

**WEDERSON MARCOS ALVES**

**PERDA DE MATÉRIA SECA NO ARMAZENAMENTO DE MILHO EM  
DIFERENTES TEMPERATURAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

A474p  
2004  
Alves, Wederson Marcos, 1974-  
Perda de matéria seca no armazenamento de milho em  
diferentes temperaturas / Wederson Marcos Alves. –  
Viçosa : UFV, 2004.  
xi, 72f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Lêda Rita D'Antonino Faroni.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 64-68.

1. Produtos agrícolas - Armazenamento - Efeito da  
temperatura. 2. Produtos agrícolas - Armazenamento -  
Doenças e danos. 3. Milho - Armazenamento - Efeito da  
temperatura. 4. Milho - Fisiologia pós-colheita.  
5. *Sitophilus zeamais*. I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

CDD 22.ed. 631.568

**WEDERSON MARCOS ALVES**

**PERDA DE MATÉRIA SECA NO ARMAZENAMENTO DE MILHO EM  
DIFERENTES TEMPERATURAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA EM: 09 de fevereiro de 2004

---

Prof. Pedro Amorim Berbert

---

Prof. Raul Narciso C. Guedes

---

Prof<sup>ª</sup>. Maria do Carmo H. da Silva  
(Conselheiro)

---

Prof. Paulo Cesar Corrêa  
(Conselheiro)

---

Prof<sup>ª</sup>. Lêda Rita D’Antonino Faroni  
(Orientadora)

A Deus.

Ao meu pai Argentino da Silva Alves (*in memoriam*).

À minha mãe Osmária dos Anjos Alves.

Aos meus irmãos e sobrinhos.

À minha esposa Silvana.

## **AGRADECIMENTO**

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

À Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, pelo suporte financeiro.

À professora Lêda Rita D'Antonino Faroni, pelo incentivo e apoio irrestrito, pela dedicação e pelo empenho no desenvolvimento deste trabalho, e principalmente, pela amizade.

Aos professores Paulo Cesar Corrêa, Maria do Carmo Hespanhol da Silva e Maria Eliana Lopes Ribeiro Queiroz, pelos conselhos. E aos professores Pedro Amorim Berbert e Raul Narciso Guedes, pela participação na banca examinadora.

À EMPRAPA/CNPMS - Sete Lagoas, MG pelo fornecimento dos grãos de milho.

Ao amigo Silas, funcionário do Setor de Armazenamento, que muito me auxiliou nos trabalhos de laboratório, e aos demais funcionários Catitu, Zé Baixinho, Inhame, José Eustáquio, Fernanda, Edna, entre outros.

Aos amigos e colegas de curso, Adriano, José Roberto, Carlos Romero, Cláudia, Flávio, Ernandes, André, Marco Aurélio, Fátima, entre outros, pelo convívio alegre e saudável.

À minha esposa Silvana e toda sua família.

A todos os amigos, pela força, pelo carinho e incentivo.

Aos meus pais, presença sem igual em minha vida, agradeço por tudo. Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados, pelo carinho, apoio, respeito e pela alegria que sempre me propuseram.

A todos que, direta ou indiretamente, somaram esforços e levaram à concretização deste trabalho, eu agradeço de coração e lhes dedico minha amizade.

## **BIOGRAFIA**

WEDERSON MARCOS ALVES, filho de Argentino da Silva Alves e Osmária dos Anjos Alves, nasceu em Coronel Fabriciano, Estado de Minas Gerais, no dia 03 de dezembro de 1974.

Realizou os estudos de segundo grau no Colégio Tiradentes da Polícia Militar de Minas Gerais, em Ipatinga - MG.

Em 1993, ingressou na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se Engenheiro-Agrônomo, em dezembro de 1997.

Iniciou, em fevereiro de 1998, seus estudos, no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, na Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Vegetais, na Universidade Federal de Viçosa, tendo defendido sua tese em 14 de fevereiro de 2000. Em março de 2000, deu início ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Doutorado nesta mesma Instituição.

## CONTEÚDO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Respiração dos grãos.....	5
2.2. Taxa respiratória dos grãos.....	7
2.3. Determinação de dióxido de carbono em sistemas em fluxo.....	10
2.4. Influência do teor de umidade dos grãos e da temperatura do ar na taxa respiratória e na perda de matéria seca.....	12
2.5. <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky).....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Colheita mecânica.....	17
3.2. Classificação do produto.....	18
3.3. Testes preliminares.....	18
3.3.1. Obtenção da curva analítica.....	18
3.3.2. Determinação do tempo de hermeticidade.....	19
3.4. Armazenamento dos grãos de milho.....	20
3.4.1. Determinação da concentração de CO <sub>2</sub> pelo sistema em fluxo bissegmentado.....	21



3.4.2. Determinação da taxa respiratória dos grãos.....	24
3.4.3. Cálculo da perda de matéria seca.....	26
3.4.4. Cálculo do valor acumulado da produção de CO <sub>2</sub> e da perda de matéria seca.....	27
3.4.5. Teste de condutividade elétrica dos grãos.....	28
3.5. Delineamento experimental.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Classificação dos grãos de milho.....	30
4.2. Umidade dos grãos e taxa de crescimento populacional do inseto-praga <i>Sitophilus zeamais</i> .....	31
4.3. Aplicação do sistema em fluxo bissegmentado na determinação do CO <sub>2</sub> produzido pela respiração de grãos de milho.....	36
4.3.1. Curva analítica do CO <sub>2</sub> para o sistema em fluxo bissegmentado.....	37
4.3.2. Determinação do tempo de hermeticidade.....	39
4.3.3. Taxa respiratória dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga <i>Sitophilus zeamais</i> .....	41
4.3.4. Taxa respiratória dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga <i>Sitophilus zeamais</i> .....	46
4.4. Perda de matéria seca dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga <i>Sitophilus zeamais</i> .....	51
4.5. Perda de matéria seca dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga <i>Sitophilus zeamais</i> .....	53
4.6. Condutividade elétrica da solução que contem os grãos de milho.....	55
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICE.....	69

## RESUMO

ALVES, Wederson Marcos, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004.  
**Perda de matéria seca no armazenamento de milho em diferentes temperaturas.** Orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Conselheiros: Maria do Carmo Hespanhol da Silva e Paulo Cesar Corrêa.

Em decorrência das perdas qualitativas e quantitativas que ocorrem durante o período de armazenamento de grãos, objetivou-se com este trabalho avaliar a deterioração dos grãos de milho em função da perda de matéria seca, sob diferentes condições de armazenamento e quantificar a perda de matéria seca dos grãos de milho armazenados e infestados ou não com *Sitophilus zeamais*, em diferentes condições de temperatura do ar ambiente, através da determinação da taxa respiratória pela produção de CO<sub>2</sub>. Para esta avaliação, grãos da variedade BRS 3060, colhidos com teor de umidade em torno de 14,5% b.u. foram infestados ou não com o inseto-praga na proporção de 10 insetos por quilo de produto. Logo em seguida as amostras correspondentes a cada tratamento foram colocadas em câmara do tipo BOD nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 e 40 °C. Para a determinação da produção de CO<sub>2</sub> e conseqüente perda de matéria seca, nos intervalos de zero, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 dias os grãos de cada tratamento foram distribuídos em frascos de vidro, com volume de 800 mL, e mantidos

hermeticamente fechados por 24 h. Após este intervalo, 5 mL de ar intergranular foi removido do interior dos frascos e injetado em um analisador de fluxo bissegmentado com detecção condutimétrica. Através da leitura obtida, da porosidade da massa de grãos, da curva padrão do sistema e da equação dos gases perfeitos foram determinadas a taxa respiratória e a perda de matéria seca dos grãos de milho. Para avaliação da qualidade do milho armazenado utilizou-se o teste de condutividade elétrica da solução que contém os grãos. A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos nas condições específicas deste trabalho permitiram concluir que: o sistema em uso (analisador em fluxo bissegmentado) forneceu dados que permitiram o acompanhamento da taxa respiratória dos grãos e mostrou ser sensível para tal; a umidade dos grãos e a temperatura de armazenamento influenciam diretamente na taxa respiratória; o tempo máximo que os grãos precisam ficar hermeticamente fechados, para se determinar a produção de CO<sub>2</sub> e conseqüente perda de matéria seca durante o armazenamento, é de 24 h; a taxa respiratória dos grãos na ausência do inseto-praga se manteve discreta ao longo do armazenamento, enquanto que na presença deles aumentou cerca de 10 e 15 vezes em apenas 30 dias para as temperaturas de 25 e 30 °C, respectivamente; as maiores taxas respiratórias foram observadas para os grãos armazenados nas condições em que o inseto-praga melhor se desenvolve, ou seja, para as temperaturas de 20, 25 e 30 °C; as maiores perdas de matéria seca devido a respiração dos grãos foram obtidas também nas condições em que o inseto-praga se desenvolve; pode existir uma relação entre a perda de qualidade e a taxa respiratória dos grãos, pelo fato que nas temperaturas em que os insetos melhor se desenvolveram (25 e 30 °C) é que se obteve as maiores médias de condutividade elétrica e as maiores produções de CO<sub>2</sub>; a condutividade elétrica da solução que contém os grãos aumenta com o período de armazenamento, com a elevação da temperatura ambiente e com a presença de inseto-praga, demonstrando maior perda de qualidade do produto.

## ABSTRACT

ALVES, Wederson Marcos, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February of 2004. **Loss of dry matter in the corn storage in different temperatures.** Advisor: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Committee members: Maria do Carmo Hespanhol da Silva and Paulo Cesar Corrêa.

Due to the qualitative and quantitative losses that happen during the period of storage of grains, it was aimed at with this work to evaluate the deterioration of the corn grains in function of the loss of dry matter, under different storage conditions and to quantify the loss of dry matter of the corn grains stored and infested or not with *Sitophilus zeamais*, in different conditions of temperature of the environment air, through the determination of the breathing rate by the production of CO<sub>2</sub>. For this evaluation, grains of the variety BRS 3060, picked with humidity content around 14,5% were infested or not with the insect-plague in the proportion of 10 insects per kilo of product. Soon after, the samples corresponding to each treatment were placed in a camera type BOD, in the temperatures of 20, 25, 30, 35 and 40 °C. For the determination of the production of CO<sub>2</sub> and consequent loss of

dry matter, in the zero intervals, 30, 45, 60, 90, 120 and 150 days the grains of each treatment were distributed in glass flasks, with volume of 800 mL, and maintained tightly closed for 24 h. After this interval, 5 mL of intergranular air was removed from the interior of the flasks and injected in a bissegmented flow analyzer with conductimetric detection. Through the obtained reading of the grains mass porosity, of the system curve pattern and of the equation of the perfect gases, were determined the breathing rate and the loss of dry matter of the corn grains. For evaluation of the quality of the stored corn it was used the test of electric conductivity of the solution that contains the grains. The analysis of the data and the interpretation of the results obtained in the specific conditions of this work allowed to conclude that: the system in use (analyzer in bissegmented flow) supplied data that allowed the accompaniment of the breathing rate of the grains and it showed to be sensitive for such; the humidity of the grains and the storage temperature influence directly in the breathing rate; the maximum time that the grains need to be tightly closed, to be determined the production of CO<sub>2</sub> and consequent loss of dry matter during the storage, is of 24 h; the breathing rate of the grains in the absence of the insect-plague stayed discreet along the storage, while in their presence it increased about 10 and 15 times in only 30 days for the temperatures of 25 and 30 °C, respectively; the largest breathing rates were observed for the grains stored in the conditions in which the better insect-plague grows, in other words, for the temperatures of 20, 25 and 30 °C; the largest matter losses due to breathing of the grains were also obtained in the conditions in which the insect-plague grows; a relationship can exist between the quality loss and the breathing rate of the grains, for the fact that in the temperatures in which the insects better grew (25 and 30 °C) was obtained the largest averages of electric conductivity and the largest productions of CO<sub>2</sub>; the electric conductivity of the solution that contains the grains increases with the storage period, with the elevation of the environment temperature and with the insect-plague presence, demonstrating larger loss of quality of the product.

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo levantamentos realizados pelo Ministério da Agricultura e do Abastecimento, a produção nacional de grãos (cereais, leguminosas e oleaginosas) na safra 2002/2003 foi de 122,4 milhões de toneladas, ou seja, 26,5% maior que a anterior. Deste total, a produção de milho representou aproximadamente 47,4 milhões de toneladas. Comparando-se esta safra com a anterior, verifica-se que houve um aumento da produção de milho, de aproximadamente 34% (BRASIL, 2003).

Grande parte da produção de grãos é armazenada durante um determinado período. A importância da armazenagem reside no fato de o armazenamento adequado dos produtos agrícolas evitar perdas e preservar suas qualidades, além de suprir a demanda durante a entressafra e permitir aguardar melhores preços (SAUER, 1992). O objetivo real do armazenamento é manter as características que os grãos possuem imediatamente após o pré-processamento, tais como a viabilidade das sementes, a qualidade de moagem e as propriedades nutritivas (BROOKER et al., 1992). Entretanto, independentemente da espécie ou das características do local, perdas poderão ocorrer durante a permanência do produto no armazém.

O armazenamento de grãos pode ser definido como um ecossistema em que, mudanças qualitativas e quantitativas podem ocorrer, ocasionadas por

interações entre os fatores físicos, químicos e biológicos. Os fatores mais importantes que afetam os grãos durante o armazenamento são: temperatura, umidade, atmosfera intergranular (quantidade de dióxido de carbono e oxigênio), características do grão, microorganismos, insetos, ácaros, clima e a estrutura do grão (SINHA, 1973). Dentre esses, os insetos assumem particular importância, principalmente em condições tropicais, pelo fato de a massa de grãos constituir um habitat ideal para o seu desenvolvimento. Os insetos promovem perda de massa, desvalorização e contaminação da massa de grãos, aquecimento no local da infestação, aumento da atividade respiratória dos grãos e, conseqüentemente, maior perda de matéria seca. A perda de peso causada pela respiração dos grãos, durante o período de armazenamento, é pequena, quando comparada à causada por organismos vivos, mas, considerada de grande importância, principalmente, para as unidades armazenadoras (CHAMP, 1985; BROOKER et al., 1992; PEDERSEN, 1992; MONTROSS et al., 1999).

No Brasil, tornou-se prática comum, a aplicação de índices pelas unidades armazenadoras, para dedução da massa de grãos durante o período de armazenamento. Descontos de até 0,3% em peso, ao mês, independente do tipo, das características físicas, do grau de infestação do produto e das condições climáticas locais, eram feitos a título de perda de matéria seca, também denominada de "quebra-técnica". Entretanto, no início da década de 80, freqüentemente se constatava a existência de significativas sobras de produtos armazenados (principalmente milho a granel) nas unidades armazenadoras, onde também se aplicavam retenções, a título de quebra técnica, de até 0,3% ao mês, além dos descontos provocados pela redução natural do teor de umidade durante a armazenagem, que podem ou não ocorrer. Isto evidenciou que, em situações normais de armazenagem a granel, dificilmente a perda de matéria seca atingiria os percentuais de descontos pré-estabelecidos.

A Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, como órgão normativo, propôs uma nova sistemática, adotando a partir de 01/07/1992, uma sobretaxa prevista no parágrafo único do artigo 37 do Decreto n.º 1.102, de 21/11/1903: "...podem os armazéns gerais se obrigarem, por convenção com os

depositantes e mediante a especificação prévia de uma taxa, indenizar os prejuízos acontecidos à mercadoria por avarias, vícios intrínsecos, falta de acondicionamento e mesmo casos de força maior". Essa indenização diz respeito às perdas ocorridas durante o período de armazenagem, não incluindo o processamento. Desde então, ficou estabelecido que todo o armazém, para receber estoques oficiais vinculados à Política de Garantia de Preços Mínimos - PGPM, deve previamente assinar o chamado "Contrato de Depósito e de Prestação de Serviços Correlatos - Quebra Zero". Por este contrato, não se admitem alegações de quebra técnica e/ou perda de umidade para isentar o armazenador pela responsabilidade por eventual perda de peso da mercadoria.

