse período notou-se aquecimento das três alturas do silo, devido à elevação da temperatura ambiente, natural para essa faixa de horário

do dia (das 8h às 14h). No entanto, nas horas subsequentes ocorreram chuvas que tornaram o clima mais frio e propiciaram resfriamento dos grãos, principalmente da altura 0,54 m. O sistema de aeração voltou a ser acionado no período noturno por mais dez horas, contribuindo para o resfriamento dos grãos, que seguiram tendência de uniformização da temperatura entre as alturas.

No silo 6, pela análise estatística, as alturas 0,54 e 0,33 m não diferiram entre si, uma vez que o p-valor foi maior que 0,05. Entretanto, o resfriamento da altura 0,11 m foi significativamente diferente das demais alturas. Esse efeito pode ser devido ao curto período de operação do ventilador nessa estratégia de aeração, 2h18min, e dessa forma, ter sido insuficiente para se perceber resultado mais expressivo de ação da frente de resfriamento nas alturas 0,54 e 0,33 m. Acredita-se que o resfriamento da altura 0,54 m foi o mais favorecido pelas condições climáticas.

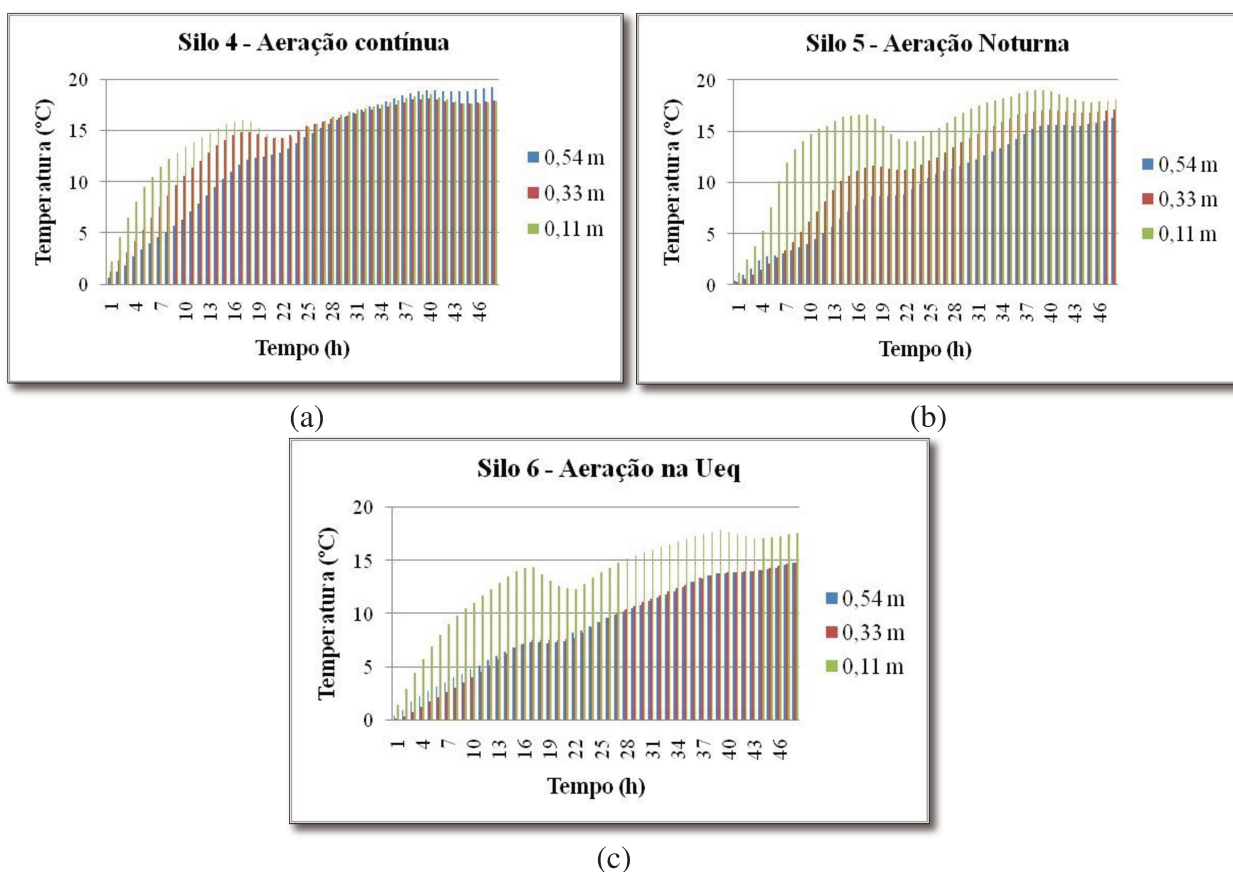


Figura 11. Redução de temperatura por hora durante 48h de aeração das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m nos silos 4 (a), 5 (b) e 6 (c) do ensaio 1 – 17 a 19/08/2009

C. Ensaio 2 – Milho seco

A análise comparativa do resfriamento entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (silo 1), aeração noturna (silo 2), aeração nas condições de equilíbrio (silo 3) e controle (silo 0) deste ensaio foi realizada seguindo o mesmo método do ensaio 1. Tomaram-se os dados relativos aos dois primeiros dias e a estes se aplicou o Teste de Mann-Whitney para verificar a igualdade de duas medianas populacionais.

Verificou-se que o p-valor de todas as combinações de alturas foram inferiores a 0,05, e por isso, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as medianas (Apêndice 7). Portanto, pode-se concluir que existiu diferença significativa do resfriamento entre as alturas de cada silo.

A Tabela 11 apresenta os valores de mediana utilizados no teste de Mann-Whitney, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação desses dados.

Tabela 11. Mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de temperatura dos dois primeiros dias de aeração dos silos 1 (aeração contínua), 2 (aeração noturna), 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) e 0 (controle), de acordo com as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m

	Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Silo 1	Mediana	33,1675	33,5425	29,3100
	DP	4,3007	5,4578	5,2728
	CV	12,97	16,27	17,99
Silo 2	Mediana	32,8550	34,2450	30,2300
	DP	4,0217	4,8075	5,2063
	CV	12,24	14,04	17,22
Silo 3	Mediana	32,1825	34,7125	31,7625
	DP	4,0204	4,1292	4,6676
	CV	12,49	11,90	14,70
Silo 0	Mediana	31,8425	34,715	31,465
	DP	3,7562	4,3120	4,8041
	CV	11,80	12,42	15,27

Os gráficos da Figura 12 ilustram o comportamento das séries de dados quando da análise da redução de temperatura por hora acumulada, sendo possível perceber a diferença da redução de temperatura entre as alturas.

Nos silos 1 e 2 é observada igual ordem de resfriamento: primeiro e com maior taxa de redução de temperatura verifica-se a altura 0,11 m, em seguida a altura 0,33 m e por último

a altura 0,54 m. Entretanto, no silo 1 o nível de resfriamento foi superior ao alcançado pelo silo 2 nas três alturas analisadas.

Em relação ao silo 3, a altura 0,33 m foi a que atingiu menores valores de resfriamento, enquanto as alturas 0,54 m e 0,11 m foram resfriadas em níveis superiores. Neste caso a altura 0,54 m alcançou o valor máximo de 16 °C de redução na temperatura às 39h de operação.

No caso do silo 0, a altura 0,11 m foi a que obteve maior redução de temperatura, seguida da altura 0,33 m e depois a altura 0,54 m, que apresentou maiores variações de resfriamento e aquecimento.

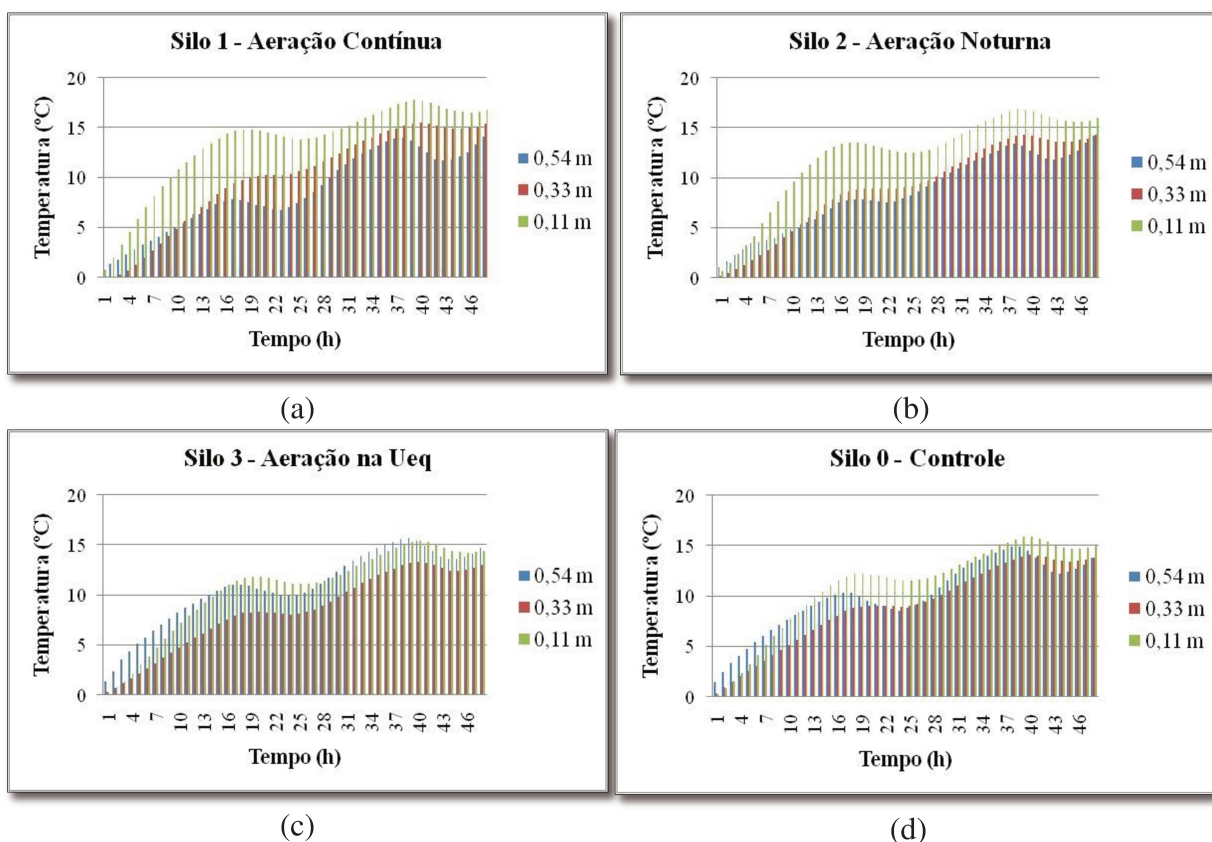


Figura 12. Redução de temperatura por hora durante 48h de aeração das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m nos silos 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 0 (d) do ensaio 2

4.2.3 Homogeneização da temperatura após 48 horas de aeração

A. Ensaio 1 – Milho seco e umidificado

Aplicando-se o teste de KPSS aos dados de temperatura após 48 horas de início do ensaio para verificar a homogeneidade do seu comportamento no tempo, verificou-se em todos os testes que o p-valor foi menor que 0,05, isto é, têm-se evidências suficientes para rejeitar a hipótese de que as séries sejam estacionárias (Apêndices 8 e 9). Desta forma, pode-se concluir que as séries de temperaturas não se mantiveram homogêneas ao longo dos dias. Esse resultado foi obtido no ensaio 1 com milho seco e úmido.

Observando-se os gráficos do comportamento da temperatura nos 24 dias de aeração nos silos 1, 2 e 3 (Figura 4), e comparando-os visualmente com a Figura 5, que corresponde à curva de variação da temperatura do ar ambiente, é possível perceber que, depois do segundo dia de ensaio, a temperatura no interior dos grãos de milho secos variou de acordo com as condições climáticas, concordando com o resultado obtido no teste de KPSS. O mesmo comportamento foi observado no ensaio com milho umidificado (Figuras 6 e 7) e no ensaio 2 com milho seco (Figuras 8 e 9).

Nos Apêndices 10 a 15 são apresentados os dados das medianas diárias do ensaio 1 com milho seco e úmido, acompanhados dos respectivos valores de desvio padrão e coeficiente de variação. Observando-se esses dados nota-se que a temperatura no interior dos grãos variou ora em torno de uma mediana e ora ao redor de outra mediana, mantendo-se, portanto, inconstante durante os dias de aeração. Esse fato foi observado em todas as alturas dos silos.

Dentre os fatores que podem ter provocado esse resultado, um deles consiste na posição dos sensores dentro do silo. Ressalta-se que foram instalados quatro sensores em cada altura de grãos, três próximos da parede (5 cm) e um no centro do silo, sendo que os gráficos foram gerados pela média desses sensores, parede e centro, das respectivas alturas, 0,54, 0,33 ou 0,11 m. Dessa forma, acredita-se que as temperaturas dos sensores da parede tenham favorecido os resultados apresentados nas Figuras 4 e 6. Assim, foram construídos e analisados gráficos do comportamento da temperatura registrados somente pelos sensores internos dos silos (Figuras 13 e 14).

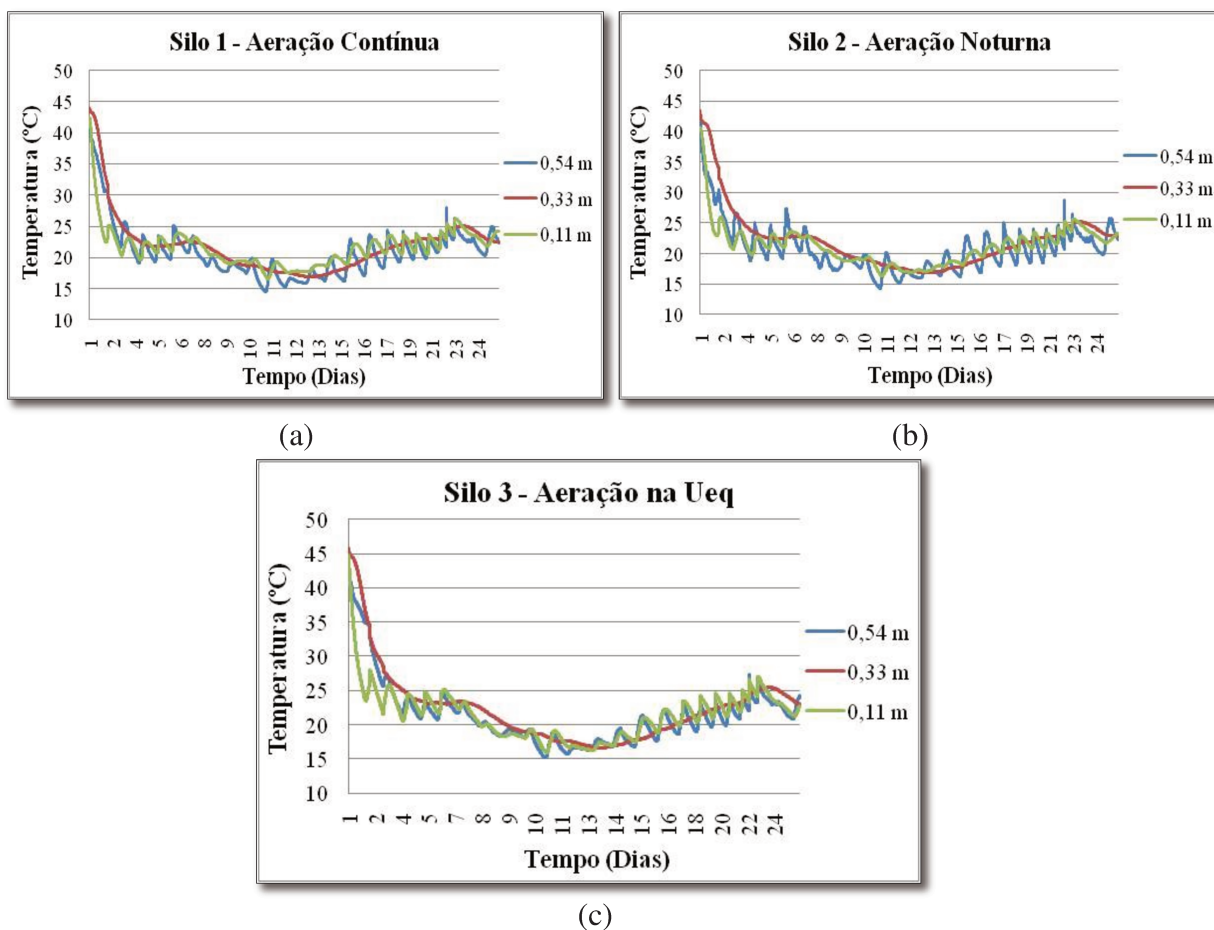


Figura 13. Comportamento da temperatura dentro dos silos 1 (a), 2 (b) e 3 (c) considerando-se apenas os sensores centrais das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m (Ensaio 1 - milho seco)