Assim, a diferença básica entre a quebra técnica e de umidade aplicada anteriormente e a sobretaxa adotada atualmente, é que antes, se efetuavam descontos de até 0,3% no peso do produto armazenado por mês, acrescidos dos descontos causados pela redução natural do teor de umidade durante o armazenamento. Atualmente, o depositante paga antecipadamente à depositária, quinzenalmente, uma sobretaxa, para ter a garantia da integridade quantitativa do produto entregue para armazenagem. Para arroz, milho, feijão, sorgo, soja e trigo, a sobretaxa equivale a 0,15% do preço de mercado do produto.

Em função do exposto, torna-se necessário a quantificação das perdas da matéria seca, em função do tipo, das características físicas e qualitativas do grão, além das condições de estocagem, o que contribuirá para que o país possa vir a adotar taxas de descontos reais justas, proporcionando benefícios econômicos aos usuários, melhoria do serviço de armazenamento e redução dos custos finais do produto para o consumidor.

Esse trabalho teve como objetivos:

- Avaliar a deterioração dos grãos de milho devido a perda de matéria seca, sob diferentes condições de armazenamento.
- Quantificar a perda de matéria seca dos grãos de milho armazenados e infestados ou não com *Sitophilus zeamais*, em diferentes condições de



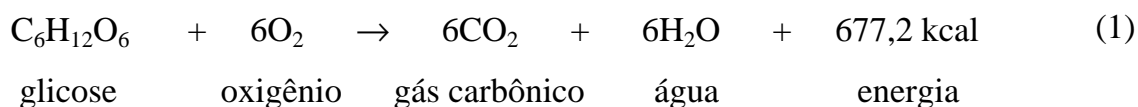
temperatura do ar ambiente, através da determinação da taxa respiratória pela produção de CO<sub>2</sub>.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Respiração dos grãos

Respiração é a oxidação de substâncias orgânicas num sistema celular com a liberação gradativa de energia, através de uma série de reações, tendo oxigênio molecular como acceptor final de elétrons. A energia produzida pela oxidação das substâncias orgânicas não é liberada, mas sim transferida das ligações de baixa energia para aquelas de alto valor energético das moléculas armazenadoras de energia (KAYS, 1991).

Neste processo, os elétrons das substâncias orgânicas passam por uma série de moléculas transportadoras de elétrons até serem aceitos por moléculas de oxigênio molecular, formando água. A reação sumarizada é a seguinte:



Observa-se que a oxidação de uma molécula de glicose resulta em água, gás carbônico e calor. Segundo KAYS (1991), essa transferência de calor, embora expressa em forma de energia, não é liberada desta forma, uma vez que seria prejudicial à célula, pois esta vive sob uma temperatura mais ou menos

constante. O processo respiratório promove uma oxidação gradativa sob controle de numerosas enzimas, de tal modo que mais de 50% da energia é armazenada na forma de ligações fosfato, sendo o ATP (trifosfato de adenosina), o principal composto formado no processo. A maior parte da energia resultante da respiração é utilizada na conversão de reservas alimentícias em protoplasma e paredes celulares. Pequena porção dessa energia é utilizada em atividades celulares, tais como movimentos citoplasmáticos, movimentos dos cromossomas, reações de síntese de lipídios, proteínas e outras moléculas, movimentação de substâncias alimentares através dos tecidos e órgãos, etc. Durante a respiração, ocorre também, a formação de substâncias intermediárias necessárias aos processos anabólicos da germinação. Nas primeiras horas da germinação, a respiração tende a ser anaeróbia devido à limitada penetração de oxigênio no interior da semente.

Street e Cockburn (1972), citados por CARVALHO e NAKAGAWA (1983), relataram que em algumas sementes, como no milho, a sacarose mostra-se uniformemente distribuída no embrião seco e açúcares redutores, como a glucose, não são encontrados em quantidade, até o embrião iniciar o crescimento. A sacarose, desta forma, pode ser o substrato inicial respiratório, relacionado com o aumento na taxa respiratória. Entretanto, para que haja este incremento respiratório, é necessário não só o substrato, mas principalmente a reativação de macromoléculas (enzimas, tRNA, mRNA, etc.) e organelas (mitocôndrias, ribossomos, núcleos, membranas, etc.) presentes na fase de embebição.

A respiração é um processo que continua mesmo após os grãos terem sido colhidos. Esse fenômeno é necessário para que o grão se mantenha vivo. Em grãos armazenados, o processo respiratório deve ser mantido a um nível tão baixo quanto possível, para que haja uma melhor conservação. Em grãos úmidos, a respiração que ocorre é devida, principalmente, à presença de fungos (BROOKER et al., 1992).

## 2.2. Taxa respiratória dos grãos

A taxa respiratória de grãos foi medida pela primeira vez por BAILEY e GURJAR (1918), através da quantificação da produção de dióxido de carbono. Os autores colocaram amostras de trigo em recipiente hermético e usaram solução de hidróxido de bário para absorver o CO<sub>2</sub>. A taxa respiratória foi expressa em termos de mg de CO<sub>2</sub> produzidos por 100 g de matéria seca, durante 24 h.

A produção de dióxido de carbono pode ser convertida em perda de matéria seca dos grãos e, neste propósito, a respiração é considerada aeróbia, com a completa oxidação dos carboidratos em dióxido de carbono e água. Esta é uma simplificação do processo de respiração total, mas permite a computação aproximada da perda de matéria seca. A equação 1, que representa a combustão completa de um carboidrato, foi usada pela primeira vez por SAUL e LIND (1958) e por outros autores, ao longo dos anos (SAUL e STEELE, 1966; STEELE et al., 1969; SEITZ et al., 1982a,b; FERNANDEZ et al., 1985; FRIDAY et al., 1989). Por esta equação, a produção de 14,7 g de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de matéria seca dos grãos é equivalente a 1% da perda de matéria seca nos grãos. Como reflexo da equação, a energia resultante da respiração, acompanhada da perda de 1% de matéria seca, pode ser estimada em 157,2 kJ kg<sup>-1</sup> de matéria seca dos grãos. No entanto, diversos fatores podem influenciar a taxa respiratória dos grãos durante o armazenamento, como o histórico da cultura, a umidade de colheita, os danos mecânicos provocados pela colheita, a umidade inicial dos grãos para o armazenamento, a temperatura dos grãos e as condições climáticas (THOMPSON, 1972).

SAUL e STEELE (1966) estudaram os efeitos do teor de umidade do produto, da temperatura e dos danos mecânicos sobre a deterioração de grãos de milho, determinada pela produção de CO<sub>2</sub>. Para controlar a temperatura, as amostras de milho foram colocadas em frascos de vidro e estes foram submersos em banho-maria. Em seguida, o ar do interior do frasco foi forçado a passar por colunas que continham sílica gel e perclorato de magnésio, para que fosse seco. O CO<sub>2</sub> produzido pelos grãos devido ao processo respiratório foi absorvido por

uma coluna de Ascarite, que foi pesada periodicamente. Para o cálculo da perda de matéria seca dos grãos de milho, foi usado o modelo de combustão de carboidratos. Concluíram que os grãos poderiam ficar armazenados até a perda máxima de 0,5% da matéria seca em relação à massa inicial ou até a produção de 7,35 g de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de matéria seca, antes que sua classificação comercial fosse reduzida do padrão de qualidade 2 para o 3, conforme a classificação Norte Americana.

Em um outro trabalho, STEELE et al. (1969) estimaram o tempo máximo permitido antes que os grãos de milho, que se apresentavam com temperatura igual a 15,5 °C, 25% (b.u.) de teor de umidade e 30% de danos mecânicos, perdessem 0,5% de matéria seca. O tempo máximo de armazenamento permitido para produzir uma certa quantidade de CO<sub>2</sub>, antes que 0,5% da matéria seca tivesse sido consumida, foi predito pela equação 2:

$$T = T_R \times M_T \times M_M \times M_D \quad (2)$$

em que:

$T$  = tempo de armazenamento estimado para produzir certa quantidade de CO<sub>2</sub>, antes que 0,5% da matéria seca tenha sido consumida, h;

$T_R$  = tempo de referência que resulta em perda de 0,5% de matéria seca a 15,5 °C, 25% (b.u.) de teor de umidade e 30% de danos mecânicos, 230 h;

$M_T$  = fator de correção para temperatura;

$M_M$  = fator de correção para teor de umidade e

$M_D$  = fator de correção para danos mecânicos.

Os gráficos desses fatores estão apresentados no trabalho de STEELE et al. (1969) e mostram que o tempo de armazenamento diminui com o aumento da temperatura, da umidade e dos danos mecânicos dos grãos.

Fundamentado na equação de STEELE et al. (1969), que estima o tempo máximo de armazenamento para produção de certa quantidade de CO<sub>2</sub>, antes que

0,5% da matéria seca tenha sido consumida, e na análise de dados desse mesmo autor, THOMPSON (1972) desenvolveu a equação 3, que permite o cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> produzido por quilo de matéria seca de grãos de milho:

$$Y = 1,3 \times [\exp(0,006 \times t) - 1] + 0,015 \times t \quad (3)$$

em que:

$Y$  = quantidade de CO<sub>2</sub> produzido, g de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de matéria seca e

$t$  = tempo de armazenamento, h.

Sabendo que a produção de 14,7 g de CO<sub>2</sub> por kg de matéria seca de grãos é equivalente à perda de 1% de matéria seca, a equação 4 pode ser usada para estimar a porcentagem de matéria seca consumida durante o armazenamento (THOMPSON, 1972):

$$MS = \frac{Y}{14,7} \quad (4)$$

em que:

$MS$  = porcentagem de matéria seca consumida, decimal.

A partir dos trabalhos de SAUL e STEELE (1966), STEELE et al. (1969) e THOMPSON (1972), muitos pesquisadores passaram a usar 0,5%, como o máximo permissível de perda de matéria seca em modelos de simulações para secagem e armazenamento de milho. No entanto, à medida que novos estudos foram sendo desenvolvidos, ocorreu discordância entre autores sobre a adoção de 0,5%, embora tenham utilizado a mesma metodologia, ou seja, avaliação da perda de matéria seca dos grãos pela medida da produção de CO<sub>2</sub>. FRIDAY et al. (1989) observaram que o milho se enquadrava no grau de classificação 4 e 5, após perda de 0,5% de matéria seca. Relataram que diversos pesquisadores têm considerado que não há diferenças entre variedades híbridas quanto ao tempo

admissível de armazenagem, mas que as diferentes variedades híbridas têm efeito significativo na produção de CO<sub>2</sub> e que este efeito pode ser quantificado. WILCKE et al. (1993) e NG et al. (1995) divulgaram resultados similares e enalteceram a necessidade de imputar consistência e objetividade nas análises de danos por fungos para avaliação da qualidade. Também SEITZ et al. (1982a,b), avaliando o desenvolvimento de fungos e a perda de matéria seca durante a armazenagem de milho, observaram que a contaminação por fungos e o teor de aflatoxinas podem ser inaceitáveis antes que o grão perca 0,5% de matéria seca.

Ainda com relação à adoção de 0,5% como sendo o máximo permissível de perda de matéria seca, pesquisas mais recentes foram desenvolvidas no sentido de encontrar um valor aceitável. Uma dessas pesquisas foi desenvolvida por NG et al. (1998), que estudaram o efeito de danos mecânicos na armazenabilidade de milho, determinado pela produção de CO<sub>2</sub> e perda de matéria seca causadas por fungos. Esses autores verificaram que o máximo permissível de perda de matéria seca para grãos de milho colhidos mecanicamente (25 a 35% de danos mecânicos) deve ser de aproximadamente, 0,35%, portanto menor que o valor usualmente aceitável, que é de 0,5%. Em outro trabalho, GUPTA et al. (1998) estudaram as relações entre a perda de matéria seca e a qualidade de grãos de milho, em diferentes níveis de teores de umidade e de danos mecânicos, para determinar o máximo permissível de perda de matéria seca que ainda possibilitasse um padrão de qualidade aceitável. Esses mesmos autores afirmam que, quando o milho tem uma perda de matéria seca de 0,5%, sua qualidade é inaceitável sob determinadas condições.

### **2.3. Determinação de dióxido de carbono em sistemas em fluxo**

A análise em fluxo se constitui em alternativa apropriada para manipulação e processamento de amostras gasosas sendo, no entanto, encontrados na literatura, um número relativamente pequeno de trabalhos relacionados a este assunto. Por outro lado, o advento de sistemas automatizados, utilizando microcomputadores e novos dispositivos, tais como válvulas solenóides miniaturizadas que facilitam a manipulação das amostras gasosas, o

fácil acesso a padrões gasosos e o aumento da demanda por determinações de analitos gasosos, tem contribuído para o recente progresso associado ao uso de sistemas em fluxo. Sendo assim, os sistemas em fluxo se tornaram uma opção rápida, versátil, capaz de ser aplicado a um amplo intervalo de concentração, de fácil operação e com consumo de amostra relativamente pequeno, constituindo-se em uma técnica de baixo custo para determinação de analitos gasosos (SILVA e PASQUINI, 1999).

Um sistema de análise em fluxo foi desenvolvido para determinar teores baixos e elevados de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> em amostras gasosas (como por exemplo, no ar atmosférico ou em embalagens de alimentos). Uma característica intrínseca desse sistema é que um padrão bem definido, formado por uma bolha de gás (amostra gasosa), por um segmento líquido (água deionizada) ou outro reagente apropriado e, novamente, por outra bolha de gás inerte, é automaticamente produzido devido a um simples arranjo feito no injetor de amostra do aparelho. Outra característica muito importante é que a integridade das bolhas de gás formadas, limitando o segmento líquido, é mantida através de todo o tubo, desde o ponto de introdução até o ponto de detecção (SILVA e PASQUINI, 1997; SILVA et al., 1998).

Os resultados de alguns experimentos têm mostrado que estes sistemas em fluxo requerem baixas quantidades de amostras e reagentes, consomem menos tempo de análise e são menos propensos a erros humanos.

SILVA et al. (1998) descrevem em seu trabalho, o desenvolvimento de um analisador em fluxo que permite o monitoramento de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> no ar atmosférico, bem como em embalagens de alimentos. Para testar o equipamento, trabalharam com amostras de 10 embalagens de três produtos de alimentos distintos (massa fresca, queijo parmesão e leite em pó). Concluíram existir uma ótima correlação entre os resultados obtidos pelo sistema em fluxo bissegmentado desenvolvido e os produzidos pela cromatografia gasosa, que é a técnica mais comumente usada. Afirmaram ainda que o sistema apresentou vantagem de utilizar um pequeno volume de amostra (100 µL), enquanto que equipamentos dedicados à análise de



CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, existentes no mercado, além de serem importados, utilizam cerca de 5 mL de amostra gasosa.

Ainda com relação à utilização de sistemas em fluxo, CALEGARIO et al. (2001) avaliaram a taxa respiratória de frutos de tomate, cultivar Santa Clara, utilizando um sistema em fluxo com detector condutimétrico. Para a realização deste experimento, os frutos foram colocados em um frasco, dotados de um sistema que permitia o monitoramento da atmosfera interna, ou seja, o CO<sub>2</sub> produzido pela respiração dos frutos difundia-se através de uma membrana de Teflon, dissociava-se na água deionizada e a condutividade era monitorada. O aumento da condutância foi proporcional à concentração de CO<sub>2</sub> na amostra gasosa. As determinações foram feitas em curtos intervalos de tempo para evitar a inibição da taxa respiratória, devido ao elevado teor de CO<sub>2</sub> dentro dos frascos. Os autores verificaram que a taxa respiratória variou de acordo com o estágio de maturação dos frutos de tomate (40 a 120 mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). Relataram ainda que os resultados tiveram baixos níveis de variância entre as medições, foram consistentes entre as repetições e comparável a dados já publicados.

#### **2.4. Influência do teor de umidade dos grãos e da temperatura do ar na taxa respiratória e na perda de matéria seca**

Teor de umidade, temperatura, aeração (presença de oxigênio), permeabilidade das membranas, luz, fungos, insetos, condições ambientais durante o crescimento e maturação, grau de maturidade na colheita, métodos de colheita e manejo até serem estocados, diferenças de variedade e tipo, sanidade, integridade dos grãos e período de estocagem são fatores que afetam a respiração dos grãos durante o armazenamento (KAYS, 1991).

Embora outros fatores possam exercer influência sobre a conservação dos grãos, o teor de umidade é o elemento que comanda a qualidade do produto armazenado. Sob índices de alto teor de umidade, isto é, superiores a 13-14% b.u., a respiração é aumentada rapidamente na maioria dos cereais e, em consequência, ocorre a deterioração. Para se obter um armazenamento seguro, deve-se ter em vista que o principal fator reside no baixo teor de umidade. Grãos

com alto teor de umidade constituem um meio ideal para o desenvolvimento de microorganismos, insetos e ácaros (BROOKER et al., 1992).

GUPTA et al. (1998) estudaram as relações entre a perda de matéria seca e a qualidade dos grãos de milho em diferentes teores de umidade e danos mecânicos. Os autores verificaram que o produto com 18% de umidade pode apresentar perda de matéria seca superior a 1%, para grãos isentos de danos mecânicos, e ainda ser considerado de qualidade aceitável. Elevando-se o teor de umidade para 22%, com o mesmo nível de dano mecânico, a perda de matéria seca não pode ser maior que 0,25%, mantendo assim, um produto final dentro do padrão de qualidade exigido pelo mercado. Determinaram ainda um tempo máximo de armazenamento, antes que 0,5% da matéria seca fosse consumida, de 864 h para grãos de milho com umidade de 18% e danos mecânicos de 30%. Para estas mesmas condições, STEELE et al. (1969) encontraram um período máximo de armazenamento de 1650 h, enquanto WILCKE et al. (1998) determinaram que seriam necessárias 780 h. Observaram ainda que, com o aumento da umidade dos grãos de 18 para 22%, o período máximo de armazenamento caiu para 225 h, quando armazenados a 20 °C.

Em estudos realizados com sementes de colza, WHITE et al. (1982) verificaram que ocorria um incremento nos valores da taxa respiratória com o aumento da umidade das sementes. Obtiveram os valores de 110, 205, 312, 435 e 574 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de semente, correspondentes aos teores de umidade de 10, 12, 14, 16 e 18% b.u., respectivamente, após sete dias de armazenamento a 20 °C.

A temperatura é outro fator que influencia no processo respiratório dos grãos. Dentro de certos limites, há um aumento da intensidade da respiração, proporcional ao aumento da temperatura. Entretanto, os efeitos da temperatura na respiração ficam na dependência do teor de umidade dos grãos.

Com a elevação da temperatura, ocorre aumento da taxa metabólica dos grãos. Este fato se baseia no princípio de que a maioria das reações químicas é acelerada com o aumento da temperatura.

A respiração é acelerada pelo aumento da temperatura até um limite em torno de 40 a 50 °C. Acima desses valores, passa a ser limitada por alguns

fatores, tais como, inativação térmica das enzimas, exaustão do substrato, limitação no suprimento de oxigênio ou acúmulo de concentrações inibitórias de dióxido de carbono. O efeito da temperatura na taxa respiratória depende, acima de tudo, do teor de umidade das sementes. O Quadro 1 mostra a variação da taxa respiratória com o aumento de temperatura da soja, com umidade de 18,5%. Pode-se observar que a respiração aumentou rapidamente quando a temperatura foi aumentando de 30 para 40 °C. Acima desse patamar, houve um acentuado declínio, de menos de 14 mg à temperatura de 45 °C (MILNER e GUEDES, 1954).

Quadro 1 - Variação da taxa respiratória de soja com a temperatura

Temperatura (°C)	Respiração (mg de CO <sub>2</sub> 100 g ms <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )
25	33,6
30	39,7
35	71,8
40	154,7
45	13,1

WILCKE et al. (1998), estudando o efeito da temperatura na deterioração dos grãos de milho, verificaram que com o aumento da temperatura ocorre uma diminuição do tempo máximo de armazenamento dos grãos, antes que 0,5% da matéria seca seja consumida. Para as temperaturas de 15, 20 e 25 °C, para grãos com 18% de umidade, encontraram os valores de 1396, 780 e 451 h, respectivamente.

A produção de CO<sub>2</sub>, causada pela respiração e presença ou não de fungos, foi estudada por SEITZ et al. (1982a). Os autores trabalharam com milho com alto teor de água (25% b.u.) e verificaram que a taxa respiratória aos nove dias de armazenamento atingiu seu maior valor, que foi de 45 e 75 mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca h<sup>-1</sup>, para grãos não inoculados e inoculados com fungos, respectivamente.

Em outro trabalho, AL-YAHYA et al. (1993) estudaram o efeito do tratamento de fungicida em milho com alta umidade (22% b.u.) armazenado a 26 °C. Encontraram um período de tempo de 260 dias para milho não tratado e de 330 dias para milho tratado, até atingir 0,5% de perda de matéria seca.

## **2.5. *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)**

Este inseto-praga (Figura 1) é encontrado em todas regiões quentes e tropicais do mundo, sendo primária em milho, trigo, arroz e sorgo, mostrando preferência preponderante para desovar em milho e depois em trigo, arroz e sorgo. Pode também se desenvolver em produtos de cereais processados, como macarrão e em mandioca desidratada (DOBIE et al., 1984).

A postura é inibida em grãos com teor de umidade inferior a 12,5% b.u., podendo ocorrer em grãos com elevado teor de umidade, como por exemplo, em milho em estado de maturação. Devido a essa característica e por ser um voador ativo, pode infestar grãos no campo, particularmente em áreas adjacentes a produtos armazenados que apresentem infestações (EVANS, 1981).

As fêmeas depositam os ovos individualmente nos grãos, em pequenos orifícios que cavam com as mandíbulas. A seguir, glândulas associadas ao ovipositor secretam uma substância que é utilizada para fechar a cavidade (COTTON e WILBUR, 1974; EVANS, 1981), ficando os orifícios de postura, de difícil visualização.

A condição ótima para o desenvolvimento da praga é de 27 a 31 °C e 70% de umidade relativa, segundo CHAMP (1985) e PEDERSEN (1992). Os adultos são de cor castanho-escuros, apresentam o pronoto fortemente pontuado e os élitros densamente estriados.



fonte: [www.ento.csiro.au/aicn/name\\_c/a\\_2944.htm](http://www.ento.csiro.au/aicn/name_c/a_2944.htm)

Figura 1 - Adulto de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky).

SONE (1999) estudou o efeito da infestação do *S. zeamais* na taxa respiratória de grãos de milho armazenado com 13, 16 e 19% de umidade. Os autores verificaram que ocorreu maior produção de CO<sub>2</sub> no milho infestado a 13 e 16%, devido à maior taxa de crescimento da praga (538 e 344 insetos após 80 dias de armazenamento, respectivamente), já que neste mesmo período, a 19% de umidade, foram encontrados apenas 48 insetos vivos. Observaram ainda que na umidade de 19%, os fungos tiveram maior influência na taxa respiratória que os insetos.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Para este trabalho, foram utilizados grãos de milho da variedade BRS 3060, provenientes da EMBRAPA/CNPMS (Sete Lagoas, MG). Dados de ensaios dos últimos quatro anos colocam esse híbrido entre os melhores do mercado. Em 1998, ele foi o mais produtivo dentre 24 híbridos testados na Agropecuária Boa Fé, no Triângulo Mineiro e está sendo cultivado principalmente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Sul e no estado de Tocantins (EMBRAPA, 2004).

Todas as análises, incluindo os testes preliminares e durante o período de armazenamento dos grãos de milho, foram realizadas no Laboratório de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, localizado no Campus da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

#### **3.1. Colheita mecânica**

Os grãos foram colhidos com teor de umidade em torno de 14,5% b.u., por uma colhedora mecânica Massey Ferguson 34, com plataforma de colheita para oito linhas. O equipamento foi regulado de acordo com as recomendações técnicas do fabricante.

### **3.2. Classificação do produto**

Os grãos de milho foram classificados conforme as normas de Classificação do Ministério da Agricultura, Portaria n°. 11 de 12 de abril de 1996.

### **3.3. Testes preliminares**

Logo após a colheita, os grãos foram armazenados a uma temperatura de 10 °C até o início do experimento, com o intuito de reduzir sua taxa respiratória, minimizando assim, a perda de matéria seca. Neste intervalo, testes preliminares (obtenção da curva analítica e determinação do tempo de hermeticidade) foram realizados antes de se iniciar o experimento.

#### **3.3.1. Obtenção da curva analítica**

Uma curva analítica foi obtida associando a condutância elétrica registrada pelo condutivímetro no sistema em fluxo bissegmentado com a concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente nos padrões, sendo esta utilizada para determinar a quantidade de CO<sub>2</sub> produzido pelos grãos de milho durante a respiração, nas diferentes condições de armazenamento. De acordo com os resultados obtidos por SILVA (1998), os padrões preparados a partir de CO<sub>2</sub> puro são comparáveis aos padrões certificados adquiridos por companhias. Em função disso e do menor custo optou-se por preparar os padrões a partir de CO<sub>2</sub> puro fornecido pela White Martins.

Para obtenção da curva analítica, utilizou-se um erlenmeyer com volume de 2092,7 mL. Primeiramente, todo o ar atmosférico existente dentro dele foi retirado, injetando-se nitrogênio (N<sub>2</sub>) ultra puro (99,999% de pureza, fornecido pela White Martins) durante, no mínimo, três minutos. Logo em seguida, injetava-se, com o auxílio de uma seringa, um volume pré-determinado de CO<sub>2</sub>, obtendo-se assim diferentes concentrações deste gás. Estes volumes pré-determinados foram de 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 13; 15; 20 e 25 mL, o que corresponde, respectivamente, às seguintes concentrações de CO<sub>2</sub> (volume/volume): 0,024; 0,048; 0,096; 0,143; 0,191; 0,239; 0,382; 0,478; 0,621;

0,717; 0,956 e 1,195. Posteriormente, retirava-se uma alíquota de 5 mL do erlenmeyer e injetava-se no sistema em fluxo bissegmentado. Através do sistema em fluxo, obtinha-se o valor de condutância correspondente às diferentes concentrações do CO<sub>2</sub>. Utilizando o programa Sigma Plot 4.0, a curva analítica deste gás foi então plotada.

### **3.3.2. Determinação do tempo de hermeticidade**

A determinação do tempo de hermeticidade foi realizada com o objetivo de se obter o tempo máximo que os grãos de milho poderiam ficar hermeticamente fechados durante o armazenamento, em cada temperatura, de modo que o CO<sub>2</sub> acumulado dentro dos frascos não afetasse a taxa respiratória dos grãos.

Grãos de milho da variedade BRS 3060, acondicionados em diferentes temperaturas (20, 25, 30, 35 e 40 °C), foram pesados e distribuídos em frascos de vidro (Figura 2), em três repetições, com volume igual a 800 mL. Em seguida, os frascos foram fechados com tampa dotada de septo, que permitia a retirada de ar intergranular para análise. Após o fechamento hermético, os frascos contendo os grãos foram armazenados em suas respectivas temperaturas. Para quantificar a concentração de CO<sub>2</sub> do ar intergranular, removeram-se com o auxílio de uma seringa, 5 mL de ar do interior dos frascos fechados hermeticamente para cada período de tempo, nos intervalos de 1, 2, 3, 6, 9, 24, 48, 72, 96 e 120 h. A amostra gasosa foi então injetada no analisador em fluxo bissegmentado.

Após a plotagem das curvas, escolheu-se o tempo, para o cálculo da taxa respiratória, observando-se o período de maior constância da produção de CO<sub>2</sub>.



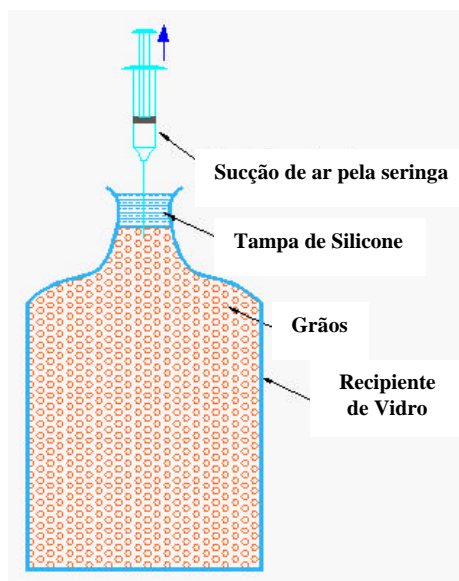


Figura 2 - Frasco de vidro para acondicionamento dos grãos de milho.

### 3.4. Armazenamento dos grãos de milho

O Brasil por ter dimensões continentais, apresenta uma grande variação climática. Com o objetivo de simular as diferentes temperaturas a que os grãos estão sujeitos durante o armazenamento, os grãos de milho foram armazenados na presença e ausência do inseto-praga, em diferentes condições de temperatura do ar (20, 25, 30, 35 e 40 °C), durante 150 dias, dentro de recipientes que permitiam a troca gasosa.

O inseto-praga utilizado foi a espécie *Sitophilus zeamais*, na proporção de 10 insetos  $\text{kg}^{-1}$  de grãos. Este inseto foi obtido a partir de criações mantidas em laboratório sob condição ótima de temperatura (28 °C), utilizando-se uma câmara climática do tipo BOD. Para a obtenção dos insetos, adultos de *Sitophilus* foram distribuídos em frascos de vidro contendo grãos de milho não infestados. Após 20 dias, estes adultos eram retirados, ficando nos grãos, apenas os ovos. Segundo COTTON e WILBUR (1974) e EVANS (1981), as fêmeas desta espécie abrem um orifício nos grãos, ovipositam e depois fecham-no com uma substância gelatinosa para proteger o ovo. Após completar o ciclo de aproximadamente 30 dias, obtinham-se insetos adultos de idade conhecida.

Para a determinação da taxa respiratória dos grãos de milho ao longo do armazenamento, nos intervalos de zero, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 dias, grãos

submetidos a cada tratamento eram distribuídos em frascos de vidro, com volume igual a 800 mL e mantidos hermeticamente fechados por 24 h (tempo de hermeticidade determinado preliminarmente). Em seguida, removiam-se 5 mL de ar intergranular do interior dos frascos que eram injetados no analisador em fluxo bissegmentado para a determinação da concentração de CO<sub>2</sub>.

Além da concentração de CO<sub>2</sub>, determinaram-se o teor de umidade dos grãos pelo método-padrão de estufa, a 105±3 °C, durante 24 h, com três repetições, até obtenção de peso constante, e a condutividade elétrica da solução que contém os grãos.

### **3.4.1. Determinação da concentração de CO<sub>2</sub> pelo sistema em fluxo bissegmentado**

A concentração de CO<sub>2</sub> foi determinada, utilizando-se um sistema em fluxo bissegmentado com detecção condutimétrica. Neste sistema, é produzido um fluxo padrão contendo dois segmentos líquidos (sl1 e sl2) arranjados seqüencialmente, separados por três bolhas gasosas, razão pela qual é chamado de sistema em fluxo bissegmentado (SILVA e PASQUINI, 1999).