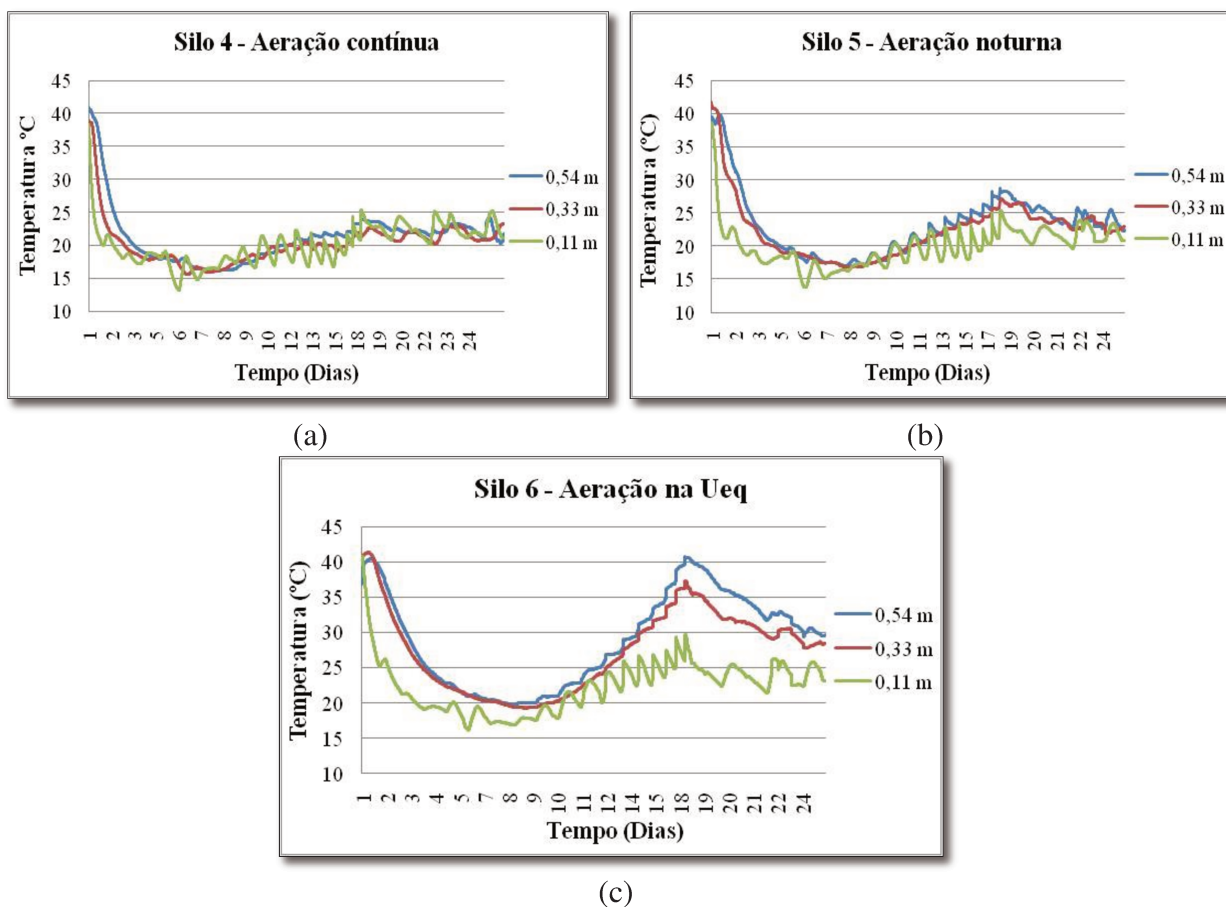


Figura 14. Comportamento da temperatura no interior dos silos 4 (a), 5 (b) e 6 (c) considerando-se apenas os sensores centrais das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m (Ensaio 1 - milho úmido)

Ainda é possível observar que os sensores das alturas 0,54 e 0,11 m, do ensaio com grãos secos (Figura 13), e da altura 0,11 m do ensaio com milho umidificado (Figura 14) sofreram grande variação de temperatura, acompanhando a temperatura ambiente. Desse modo, com o objetivo de analisar somente o efeito da aeração, considerou-se apenas o sensor do centro e da altura 0,33 m para avaliar o efeito das estratégias de aeração (Figura 15). Reed e Harner III (1998), realizando aeração para controle de insetos, também utilizaram dados de termopares instalados apenas no centro do silo.

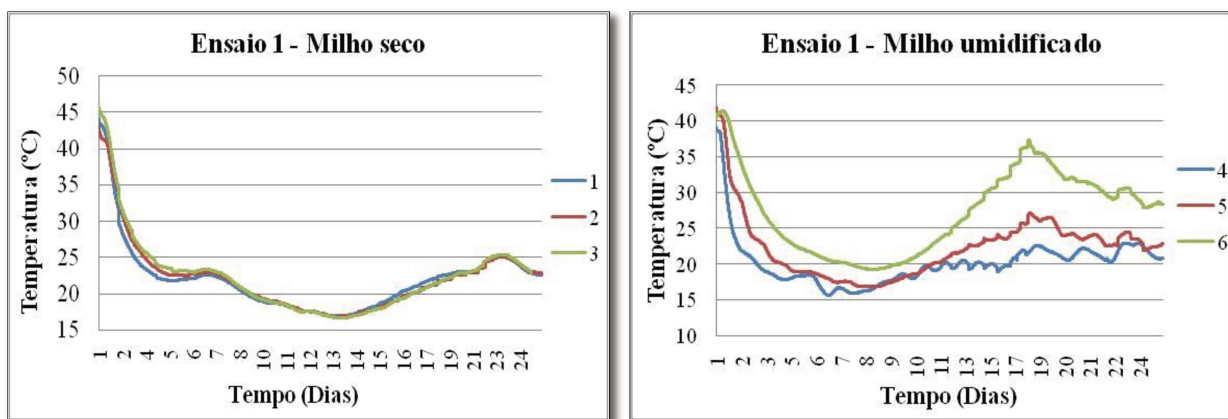


Figura 15. Comportamento da temperatura considerando-se apenas os sensores centrais e da altura 0,33 m dos silos 1, 2, 3 (a) e dos silos 4, 5 e 6 (b) do ensaio 1

Na Figura 15, observa-se um comportamento da temperatura com variações suaves e apresentando menor interferência dos ciclos diários de temperatura. Entretanto, verifica-se no ensaio com grãos secos que ocorreu praticamente a mesma variação em todas as estratégias empregadas. Dessa forma, a estratégia de aeração em condições de umidade de equilíbrio entre o ar ambiente e o teor de umidade dos grãos apresentou-se como a mais econômica, uma vez que demandou menor tempo de operação do sistema (19h40min).

É reportado que em silos com grandes diâmetros a camada mais externa de grãos funciona como isolante térmico da massa de grãos da região central e em silos de pequenos diâmetros a utilização de isolante térmico nas paredes tem efeito semelhante ao aumento de diâmetro (FERREIRA, 1979). Porém, nos silos utilizados nesta pesquisa, mesmo adicionando-se uma camada de 1cm de poliestireno expandido (isopor) na parte externa da parede do silo, verificou-se interferência da temperatura ambiente sobre os grãos próximos à parede. Por outro lado, os grãos do centro, como se pode ver na Figura 15, apresentaram variações de temperatura menos acentuada.

Observando-se agora os gráficos do comportamento da temperatura nos 24 dias de aeração nos silos 4, 5 e 6 (Figura 6), e comparando-os visualmente com a curva de variação da temperatura do ar ambiente (Figura 7), percebeu-se, da mesma forma que ocorreu com milho seco, que depois do segundo dia de ensaio a temperatura no interior dos grãos variou de acordo com as condições climáticas.

Entretanto, a partir do 7º dia, a temperatura dos grãos de todos os silos começou a se elevar, de forma que no 18º dia foi atingido o ponto máximo. Na Figura 6, nota-se claramente

que o aumento da temperatura é mais acentuado nos silos 5 e 6, destacando-se as alturas 0,54 e 0,33 m. Atribui-se esse resultado ao tempo de aeração empregado nos silos, tendo a elevação de temperatura uma relação inversa ao tempo de aeração. No silo 4 o sistema de aeração permaneceu ligado durante todo o ensaio, 576 horas, no silo 5, 240 horas e no silo 6, 48 horas e 57 minutos. Esse resultado concorda com Silva (2000), o autor afirma que a aeração contínua previne o aquecimento dos grãos umidificados enquanto é aguardada a operação de secagem.

De acordo com Benedetti (1992), variações da temperatura em grãos armazenados são devidas a fontes de calor interna e externa ao sistema. As fontes internas são originárias da respiração do produto e da ação de insetos e microrganismos, enquanto a temperatura ambiente e a radiação solar são as fontes externas.

Depois do período de aquecimento nos Silos 5 e 6 até o 18º dia, a temperatura no interior dos grãos decresceu até o final dos testes (Figura 6).

Analisando-se o comportamento da temperatura do silo 6 individualmente, com auxílio dos dados de temperatura e umidade relativa ambiente registrados pelo higrotermógrafo, observou-se que no período compreendido entre o 12º e o 18º dia de experimentação a temperatura do ar ambiente estava elevada (mínima 15 °C; máxima 40 °C) e a umidade relativa baixa (mínima 10%; máxima 75%). Lembrando que a faixa de umidade relativa do ar ambiente que propiciava o acionamento do sistema de aeração era de 83% a 87%, registra-se que durante esse período o sistema de aeração ficou desligado. Assim, infere-se que o alto teor de umidade dos grãos de milho aliado à ausência de operação do sistema de aeração, no período de cinco dias, possibilitou o desenvolvimento de fungos, cujo metabolismo causou a elevação da temperatura no interior da massa de grãos. As alturas mais afetadas pela elevação da temperatura e conseqüente desenvolvimento de fungos, foram as alturas 0,54 e 0,33 m. A redução de temperatura que ocorreu do 19º dia até o final do ensaio foi produto de alterações climáticas, uma vez que a partir desse dia a umidade do ar aumentou, acionando assim o sistema de aeração por mais 16h27min e provocando o resfriamento da massa de grãos.

B. Ensaio 2 – Milho seco

Aplicando-se o teste de KPSS aos dados de temperatura após 48 horas de início do ensaio para verificar a homogeneidade do seu comportamento no tempo, verificou-se que em todas as alturas dos silos em estudo, o p-valor encontrado foi menor que 0,05 (Apêndice 20), ou seja, rejeita-se a hipótese de que as séries de dados sejam estacionárias. Portanto, pode-se concluir que o comportamento da temperatura não se manteve homogêneo ao longo dos dias nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de umidade de equilíbrio (3) e no silo controle.

Nos Apêndices 16 a 19 são apresentados os dados das medianas diárias do ensaio 2 com milho seco com os respectivos valores de desvio padrão e coeficiente de variação. Por meio dos apêndices citados observou-se que, da mesma forma que ocorreu no ensaio 1, a temperatura no interior dos grãos variou ora em torno de uma mediana e ora ao redor de outra mediana, mantendo-se, portanto, inconstante durante os dias de aeração em todas as alturas dos silos estudados.

4.2.4 Efeito das estratégias de aeração

A comparação das medianas de temperatura entre as estratégias de aeração e o controle também foi avaliada pelo Teste de Mann-Whitney. Em todos os testes, o p-valor encontrado foi igual a zero (Apêndice 21), isto é, têm-se evidências suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade de medianas. Assim, pode-se concluir que as medianas das temperaturas entre os tratamentos e o controle diferiram no período de redução de temperatura inicial (primeiras 48 horas de aeração).

A Tabela 12 apresenta os valores de mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, utilizados no teste de Mann-Whitney. Ressalta-se que os valores de desvio padrão foram baixos, por isso, mesmo as pequenas diferenças entre os valores de medianas tornaram-se significativamente diferentes pelo teste estatístico realizado.

Tabela 12. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) total dos dados de temperatura obtidos nos 24 dias de ensaio dos silos 1 (aeração contínua), 2 (aeração noturna), 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) e 4 (controle).

	1	2	3	0
Mediana	26,65	26,18	26,56	26,39
DP	2,68	2,74	2,66	2,67
CV	10,05	10,48	10,00	10,14

Observando-se novamente a Figura 12 e tomando dados do resfriamento relativo a três horários ao longo do período em análise, pôde-se avaliar melhor a diferença entre os tratamentos e o controle. Os tempos avaliados foram 10, 19 e 40 horas e os valores de máxima redução de temperatura correspondentes a esses tempos foram de 11 °C, 15 °C e 18 °C para a aeração contínua, 10 °C, 13 °C e 17 °C para a aeração noturna, 9 °C, 12 °C e 16 °C para a aeração em condições de umidade de equilíbrio e 8 °C, 12 °C e 16 °C para o silo controle, respectivamente. Desse modo, pode-se classificar em ordem decrescente a velocidade da redução de temperatura entre as estratégias como sendo o silo 1 aquele que obteve maior velocidade, seguido do silo 2, silo 3 e por fim o silo controle. Esses resultados de redução de temperatura foram obtidos com operação dos sistemas de aeração durante 48h, 20h e 12h09min52s para os silos 1, 2 e 3, respectivamente.

CASADA et al. (2002) utilizando massa de grãos com altura de 3,66 m e realizando aeração no verão de Kansas (Estados Unidos) verificou diferença significativa entre os silos aerado e controle. No silo aerado os autores reduziram a temperatura dos grãos recém-colhidos de 30 °C para valores inferiores a 25 °C, no entanto, no silo sem aeração a temperatura dos grãos ficou variando entre ciclos de 30 e 35 °C.

4.2.5 Comparação da temperatura entre os sistemas de aeração de grãos secos e umidificados - ensaio 1

Considerando-se apenas os dois primeiros dias, realizou-se comparação das medianas de temperatura entre os silos com grãos secos (13%) e com grãos umidificados (18%) do ensaio 1, utilizado-se novamente o Teste de Mann-Whitney.

Apenas entre os silos 2 e 5 o p-valor foi maior que 0,05, então, têm-se evidências suficientes para não rejeitar a hipótese de igualdade de medianas. Nos outros casos, o p-valor encontrado foi igual a zero (Apêndice 23). Desta forma, pode-se concluir que a mediana da

temperatura do silo 2 foi significativamente igual à mediana da temperatura do silo 5. Nos outros casos, as medianas das temperaturas entre os silos foram significativamente diferentes.

A estratégia de aeração programada para os silos 2 e 5 foi a mesma, aeração noturna, sendo que o silo 2 armazenou milho seco e o silo 5, milho umidificado. A diferença entre os silos consiste na vazão de ar aplicada (Tabela 1).

A Tabela 13 apresenta os valores de mediana, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados de temperatura, os quais foram utilizados no teste de Mann-Whitney.

Tabela 13. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados de temperatura totais, referentes aos 24 dias de ensaio dos silos de aeração contínua (1 e 4), aeração noturna (2 e 5) e aeração em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6), dos quais os silos 1, 2 e 3 continham milho seco e os silos 4, 5 e 6 milho umidificado.

Silo	Mediana	DP	CV
1	21,10	3,60	17,08
2	20,77	3,30	15,90
3	21,03	3,87	18,42
4	20,34	2,96	14,57
5	21,96	3,76	17,13
6	26,26	5,04	19,19

4.2.6 Comparação da temperatura entre os ensaios

Com o objetivo de verificar se o comportamento da temperatura no ensaio 1 se repetiu no ensaio 2, aplicou-se o Teste de Mann-Whitney para comparar as medianas dos tratamentos semelhantes.

Observou-se que o p-valor em todas as análises foi igual a zero (Apêndice 22), ou seja, rejeita-se a hipótese de igualdade entre os tratamentos semelhantes e admite-se a diferença do comportamento da temperatura obtida nos ensaios 1 e 2. A Tabela 14 apresenta os valores de mediana, desvio padrão e coeficiente de variação da temperatura total, relativa aos 24 dias dos ensaios 1 e 2.

Uma vez que a aeração foi realizada com ar ambiente, o fator que mais afetou os resultados foram as condições climáticas. Com os ensaios foram realizados em meses diferentes obtiveram-se níveis de redução de temperatura também distintos. No item 4.2.1 encontram-se comentários a respeito.

Tabela 14. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) total dos silos 1 (aeração contínua), 2 (aeração noturna) e 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) dos ensaios 1 e 2 com milho seco

Silo	Enaio 1			Ensaio 2		
	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
1	21,10	3,60	17,08	26,65	2,68	10,05
2	20,77	3,30	15,90	26,18	2,74	10,48
3	21,03	3,87	18,42	26,56	2,66	10,00

4.3 Tempo de aeração

A aeração contínua totalizou 576 h de operação e a aeração noturna 240 h (10 horas por noite), em ambos os ensaios. O tempo de aeração resultante da estratégia de aeração em condições de umidade de equilíbrio do primeiro ensaio nos Silo 3 e 6 foram, 19h45min e 48h57min, respectivamente. A diferença entre o tempo de funcionamento dos ventiladores nos silos 3 e 6 foi devida à faixa de umidade programada, que também foi diferenciada para milho seco (silo 3) e milho umidificado (silo 6). Obteve-se maior tempo de aeração no silo 6 porque as condições do ar ambiente na época do ensaio permitiu maior período de tempo de valores de umidade relativa dentro da faixa de operação desse sistema (83 a 87%) do que naquela ajustada para a aeração de milho seco (68 a 72%). No ensaio 2 o tempo de aeração do Silo 3 foi de 55h11min.

Casada et al. (2002) realizando aeração com termostato programado para acionamento do sistema somente com temperatura ambiente abaixo de 24 °C verificou funcionamento do ventilador por 240 horas no período de 45 dias de armazenamento.

A título de comparação, calculou-se também o tempo de aeração a partir da Equação 2, proposta por Brooker et al. (1992) para resfriamento de grãos com ar ambiente. Um dos requisitos para a aplicação dessa equação é que as características psicrométricas do ar de aeração sejam compatíveis com a umidade de equilíbrio dos grãos durante o processo. No cálculo foi considerada massa de grãos (W_g) de 130 kg, calor específico do milho (C_g) 2,13 kJ kg⁻¹°C⁻¹, vazão de ar (G_a) 0,10 m³ min⁻¹t⁻¹ para milho seco e 0,60 m³ min⁻¹t⁻¹ para milho umidificado, densidade do ar (ρ_a) 1,15 kg m⁻³ e calor específico do ar (C_a) 1,00 kJ kg⁻¹°C⁻¹.

O tempo de aeração calculado foi de 401h18min para milho seco e 66h53min para milho umidificado. Esses valores são superiores ao tempo de aeração empregado nos silos 3 e 6 do primeiro ensaio e do silo 3 do segundo ensaio.

4.4 Umidade

O aquecimento dos grãos com energia solar provocou redução de umidade, mesmo com os grãos acondicionados em sacos plásticos fechados durante o processo. O teor de umidade antes do aquecimento dos grãos secos do ensaio 1 era 12,94% (b.u.) e dos grãos umidificados 18,23% (b.u.). Na Tabela 15 são apresentados os valores de umidade dos grãos após o aquecimento, ou seja, no primeiro dia de ensaio.

Tabela 15. Teor de umidade dos grãos de milho (% b.u.) no primeiro dia do ensaio 1 nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos com grãos secos (1, 2 e 3) e com grãos umidificados (4, 5 e 6)

	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Silo 1	11,16	11,41	11,27
Silo 2	9,79	11,18	11,29
Silo 3	11,32	11,32	11,40
Silo 4	16,49	17,10	17,40
Silo 5	17,07	16,82	16,82
Silo 6	16,26	16,75	16,64

Em relação aos grãos utilizados no ensaio 2 o teor de umidade dos grãos antes do aquecimento era 12,14% e após o aquecimento são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Teor de umidade dos grãos de milho (% b.u.) no primeiro dia do ensaio 2 nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos com grãos secos (1, 2, 3 e 0).

	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Silo 1	11,44	11,96	11,28
Silo 2	10,98	12,06	11,25
Silo 3	11,31	11,30	11,66
Silo 0	11,70	11,46	11,41

A. Ensaio 1

Analizando-se a Figura 16, observa-se que a umidade dos grãos secos na primeira semana manteve-se constante, mas elevou-se no nono e no décimo quinto dia do ensaio. Esse reumedecimento ocorreu devido às condições meteorológicas, de alta umidade relativa e baixa temperatura do ar ambiente (Figura 5). A partir do décimo oitavo dia o teor de umidade foi reduzido novamente até valores inferiores ao inicial. De modo geral, verificou-se, durante o armazenamento, uma tendência de redução da umidade desses grãos.

Casada et al. (2002) observaram reumedecimento de grãos armazenados, devido a umidade relativa elevada durante o período noturno.

No caso dos grãos armazenados umidificados, até cerca da metade do período de aeração, o teor de umidade foi reduzindo-se gradativamente e do décimo segundo ao décimo quinto dia observou-se uma redução mais significativa do mesmo (2,5%). Em seguida apresentou crescimento, mas ao final do período pesquisado obteve-se um teor de umidade abaixo do inicial. Quando se observa o comportamento da temperatura no décimo quinto dia de ensaio (Figura 16), verifica-se que foi justamente o dia mais quente no interior dos silos, principalmente no tratamento de aeração em condições de umidade de equilíbrio. Portanto, atribui-se essa redução de umidade à elevação de temperatura na massa de grãos.

O aumento da temperatura mencionado acima, aliado ao elevado teor de umidade inicial dos grãos, provocou desenvolvimento de fungos, que por sua vez está relacionado com a redução de umidade do produto (MERONUCK, citado por RIBEIRO et al., 2003).

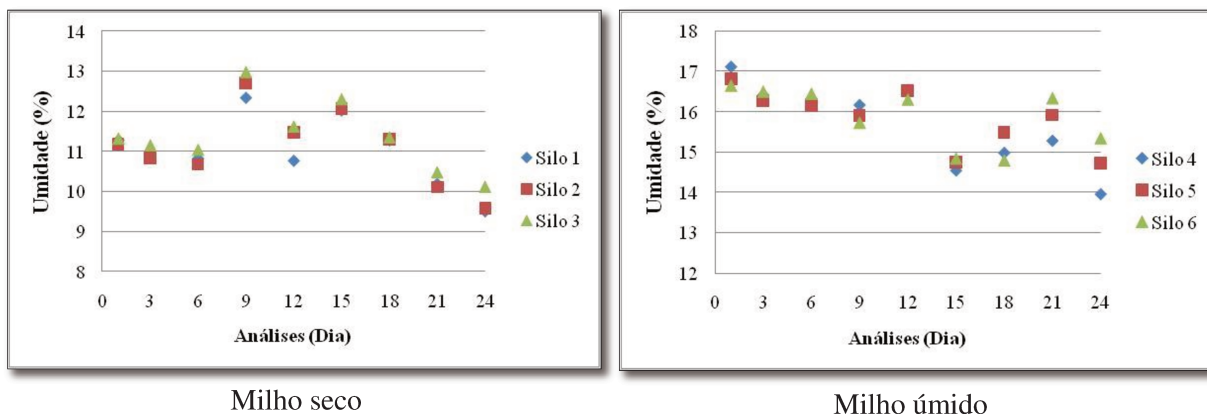


Figura 16. Variação da umidade dos grãos nos silos de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6) com milho seco e úmido do ensaio 1

B. Ensaio 2

No ensaio 2, observou-se pequena variação do teor de umidade dos grãos armazenados. Essa observação foi comum em todos os tratamentos de aeração. No entanto, percebeu-se que o silo 1 (aeração contínua) apresentou, durante todo o ensaio, teores de umidade mais baixo que os demais (Figura 17).

As condições meteorológicas no período de realização deste ensaio (Figura 9) favoreceram a manutenção da umidade dos grãos, uma vez que os ciclos diários de temperatura e umidade relativa do ar ambiente oscilaram quase sempre numa mesma faixa de valores.

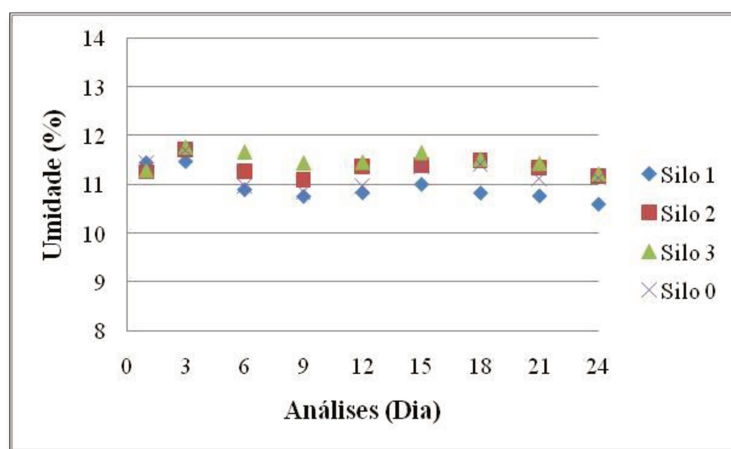


Figura 17. Variação da umidade dos grãos nos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) e sem aeração (0) com milho seco do ensaio 2

4.4.1 Comparação da umidade entre alturas

A. Ensaio 1

Na Tabela 17 observa-se que o teor de umidade médio durante o ensaio dos silos 1 e 2 manteve-se uniforme entre as alturas superior (0,54 m), intermediária (0,33 m) e inferior (0,11 m). Nos silos 3, 4 e 5, verificou-se diferença do teor de umidade entre as alturas superior e inferior, sendo que os grãos da altura inferior apresentaram teor de umidade menor. Em relação ao silo 6, o teor de umidade da altura inferior foi menor que o das alturas superior e intermediária. Esses resultados demonstram que, principalmente nos grãos úmidos armazenados, a altura mais próxima da entrada de ar (0,11 m) favoreceu a redução do teor de umidade dos grãos.

Tabela 17. Teste de Tukey para comparação da umidade entre alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6) de milho seco (silos 1, 2 e 3) e de milho umidificado (silos 4, 5 e 6) do ensaio 1

Alturas	Silo 1	Silo 2	Silo 3	Silo 4	Silo 5	Silo 6
0,54 m	11,64 a	11,38 a	12,29 a	16,41 a	16,78 a	16,09 a
0,33 m	10,91 a	11,27 a	11,66 ab	15,83 ab	15,87 ab	16,77 a
0,11 m	10,71 a	10,87 a	11,05 b	14,26 b	15,18 b	15,10 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

B. Ensaio 2

Nos silos 1 e 2 observou-se que a altura inferior (0,11 m) apresentou teor de umidade diferente das alturas superior (0,54 m) e intermediária (0,33 m), sendo esse teor menor na altura 0,11 m. No silo 3, a altura 0,33 m apresentou-se com menor teor de umidade e no silo controle (0), houve heterogeneidade entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m, pois todos os teores de umidade diferiram entre si e a altura 0,11 m (inferior) foi a que apresentou menor teor de umidade (Tabela 18).

Tabela 18. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as altura 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de umidade de equilíbrio (3) e controle (0) de milho seco do ensaio 2

Alturas	Silo 1	Silo 2	Silo 3	Silo 0
0,54 m	11,53 a	11,66 a	11,57 a	11,88 a
0,33 m	11,00 a	11,45 a	11,12 b	11,21 b
0,11 m	10,39 b	10,44 b	11,83 a	10,72 c

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4.2 Efeito da estratégia de aeração

A. Ensaio 1

Realizando-se comparação do teor de umidade médio do ensaio entre as estratégias de aeração não se obteve diferença significativa, tanto em milho seco (silos 1, 2 e 3) como em milho umidificado (silos 4, 5 e 6), como pode ser observado pela Tabela 19.

Tabela 19. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de umidade de equilíbrio (3 e 6), em milho seco (1, 2 e 3) e umidificado (4, 5 e 6) do ensaio 1

Silos	Média	Silos	Média
1	11,09 a	4	15,50 a
2	11,17 a	5	15,94 a
3	11,47 a	6	15,99 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

B. Ensaio 2

Pela análise estatística (Tabela 20) verificou-se menor teor de umidade na estratégia de aeração contínua (silo 1) e maior na estratégia de aeração em condições de umidade de equilíbrio (silo 3), concordando com a observação feita por meio da Figura 17.

Tabela 20. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de umidade de equilíbrio (3) e do silo controle (0) em milho seco do ensaio 2

Silos	Médias
1	10,97 b
2	11,18 ab
3	11,50 a
0	11,27 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4.3 Comparação da umidade entre ensaios 1 e 2

Entre os ensaios 1 e 2 verificou-se igualdade entre os valores médios de teor de umidade (Tabela 21). Mesmo com as oscilações do teor de umidade observadas em alguns dias do ensaio 1 (Figura 16), não se verificou diferença significativa entre os valores médios do teor de umidade ao longo dos ensaios 1 e 2.

Tabela 21. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração semelhantes dos ensaios 1 e 2. Silo 1 – aeração contínua; silo 2 – aeração noturna e silo 3 – aeração em condições de umidade de equilíbrio

Ensaio	Silo 1	Silo 2	Silo 3
1	11,09 a	11,17 a	11,47 a
2	10,97 a	11,18 a	11,50 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4.4 Comparação da umidade entre silos aerado e controle do ensaio 2

Pela Tabela 22 observou-se que não houve diferença significativa do teor de umidade entre os tratamentos de aeração e o controle.

Pode-se dizer que a variação do teor de umidade observada em todos os tratamentos e no controle está dentro dos limites aceitáveis, entre 11 e 13% (PUZZI, 2000).

Tabela 22. Teste de Tukey para comparação da umidade entre as estratégias de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) e o silo controle (0)

Silo 1	10,97 a	Silo 2	11,18 a	Silo 3	11,50 a
Silo 0	11,27 a	Silo 0	11,27 a	Silo 0	11,27 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5 Fungos

A. Ensaio 1

Os resultados apresentados nas Tabelas 23 e 24 incluem valores de contagem de fungos das diluições 10^{-1} e 10^{-2} , este último se encontra hachurado. Na quinta análise realizada com amostra da altura inferior (0,11 m) do silo de aeração noturna (5), não foi possível realizar leitura das placas, uma vez que todas elas estavam infestadas com um fungo que não era de interesse deste trabalho.