O sistema em fluxo bissegmentado para determinações condutimétricas de CO<sub>2</sub> em amostras gasosas é mostrado na Figura 3. Observa-se por esta Figura que o sistema é composto basicamente de: um injetor, responsável pela introdução da amostra gasosa no sistema e pela formação do fluxo bissegmentado (o mecanismo de injeção é feito de acrílico, e os tubos, de polietileno); uma bomba peristáltica, responsável por manter um fluxo constante ao longo do sistema; um tubo reator, que é o local onde irá ocorrer as trocas gasosas entre amostra (A) e segmentos líquidos (sl); uma célula condutimétrica e condutivímetro, responsáveis por gerar o sinal analítico em função da concentração de CO<sub>2</sub>; um microcomputador, para armazenar as leituras obtidas das diferentes amostras injetadas.

O fluxo padrão, constituído de N<sub>2</sub> - sl1 - A - sl2 - N<sub>2</sub>, é produzido automaticamente devido a um simples arranjo feito no injetor de amostra do aparelho e impulsionado através do tubo de reação (2 mm de diâmetro interno e

80 cm de comprimento) até uma célula condutimétrica, por meio de uma bomba peristáltica. Simultaneamente, o computador recebe um sinal digital, indicando que a amostra foi injetada.

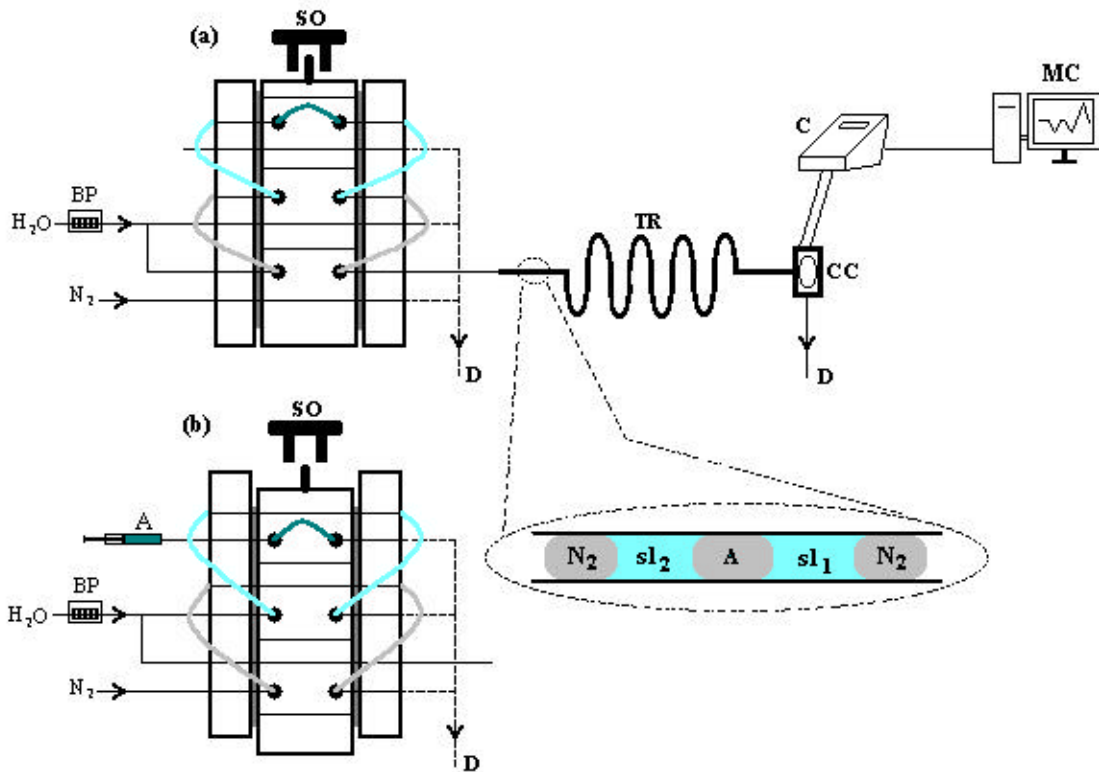


Figura 3 – Sistema em fluxo bissegmentado para determinações condutimétricas de  $\text{CO}_2$  em amostras gasosas. Em que: (a) injetor na posição de injeção e (b) injetor na posição de amostragem; BP = bomba peristáltica; SO = sensor ótico; A = amostra gasosa; D = descarte; TR = tubo reator; CC = célula condutimétrica; C = condutivímetro; MC = microcomputador;  $sl_1$  e  $sl_2$  = segmentos líquido.

Após a injeção, uma fina camada de água deionizada é deixada nas paredes do tubo, a qual absorve o  $\text{CO}_2$  presente na amostra (A). O segmento líquido  $sl_2$  (água deionizada), que vem logo depois da bolha que representa a amostra gasosa, coleta, por movimentos de convecção do fluido, a camada contendo  $\text{CO}_2$  parcialmente dissolvido e ionizado, enquanto a terceira bolha, ou

seja, a de nitrogênio, restringe a dispersão dos íons coletados ( $H^+$  e  $HCO_3^-$ ). O aumento na condutância do segmento líquido é proporcional ao teor de  $CO_2$  presente na amostra gasosa.

Passado um determinado tempo preestabelecido pelo operador, ou seja, o tempo de corrida, o computador recebe novamente um sinal, fornece o pico em função da resposta analítica obtida e já está pronto novamente para iniciar outra corrida. O sinal típico obtido se encontra na Figura 4.

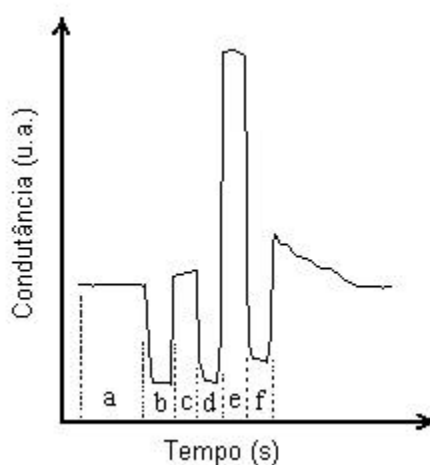


Figura 4 - Sinal obtido na determinação condutimétrica de amostra contendo  $CO_2$ . Em que: a = linha de base; b = 1ª bolha de  $N_2$ ; c = sl1; d = amostra gasosa; e = sl2 (segmento coletor); f = 2ª bolha de  $N_2$ .

Neste tipo de detecção, não se utilizam nenhum reagente químico nem membranas permeáveis e o aumento da condutividade gerado pela dissolução e ionização do  $CO_2$  no segmento líquido é usado como resposta analítica para se determinar o teor de analitos na amostra gasosa (SILVA et al., 1998). Através dele são obtidos os valores de condutância (unidades arbitrárias), que logo em seguida são transformados em concentração de  $CO_2$  (volume/volume), utilizando-se a equação obtida pela curva analítica.

### 3.4.2. Determinação da taxa respiratória dos grãos

A taxa respiratória dos grãos de milho foi estimada em miligramas (mg) de CO<sub>2</sub>, por quilograma (kg) de matéria seca de milho, por dia. Para tanto, os seguintes passos foram seguidos:

1) Determinação da concentração de CO<sub>2</sub>, utilizando-se o sistema em fluxo bissegmentado e a curva analítica.

2) Transformação da concentração de CO<sub>2</sub> dentro do frasco (v/v) em volume produzido (m<sup>3</sup>), utilizando-se a equação 8:

$$V_{CO_2} = [CO_2, v/v] * V_{Ar} * 10^{-8} \quad (8)$$

em que:

$V_{CO_2}$  = volume de CO<sub>2</sub> produzido durante 24 h, m<sup>3</sup>;

$[CO_2, v/v]$  = concentração de CO<sub>2</sub>, v/v e

$V_{Ar}$  = volume de ar dentro dos frascos (ar intergranular), mL.

3) Conversão do volume de CO<sub>2</sub> (m<sup>3</sup>) produzido durante 24 h em massa de CO<sub>2</sub>, utilizando-se como base, a equação dos gases perfeitos (equação 9):

$$m = \frac{P * V_{CO_2} * m_0}{R * T} * 10^6 \quad (9)$$

em que:

$m$  = massa de CO<sub>2</sub> produzida durante 24 horas, mg;

$P$  = pressão atmosférica local, 96 kPa;

$m_0$  = massa molar do CO<sub>2</sub>, 44 kg kmol<sup>-1</sup>;

$R$  = constante dos gases perfeitos, 8,314 kJ kmol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> e

$T$  = temperatura, em K.

4) Divisão da massa de CO<sub>2</sub> produzida (mg) pela massa de matéria seca dos grãos que ficaram armazenados hermeticamente durante 24 h, conforme equação 10:

$$Tr = \frac{m}{ms} \quad (10)$$

em que:

$Tr$  = taxa respiratória dos grãos de milho, mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca dia<sup>-1</sup> e  
 $ms$  = massa da matéria seca dos grãos, kg.

Uma equação geral foi obtida através da fusão das equações 8, 9 e 10, com o intuito de se obter de modo direto, a taxa respiratória dos grãos:

$$Tr = 5,081 * \left[ \frac{[CO_2 v/v] * V_{Ar}}{T * ms} \right] \quad (11)$$

Para o cálculo do volume de ar no interior dos frascos, determinou-se a porosidade da massa de grãos de milho, utilizando-se um picnômetro de comparação a ar, projetado e construído no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, segundo o processo descrito por Day, citado por MOSHENIN (1986). O picnômetro é constituído, basicamente, de dois cilindros de 740 mL de volume cada e de um manômetro (Figura 5). Após encher um dos cilindros com os grãos de milho, fechavam-se os cilindros e retirava-se o ar do interior deles. Em seguida, a válvula que dá conexão entre os cilindros era fechada. Com o auxílio de um compressor, o ar era injetado no cilindro sem os grãos e a pressão  $P_1$  era medida. Logo depois, a válvula que faz a conexão entre os cilindros, era aberta e uma nova pressão  $P_2$  era obtida. Este procedimento foi repetido cinco vezes para cada amostra.

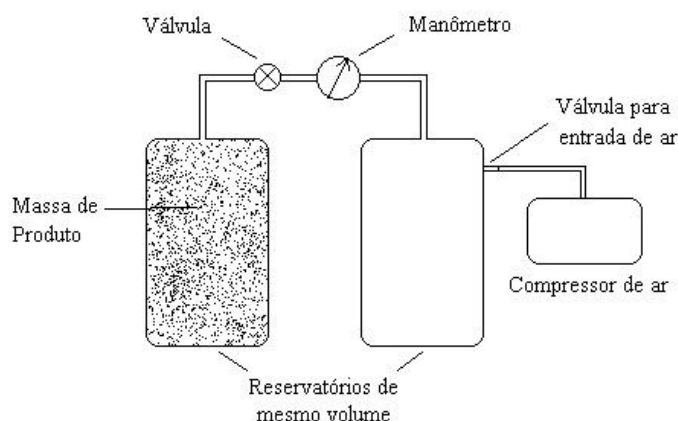


Figura 5 – Desenho esquemático do picnômetro.

Com o auxílio da equação 12, a porosidade que foi medida pode ser calculada por:

$$x = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \quad (12)$$

em que:

$x$  = porosidade calculada, %;

$P_1$  = pressão no cilindro 2 antes de se abrir a válvula, mca e

$P_2$  = pressão nos cilindros após a válvula ser aberta, mca.

### 3.4.3. Cálculo da perda de matéria seca

A perda de matéria seca dos grãos de milho foi quantificada, considerando que durante a respiração aeróbia, tenha ocorrido uma completa oxidação dos carboidratos em dióxido de carbono e água (equação 1), ou seja, a molécula de glicose que tem 180 g de massa molar produz 264 g de  $\text{CO}_2$ . Esta é uma simplificação do processo de respiração total, mas permite a computação aproximada da perda de matéria seca. Portanto, a equação 13 permite calcular a quantidade de perda de matéria seca dos grãos, durante o processo respiratório:

$$Pms = Tr * 0,682 * 10^{-4} \quad (13)$$

em que:

$PMS$  = perda de matéria seca, %.

Neste caso, também obteve-se uma equação geral para se determinar a perda de matéria seca de modo direto, através da fusão das equações 11, 12 e 13:

$$Pms = 3,465 \cdot 10^{-4} * \left[ \frac{[CO_2 v/v] * V_{AR}}{T * ms} \right] \quad (14)$$

#### 3.4.4. Cálculo do valor acumulado da produção de CO<sub>2</sub> e da perda de matéria seca

Para o cálculo do valor acumulado da produção de CO<sub>2</sub> e da perda de matéria seca dos grãos provocadas pela respiração, utilizou-se a técnica das integrais, pois pela definição geométrica, segundo SHENK (1984), a integral de uma função  $f$ , de 0 até 150, é igual à soma das áreas da região abaixo do gráfico de  $f$ , ou seja, o valor da integral no intervalo de integração (entre 0 e 150) corresponde à área entre o gráfico e o eixo  $x$  (Figura 6).

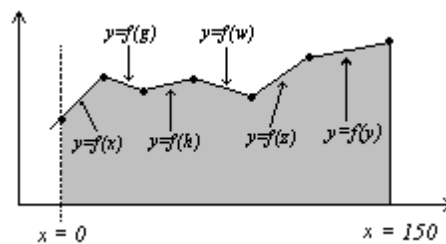


Figura 6 - Determinação do valor acumulado da produção de CO<sub>2</sub> e da perda de matéria seca dos grãos pela integração das equações. A área em destaque corresponde ao valor acumulado.

O valor acumulado entre cada período estudado (0-30, 30-45, 45-60, 60-90, 90-120 e 120-150) foi determinado após obtenção da equação entre cada



ponto. Logo em seguida, foi calculada a integral para se obter a área ou o valor acumulado entre os pontos (equações 15 a 20).

$$\int_0^{30} f(x) = \text{Área1} \quad (15)$$

$$\int_{30}^{45} f(g) = \text{Área2} \quad (16)$$

$$\int_{45}^{60} f(h) = \text{Área3} \quad (17)$$

$$\int_{60}^{90} f(w) = \text{Área4} \quad (18)$$

$$\int_{90}^{120} f(z) = \text{Área5} \quad (19)$$

$$\int_{120}^{150} f(y) = \text{Área6} \quad (20)$$

A produção acumulada total foi calculada através da soma das áreas entre cada período estudado para um mesmo tratamento (equação 21):

$$\text{Valor acumulado} = \text{Área1} + \text{Área2} + \text{Área3} + \text{Área4} + \text{Área5} + \text{Área6} \quad (21)$$

### 3.4.5. Teste de condutividade elétrica dos grãos

A condutividade elétrica da solução contendo os grãos de milho foi feita utilizando-se o “Sistema de copo” ou “Condutividade de massa” (VIEIRA, 1994) e tem como princípio, avaliar o aumento da permeabilidade da membrana, à medida que o grão se deteriora. Baseia-se na modificação da resistência elétrica causada pela lixiviação de eletrólitos dos tecidos dos grãos para a solução em que este foi imerso.

Os testes foram realizados em cinco repetições de 50 grãos para cada tratamento ao longo do período de armazenamento. Os grãos foram pesados em balança com precisão de 0,01 g e colocados em copos plásticos de 200 mL, aos quais foram adicionados 75 mL de água deionizada. Em seguida, os copos foram colocados em um germinador à temperatura de 25 °C, por 24 h. Imediatamente

após este período, os copos foram retirados do germinador para a realização das medições da condutividade elétrica da solução, que contém os grãos.

As leituras foram feitas em medidor de condutividade elétrica da marca Tecnopon, modelo CA-150, com ajuste para compensação de temperatura e eletrodo, com constante da célula de  $1 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com uma solução-padrão de cloreto de sódio, de condutividade elétrica conhecida à temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

O valor da condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) fornecido pelo aparelho foi dividido pela matéria seca dos grãos (medida em gramas), obtendo-se então esse valor expresso em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de matéria seca.