Pela análise da Tabela 23 verifica-se que o *Aspergillus* praticamente não foi observado em milho armazenado seco. Enquanto que em grãos úmidos (Tabela 24), observou-se desenvolvimento desse fungo em todas as estratégias de aeração, destacando-se a altura superficial (0,54 m). As menores ocorrências de *Aspergillus* se deram nos silos de aeração

contínua e noturna, ambos nas alturas 0,11 m (inferior), isso provavelmente devido à secagem que ocorreu nestas alturas durante o ensaio, 3% e 2%, respectivamente.

No caso do fungo *Penicillium*, notou-se no ensaio com milho seco (Tabela 23) um comportamento similar na maioria das alturas dos silos. Do início (dia 0) até o tempo intermediário do ensaio (12º dia) as contagens seguiram uma tendência de redução e a partir daí até o final do ensaio (24º dia) os valores de contagem apresentaram crescimento. Em relação aos grãos úmidos (Tabela 24), observou-se comportamento predominante de elevação do número de colônias durante o ensaio. O silo de aeração em condições de umidade de equilíbrio (6) foi o que apresentou maiores contagens, nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m, ao final do período de aeração. Ribeiro et al. (2003) classificaram o *Penicillium* como fungo dominante em produtos originados do milho.

Analisando-se agora o *Fusarium*, percebe-se que a altura superficial (0,54 m) da estratégia de aeração em condições de umidade de equilíbrio (silo 6) apresentou maiores contagens durante todo o período de aeração. Comparando-se entre as alturas, observa-se maior ocorrência desse fungo nas alturas superficiais (0,54 m) do que nas demais alturas (0,33 e 0,11 m). Ribeiro et al. (2003) verificaram que o *Fusarium* moniliforme ocorreu com frequência em subprodutos do milho.

Em relação aos grãos úmidos notou-se majoritariamente tendência de redução da ocorrência de *Fusarium* ao longo do ensaio e sua ocorrência em grãos armazenados secos foi superior à observada em grãos umidificados.

Ao final dos ensaios obtiveram-se imagens dos grãos secos e úmidos (Figura 18), pois o desenvolvimento de fungos nos grãos úmidos foi tão intenso que visualmente era possível observá-los. A descarga dos silos foi realizada manualmente e neste momento pôde-se observar visualmente o estado de conservação dos grãos: aqueles aerados secos não apresentavam alteração de cor e odor, todavia os grãos armazenados úmidos estavam esverdeados e quando revolvidos provocavam poeira com odor desagradável. Notou-se também que uma pequena altura de grãos localizada na parte inferior dos silos, próxima à chapa perfurada aparentavam coloração normal.

Tabela 23. Resultado de contagem em UFC g⁻¹ obtidos a cada seis dias do período de aeração dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* nas alturas A (0,54 m), B (0,33 m) e C (0,11 m) dos silos 1, 2 e 3 com milho seco.

		Tempo de armazenagem (dias)				
		0	6	12	18	24
A1	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	3x10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	7,75x10 ²	4,9x10 ³	< 10 ²	3,6x10 ²	3,7x10 ³
	<i>Fusarium</i>	5,25x10 ²	< 10 ²	1,1x10 ⁴	3,5x10 ⁴	3,2x10 ²
B1	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	2,76x10 ³	3,4x10 ²	< 10 ²	5,5x10 ²	3,4x10 ³
	<i>Fusarium</i>	1,42x10 ³	7,64x10 ³	3,82x10 ³	5,8x10 ³	7x10 ²
C1	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	2,06x10 ³	< 10 ²	< 10 ²	1,02x10 ²	3,54x10 ³
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	2,75x10 ³	4,0x10 ²	3,32x10 ³	9,2x10 ²
A2	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	3,08x10 ³	4,25x10 ³	< 10 ²	< 10 ²	2,1x10 ³
	<i>Fusarium</i>	8,80x10 ³	1,7x10 ³	2,52x10 ³	2,72x10 ⁵	1,4x10 ³
B2	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	7,75x10 ²	< 10 ²	< 10 ²	1,26x10 ³	3,82x10 ³
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	3,8x10 ²	1,34x10 ³	5,4x10 ²	4,2x10 ³
C2	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	1,15x10 ⁴	1,6x10 ²	< 10 ²	2,7x10 ³	4,4x10 ³
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	6,82x10 ³	2x10 ²	1,1x10 ³	1,36x10 ³
A3	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	2,4x10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	9,2x10 ³	6,8x10 ³	4,8x10 ²	9,2x10 ²	4,4x10 ³
	<i>Fusarium</i>	6,96x10 ⁴	4,16x10 ⁴	4,21x10 ⁴	4,4x10 ⁴	1,84x10 ⁵
B3	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	8x10 ²	3,45x10 ⁴	< 10 ²	6,1x10 ³	2,78x10 ³
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	< 10 ²	1,23x10 ⁵ est	8,6x10 ²	7,5x10 ³
C3	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
	<i>Penicillium</i>	1,84x10 ³	< 10 ²	< 10 ²	4,2x10 ²	1,9x10 ³
	<i>Fusarium</i>	3,80x10 ²	1,16x10 ⁶	1,33x10 ⁴	3,46x10 ³	1,7x10 ³

Ai, Bi, Ci = alturas da massa de grãos

i = 1, 2, 3 = número dos tratamentos (silos)

Tabela 24. Resultado de contagem em UFC g⁻¹ obtidos a cada seis dias do período de aeração dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* nas alturas A (0,54 m), B (0,33 m) e C (0,11 m) dos silos 4, 5 e 6 com milho umidificado.

		Tempo de armazenagem (dias)				
		0	6	12	18	24
A4	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	6,42x10 ³	1,3x10 ⁴	3,38x10 ⁴
	<i>Penicillium</i>	4,4x10 ²	< 10 ²	< 10 ²	8,52x10 ⁴	3,48x10 ⁴
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	1,8x10 ⁶	< 10 ²	6,8x10 ³	< 10 ²
B4	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	3x10 ²	3x10 ²	2,25x10 ²	2,78x10 ³
	<i>Penicillium</i>	1,6x10 ²	7,2x10 ²	5,8x10 ²	2,33x10 ³	6,54x10 ³
	<i>Fusarium</i>	2,54x10 ³	9,4x10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
C4	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	5,8x10 ²	< 10 ²	3,2x10 ²
	<i>Penicillium</i>	2,72x10 ³	< 10 ²	2x10 ²	2,42x10 ³	1,18x10 ³
	<i>Fusarium</i>	3,12x10 ³	< 10 ²	2,6x10 ²	2,34x10 ³	1,2x10 ²
A5	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	1,1x10 ³	3,2x10 ²	< 10 ²	4,1x10 ³
	<i>Penicillium</i>	3x10 ²	8,2x10 ²	5,6x10 ²	6,1x10 ⁴	1,64x10 ³
	<i>Fusarium</i>	1,37x10 ³	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
B5	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	6x10 ²
	<i>Penicillium</i>	< 10 ²	< 10 ²	6,5x10 ²	2,24x10 ⁴	3,42x10 ³
	<i>Fusarium</i>	2,53x10 ³	3,8x10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
C5	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	3x10 ²	-
	<i>Penicillium</i>	3,67x10 ²	< 10 ²	2,2x10 ²	2,96x10 ³	-
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	6,6x10 ²	1,14x10 ³	< 10 ²	-
A6	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	1,2x10 ²	1,48x10 ³	7,67x10 ⁴
	<i>Penicillium</i>	3,34x10 ³	< 10 ²	7,2x10 ²	5,76x10 ³	1,13x10 ⁴
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	7x10 ³	2,8x10 ²	< 10 ²	1,33x10 ³
B6	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	2x10 ²	5,4x10 ²	1,16x10 ⁴	6,44x10 ⁴
	<i>Penicillium</i>	1,8x10 ²	1,4x10 ²	7,4x10 ²	3,24x10 ⁴	1,7x10 ⁴
	<i>Fusarium</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²
C6	<i>Aspergillus</i>	< 10 ²	< 10 ²	< 10 ²	5,4x10 ³	1,86x10 ⁴
	<i>Penicillium</i>	1,3x10 ³	< 10 ²	6,9x10 ³	2,5x10 ⁴	4,03x10 ⁴
	<i>Fusarium</i>	3,75x10 ²	6,4x10 ²	3,8x10 ²	< 10 ²	< 10 ²

Ai, Bi, Ci = alturas da massa de grãos

i = 4, 5, 6 = número dos tratamentos (silos)



a) Milho seco – visão geral



b) Milho seco – visão aproximada



c) Milho úmido – visão geral



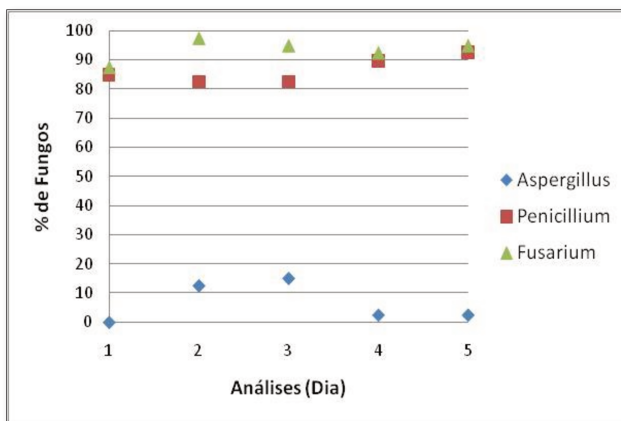
d) Milho úmido – visão aproximada

Figura 18. Imagens dos grãos de milho secos (a e b) e úmidos (c e d) após término do período de experimentação

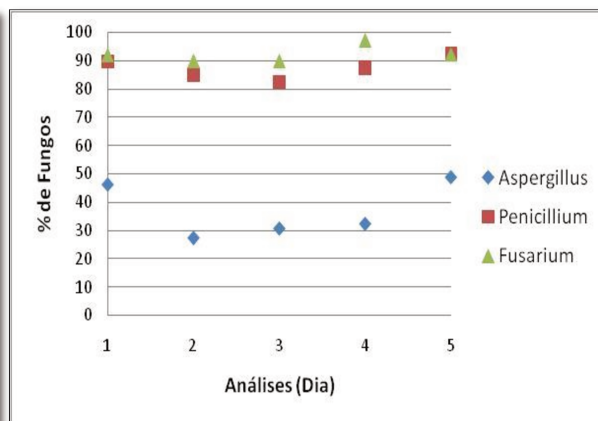
B. Ensaio 2

A partir das Figuras 19, 20 e 21 verifica-se que o *Fusarium* apresentou contagens mais elevadas em todos os silos. O *Penicillium*, nas primeiras análises apresentava níveis inferiores ao *Fusarium*, entretanto durante o armazenamento sofreu crescimento na maioria das alturas. O *Aspergillus*, por sua vez, obteve as menores porcentagens de contagem e de maneira uniforme, sem crescimento, com exceção do silo 2 - altura 0,33 m, onde se verificou elevado desenvolvimento desse fungo.

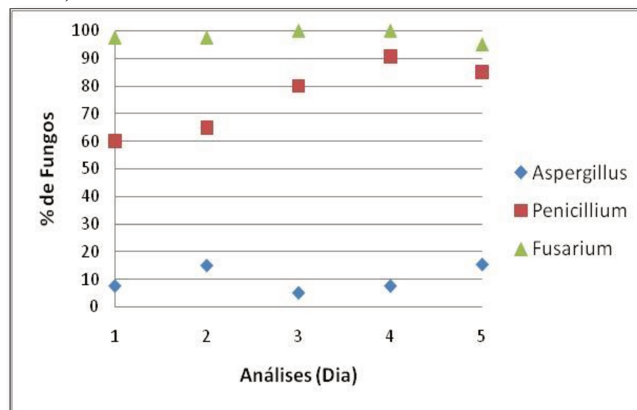
Os resultados encontrados nestas análises concordam com os de Márcia e Lazzari (1998), uma vez que os autores também observaram elevada contaminação fúngica em grãos de milho, a saber: 82,7% das amostras analisadas contaminadas com *Penicillim*, 100% com *Aspergillus* e 97,5% com *Fusarium*.



Silo 1 – 0,54 m

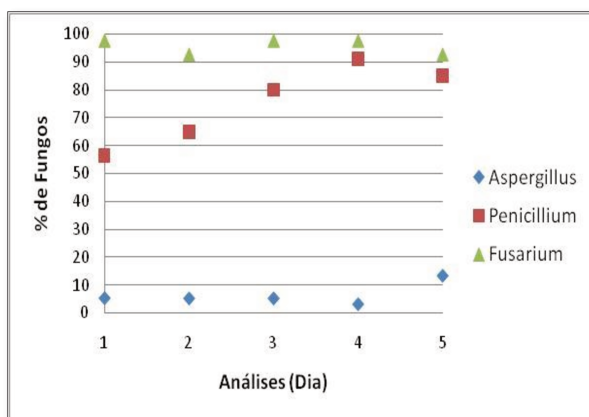


Silo 1 – 0,33 m

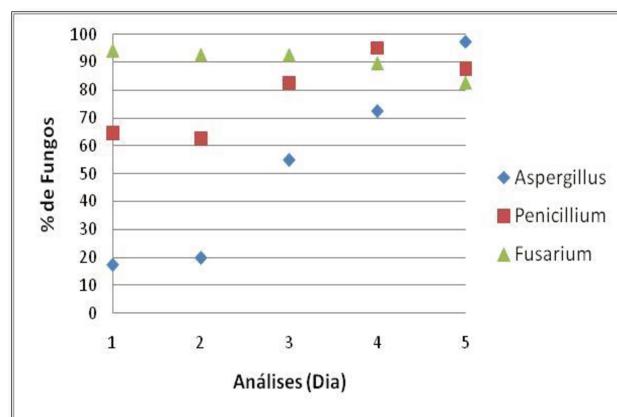


Silo 1C

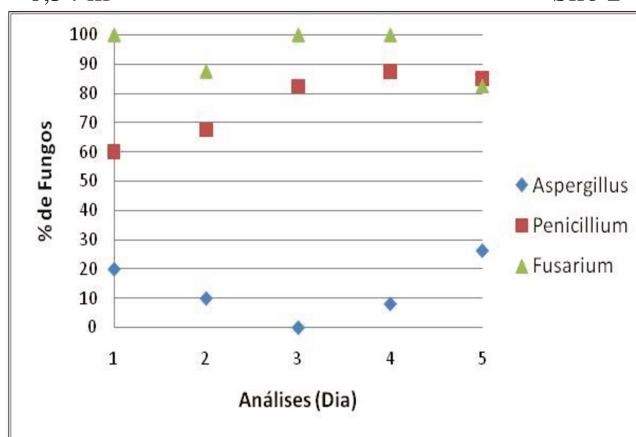
Figura 19. Variação da contaminação dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m do silo 1 durante o armazenamento (Ensaio 2 – milho seco)



Silo 2 – 0,54 m



Silo 2 – 0,33 m



Silo 2 – 0,11 m

Figura 20. Variação da contaminação dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m do silo 2 durante o armazenamento (Ensaio 2 – milho seco)

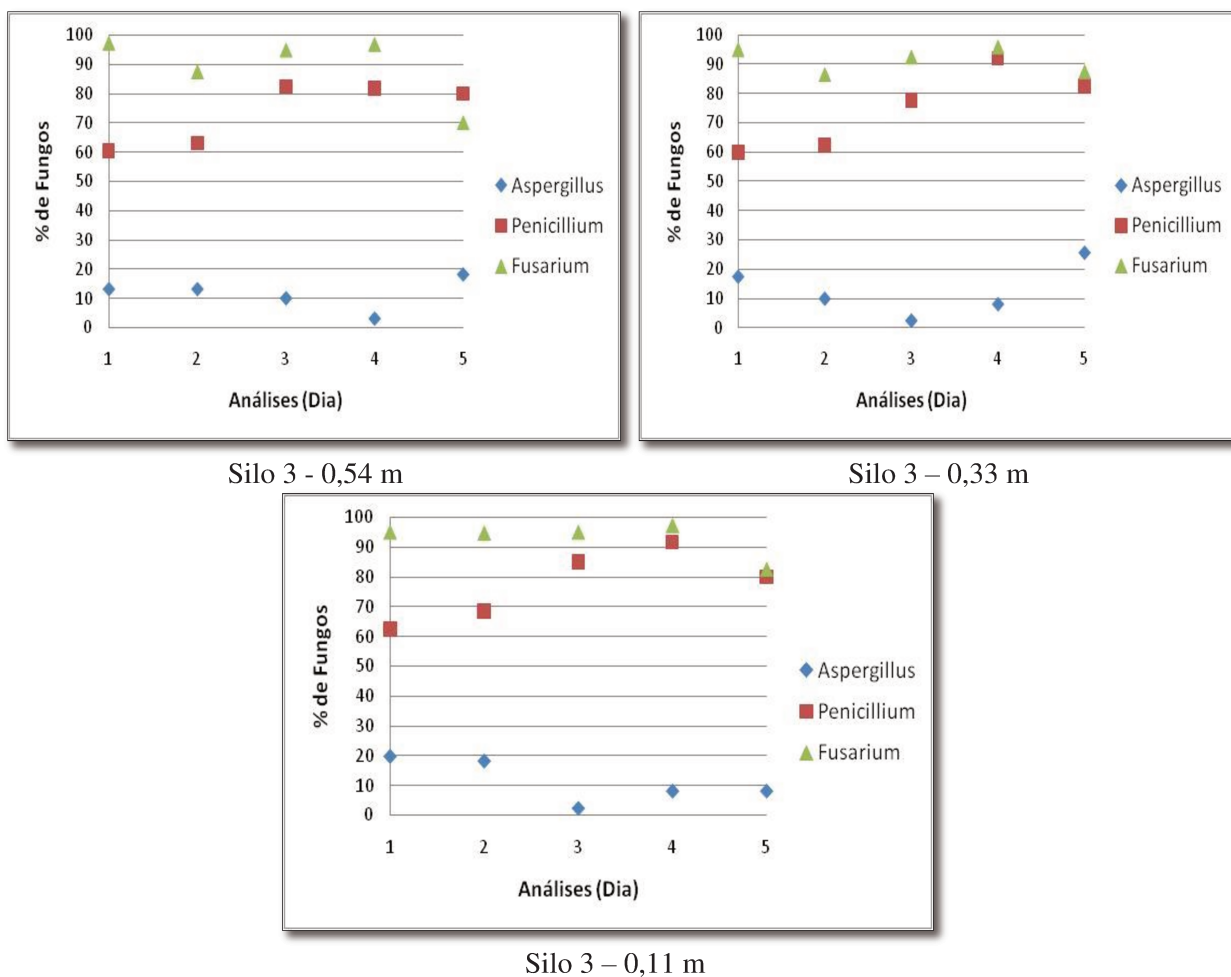


Figura 21. Variação da contaminação dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m do silo 3 durante o armazenamento (Ensaio 2 – milho seco)

Neste ensaio a metodologia utilizada para a determinação da ocorrência dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* foi o teste do papel de filtro. Para a avaliação dos resultados aplicou-se o Teste de Tukey.

As Tabelas 25, 26 e 27 apresentam os resultados da comparação entre as alturas e a Tabela 28 entre os silos do ensaio 2.

Observa-se, na Tabela 25, que no silo 3 a ocorrência do fungo *Aspergillus* foi igual entre as alturas, enquanto que nos silos 1 e 2, a altura 0,33 m destacou-se com maior ocorrência desse fungo.

Tabela 25. Teste de Tukey para análise da ocorrência do fungo *Aspergillus* em milho seco entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 2

Altura	Silo 1	Silo 2	Silo 3
0,54 m	6,50 b	6,25 b	11,51 a
0,33 m	37,11 a	52,44 a	12,76 a
0,11 m	10,08 b	12,88 b	11,52 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao *Penicillium*, observou-se igualdade de sua ocorrência entre as alturas nas três estratégias de aeração aplicadas em milho seco (Tabela 26).

Tabela 26. Teste de Tukey para análise da ocorrência do fungo *Penicillium* em milho seco entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 2

Altura	Silo 1	Silo 2	Silo 3
0,54 m	86,45 a	75,52 a	73,60 a
0,33 m	87,41 a	78,44 a	74,83 a
0,11 m	76,13 a	76,50 a	77,52 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pela Tabela 27, verifica-se que as estratégias de aeração noturna (silo 2) e em condições de umidade de equilíbrio (silo 3) apresentaram homogeneidade na ocorrência de *Fusarium* entre as alturas. Em relação à estratégia de aeração contínua (silo 1) as alturas 0,54 m (superior) e 0,33 m (intermediária) apresentaram menor ocorrência de *Fusarium*.

Tabela 27. Teste de Tukey para análise da ocorrência do fungo *Fusarium* em milho seco entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) do ensaio 2

Altura	Silo 1	Silo 2	Silo 3
0,54 m	93,50 ab	95,50 a	89,37 a
0,33 m	92,34 b	90,22 a	91,50 a
0,11 m	98,00 a	94,00 a	92,91 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando se realizou comparação da ocorrência dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* entre os tratamentos observaram-se que, para todos eles, não existiu diferença significativa entre as estratégias de aeração.

Tabela 28. Teste de Tukey para análise da ocorrência dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* em milho seco entre as estratégias de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3)

	Aspergillus	Penicillium	Fusarium
Silo 1	17,90 a	83,33 a	94,61 a
Silo 2	23,86 a	76,82 a	93,24 a
Silo 3	11,93 a	75,32 a	91,26 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Encontram-se no Apêndice 24 fotografias dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, obtidas com microscópio óptico.

4.6 Condutividade elétrica

A. Ensaio 1

Para avaliar o comportamento da condutividade elétrica dos grãos ao longo do período de ensaio aplicou-se o Teste de Tukey.

Observa-se, na Tabela 29, que na altura 0,54 m de todas as estratégias de aeração (silos 1, 2 e 3) a condutividade elétrica apresentou redução ao longo do período de ensaio. Na altura 0,33 m também se verificou redução da condutividade elétrica no tempo nas estratégias de aeração contínua (1) e noturna (2), enquanto que na estratégia de aeração em condições de umidade de equilíbrio não se obteve diferença significativa entre as análises. Em relação à altura 0,11 m verificou-se redução da condutividade elétrica no silo 1 da primeira para a segunda análise e posteriormente esse valor manteve-se uniforme até o final do ensaio, enquanto que no silo 2 a condutividade elétrica manteve-se homogênea ao longo do tempo e no silo 3 observou-se redução significativa da mesma durante o ensaio.

De modo geral, observou-se que a condutividade elétrica foi reduzida durante o ensaio com milho seco em todas as estratégias de aeração estudada.

Em grãos úmidos aerados verificou-se igualdade da condutividade elétrica na altura 0,54 m das estratégias de aeração contínua (4) e noturna (5), todavia na estratégia de aeração em condições de equilíbrio observou-se elevação da mesma ao longo do período de ensaio. Em relação à altura 0,33 m, com exceção da terceira análise do silo 4 e da quarta do silo 5, a condutividade elétrica desses silos apresentou-se uniforme, entretanto no silo 6 observou-se

elevação da mesma ao final do ensaio. Na altura 0,11 m verificou-se elevação da condutividade elétrica em todas as estratégias de aeração ao longo do ensaio (Tabela 30).

A análise global que se faz do comportamento da condutividade elétrica em milho úmido aerado é que a estratégia de aeração em condições de equilíbrio destacou-se por ser a que apresentou elevação da condutividade elétrica em todas as alturas do silo.

Tabela 29. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m ao longo do período de ensaio nos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 1 com milho seco

Alturas	Tempo (dias)	Silo 1	Silo 2	Silo 3
0,54 m	0	550,67 a	441,00 a	323,67 a
	6	414,67 ab	286,33 bc	233,67 ab
	12	417,67 ab	314,33 b	207,33 ab
	18	382,67 ab	305,67 b	253,67 ab
	24	263,67 ab	217,00 c	142,00 b
0,33 m	0	491,00 a	530,33 a	517,67 a
	6	393,00ab	368,67 bc	370,67 a
	12	332,33 b	356,67 bc	340,33 a
	18	377,67 ab	430,33 ab	387,00 a
	24	312,33 b	264,33 c	326,00 a
0,11 m	0	617,00 a	429,33 a	506,33 a
	6	336,00 b	408,67 a	379,67 ab
	12	347,00 b	370,00 a	353,67 ab
	18	356,33 b	421,33 a	417,67 ab
	24	243,67 b	268,00 a	337,33 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 30. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica das alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m ao longo do período de ensaio nos silos de aeração contínua (4), noturna (5) e em condições equilíbrio (6) do ensaio 1 com milho úmido

Alturas	Tempo (dias)	Silo 4	Silo 5	Silo 6
0,54 m	0	253,00 a	317,33 a	356,67 abc
	6	383,33 a	263,67 a	305,67 c
	12	330,33 a	265,00 a	429,33 ab
	18	236,33 a	202,33 a	345,00 bc
	24	370,00 a	298,00 a	453,67 a
0,33 m	0	329,00 b	312,67 a	272,33 b
	6	279,67 b	291,00 a	309,00 b
	12	605,67 a	296,67 a	350,00 b
	18	221,33 b	183,33 b	361,33 b
	24	368,33 b	364,33 a	581,67 a
0,11 m	0	278,33 ab	377,67 ab	330,67 ab
	6	232,33 ab	342,67 b	365,67 ab
	12	320,00 ab	383,67 ab	417,33 a
	18	200,00 b	268,67 b	200,67 b
	24	345,00 a	493,67 a	499,67 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.6.1.1 Efeito das estratégias de aeração e da altura das alturas

A fim de comparar a condutividade elétrica entre as estratégias de aeração e entre as alturas de grãos do primeiro ensaio, foi utilizado o Teste de Tukey.

Observa-se, na Tabela 31, que apenas a altura 0,54 m da estratégia de aeração em condições de equilíbrio (silo 3) diferiu das demais alturas, em todas as outras estratégias observou-se igualdade da condutividade elétrica entre as alturas.

Tabela 31. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m das estratégias de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de equilíbrio (3) do ensaio 1 com grãos secos (1, 2 e 3) e úmidos (4, 5 e 6)

Altura	Silo 1	Silo 2	Silo 3	Silo 4	Silo 5	Silo 6
0,54 m	405,87 a	312,87 a	232,07 b	314,60 a	346,73 a	296,87 a
0,33 m	381,27 a	390,07 a	388,33 a	283,33 a	289,60 a	390,87 a
0,11 m	380,00 a	379,47 a	398,93 a	356,33 a	357,27 a	362,80 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Avaliou-se também a condutividade elétrica entre silos, ou seja, entre diferentes estratégias de aeração. Na Tabela 32 verifica-se, tanto em grãos aerados secos como úmidos, que não existiu diferença significativa da condutividade elétrica entre as estratégias de aeração.

Tabela 32. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre as estratégias de aeração contínua (1 e 4), noturna (2 e 5) e em condições de equilíbrio (3 e 6) com milho seco (1, 2 e 3) e úmido (4, 5 e 6)

Silo 1	389,04 a	Silo 4	318,09 a
Silo 2	360,80 a	Silo 5	331,20 a
Silo 3	339,78 a	Silo 6	350,18 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

B. Ensaio 2

4.6.1.2 Efeito das estratégias de aeração e da altura da altura

Na Tabela 33 pode-se observar na altura 0,54 m que nos tratamentos de aeração noturna (2) e no controle (0) a condutividade elétrica manteve-se uniforme ao longo do período de ensaio, todavia, nas estratégias de aeração contínua (1) e em condições de umidade de equilíbrio (3) a condutividade elétrica apresentou crescimento ao final do ensaio. Em relação à altura 0,33 m observa-se que no tratamento de aeração noturna a condutividade elétrica manteve-se constante, porém nos demais tratamentos verificou-se elevação da mesma ao longo do ensaio. Na altura 0,11 m, o silo controle (0) não apresentou diferença significativa na condutividade elétrica durante o ensaio, enquanto que nos tratamentos de aeração (silos 1, 2 e 3) observou-se elevação da mesma ao final do ensaio.

Assim, os tratamentos de aeração noturna e o controle apresentaram maior uniformidade da condutividade elétrica no tempo nas alturas observadas.

Fazendo-se comparação da condutividade elétrica média entre alturas dos tratamentos observou-se igualdade estatística dos valores em todas as estratégias de aeração e no controle (Tabela 34).

Na Tabela 35 encontram-se comparações da condutividade elétrica média entre os tratamentos, podendo-se observar que entre os silos não se observou diferença significativa da condutividade elétrica no ensaio 2.

Tabela 33. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica das alturas 0,54 m, 0,33 m e 0,11 m ao longo do período de ensaio nos silos de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de equilíbrio (3) e no silo controle (0) do ensaio 2

Altura	Tempo (dias)	Silo 1	Silo 2	Silo 3	Silo 0
0,54 m	0	174,18 ab	192,50 a	178,28 b	199,35 a
	6	152,10 b	151,48 a	202,68 ab	189,90 a
	12	152,25 b	150,25 a	162,48 b	164,98 a
	18	167,48 b	168,78 a	181,58 b	154,60 a
	24	247,15 a	229,25 a	261,75 a	186,95 a
0,33 m	0	214,38 ab	226,33 a	171,43 ab	183,38 ab
	6	163,05 b	194,08 a	200,03 ab	177,35 ab
	12	160,88 b	222,13 a	153,08 b	135,28 b
	18	195,43 ab	218,75 a	166,45 ab	194,75 ab
	24	250,08 a	267,50 a	227,43 a	224,98 a
0,11 m	0	166,08 ab	166,08 b	209,43 ab	200,30 a
	6	148,75 b	156,75 b	169,73 ab	209,88 a
	12	147,58 b	161,83 b	163,18 b	159,58 a
	18	208,38 a	190,88 ab	153,63 b	195,70 a
	24	213,65 a	235,00 a	261,50 a	240,25 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 34. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre as alturas 0,54,0,33 e 0,11 m dos silos de aeração contínua (1), noturna (2) e em condições de umidade de equilíbrio (3) do ensaio 2

Alturas	Silo 1	Silo 2	Silo 3	Silo 0
0,54 m	178,63 a	178,45 a	197,35 a	179,16 a
0,33 m	196,76 a	225,76 a	183,68 a	183,15 a
0,11 m	176,89 a	182,11 a	191,49 a	201,14 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 35. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre os tratamentos de aeração contínua (1), noturna (2), em condições de umidade de equilíbrio (3) e com o silo controle (0) do ensaio 2

Silo 1	184,09 a
Silo 2	195,44 a
Silo 3	190,84 a
Silo 0	187,81 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.6.1.3 Comparação da condutividade elétrica entre estratégias de aeração e controle

Observa-se ainda, na tabela 35, que a condutividade elétrica de cada tratamento de aeração foi significativamente igual ao do controle. Essa observação permite afirmar que o efeito da aeração, isoladamente, não afeta a integridade dos sistemas de membranas dos grãos e, por conseguinte, não influi na lixiviação eletrolítica dos solutos celulares.