### **3.5. Delineamento experimental**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições e parcelas subdivididas. As temperaturas de  $20, 25, 30, 35$  e  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  constituíram as parcelas e as subparcelas foram os tempos de  $0, 30, 45, 60, 90, 120$  e  $150$ , expressos em dias.

Os resultados foram interpretados por meio de análise de variância e regressão. Para o fator qualitativo, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Os modelos escolhidos foram fundamentados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de “t” e adotando-se o nível de 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Classificação dos grãos de milho**

No Quadro 2, está a classificação dos grãos de milho da variedade BRS3060 proveniente da EMBRAPA/CNPMS, conforme as normas de Classificação do Ministério da Agricultura. Vale ressaltar que a escolha desta variedade se deve ao fato de ser uma das mais plantadas, produtivas e comercializadas no Brasil.

Observa-se, de acordo com o laudo de classificação, que o produto se enquadra no grupo semiduro, classe amarelo e tipo 1. Esta caracterização é importante para que os resultados de trabalhos futuros possam ser comparados com este, verificando assim as possíveis diferenças existentes entre eles.

Quadro 2 – Laudo de classificação do produto

Caracterização da amostra	%	Tipo
Fragmentos, matérias estranhas e impurezas	1,40	1
Chochos	0,25	
Carunchados	0,87	
Quebrados	6,90	
Ardidos, brotados e mofados	0,74	1
Total de avariados	8,75	1

#### 4.2. Umidade dos grãos e taxa de crescimento populacional do inseto-praga *Sitophilus zeamais*

O teor de umidade é um dos principais fatores que influencia a taxa respiratória dos grãos. Sob índices de alto teor de umidade a respiração é aumentada rapidamente na maioria dos cereais (BROOKER et al., 1992). Em função disso, o monitoramento do teor de umidade dos grãos se torna importante.

O resumo da análise de variância do teor de umidade dos grãos armazenados na presença e ausência do inseto-praga *S. zeamais* encontra-se no Quadro 1A do apêndice. Verifica-se pelos resultados, que, pelo teste de F, a 5% de probabilidade, não houve efeito significativo no teor de umidade dos grãos, em função da presença ou ausência do inseto-praga. Apesar de não haver diferença significativa, observa-se pelo Quadro 3 que, o valor médio do teor de umidade dos grãos armazenados na presença do inseto-praga foi maior que o dos grãos armazenados na ausência deles.

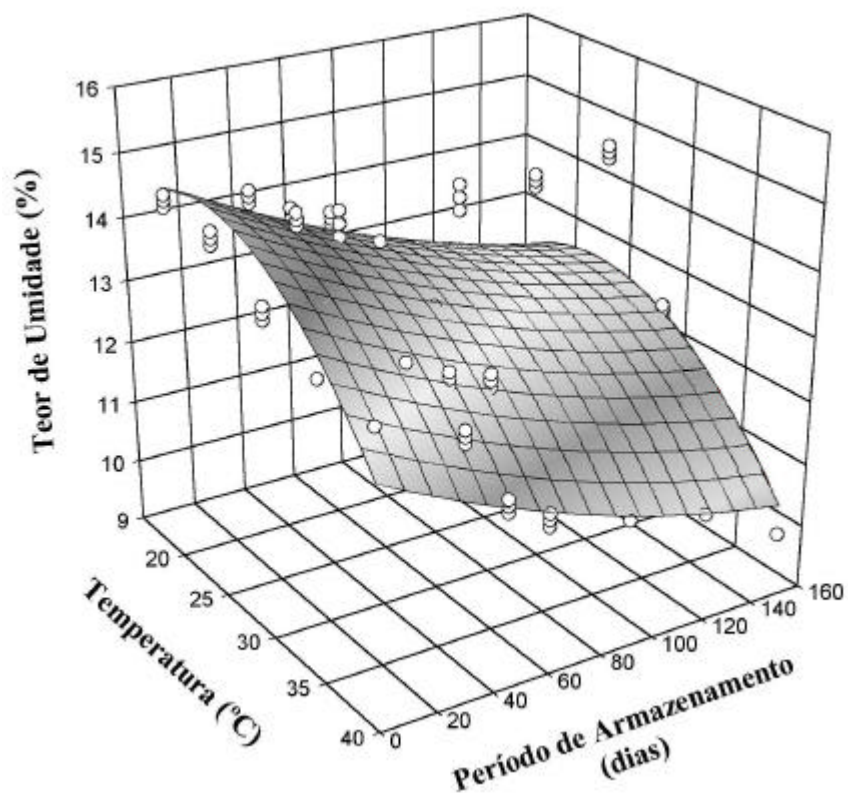
Quadro 3 - Valores médios dos teores de umidade dos grãos armazenados na presença e ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Tratamento	Teor de Umidade (%)
Presença do inseto-praga	13,2 A
Ausência do inseto-praga	13,0 A

As médias seguidas de uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resumos das análises de variâncias dos teores de umidade dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na ausência e na presença do inseto-praga *S. zeamais* encontram-se no Quadro 2A e Quadro 3A do apêndice, respectivamente. Observa-se pelos resultados que, pelo teste de F, a 1% de probabilidade, houve efeito significativo do período e da temperatura de armazenamento, e da interação período x temperatura de armazenamento para ambos os tratamentos.

As Figuras 7 e 8 mostram, respectivamente, os valores médios das umidades dos grãos armazenados, em diferentes temperaturas, na ausência e na presença do inseto-praga *S. zeamais*. Verifica-se, tanto nos grãos armazenados na presença quanto na ausência do inseto-praga, uma redução do teor de umidade com o aumento da temperatura e com o período de armazenamento. Esta redução do teor de umidade deve-se às altas temperaturas de armazenamento. Observa-se ainda que os grãos armazenados a 25 e 30 °C na presença do inseto-praga apresentaram as maiores médias de teor de umidade. Tal fato pode ser explicado pela Figura 9, onde se verifica para as temperaturas de 25 e 30 °C, ocorrência de maiores taxas de crescimento populacional do inseto-praga, que, pelo seu metabolismo produz H<sub>2</sub>O, induzindo o aumento do teor de umidade dos grãos. Segundo CHAMP (1985) e PEDERSEN (1992), a temperatura ótima para o desenvolvimento da praga *S. zeamais* encontra-se na faixa de 27 e 31 °C.



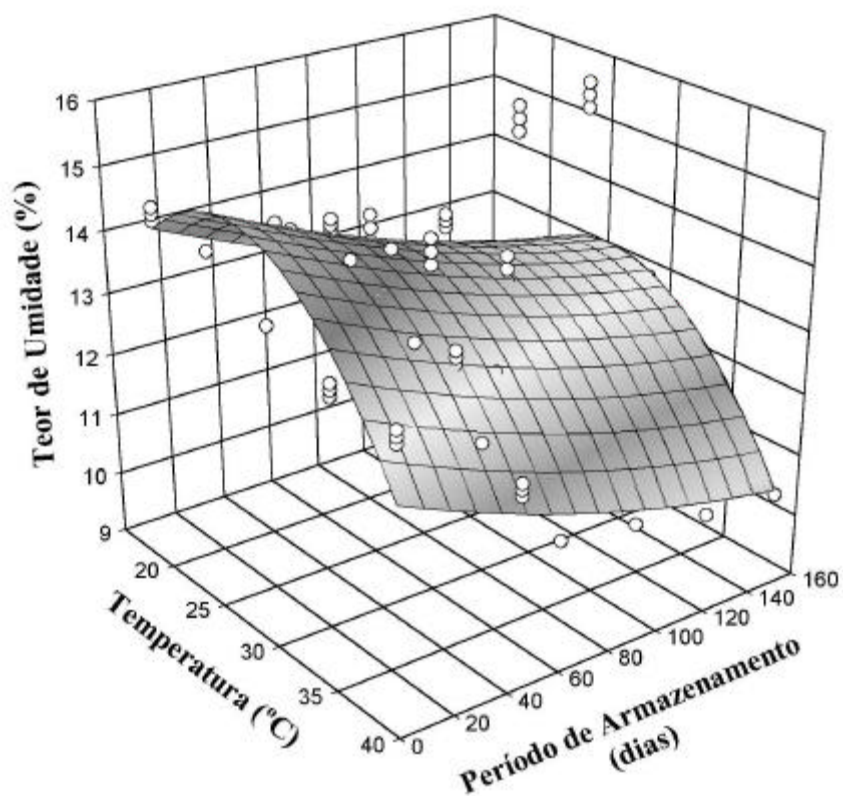
$$U = 13,614 - 0,1875 * X + 1,0288 * Y - 0,2337 * Y^2 - 0,0589 * X * Y$$

$$(R^2_{aj.} = 0,80; P < 0,0001; F = 107,48; GL_{res.} = 100)$$

em que

$U$  = Teor de Umidade dos Grãos;  
 $X$  = Período de Armazenamento; e  
 $Y$  = Temperatura.

Figura 7 – Valores médios do teor de umidade (%) dos grãos armazenados na ausência do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.



$$U = 12,3164 - 0,1207*X + 2,0542*Y - 0,3908*Y^2 - 0,0664*X*Y$$

$$(R^2_{aj.} = 0,71; P < 0,0001; F = 66,09; GL_{res.} = 100)$$

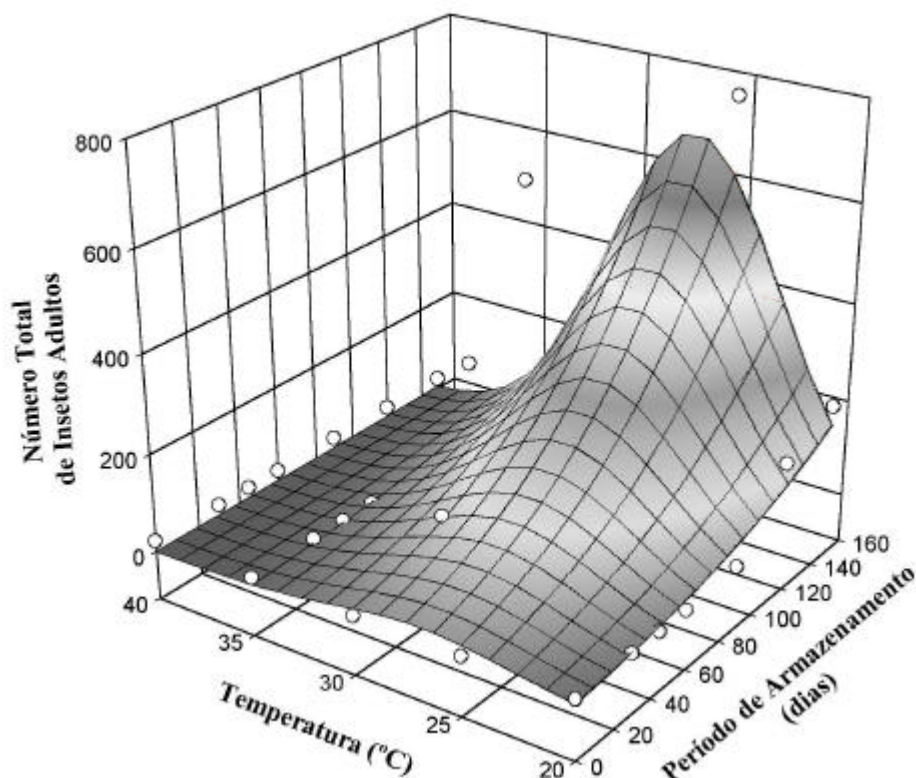
em que

$U$  = Teor de Umidade dos Grãos;

$X$  = Período de Armazenamento; e

$Y$  = Temperatura.

Figura 8 – Valores médios do teor de umidade (%) dos grãos armazenados na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.



$$NTI = 2057,81 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 326,01}{118,93} \right)^2 + \left( \frac{Y - 26,83}{4,097} \right)^2 \right]}$$

(R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = 0,62; P < 0,0001; F = 14,59; GL<sub>res.</sub> = 30)

em que

*NTI* = Número total de insetos adultos;

*X* = Período de Armazenamento, dias;

*Y* = Temperatura, °C.

Figura 9 - Número total de insetos adultos de *Sitophilus zeamais*, ao longo do armazenamento, para os grãos acondicionados em diferentes temperaturas.



Observa-se, pela Figura 9, que os insetos acondicionados nas temperaturas de 35 e 40 °C não apresentaram crescimento populacional. Isto ocorreu devido à mortalidade total dos insetos após 30 dias de armazenamento. De acordo com FIELDS (1992), as elevadas temperaturas provocam aceleração no metabolismo e morte da praga. Ainda de acordo com este autor, outro fator que se deve levar em consideração é que as pragas dos grãos armazenados retiram dos alimentos, a umidade necessária para os processos vitais. Por esse motivo, o teor de umidade dos grãos torna-se um fator crítico para a sobrevivência do inseto em qualquer fase do ciclo evolutivo, independente da temperatura do ambiente.

Em contrapartida, verificou-se que na temperatura de 20 °C, o metabolismo da praga foi retardado, pois o crescimento populacional, nesta condição, foi observado apenas aos 90 dias de armazenamento (Figura 9). Estes resultados concordam com FIELDS (1992), que afirma que temperaturas na faixa de 17 a 22 °C inibem o desenvolvimento de algumas espécies de insetos-praga de grãos armazenados.

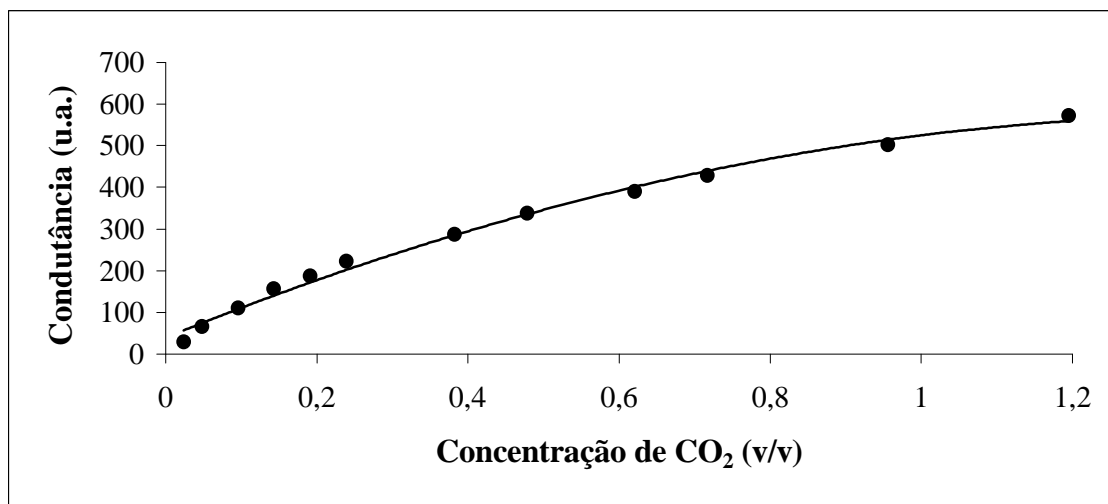
#### **4.3. Aplicação do sistema em fluxo bissegmentado na determinação do CO<sub>2</sub> produzido pela respiração de grãos de milho**

Segundo a literatura, o sistema em fluxo já foi utilizado na medição de teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> presentes em amostras gasosas do ar atmosférico, de embalagens de alimentos (SILVA E PASQUIM, 1997; SILVA et al., 1998) e também na determinação da taxa respiratória de frutos de tomate (CALEGARIO et al., 2001). Para a determinação do CO<sub>2</sub> produzido pela respiração de grãos este sistema foi utilizado pela primeira vez neste trabalho e apresentou as seguintes vantagens: não utilizou nenhum reagente químico, gastando apenas água deionizada; foi de fácil operação e manutenção; forneceu resultados em um tempo máximo de aproximadamente 1,5 minutos; apresentou boa repetibilidade e coerência dos resultados.