O resultado obtido nesta pesquisa corrobora com Bilia et al. (1994), que também não verificaram diferença estatística na condutividade elétrica de sementes de milho armazenadas sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

4.6.2 Comparação da condutividade elétrica entre os ensaios 1 e 2

Observando-se a Tabela 36, pode-se perceber que existiu diferença significativa da condutividade elétrica em todas as comparações das estratégias de aeração semelhantes entre o primeiro e o segundo ensaio. Isso pode ser explicado pela utilização de grãos de milho com características físicas distintas nos ensaios, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 36. Teste de Tukey para comparação da condutividade elétrica entre os tratamentos semelhantes dos ensaios 1 e 2

Ensaio	Silo 1	Silo 2	Silo 3
1	389,04 a	360,80 a	339,78 a
2	184,09 b	195,44 b	190,84 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que esta pesquisa foi realizada chegou-se às seguintes conclusões:

- Todas as estratégias de aeração promoveram redução de temperatura nos primeiros dois dias de armazenagem de milho seco (11% b.u.) e úmido (16,8% b.u.).
- Os valores de temperatura ao final de dois dias de aeração foram diferentes entre as estratégias. Dessa forma pode-se classificar a estratégia de aeração em condições de umidade de equilíbrio como a de melhor desempenho em grãos secos do ensaio realizado nos meses de agosto a setembro de 2009, enquanto em milho úmido realizado no mesmo período e em grãos secos aerados nos meses de outubro a novembro a melhor estratégia foi a aeração contínua.
- Depois do período de resfriamento inicial não se verificou homogeneidade da temperatura nos silos aerados e controle. A temperatura no interior da massa de grãos variou conforme as condições climáticas. Ressalta-se, entretanto, que a estratégia de aeração contínua aplicada em grãos úmidos foi a que permitiu maior homogeneidade da temperatura entre as alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m.
- A aeração contínua foi eficiente na prevenção do aquecimento de grãos úmidos.
- O teor de umidade dos grãos de milho secos e úmidos sofreu variação durante o período de aeração. Durante todas as estratégias de aeração houve secagem e reumedecimento dos grãos. As variações da umidade dos grãos correlacionaram-se com as oscilações climáticas.
- Nos grãos armazenados úmidos verificou-se secagem da altura inferior, próxima à entrada de ar.
- As estratégias de aeração não interferiram no teor de umidade médio dos grãos armazenados secos e úmidos do ensaio de agosto a setembro. No ensaio de outubro a novembro a estratégia de aeração contínua promoveu secagem dos grãos.
- Nas estratégias de aeração contínua e noturna o fungo *Aspergillus* não apresentou crescimento na altura inferior em milho seco do ensaio de agosto a setembro. Em grãos armazenados úmidos nenhuma estratégia de aeração impediu desenvolvimento desse fungo.

- Em relação ao *Penicillium*, tanto em milho seco como úmido do ensaio de agosto a setembro nenhuma estratégia evitou desenvolvimento na massa de grãos.
- Todas as estratégias de aeração permitiram desenvolvimento de *Fusarium* nas alturas superficiais e menores contagens nas alturas inferiores da massa de grãos do ensaio de agosto a setembro.
- Visualmente verificou-se alteração de cor e odor dos grãos armazenados úmidos, devido ao desenvolvimento de fungos no ensaio de agosto a setembro.
- No ensaio de outubro a novembro as estratégias de aeração não interferiram no desenvolvimento dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*. O comportamento observado foi que o *Fusarium* apresentou contagens mais elevadas, o *Penicillium* manifestou desenvolvimento e o *Aspergillus* ocorreu com menor frequência.
- No ensaio agosto a setembro com milho seco não se observou diferença entre as estratégias de aeração, quanto à condutividade elétrica dos grãos. Em milho aerado úmido a estratégia de aeração em condições de equilíbrio apresentou elevação da condutividade elétrica em todas as alturas do silo.
- As estratégias de aeração empregadas não interferiram na condutividade elétrica dos grãos de milho armazenados, pois não houve diferença significativa de condutividade elétrica entre grãos submetidos à aeração e grãos armazenados sem aeração.

A operação de aeração promoveu resfriamento dos grãos, entretanto esses níveis ainda são considerados elevados e propícios à incidência de insetos. No caso de grãos úmidos, este estudo confirmou as recomendações de literatura, as quais ressaltam a importância da realização de aeração contínua em grãos úmidos que aguardam a operação de secagem. Dessa forma, a aeração deve fazer parte do manejo integrado de pragas, mas não deve ser a única ferramenta.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKDOGAN, H.; CASADA, M.E. Climatic humidity effects on controlled summer aeration in the hard red winter wheat belt. **Transactions of the ASABE**, Michigan, v. 49, n. 4, p.1077-1087, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE Standards. **ASAE D272.3**: Resistance to Airflow of Grains, Seeds, Other Agricultural Products, and Perforated Metal Sheets. Michigan, 2007.

AOSA - Association of Official Seed Analysts. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing, 1983. 88p. (Contribution, 32).

BENEDETTI, B.C. **Investigation into the processes of heat and moisture transfer in stored maize**. 266p. Thesis (PhD. In Agricultural Engineering) – Cranfield Institute of Technology, Silsoe, 1992.

BHATNAGAR, D.; LILLEHOJ, E.B.; ARORA, D.K. **Mycotoxins in Ecological Systems**. 5ed. New York: Marcel Dekker, 1992. 443 p. (Handbook of Applied Mycology).

BILIA, D.A.C.; FANCELLI, A.L.; FILHO, M.; MACHADO, J.A. Comportamento de sementes de milho híbrido durante o armazenamento sob condições variáveis de temperatura e umidade relativa do ar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 153-157, jan./abr., 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**, Brasília, 1992.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Portaria nº 845 de 8 de novembro de 1976**. Disponível em: <www.pr.gov.br/claspar/pdf/milho845_76.pdf>. Acessado em: 16/03/2010.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Dryinf and storage of grains and oilseeds**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

BRUM, A.L.; LUFT, A. Aspectos da cadeia produtiva do milho e as relações comerciais nos estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso (1994/95-2005/06). **Revista Extensão Rural**, Santa Maria, n. 16, p. 117-143, 2008.

BUTTS, C.L.; DORNER, J.W.; BROWN, S.L.; ARTHUR, F.H. Aeration farmer stock peanut storage in the southeastern U.S. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Arkansas, v.49(2):457-465, 2006.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística**: Princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CASADA, M.E.; ARTHUR, F.H.; AKDOGAN, H. Temperature monitoring and aeration strategies for stored wheat in the central plains. In: ASAE Annual International Meeting/CIGR

World Congress, XVth, Illinois, **Proceedings...** Illinois: ASAE, nº 026116, July 28-July 31, 2002.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA DO MILHO - CIMILHO. **Produção de milho por estado: Safra total (1.000t) 2002-2009**. Sete Lagoas, 2009. Disponível em: <<http://cimilho.cnpms.embrapa.br/estatisticas/estatisticas.php?tabela=012>>. Acesso em: 09/12/2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Indicadores Agroecúarios**. Brasília, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, décimo segundo levantamento, setembro/2009. Brasília: Conab, 2009. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12_levantamento_set2009.pdf>. Acessado em: 06/12/2009 a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Estudo de prospecção de mercado: Safra 2008/2009**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/prospeccao_2008_09.pdf>. Acessado em: 29/01/2009 b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Evolução da capacidade estática dos armazéns cadastrados**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/armazenagem/serie_historica.xls>. Acessado em: 29/01/2009 c.

COSTA, P. de S. C.; CARVALHO, M. L. M. de Teste de condutividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 92-96, jan./fev., 2006.

DEVILLA, I.A.; COUTO, S.M.; QUEIROZ, D.M. Distribuição do fluxo de ar em silos com sistema de aeração: análise por elementos finitos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.256-262, 2005.

DEVILLA, I.A.; COUTO, S.M.; ZOLNIER, S.; SILVA, J.S. Variação de temperatura e umidade de grãos armazenados em silo com aeração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.284-291, fev., 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Milho e Sorgo. **Sistemas de produção: Cultivo do milho**. 4. ed., set/2008. ISSN 1679-012X. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>>. Acesso em: 09/12/2009a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Milho e Sorgo. **Sistemas de produção: Cultivo do milho**. 4. ed., set/2008. ISSN 1679-012X. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/mercado.htm>>. Acesso em: 09/12/2009b.

FERREIRA, W.A. **Controle de temperatura em sistemas aerados e não aerados de armazenagem de grãos**. 138p. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1979.

GUIMARÃES, V.D.A.; BARROS, G.S.C. Análise do armazenamento de milho no Brasil em um mercado de economia aberta. **Revista Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 44, n. 4, p.751-771, out./dez. 2006.

HALDERSON, J.L. Results of a grain storage study in Idaho. **Transactions of the ASABE**. 28(1):246-250. 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores IBGE: Estatística da produção agrícola**. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>>. Acesso em: 07/12/2009.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C.; FARONI, L.R.D. Efeito das condições e período de armazenamento sobre viabilidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n.1,p. 1-7, jan-abr., 2000.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P.C.B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root. **Journal of Econometrics**, v. 54, p. 159-178, 1992.

LASSERAN, Jean-Claude. **Aeração de grãos**. Tradução de José Carlos Celaro, Miryan Sponchiado Celaro e Miriam Costa Val Gomide. Viçosa, Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, Ilust. (Série CENTREINAR, n.2). 1981.

LIN, S.S. Efeito do período de armazenamento na lixiviação eletrolítica dos solutos celulares e qualidade fisiológica da semente de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 10, n. 3, p 59-67, 1988.

MACHADO, J.C. **Patologia de sementes**: fundamentos e aplicações. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988.

MÁRCIA, B.A.; LAZZARI, F.A. Monitoramento de fungos em milho em grão, grits e fubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, oct./dec. 1998.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 4th edition, New York: John Wiley & Sons, 2001.

NOYES, R.T.; WEINZIERL, R.; CUPERUS, G.W.; MAIER, D.E. Stored grain management techniques. In **Stored Product Management**, 71-84. Circular E-912. Stillwater, Okla.: Oklahoma State University Press. 1995.

OLIVEIRA, F.A.; KHATCHATOURIAN, O.A.; BIHAIN, A. Estado térmico de produtos armazenados em silos com sistema de aeração: estudo teórico e experimental. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.247-258, jan./abr. 2007.

PINTO, N.F.J.A. **Sistemas de produção: Cultivo do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 4. ed., set/2008. ISSN 1679-012X. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/doencasgraos.htm>>. Acesso em: 10/12/2009.

PITT, J.I.; HOCKING, A.D. **Fungi and food spoilage**. 2ed. Maryland: Aspen, 1999.

PIXTON, S.W.; WARBURTON, S. Moisture content/relative humidity equilibrium of some cereal grains at different temperature. **Journal Stored Product Research**. 6:283-293. 1971.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. 2ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000.

QIU, N.; DIXON, J.E.; HALDERSON, J.L. **A computer model for grain storage aeration controls**. Presented at the 29th annual meeting of the Idaho Academy of Science, University of Idaho, Moscow, ID. April 2-4. 1987.

RANALLI, R.P.; HOWELL Jr., A.; ARTHUR, F.H.; GARDISSER, D.R. Controlled ambient aeration during rice storage for temperature and insect control. **Applied Engineering in Agriculture**, Michigan, v.18, n. 4, p.485-490, 2002.

REED, C.; HARNER III, J.; Cooling of stored wheat in multiple or single cycles using automatic aeration controllers. **Applied Engineering in Agriculture**, Michigan, v. 14, n. 5, p.497-500, 1998.

RIBEIRO, S.A.L.; CAVALCANTI, M.A.Q.; FERNANDES, M.J.S.; LIMA, D.M.M. Fungos filamentosos isolados de produtos derivados do milho comercializados em Recife, Pernambuco. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 2, p.223-229, jun. 2003.

ROSA, S.D.V.F.; VON PINHO, É.V.R.; VIEIRA, M. das G.G.C.; VEIGA, R.D. Eficácia do teste de condutividade elétrica para uso em estudos de danos de secagem em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p.54-63, 2000.

SAUER, D.B. **Storage of grains and their products**. 4ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992.

SILVA, J.S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.A.; SILVEIRA, N.F.A.; TANIWAKI, M.H.; SANTOS, R.F.S.; GOMES, R.A.R.; OKAZAKI, M.M. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos**. 3ed. São Paulo: Logomarca Varela, 2007.

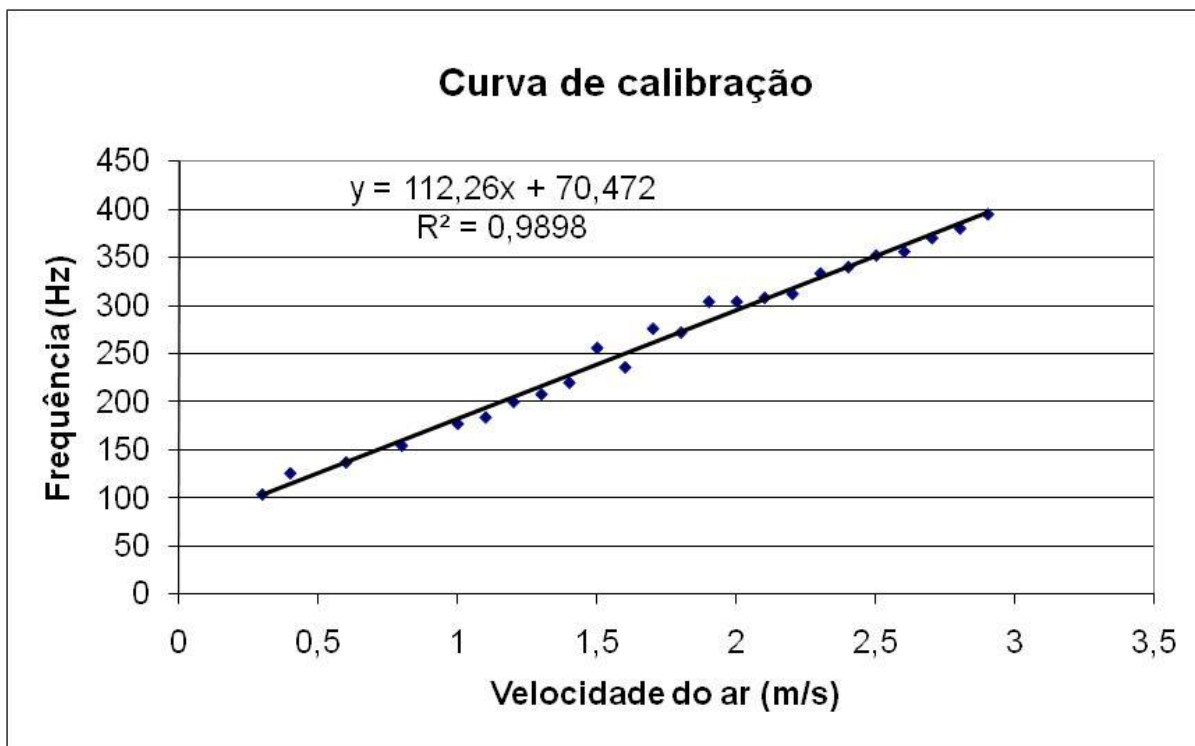
SOAVE, J.; WETZEL, M.M.V.S. **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

TANAKA, M.A.S.; MAEDA, J.A.; PLAZAS, I.H.A.Z. Microflora fúngica de sementes de milho em ambientes de armazenamento. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n.3, p.501-508, jul./set. 2001.