#### 4.3.1. Curva analítica do CO<sub>2</sub> para o sistema em fluxo bissegmentado

Na Figura 10, estão os valores médios de condutância para a curva analítica típica das diferentes concentrações de CO<sub>2</sub>. Observa-se que, à medida que se aumenta a concentração de CO<sub>2</sub>, ocorre um aumento no valor da condutância. Isto acontece porque quanto maior a concentração, maior será a dissolução de CO<sub>2</sub> no segmento líquido (sl<sub>2</sub>) do sistema em fluxo bissegmentado, que produzirá íons em solução, tornando-se possível a determinação da mudança de condutância (SYMANSKI, 1983). Após injeção da amostra gasosa no sistema, o CO<sub>2</sub> presente nesta é absorvido pela película de água deionizada deixada na parede do tubo reator e em seguida transferida para o segmento líquido sl<sub>2</sub>. A passagem deste segmento pela célula de fluxo faz com que a condutância varie devido à presença dos íons H<sup>+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Os equilíbrios envolvidos são os seguintes:





$$Y = -255,82 \cdot X^2 + 741,14 \cdot X + 39,39$$

$$(R^2_{aj.} = 0,99; P < 0,0001; F = 1.971,03; GL_{res.} = 33)$$

em que

X = Concentração de CO<sub>2</sub>, volume/volume;

Y = Conduância, unidades aleatórias.

Figura 10 – Curva analítica típica obtida com os padrões preparados a partir de CO<sub>2</sub>.

No Quadro 4, são apresentados os valores médios de conduância com os respectivos coeficientes de variação, para cada concentração de CO<sub>2</sub> (n = 3) injetado no sistema em fluxo. Verifica-se que a repetibilidade do procedimento para plotagem da curva analítica foi boa, apresentando uma variação máxima de 5,8%.

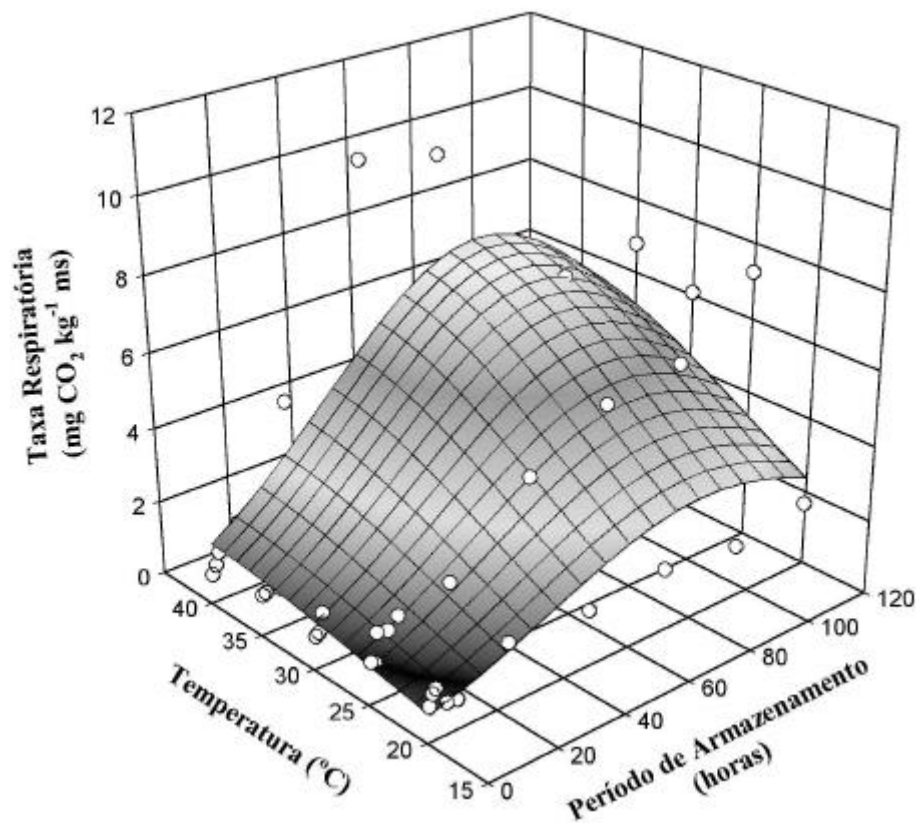
Quadro 4 - Valores médios de condutância com os respectivos coeficientes de variação para cada concentração de CO<sub>2</sub> injetado no sistema em fluxo

Concentração (v/v)	Condutância (u.a.)	Coeficiente de variação (%)
0,024	29,11	4,02
0,048	65,26	4,58
0,096	110,06	4,56
0,143	155,92	5,8
0,191	187,33	5,48
0,239	222,31	1,69
0,382	287,50	4,45
0,478	338,00	1,79
0,621	389,36	2,49
0,717	428,90	0,65
0,956	501,22	0,92
1,195	572,75	1,62

#### 4.3.2. Determinação do tempo de hermeticidade

Na Figura 11, estão os valores médios da produção de dióxido de carbono por quilo de matéria seca de grãos em diferentes períodos de armazenamento em sistema hermético, para diferentes temperaturas. O período de tempo de hermeticidade, ou seja, o tempo em que os frascos contendo os grãos ficaram fechados hermeticamente durante o armazenamento para posterior coleta de ar, foi determinado através da observação visual da Figura 11. O fato é que se deve escolher este tempo onde, em cada curva, se tem uma taxa constante da produção de CO<sub>2</sub>. De acordo com os resultados obtidos, observa-se que esta taxa vai até 48 horas, aproximadamente. Para a determinação da taxa respiratória dos grãos, escolheu-se o período de 24 horas como sendo o máximo tempo que os grãos

poderiam ficar hermeticamente fechados durante o armazenamento, sem que a concentração de CO<sub>2</sub> produzida pela respiração afete a taxa respiratória.



$$TR = 7,3034 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 84,5958}{48,6253} \right)^2 + \left( \frac{Y - 42,0973}{17,0611} \right)^2 \right]}$$

$$(R^2_{aj.} = 0,58; P < 0,0001; F = 52,3851; GL_{res.} = 145)$$

em que

$TR$  = Taxa Respiratória, mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca;

$X$  = Período de Armazenamento, dias;

$Y$  = Temperatura, °C.

Figura 11 - Valores médios da taxa respiratória dos grãos (mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca) para determinação do tempo de hermeticidade.

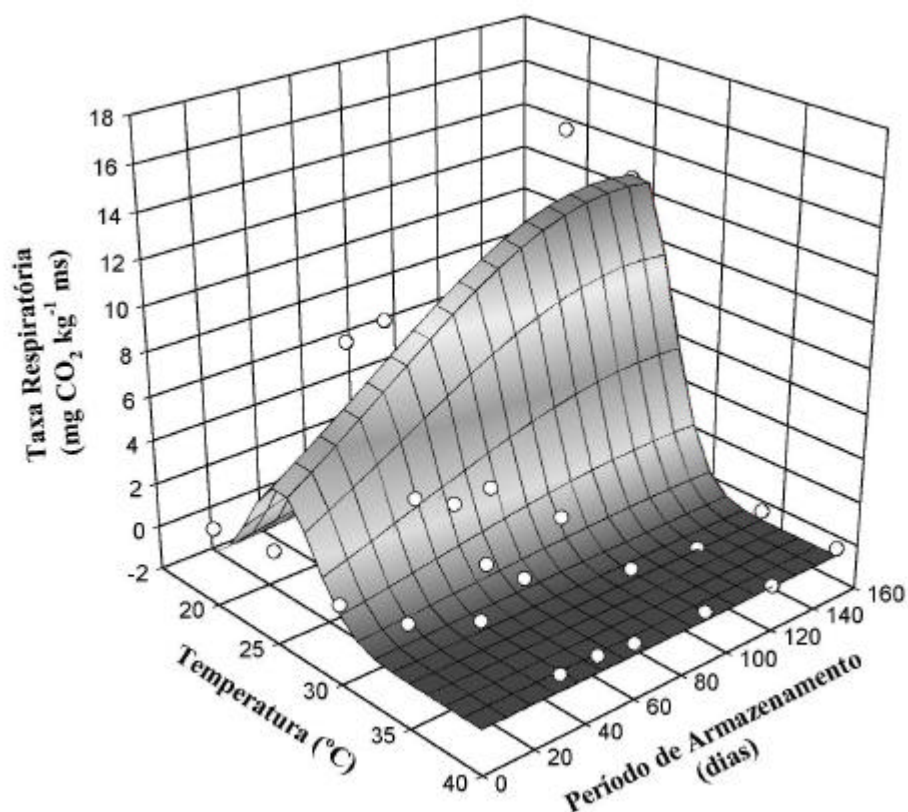
Observa-se ainda pela Figura 11, que inicialmente a maior taxa respiratória foi para os grãos armazenados na temperatura de 40 °C, seguida dos grãos armazenados a 35, 30, 25 e 20 °C. É importante ressaltar, que os grãos de milho utilizados para a determinação do tempo de hermeticidade apresentavam-se com o mesmo teor de umidade, em torno de 14,5%. Portanto, a variação da temperatura é que foi a responsável pelo incremento na taxa respiratória dos grãos. Esses resultados estão de acordo com WHITE et al. (1982), que verificaram, ao trabalharem com sementes de colza em diferentes teores de umidade (8, 10, 12, 14, 16 e 18 %b.u.) e diferentes temperaturas (10, 20, 30 e 40 °C), que ocorria um incremento no CO<sub>2</sub> produzido pela respiração, quando se aumentavam a temperatura e o teor de umidade das sementes. Em outro trabalho, WILCKE et al. (1998), ao avaliarem os efeitos da mudança de temperatura na deterioração de grãos de milho, concluíram que com o aumento desta ocorre a redução do tempo máximo de armazenamento dos grãos de milho, devido ao aumento da taxa respiratória.

#### **4.3.3. Taxa respiratória dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga *Sitophilus zeamais***

O resumo da análise de variância da taxa respiratória dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga *S. zeamais*, encontra-se no Quadro 4A do apêndice. Verifica-se pelos resultados que, pelo teste de F, a 1% de probabilidade, houve efeito significativo na taxa respiratória dos grãos, em função do período e da temperatura de armazenamento, e da interação período x temperatura de armazenamento.

Na Figura 12, estão os valores médios da taxa respiratória, expressos em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca, ao longo do armazenamento, na ausência do inseto-praga. Observa-se que os grãos armazenados a 25 °C apresentaram as maiores taxas respiratórias. Uma justificativa para tal fato pode ser obtida na Figura 7, onde se verifica que o teor de umidade dos grãos ao longo do armazenamento não foi inferior a 14% nesta temperatura. Sob índices de alto teor de umidade, isto é, superiores a 13-14%, a respiração é aumentada rapidamente na maioria

dos cereais. Nas demais temperaturas, em função da redução do teor de umidade, é provável que tenha ocorrido a inativação das macromoléculas e organelas, levando a semente ao estado quiescente. Na quiescência, o grão se caracteriza por um baixíssimo nível de atividade metabólica (KAYS, 1991). Segundo este mesmo autor, de um modo geral, a respiração e os processos metabólicos diminuem com a redução da umidade dos produtos. WHITE et al. (1982) verificaram que, com o aumento da temperatura e do teor de umidade das sementes de colza, ocorria um incremento no CO<sub>2</sub> produzido pela respiração. GUPTA et al. (1998), armazenando milho com 18 e 22% de umidade a 20 °C, concluíram que esta diferença na umidade pode ter um impacto muito grande no período de tempo de armazenamento.



$$TR = 13,6491 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 136,6509}{97,5424} \right)^2 + \left( \frac{Y - 25,5225}{2,5733} \right)^2 \right]}$$

(R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = 0,77; P < 0,0001; F = 82,6892; GL<sub>res.</sub> = 95)

em que

TR = Taxa Respiratória, mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca;

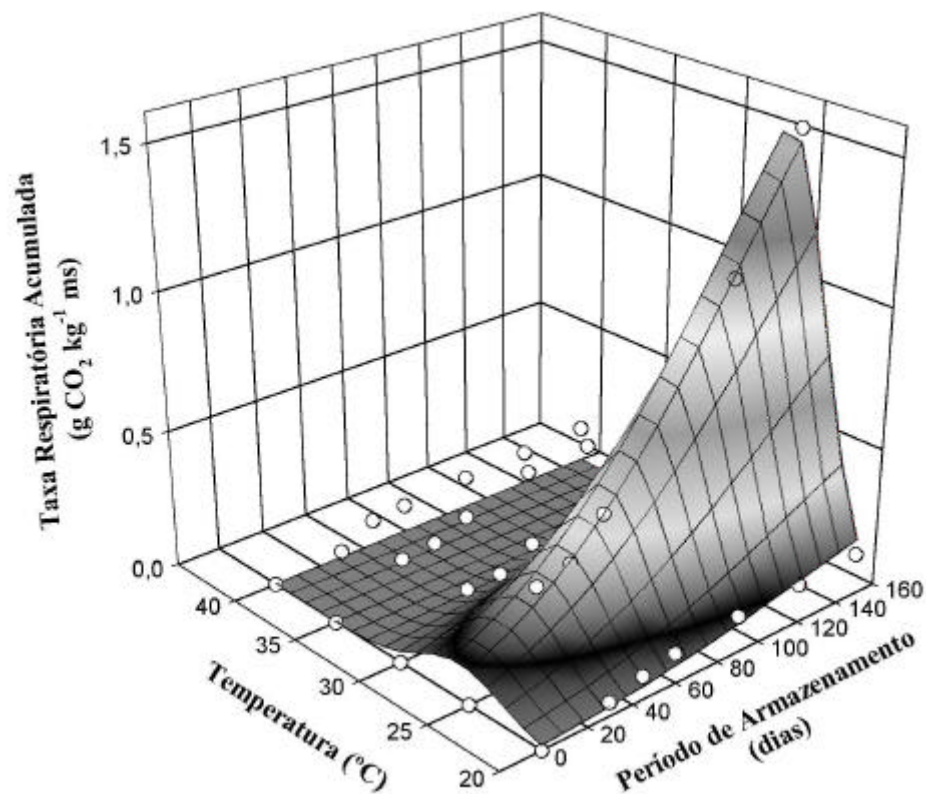
X = Período de Armazenamento, dias;

Y = Temperatura, °C.

Figura 12 - Valores médios da taxa respiratória (mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca) dos grãos de milho, ao longo do armazenamento, na ausência do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.