WEBER, E.A. **Armazenagem agrícola**. Guaíba: Agropecuária, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Curva de calibração do sensor óptico



APÊNDICE 2. Resultado do Teste de Mann-Whitney de redução de temperatura para o ensaio 1 com milho seco.

Silo 1				Silo 2		
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Grupo 1 e 2	$1,23 \times 10^6$	$1,23 \times 10^6$	$1,15 \times 10^6$	$1,20 \times 10^6$	$1,23 \times 10^6$	$1,14 \times 10^6$
P-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Grupo 1 e 3	$8,98 \times 10^5$	$9,01 \times 10^5$	$7,31 \times 10^5$	$8,74 \times 10^5$	$9,01 \times 10^5$	$7,55 \times 10^5$
P-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Silo 3			
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Grupo 1 e 2	$1,22 \times 10^6$	$1,23 \times 10^6$	$1,15 \times 10^6$
P-valor	0,00	0,00	0,00
Grupo 1 e 3	$9,00 \times 10^5$	$9,01 \times 10^5$	$8,00 \times 10^5$
P-valor	0,00	0,00	0,00

APÊNDICE 3. Resultado do Teste de Mann-Whitney de redução da temperatura para o ensaio 1 com milho umidificado.

Silo 4				Silo 5		
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Grupo 1 e 2	$1,18 \times 10^6$	$1,16 \times 10^6$	$1,13 \times 10^6$	$1,33 \times 10^6$	$1,33 \times 10^6$	$1,24 \times 10^6$
P-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Grupo 1 e 3	$8,30 \times 10^5$	$7,19 \times 10^5$	$5,97 \times 10^5$	$9,76 \times 10^5$	$9,61 \times 10^5$	$6,73 \times 10^5$
P-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Silo 6			
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Grupo 1 e 2	$1,33 \times 10^6$	$1,33 \times 10^6$	$1,27 \times 10^6$
P-valor	0,00	0,00	0,00
Grupo 1 e 3	$8,02 \times 10^5$	$8,55 \times 10^5$	$7,63 \times 10^5$
P-valor	0,00	0,00	0,00

APÊNDICE 4. Resultado do Teste de Mann-Whitney de redução de temperatura para o ensaio 2 com milho seco.

Silo 1				Silo 2		
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Grupo 1 e 2	1386074,0	1401296,0	1365268,0	1399865,5	1401296,0	1401280,0
P-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silo 3				Silo 0		
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Grupo 1 e 2	1395956,0	1401296,0	1401296,0	1397738,0	1401208,5	1401296,0
P-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Grupo 1 e 3	1469063,0	1470352,0	1470352,0	1470197,0	1470352,0	1470352,0
P-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

APÊNDICE 5. Resultados do Teste de Mann-Whitney de redução de temperatura entre alturas - ensaio 1 com milho seco.

Silo 1				Silo 2		
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	115510,0	158400,5	164198,5	89504,5	144277,5	167628,5
P-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Silo 3			
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	104869,0	155392,5	165693,5
P-valor	0,000	0,000	0,000

APÊNDICE 6. Resultados do Teste de Mann-Whitney para comparação da temperatura entre alturas – ensaio 1 com milho umidificado.

Silo 4				Silo 5		
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	195252,5	209556,5	174440,0	168369,0	209630,5	207035,5
P-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Silo 6			
Altura	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	155046,0	206507,5	206280,5
P-valor	0,5330	0,000	0,000

APÊNDICE 7. Resultados do Teste de Mann-Whitney de redução de temperatura entre alturas - ensaio 2 com milho seco.

Silo 1				Silo 2		
Alturas	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	44796392,5	45022512,0	47636140,0	43859423,0	44713248,0	48633931,5
P-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Silo 3				Silo 0		
Alturas	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	45106803,0	45723231,0	48276132,5	45786089,5	47142997,5	49323615,0
P-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

APÊNDICE 8. Resultado do teste de KPSS para o ensaio 1 com milho seco.

Tabela 1 - Resultados de teste de infiltração para o Chuva 1 (com infiltração)									
	Silo 1			Silo 2			Silo 3		
Alturas	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	5,47	7,58	6,34	4,22	6,80	5,92	4,77	6,25	5,70
P-valor	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

APÊNDICE 9. Resultados do teste de KPSS para o ensaio 1 com milho umidificado.

	Silo 4			Silo 5			Silo 6		
Alturas	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	18,06	19,53	16,74	17,31	18,71	16,59	21,34	20,81	17,84
P-valor	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

APÊNDICE 10. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 1 (aeração contínua) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos (Ensaio 1 - milho seco)

	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
Dias	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	21,6525	2,3782	10,98	22,5425	1,5516	6,88	21,5125	2,1118	9,82
4	21,2925	1,5733	7,39	21,8575	0,9632	4,41	21,7450	1,3053	6,00
5	21,3625	1,3541	6,34	21,9350	0,8573	3,91	21,9650	1,3808	6,29
6	22,7225	1,6110	7,09	22,8000	0,9043	3,97	23,4325	1,1950	5,10
7	19,6925	1,3973	7,10	20,9200	0,9841	4,70	20,9563	1,3781	6,58
8	17,9950	0,7538	4,19	18,9133	0,6493	3,43	18,8075	0,7130	3,79
9	18,3225	0,6725	3,67	18,6233	0,2906	1,56	19,1500	0,2455	1,28
10	16,1775	1,9692	12,17	17,5167	1,0660	6,09	17,5900	1,5973	9,08
11	16,4275	1,6573	10,09	17,2667	0,8676	5,02	18,0175	1,2573	6,98
12	16,0750	0,5548	3,45	16,6233	0,2021	1,22	17,3225	0,1647	0,95
13	17,2775	1,0273	5,95	17,3700	0,3679	2,12	18,6375	0,4296	2,31
14	17,8300	1,8931	10,62	18,3700	0,6843	3,73	19,6600	1,0410	5,29
15	19,9950	2,1244	10,62	20,2867	0,7703	3,80	21,6675	1,4624	6,75
16	20,6050	2,0333	9,87	21,2900	0,8295	3,90	21,9975	1,5598	7,09
17	21,1025	1,9697	9,33	22,0167	0,9663	4,39	22,0750	1,9035	8,62
18	21,4500	1,6208	7,56	22,4767	0,9218	4,10	21,9975	1,6367	7,44
19	21,3700	1,5514	7,26	22,6233	0,9424	4,17	21,6050	1,6330	7,56
20	21,9413	1,2250	5,58	22,7800	0,7104	3,12	21,9875	1,1419	5,19
21	22,7925	0,7826	3,43	23,8283	0,4274	1,79	23,4563	0,7345	3,13
22	23,2267	0,9536	4,11	24,6633	0,5215	2,11	24,1375	0,9096	3,77
23	22,7867	1,2289	5,39	24,2800	0,7777	3,20	24,3067	1,3311	5,48
24	21,2467	1,4507	6,83	22,5900	0,6241	2,76	22,3100	0,6914	3,10

APÊNDICE 11. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 2 (aeração noturna) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 1 com milho seco.

	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
Dias	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	24,6525	1,6609	6,74	26,2775	1,1293	4,30	25,2475	0,9244	3,66
4	24,5963	1,4225	5,78	25,5513	0,7753	3,03	25,0725	0,7649	3,05
5	24,5125	1,9489	7,95	25,3875	0,8199	3,23	25,3400	0,8222	3,24
6	24,9650	1,9827	7,94	25,5900	0,8335	3,26	25,7750	1,1226	4,36
7	25,4575	2,2422	8,81	25,7625	0,8274	3,21	25,7463	1,0538	4,09
8	26,3550	2,3134	8,78	26,4038	0,8279	3,14	26,4863	1,0832	4,09
9	26,7475	2,4129	9,02	26,9650	0,8411	3,12	27,0575	0,9538	3,52
10	27,5575	2,5074	9,10	27,6850	0,8409	3,04	27,8725	0,9777	3,51
11	28,3400	2,4930	8,80	28,2775	0,9441	3,34	28,1825	1,4319	5,08
12	28,4500	1,8710	6,58	28,0600	0,7600	2,71	27,6525	0,9157	3,31
13	25,7538	2,0123	7,81	26,9650	0,9725	3,61	26,9625	1,0509	3,90
14	25,9788	1,6378	6,30	26,5263	0,6953	2,62	26,3863	0,8034	3,04
15	23,6288	2,2327	9,45	25,3950	1,1041	4,35	25,4813	1,3568	5,32
16	23,5788	1,0142	4,30	24,1450	0,5543	2,30	24,2700	0,4791	1,97
17	24,6825	1,6541	6,70	24,3700	0,4593	1,88	25,1675	0,5864	2,33
18	26,3325	2,0060	7,62	26,1200	0,5146	1,97	27,1675	0,8674	3,19
19	25,4113	2,0107	7,91	26,4338	0,6566	2,48	26,9813	0,9674	3,59
20	26,7600	2,1142	7,90	27,0100	0,7048	2,61	27,3250	1,0429	3,82
21	27,3575	2,0422	7,46	27,4825	0,6685	2,43	27,7000	0,9643	3,48
22	27,0888	1,5160	5,60	27,7775	0,5555	2,00	28,0825	0,6554	2,33
23	26,1288	2,1656	8,29	27,1375	0,8784	3,24	27,3400	1,0211	3,73
24	25,9675	2,0936	8,06	26,7800	0,8183	3,06	26,8100	1,0817	4,03

APÊNDICE 12. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 1 com milho seco.

Dias	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	22,3725	2,4240	10,83	23,9500	1,5975	6,67	22,5575	2,5092	11,12
4	21,8225	1,6425	7,53	22,9475	1,0218	4,45	22,5625	1,6486	7,31
5	21,6925	1,4055	6,48	22,6675	0,8665	3,82	22,5663	1,5208	6,74
6	23,1200	1,6373	7,08	23,3238	0,8546	3,66	23,4400	1,6527	7,05
7	19,9113	1,4292	7,18	21,2700	1,0449	4,91	20,3313	1,5539	7,64
8	18,2125	0,7739	4,25	19,1200	0,6677	3,49	18,1825	0,7764	4,27
9	18,6738	0,5511	2,95	18,7475	0,2724	1,45	18,3550	0,4063	2,21
10	16,1288	1,9116	11,85	17,3563	1,0973	6,32	16,9988	1,6866	9,92
11	16,4575	1,6399	9,96	17,1600	0,8253	4,81	17,2000	1,4575	8,47
12	16,2950	0,4513	2,77	16,4950	0,1923	1,17	16,3100	0,2607	1,60
13	17,6050	0,8798	5,00	17,1825	0,3516	2,05	17,4175	0,5814	3,34
14	18,0125	1,6852	9,36	18,0600	0,6582	3,64	18,5175	1,1540	6,23
15	19,9950	2,0055	10,03	19,7150	0,7772	3,94	20,6675	1,5061	7,29
16	20,5100	1,9640	9,58	20,6375	0,8053	3,90	21,3250	1,6073	7,54
17	20,8075	2,0587	9,89	21,4325	0,9583	4,47	21,7625	1,8422	8,46
18	21,1200	1,6787	7,95	22,0725	0,9248	4,19	22,1525	1,6978	7,66
19	21,0575	1,6050	7,62	22,3700	0,9604	4,29	22,0425	1,6891	7,66
20	21,7775	1,2340	5,67	22,7700	0,7416	3,26	22,5975	1,2951	5,73
21	22,7300	0,7657	3,37	23,9025	0,4353	1,82	23,9338	0,7867	3,29
22	23,4413	0,9711	4,14	24,8225	0,5482	2,21	24,7150	0,9790	3,96
23	22,9963	1,3934	6,06	24,4950	1,0306	4,21	23,9738	1,6496	6,88
24	21,3800	1,3265	6,20	22,4038	0,6610	2,95	21,6525	0,8071	3,73

APÊNDICE 13. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 4 (aeração contínua) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 1 com milho umidificado.

Dias	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	18,5250	0,7153	3,86	17,7625	0,5544	3,12	17,6075	0,6313	3,59
4	18,2025	0,3019	1,66	18,0450	0,3082	1,71	18,4350	0,4184	2,27
5	17,1200	0,9664	5,64	16,5425	1,2752	7,71	15,6850	1,9568	12,48
6	16,4950	0,9512	5,77	16,1138	0,7806	4,84	16,0125	1,4381	8,98
7	16,1225	0,2359	1,46	15,9950	0,3123	1,95	16,2450	0,4011	2,47
8	16,9950	0,4896	2,88	17,3100	0,5329	3,08	17,8163	0,7306	4,10
9	18,1225	0,7976	4,40	18,2625	0,8760	4,80	18,0900	1,4978	8,28
10	19,9163	0,8817	4,43	19,7775	0,9278	4,69	19,7300	1,7715	8,98
11	20,7775	0,8968	4,32	20,1775	0,9939	4,93	19,7775	1,7079	8,64
12	21,4275	1,0731	5,01	20,3488	1,2018	5,91	19,5800	2,0620	10,53
13	21,7375	1,0583	4,87	20,3400	0,9842	4,84	19,7375	1,5263	7,73
14	21,7450	1,0748	4,94	19,9825	1,0637	5,32	19,2625	1,5294	7,94
15	21,8938	0,8480	3,87	20,4338	0,7122	3,49	20,1825	1,0392	5,15
16	22,8638	0,4775	2,09	21,5750	0,4668	2,16	21,3550	0,6850	3,21
17	23,7450	0,6030	2,54	22,3650	0,6238	2,79	22,1938	0,9042	4,07
18	23,2925	1,0256	4,40	22,5050	0,8604	3,82	22,9588	1,2269	5,34
19	21,7475	0,6656	3,06	21,1500	0,6502	3,07	21,6075	1,0295	4,76
20	22,1350	0,6484	2,93	22,2475	0,5422	2,44	22,7650	0,9878	4,34
21	20,7625	0,7926	3,82	20,4100	0,8232	4,03	20,6588	1,3258	6,42
22	23,3400	0,6377	2,73	23,1675	0,5160	2,23	23,8725	1,0481	4,39
23	21,6350	0,7701	3,56	21,2300	0,8294	3,91	21,0875	1,0608	5,03
24	20,9675	1,0089	4,81	20,6850	0,8532	4,12	21,2300	1,2939	6,09

APÊNDICE 14. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 5 (aeração noturna) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 1 com milho umidificado.

Dias	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
	Mediana	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
3	20,0750	0,8277	4,12	19,3400	0,9395	4,86	17,4975	0,7968	4,55
4	19,3163	0,4558	2,36	18,9000	0,3894	2,06	18,2625	0,4911	2,69
5	17,6200	1,2585	7,14	17,7000	1,0882	6,15	15,8250	2,2834	14,43
6	17,1600	1,1023	6,42	17,0900	0,9109	5,33	15,9200	1,5981	10,04
7	16,7775	0,3498	2,09	16,6200	0,2580	1,55	16,1375	0,3494	2,16
8	17,8250	0,7051	3,96	17,4325	0,4585	2,63	17,4825	0,7533	4,31
9	18,6838	1,2030	6,44	18,4950	0,7385	3,99	18,0875	1,6034	8,86
10	20,6600	1,3362	6,47	20,2775	0,8114	4,00	19,7525	2,0027	10,14
11	21,5738	1,2383	5,74	21,2863	0,8479	3,98	19,8938	2,1366	10,74
12	22,5425	1,3630	6,05	22,2125	1,0488	4,72	19,7150	2,5937	13,16
13	23,3575	1,2181	5,22	22,8075	1,0945	4,80	19,8575	2,0973	10,56
14	23,8250	1,2014	5,04	23,1050	1,1652	5,04	19,3875	2,0755	10,71
15	24,5275	0,9421	3,84	23,4950	0,9470	4,03	20,2450	1,3957	6,89
16	25,8400	0,6778	2,62	24,5725	0,6263	2,55	20,9625	0,8236	3,93
17	24,5425	0,3893	1,59	23,7288	0,2464	1,04	20,4650	0,7547	3,69
18	26,6375	1,2648	4,75	25,1850	1,3109	5,21	22,8025	1,5819	6,94
19	24,3725	0,7022	2,88	23,4100	0,9627	4,11	21,2538	0,9426	4,43
20	24,5600	1,1109	4,52	23,4200	0,7930	3,39	22,6350	1,0461	4,62
21	22,2075	1,0370	4,67	21,8875	0,8478	3,87	20,3075	1,2652	6,23
22	25,9563	0,6991	2,69	24,9775	0,4828	1,93	24,7538	0,8967	3,62
23	23,4025	1,0589	4,52	23,3863	1,1473	4,91	21,5513	1,3282	6,16
24	22,3238	1,3364	5,99	22,1300	0,6225	2,81	20,6850	1,4814	7,16

APÊNDICE 15. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 6 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 1 com milho umidificado.