Na Figura 13, são apresentados os valores acumulados de produção de  $\text{CO}_2$  ao longo do armazenamento, na ausência do inseto-praga. Esses valores foram obtidos a partir das equações encontradas para a taxa respiratória dos grãos, calculando-se as integrais (equação 22). Observou-se, como era esperado, que a produção acumulada de  $\text{CO}_2$  foi maior para os grãos que apresentaram as maiores taxas respiratórias ao longo do armazenamento, ou seja, para os grãos acondicionados a 25 °C.



$$TR_{ac} = 1,9708 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 215,6206}{92,2582} \right)^2 + \left( \frac{Y - 25,6967}{2,83} \right)^2 \right]}$$

( $R^2_{aj.} = 0,89$ ;  $P < 0,0001$ ;  $F = 71,3758$ ;  $GL_{res.} = 30$ )

em que

$TR_{ac}$  = Taxa Respiratória Acumulada, mg de  $CO_2$   $kg^{-1}$  matéria seca;

X = Período de Armazenamento, dias;

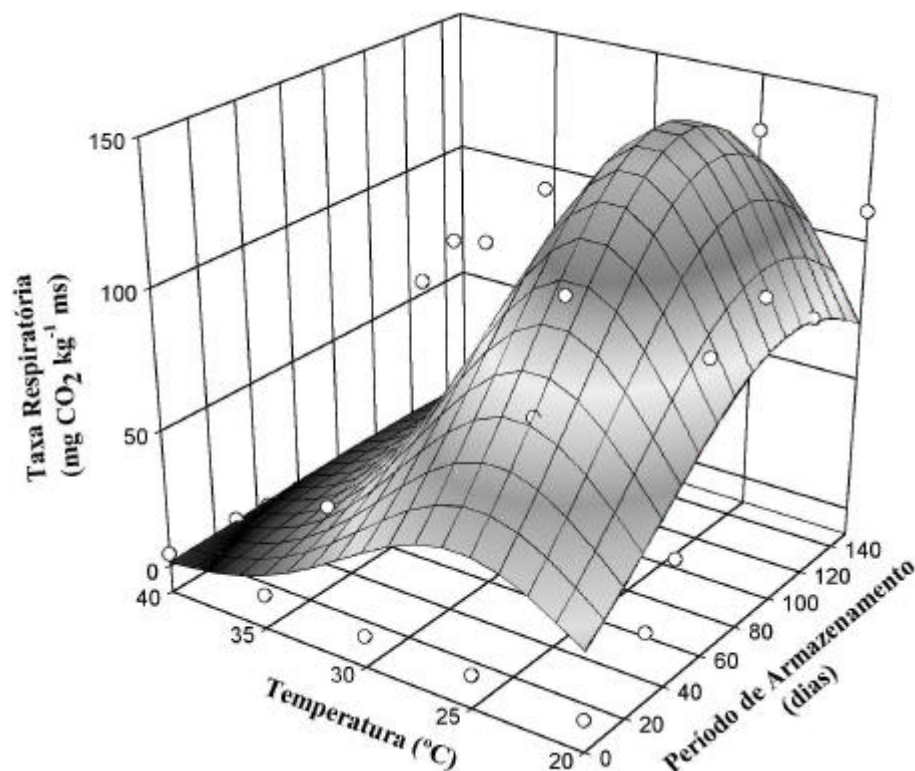
Y = Temperatura, °C.

Figura 13 - Taxa respiratória acumulada ( $g$  de  $CO_2$   $kg^{-1}$  matéria seca) dos grãos de milho, ao longo do armazenamento, na ausência do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.

#### **4.3.4. Taxa respiratória dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais***

O resumo da análise de variância da taxa respiratória dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga *S. zeamais*, encontra-se no Quadro 5A do apêndice. Verifica-se pelos resultados que, pelo teste de F, a 1% de probabilidade, houve efeito significativo na taxa respiratória dos grãos, em função do período e da temperatura de armazenamento, e da interação período x temperatura de armazenamento.

Os valores médios da taxa respiratória dos grãos de milho ( $\text{mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1}$  matéria seca), ao longo do armazenamento na presença de insetos, são apresentados na Figura 14. Verifica-se que ocorreu um aumento da taxa respiratória nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C, ao longo do armazenamento, explicado pelo maior desenvolvimento populacional do inseto-praga. Por ser praga primária de milho e outros grãos, o adulto desta espécie tem a capacidade de romper um grão intacto, ou seja, de danificar o tegumento do grão. Quando o tegumento é danificado, o grão acelera o seu metabolismo, aumentando a taxa respiratória. A respiração ocorre quando o oxigênio se difunde livremente para o tecido que está respirando, sendo tanto mais rápida quanto menor for a restrição das membranas à troca de gases. Se a difusão de oxigênio for limitada, a taxa respiratória será reduzida. Para ilustrar esse fenômeno, SPRAGG e YEMM (1959) estudaram o efeito do tegumento sobre a absorção de oxigênio por sementes de ervilha. Segundo os autores, nas sementes cujo tegumento foi removido, a taxa respiratória nas primeiras 24 horas de germinação foi maior que naquelas intactas. Isto ocorreu, ainda de acordo com os autores, porque o tegumento é o responsável pela regulação das trocas gasosas. Segundo KAYS (1991), as injúrias ou lesões nos tecidos das plantas estimulam a taxa respiratória das células afetadas como forma de defesa.



$$TR = 143,13 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 104,5005}{67,3237} \right)^2 + \left( \frac{Y - 25,7843}{5,3167} \right)^2 \right]}$$

(R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = 0,72; P < 0,0001; F = 63,4947; GL<sub>res.</sub> = 94)

em que

*TR* = Taxa Respiratória, mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca;

*X* = Período de Armazenamento, dias;

*Y* = Temperatura, °C.

Figura 14 - Valores médios da taxa respiratória (mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca) dos grãos de milho, ao longo do armazenamento, na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.

Observa-se ainda na Figura 14, que os grãos armazenados nas temperaturas de 25 e 30 °C apresentaram inicialmente, valores de taxa respiratória maiores que os grãos armazenados a 20 °C. Isto ocorreu porque nas temperaturas de 25 e 30 °C, os insetos-praga apresentaram taxas de crescimento inicial maiores que os acondicionados a 20 °C. Vale ressaltar que, segundo CHAMP (1985) e PEDERSEN (1992), a temperatura ótima para o desenvolvimento da praga *S. zeamais* encontra-se na faixa de 27 e 31 °C. Verifica-se ainda, que até aos 45 dias, os grãos armazenados na temperatura de 20 °C mantiveram uma taxa respiratória bastante discreta, tendo havido após este período, um aumento que praticamente se igualou à taxa dos grãos armazenados a 25 e 30 °C. Sob essa temperatura, os insetos não morreram, mas demoraram a se desenvolver, pois, nesta condição, o metabolismo da praga é retardado (FIELDS, 1992). Para os grãos armazenados a 35 e 40 °C, na presença do inseto-praga, a taxa respiratória foi inferior quando comparada à dos armazenados nas demais temperaturas. Os resultados mostram que estes valores foram superiores aos dos grãos armazenados na ausência do inseto-praga, nestas mesmas temperaturas. Pode-se inferir que a presença da praga, mesmo em um período curto de tempo, causou danos responsáveis por um aumento médio de 2,7 vezes na taxa respiratória dos grãos.

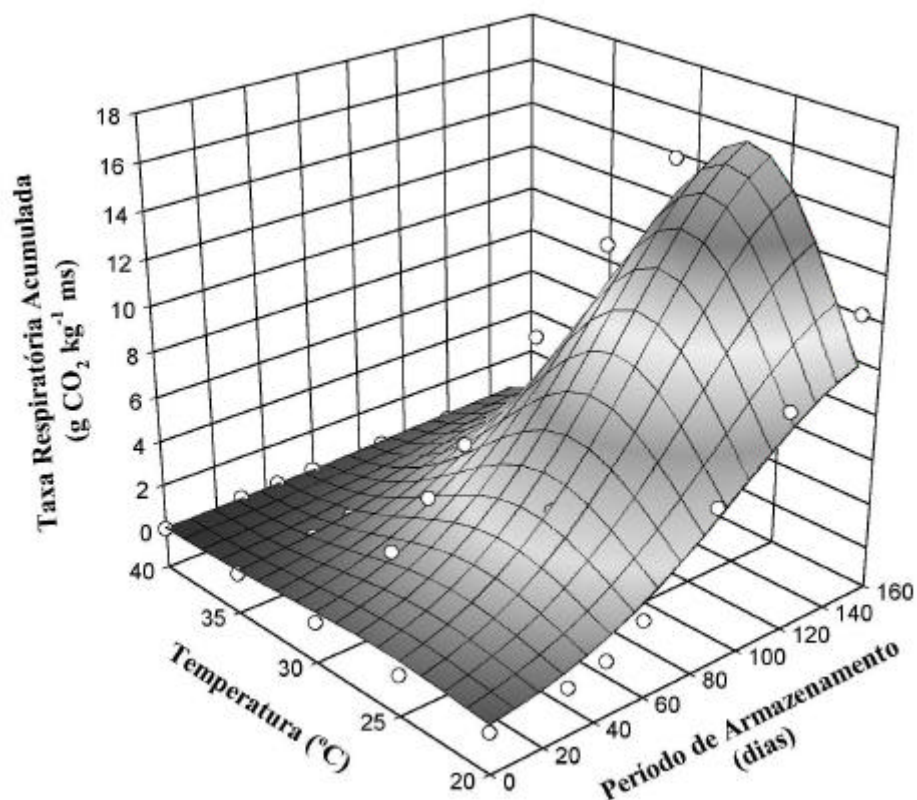
O Quadro 6A do apêndice mostra o resumo da análise de variância da taxa respiratória dos grãos armazenados na presença e ausência do inseto-praga *S. zeamais*. Verifica-se pelos resultados, pelo teste de F, a 1% de probabilidade, diferença significativa da taxa respiratória dos grãos armazenados na presença do inseto-praga, quando comparado com os grãos armazenados na ausência do inseto-praga. Pelo Quadro 5, pode-se observar que as maiores médias foram obtidas para os grãos armazenados na presença do inseto-praga. Este inseto, por ser praga primária de milho, tem a capacidade de romper um grão intacto. Quando o tegumento é danificado, o grão acelera o seu metabolismo, aumentando a taxa respiratória.

Quadro 5 - Valores médios das taxas respiratórias dos grãos armazenados na presença e ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Tratamento	Taxa Respiratória (mg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> ms)
Presença do inseto-praga	49,76 A
Ausência do inseto-praga	3,32 B

As médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Na Figura 15, são apresentados os valores acumulados da produção de CO<sub>2</sub> ao longo do armazenamento, na presença do inseto-praga. Observou-se, como era esperado, que as maiores médias foram obtidas para os grãos armazenados a 20, 25 e 30 °C e que os valores acumulados da taxa respiratória na presença do inseto-praga são superiores aos observados para os grãos acondicionados na ausência da praga (14,1 g de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca produzidos pelos grãos acondicionados na presença da praga a 25 °C, contra 1,53 g de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> matéria seca para os acondicionados na ausência da praga, aos 150 dias de armazenamento).



$$TR_{ac} = 16,459 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 162,8727}{63,5991} \right)^2 + \left( \frac{Y - 26,0231}{5,3322} \right)^2 \right]}$$

$(R^2_{aj.} = 0,91; P < 0,0001; F = 87,5615; GL_{res.} = 30)$

em que

$TR_{ac}$  = Taxa Respiratória Acumulada, mg de  $CO_2$   $kg^{-1}$  matéria seca;

X = Período de Armazenamento, dias;

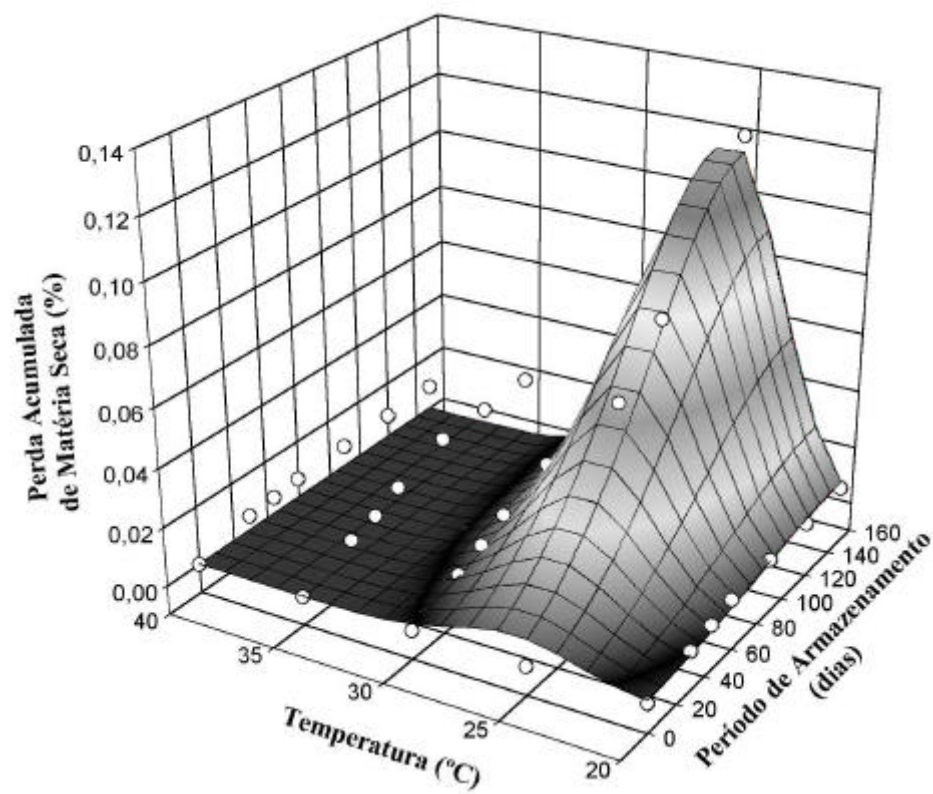
Y = Temperatura, °C.

Figura 15 – Taxa respiratória acumulada ( $g$  de  $CO_2$   $kg^{-1}$  matéria seca) dos grãos de milho, ao longo do armazenamento, na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.

#### **4.4. Perda de matéria seca dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga *Sitophilus zeamais***

Na Figura 16, são apresentados os valores médios da perda de matéria seca acumulada (%) ao longo do armazenamento, na ausência do inseto-praga. Observa-se que os grãos armazenados a 25 °C apresentaram as maiores médias de perda de matéria seca. Uma vez que a perda de matéria seca dos grãos de milho foi quantificada, considerando que durante a respiração aeróbia tenha ocorrido completa oxidação dos carboidratos em dióxido de carbono e água, era de se esperar que os grãos que apresentassem a maior taxa respiratória, teriam a maior perda de matéria seca. Como discutido anteriormente, os grãos de milho armazenados a 25 °C mantiveram seu teor de umidade superior a 14% (Figura 7), que é o ponto a partir do qual, a respiração é aumentada rapidamente na maioria dos cereais. Com este aumento na taxa respiratória ocorre, conseqüentemente, maior perda de matéria seca dos grãos. THOMPSON (1972), trabalhando com diferentes teores de umidade (20, 22, 23, 24, 25, 26 e 28%) em grãos de milho, observou que na medida em que se aumentou a umidade, ocorreu um incremento na perda da matéria seca. WILCKE et al. (1998), também obtiveram resultados semelhantes, ao estudarem grãos de milho com 18 e 22% de umidade.





$$PMS = 0,1188 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 151,1896}{66,6922} \right)^2 + \left( \frac{Y - 25,6098}{2,5804} \right)^2 \right]}$$

$(R^2_{aj.} = 0,91; P < 0,0001; F = 85,6181; GL_{res.} = 30)$

em que

$PMS$  = Perda de Matéria Seca, %;

$X$  = Período de Armazenamento, dias;

$Y$  = Temperatura, °C.