Dias	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	22,2925	1,1134	4,99	22,3100	1,0369	4,65	18,8400	0,8058	4,28
4	21,0600	0,4621	2,19	21,0575	0,4197	1,99	18,9888	0,5336	2,81
5	19,1350	1,2526	6,55	19,5425	1,1487	5,88	17,7150	1,8856	10,64
6	18,6675	0,9729	5,21	19,0300	0,9096	4,78	17,3550	1,5333	8,83
7	18,2313	0,2874	1,58	18,2800	0,2229	1,22	16,7300	0,2901	1,73
8	19,1975	0,6067	3,16	18,9500	0,4526	2,39	17,9100	0,7496	4,19
9	20,2150	1,0120	5,01	20,0625	0,7889	3,93	19,0900	1,4618	7,66
10	22,5825	1,0808	4,79	22,2400	0,8063	3,63	21,4575	1,6584	7,73
11	24,0275	0,9030	3,76	23,8100	0,7668	3,22	22,2850	1,8475	8,29
12	25,4325	1,1253	4,42	25,4175	0,8468	3,33	23,0125	1,9074	8,29
13	26,8700	0,9624	3,58	26,9500	0,8548	3,17	23,5575	1,8506	7,86
14	28,2150	0,8686	3,08	28,1825	0,9326	3,31	23,5275	1,9647	8,35
15	29,7925	0,6162	2,07	29,4025	0,7193	2,45	24,1975	1,4632	6,05
16	31,9088	0,5418	1,70	31,2150	0,6175	1,98	25,1038	1,1844	4,72
17	34,3100	0,3955	1,15	33,3875	0,5475	1,64	26,4350	1,1548	4,37
18	34,3488	1,3532	3,94	32,4275	1,3906	4,29	24,6200	1,9290	7,84
19	31,1350	0,8828	2,84	29,5275	0,8525	2,89	22,8550	0,9638	4,22
20	30,9800	0,9569	3,09	29,6525	0,8054	2,72	24,3100	1,1305	4,65
21	28,1425	0,9408	3,34	27,1850	0,7657	2,82	21,6450	1,1937	5,52
22	31,0425	0,4964	1,60	29,9800	0,4011	1,34	26,6200	1,0230	3,84
23	28,9325	1,2384	4,28	28,4350	1,1851	4,17	23,4025	1,5068	6,44
24	27,4025	0,7914	2,89	26,6225	0,6145	2,31	22,1075	1,3973	6,32

APÊNDICE 16. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 1 (aeração contínua) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 2 com milho seco.

Dias	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	24,67	1,67	6,77	26,29	1,13	4,31	25,25	0,93	3,67
4	24,57	1,42	5,77	25,55	0,78	3,04	25,07	0,77	3,06
5	24,49	1,95	7,95	25,39	0,82	3,24	25,34	0,82	3,25
6	24,97	1,98	7,94	25,59	0,83	3,26	25,78	1,12	4,35
7	25,46	2,23	8,77	25,76	0,83	3,21	25,75	1,06	4,10
8	26,34	2,31	8,78	26,39	0,83	3,15	26,49	1,09	4,10
9	26,77	2,40	8,98	26,94	0,84	3,12	27,06	0,96	3,54
10	27,56	2,50	9,08	27,67	0,84	3,04	27,87	0,98	3,52
11	28,34	2,50	8,81	28,28	0,94	3,34	28,18	1,43	5,07
12	28,45	1,87	6,57	28,06	0,76	2,71	27,65	0,92	3,32
13	25,75	2,03	7,89	27,00	0,97	3,60	27,00	1,05	3,88
14	25,98	1,63	6,29	26,53	0,70	2,62	26,39	0,80	3,05
15	23,63	2,25	9,54	25,44	1,10	4,34	25,51	1,35	5,30
16	23,58	1,01	4,27	24,17	0,55	2,29	24,27	0,48	1,97
17	24,68	1,63	6,60	24,36	0,46	1,87	25,15	0,59	2,35
18	26,33	2,00	7,58	26,11	0,52	1,99	27,14	0,88	3,23
19	25,41	2,02	7,93	26,43	0,66	2,48	27,02	0,97	3,58
20	26,76	2,11	7,89	27,00	0,70	2,61	27,33	1,04	3,82
21	27,36	2,04	7,46	27,47	0,67	2,43	27,70	0,97	3,49
22	27,09	1,53	5,64	27,78	0,55	1,99	28,08	0,65	2,33
23	26,13	2,16	8,27	27,19	0,88	3,23	27,36	1,02	3,73
24	26,04	2,10	8,05	26,77	0,81	3,03	26,78	1,07	4,01

APÊNDICE 17. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 2 (aeração noturna) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 2 com milho seco.

Dias	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	25,14	1,35	5,39	26,62	1,34	5,05	25,22	1,22	4,85
4	24,33	1,26	5,20	25,39	0,85	3,33	24,84	0,74	2,97
5	24,13	1,58	6,56	24,96	0,85	3,42	24,77	0,87	3,52
6	24,31	1,68	6,92	24,95	0,82	3,28	24,95	0,84	3,36
7	24,73	1,85	7,47	25,18	0,77	3,05	25,18	0,80	3,17
8	25,64	1,89	7,38	25,83	0,78	3,03	26,01	0,79	3,03
9	26,22	1,87	7,12	26,34	0,79	3,01	26,56	0,88	3,31
10	27,00	1,93	7,16	27,01	0,80	2,95	27,03	0,87	3,22
11	27,51	2,04	7,40	27,62	0,87	3,15	27,58	1,01	3,65
12	27,62	1,43	5,17	27,69	0,65	2,35	27,57	0,71	2,59
13	25,37	1,66	6,53	26,85	0,98	3,66	26,73	1,12	4,21
14	25,47	1,35	5,30	26,30	0,65	2,45	26,17	0,66	2,52
15	23,22	2,00	8,62	25,29	1,08	4,27	25,21	1,18	4,67
16	23,21	0,91	3,92	24,14	0,53	2,18	24,02	0,49	2,04
17	24,20	1,48	6,11	24,22	0,49	2,03	24,29	0,41	1,68
18	25,74	1,73	6,72	25,56	0,56	2,18	25,91	0,47	1,81
19	24,94	1,81	7,25	25,78	0,70	2,71	26,00	0,70	2,69
20	26,11	1,84	7,05	26,39	0,71	2,69	26,56	0,71	2,67
21	26,63	1,74	6,55	26,87	0,67	2,51	26,97	0,65	2,42
22	26,54	1,36	5,12	27,22	0,55	2,00	27,41	0,49	1,77
23	25,58	1,78	6,97	26,59	0,83	3,11	26,77	0,95	3,53
24	25,42	1,90	7,46	26,26	0,82	3,12	26,32	0,84	3,19

APÊNDICE 18. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 3 (aeração em condições de umidade de equilíbrio) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 2 com milho seco.

Dias	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	25,55	1,50	5,87	27,25	1,38	5,08	26,27	1,27	4,82
4	24,84	1,37	5,51	25,97	0,94	3,62	25,73	0,79	3,08
5	24,64	1,66	6,75	25,43	0,98	3,86	25,51	0,93	3,64
6	24,82	1,72	6,94	25,36	0,95	3,74	25,64	0,92	3,57
7	25,24	1,82	7,21	25,61	0,89	3,49	25,72	0,86	3,33
8	26,17	1,91	7,29	26,26	0,92	3,52	26,37	0,86	3,27
9	26,71	1,89	7,06	26,76	0,94	3,51	26,86	0,88	3,28
10	27,43	1,95	7,11	27,45	0,93	3,40	27,51	0,87	3,17
11	27,90	2,06	7,39	28,03	1,01	3,59	28,17	0,98	3,47
12	27,97	1,41	5,04	28,09	0,74	2,64	28,06	0,71	2,54
13	25,93	1,73	6,66	26,91	1,09	4,07	26,99	1,17	4,33
14	25,98	1,29	4,98	26,50	0,70	2,66	26,29	0,63	2,41
15	23,93	1,98	8,27	25,22	1,19	4,72	25,17	1,25	4,97
16	23,75	0,89	3,74	24,18	0,56	2,31	23,95	0,55	2,29
17	24,68	1,41	5,70	24,36	0,53	2,18	24,20	0,44	1,82
18	26,30	1,66	6,33	25,80	0,65	2,53	25,90	0,52	2,01
19	25,58	1,79	6,98	25,95	0,78	3,00	26,07	0,72	2,78
20	26,62	1,80	6,78	26,72	0,81	3,03	26,70	0,74	2,78
21	27,11	1,73	6,40	27,19	0,75	2,77	27,08	0,68	2,52
22	27,15	1,30	4,78	27,45	0,61	2,24	27,49	0,56	2,02
23	26,17	1,72	6,57	26,73	0,94	3,53	26,70	0,98	3,67
24	25,92	1,75	6,77	26,48	0,89	3,35	26,45	0,80	3,03

APÊNDICE 19. Mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos dados diários de temperatura do silo 4 (controle) nas alturas 0,54, 0,33 e 0,11 m da massa de grãos. Ensaio 2 com milho seco.

	0,54 m			0,33 m			0,11 m		
Dias	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV	Mediana	DP	CV
3	25,35	1,63	6,42	27,25	1,36	4,98	26,01	1,24	4,75
4	24,79	1,56	6,29	25,95	0,89	3,41	25,40	0,80	3,14
5	24,61	1,95	7,90	25,39	0,91	3,58	25,20	0,93	3,70
6	24,84	2,02	8,12	25,33	0,87	3,43	25,25	0,92	3,66
7	25,30	2,09	8,27	25,49	0,81	3,18	25,47	0,86	3,36
8	26,28	2,17	8,27	26,15	0,83	3,16	26,17	0,88	3,35
9	26,80	2,13	7,93	26,64	0,84	3,14	26,65	0,90	3,37
10	27,59	2,20	7,98	27,33	0,83	3,05	27,34	0,90	3,30
11	28,09	2,26	8,03	27,97	0,91	3,25	27,93	1,01	3,63
12	28,06	1,62	5,77	28,00	0,67	2,38	27,95	0,72	2,56
13	25,91	1,83	7,07	26,97	1,03	3,83	26,77	1,20	4,49
14	25,94	1,42	5,47	26,46	0,64	2,44	26,32	0,68	2,58
15	23,86	2,11	8,84	25,29	1,13	4,48	25,02	1,27	5,07
16	23,73	0,97	4,09	24,17	0,53	2,19	23,87	0,57	2,40
17	24,79	1,60	6,45	24,26	0,48	1,97	24,09	0,50	2,07
18	26,30	1,90	7,21	25,65	0,56	2,19	25,65	0,59	2,29
19	25,55	1,97	7,70	25,85	0,71	2,75	25,82	0,76	2,95
20	26,65	2,01	7,53	26,56	0,73	2,74	26,56	0,77	2,90
21	27,15	1,86	6,86	27,01	0,68	2,50	26,98	0,72	2,67
22	27,07	1,43	5,30	27,36	0,56	2,04	27,36	0,60	2,18
23	26,08	1,92	7,35	26,63	0,87	3,28	26,49	1,01	3,81
24	25,81	2,06	7,96	26,23	0,85	3,26	26,23	0,88	3,35

APÊNDICE 20. Resultado do teste de KPSS para o ensaio 2 com milho seco.

	Silo 1			Silo 2		
Alturas	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	0,685	2,004	6,491	0,782	2,927	2,636
P-valor	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

	Silo 3			Silo 0		
Alturas	0,54 m	0,33 m	0,11 m	0,54 m	0,33 m	0,11 m
Estatística	0,880	5,020	3,723	0,776	4,913	2,836
P-valor	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

APÊNDICE 21. Resultados do Teste de Mann-Whitney comparativo entre silos aerados e o silo controle.

Silos	1 - 0	2 - 0	3 - 0
Estatística	441949708,0	410848405,5	434617299,0
P-valor	0,000	0,000	0,000

APÊNDICE 22. Resultados do Teste de Mann-Whitney comparativo entre ensaios 1 e 2.

Silos	1	2	3
Estatística	185368369,5	188536342,0	190002544,0
P-valor	0,000	0,000	0,000

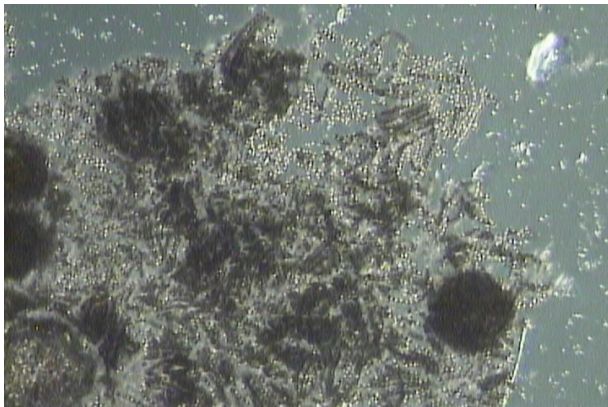
APÊNDICE 23. Resultados do Teste de Mann-Whitney – entre silos.

Silos	1 - 2	1 - 3	1 - 4	1 - 5	1 - 6
Estatística	1185896,0	1069177,0	1428461,0	1263077,0	1076121,0
P-valor	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000

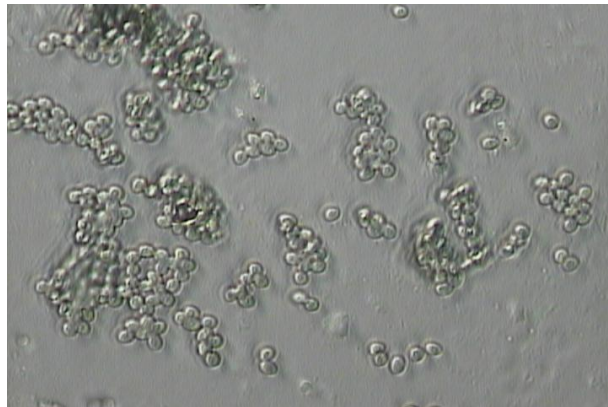
Silos	2 - 3	2 - 4	2 - 5	2 - 6	3 - 4
Estatística	1027816,0	1390474,5	1218185,5	1024033,5	1479498,0
P-valor	0,000	0,000	0,171	0,000	0,000

Silos	3 - 5	3 - 6	4 - 5	4 - 6	5 - 6
Estatística	1326670,5	1127638,0	1210312,5	1027616,5	1182374,0
P-valor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

APÊNDICE 24. Fotografias dos fungos *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, presentes em grãos de milho, obtidas com microscópio ocular.



Aspergillus



Penicillium



Fusarium



Fusarium