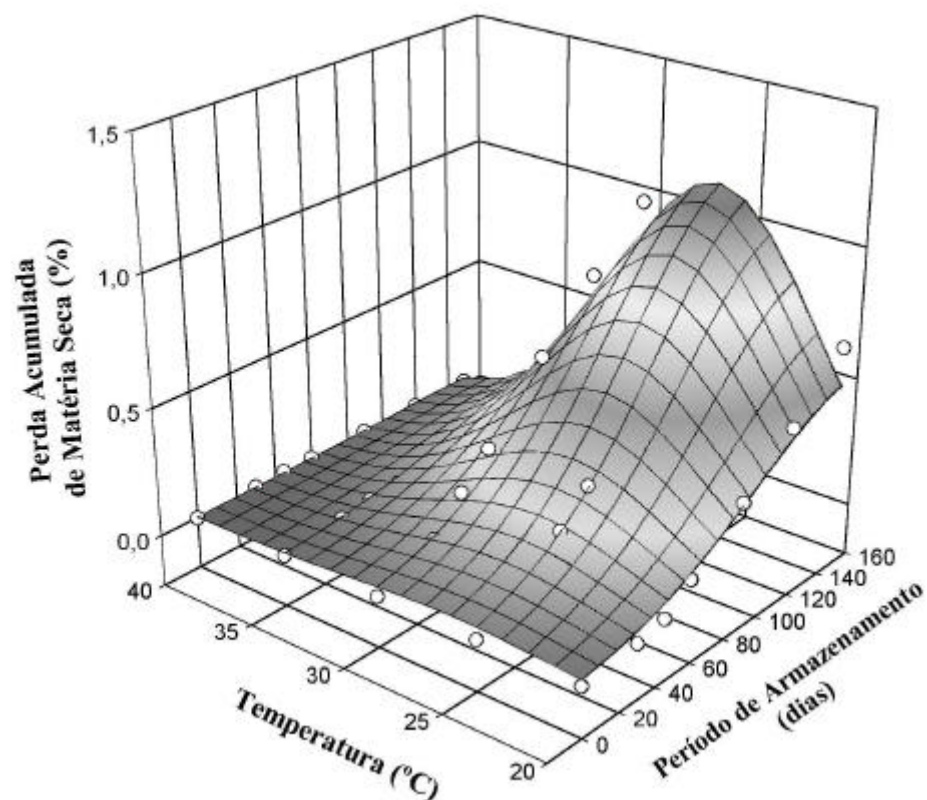
Figura 16 – Perda acumulada de matéria seca (%) dos grãos de milho, ao longo do armazenamento, na ausência do inseto-praga.

De acordo com a equação de regressão apresentada na Figura 16, para a temperatura de 25 °C, 0,5% de perda de matéria seca ocorreria aos 630 dias, aproximadamente. Segundo SAUL e STEELE (1966) e STEELE et al. (1969), o tempo máximo que uma massa de grãos pode ficar armazenada deve ocorrer antes que 0,5% de sua matéria seca seja consumida, podendo ser calculado pela equação 2. Considerando-se uma porcentagem de danos mecânicos igual a 30%, teor de umidade igual a 15% e temperatura de 25 °C, obtêm-se, de acordo com STEELE et al. (1969), um tempo de armazenamento de 652,5 dias, aproximadamente. Vale ressaltar que os autores utilizaram grãos de milho com alto teor de umidade e não levaram em consideração o fenômeno de anaerobiose. GUPTA et al. (1998) estudaram as relações entre a perda de matéria seca e a qualidade dos grãos de milho em diferentes teores de umidade e danos mecânicos. Esses autores verificaram que o produto com 18% de umidade pode apresentar perda de matéria seca superior a 1%, para grãos isentos de danos mecânicos, e ainda ser considerado de qualidade aceitável. Elevando-se o teor de umidade para 22%, com o mesmo nível de dano mecânico, a perda de matéria seca não pode ser maior que 0,25%, mantendo assim, um produto final dentro do padrão de qualidade exigido pelo mercado.

#### **4.5. Perda de matéria seca dos grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais***

Na Figura 17, são mostrados os valores acumulados da perda de matéria seca ao longo do armazenamento, na presença do inseto-praga. Observa-se que as maiores médias foram obtidas para os grãos armazenados a 20, 25 e 30 °C, seguindo a mesma tendência dos valores acumulados pela produção de CO<sub>2</sub>. Pode-se verificar ainda, que os valores acumulados da perda de matéria seca na presença do inseto-praga são superiores aos encontrados para os grãos acondicionados na ausência da praga (1% de perda para os grãos acondicionados na presença da praga a 25 °C, contra 0,12% de perda para os acondicionados na ausência da praga, aos 150 dias de armazenamento). Ressalte-se que a injúria que

o inseto-praga causa aos grãos acelera seu metabolismo, o que gera um aumento na sua taxa respiratória (KAYS, 1991). Conseqüentemente, ocorrerá maior perda de matéria seca deste grão. As menores perdas de matéria seca, como era de se esperar, ocorreram nos grãos armazenados nas temperaturas de 35 e 40 °C. Esses valores foram superiores aos dos grãos armazenados na ausência do inseto-praga, nestas mesmas temperaturas.



$$PMS = 1,1529 * e^{-0,5 * \left[ \left( \frac{X - 162,2418}{64,1858} \right)^2 + \left( \frac{Y - 26,301}{4,9828} \right)^2 \right]}$$

(R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = 0,94; P < 0,0001; F = 131,23; GL<sub>res.</sub> = 30)

em que

*PMS* = Perda de Matéria Seca, %;

*X* = Período de Armazenamento, dias;

*Y* = Temperatura, °C.

Figura 17 – Perda acumulada de matéria seca (%) dos grãos de milho, ao longo do armazenamento, na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.

De acordo com a equação de regressão apresentada na Figura 17, para a temperatura de 25 °C, 0,5% de perda de matéria seca, devido somente à respiração dos grãos, ocorreu aos 81 dias, aproximadamente. Ao comparar este resultado com o obtido na ausência do inseto-praga (630 dias), verifica-se o quanto a presença da praga nos grãos se torna indesejável. É importante ressaltar que no trabalho realizado por STEELE et al. (1969) não foi levado em consideração a presença de inseto-praga na massa de grãos de milho. No presente trabalho esta preocupação foi muito relevante, visto que em condições tropicais os insetos assumem particular importância, principalmente porque nas condições brasileiras a maioria dos grãos já vêm infestados do campo.

#### **4.6. Condutividade elétrica da solução que contem os grãos de milho**

O resumo da análise de variância da condutividade elétrica dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na ausência e na presença do inseto-praga *S. zeamais*, é apresentado no Quadro 7A do apêndice. Os resultados indicam, pelo teste de F a 1% de probabilidade, que houve efeito significativo da presença do inseto-praga sobre a condutividade elétrica da solução que contem os grãos de milho.

Os valores médios da condutividade elétrica da solução que contem os grãos armazenados, na ausência e na presença do inseto-praga, são apresentados no Quadro 6. Os resultados obtidos indicam maior perda de qualidade nos grãos armazenados na presença do inseto, pois a maior média de condutividade elétrica da solução (19,66  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de matéria seca) foi obtida nesta condição. Uma justificativa para isso é que o inseto-praga *Sitophilus zeamais*, por ser praga primária, tem a capacidade de romper um grão intacto e conseqüentemente danificar seu tegumento. Os grãos que foram danificados liberam mais íons para a solução aquosa pela lixiviação de eletrólitos dos tecidos dos grãos para a solução em que este foi imerso (VIEIRA, 1994).

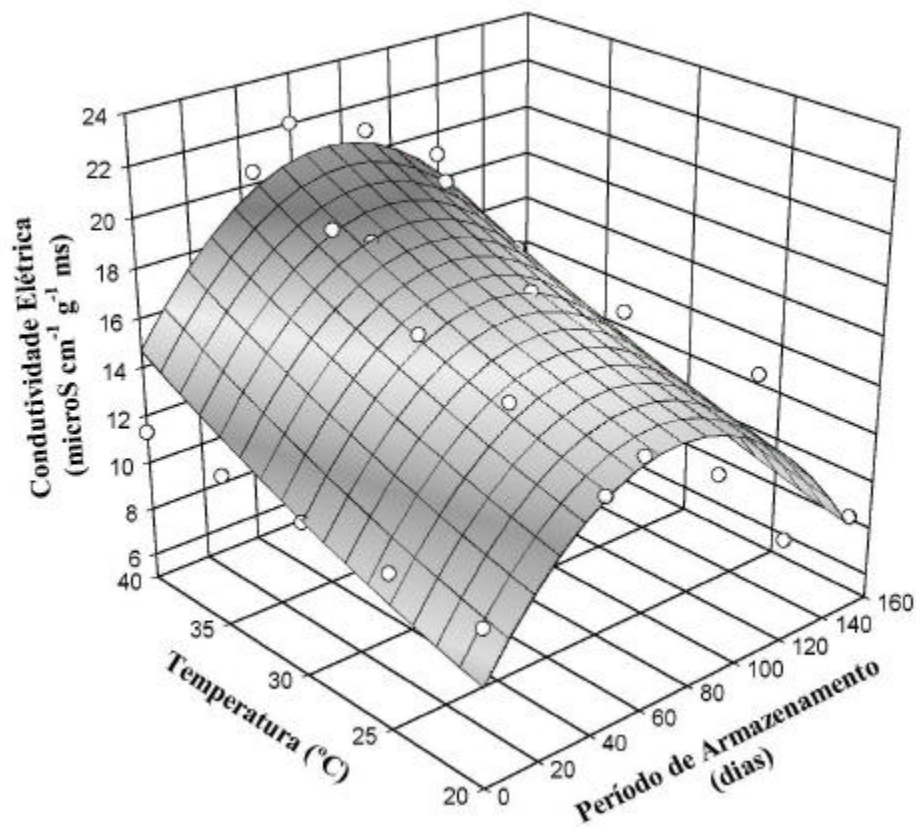
Quadro 6 - Valores médios de condutividade elétrica da solução ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  matéria seca) que contem os grãos de milho armazenados na ausência e na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais*

Grãos de milho	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ ms}$ )
Presença do inseto-praga	19,66 A
Ausência do inseto-praga	14,88 B

As médias seguidas de letras diferentes, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O resumo da análise de variância da condutividade elétrica dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga *S. zeamais*, é apresentado no Quadro 8A do apêndice. Os resultados indicam, pelo teste de F a 1% de probabilidade, que houve efeito significativo da temperatura, do período de armazenamento e da interação temperatura x período de armazenamento, sobre a condutividade elétrica da solução que contem os grãos de milho.

Na Figura 18, são apresentados os valores médios de condutividade elétrica da solução que contem os grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga. Verifica-se que os resultados obtidos de condutividade elétrica para os grãos armazenados na ausência do inseto-praga *S. zeamais*, indicam que a medida em que a temperatura do ar aumenta, ocorre maior perda de qualidade fisiológica dos grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por AFONSO JUNIOR (1997), em estudos com sementes de feijão da variedade “Ouro Negro”. De acordo com este autor, o aumento da temperatura do ar de secagem associado ao aumento do teor de umidade de colheita resultam em maior condutividade elétrica da solução.



$$CE = 4,4327 + 0,1604 * X + 0,1855 * Y - 0,0011 * X^2 + 0,0017 * Y^2$$

$$(R^2_{aj.} = 0,74; P < 0,0001; F = 109,40; GL_{res.} = 145)$$

em que

$CE$  = Condutividade Elétrica da Solução,  $\mu S \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ;

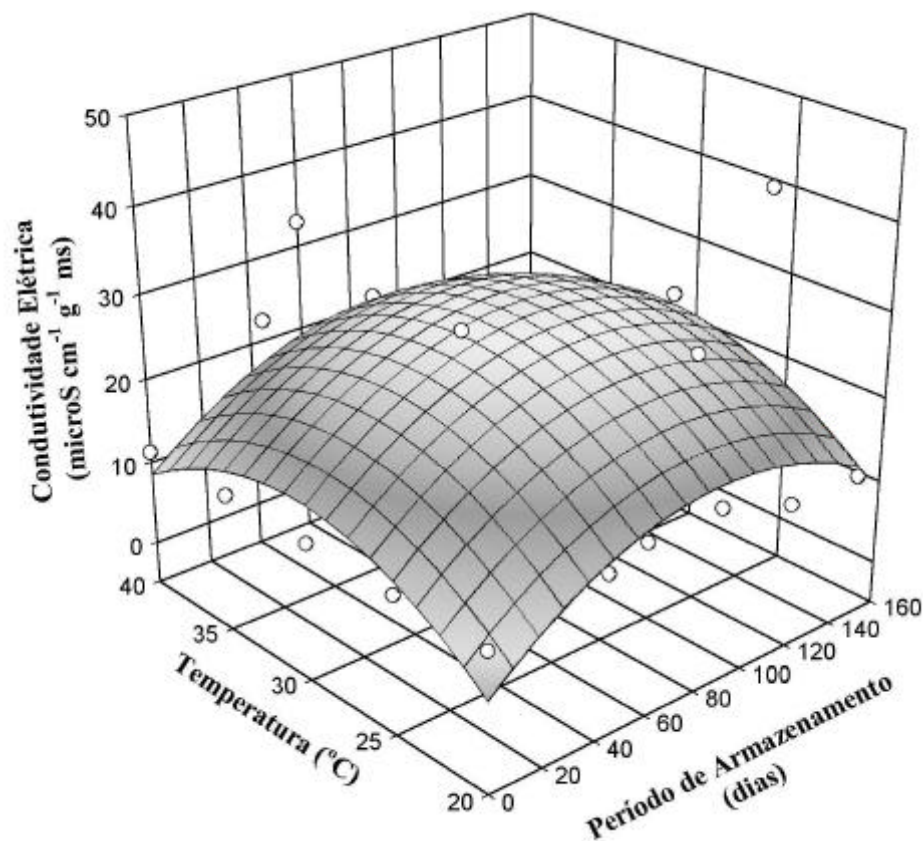
$X$  = Período de Armazenamento, dias;

$Y$  = Temperatura,  $^{\circ}C$ .

Figura 18 – Valores médios de condutividade elétrica da solução ( $\mu S \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  matéria seca) que contem os grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.

O resumo da análise de variância da condutividade elétrica dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga *S. zeamais*, é apresentado no Quadro 9A do apêndice. Os resultados indicam, pelo teste de F a 1% de probabilidade, que houve efeito significativo da temperatura, do período de armazenamento e da interação temperatura x período de armazenamento, sobre a condutividade elétrica da solução que contem os grãos de milho.

Na Figura 19 apresentam-se os valores médios de condutividade elétrica obtidos para os grãos armazenados na presença do inseto-praga *S. zeamais*. Verifica-se que o aumento da temperatura do ar influenciou no incremento da condutividade elétrica dos grãos de milho até aproximadamente os 60 dias de armazenamento. Depois desse período, a presença do inseto teve, aparentemente, uma maior influência. Observa-se, ainda, que a presença de inseto-praga contribui de forma significativa para o aumento médio da condutividade elétrica, principalmente para os grãos armazenados nas temperaturas de 25 e 30 °C. Tal fato pode ser explicado pela Figura 9, onde se verifica que as maiores taxas de crescimento populacional do inseto-praga ocorreram nestas mesmas temperaturas. Em função do maior número de insetos, ocorreu maior perda de qualidade fisiológica dos grãos. Os grãos armazenados a 30 °C na presença do inseto-praga *S. zeamais* (M.), aos 90 dias de armazenamento, apresentaram a maior média de condutividade elétrica, 55,12  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  matéria seca, com um número total de 670 insetos.



$$CE = -56,4134 + 0,253 * X + 4,5811 * Y - 0,0014 * X^2 - 0,0735 * Y^2$$

$$(R^2_{aj.} = 0,26; P < 0,0001; F = 16,43; GL_{res.} = 170)$$

em que

$CE$  = Condutividade Elétrica da Solução,  $\mu S \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ;

$X$  = Período de Armazenamento, dias;

$Y$  = Temperatura,  $^{\circ}C$ .

Figura 19 – Valores médios de condutividade elétrica da solução ( $\mu S \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  matéria seca) que contem os grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga *Sitophilus zeamais*.



De acordo com resultados de alguns autores (GODINHO et al., 2000; COELHO et al., 2001; ARÊDES et al., 2002), a tendência ao longo do armazenamento seria de os grãos apresentarem aumento nos valores de condutividade elétrica da solução. Nas condições em que este trabalho foi desenvolvido, verificou-se ainda pela Figura 18 e 19, que durante o período de armazenamento na ausência ou presença do inseto-praga *S. zeamais*, a condutividade elétrica aumentou apenas até os 90 dias de armazenamento, tendo havido uma redução após este período (com exceção para os grãos acondicionados nas temperaturas de 25 e 30 °C, na presença do inseto-praga). Uma possível explicação para tal fato se deve à redução do teor de umidade dos grãos ao longo do armazenamento, que pode ser verificada pelas Figuras 7 e 8. Apesar de os valores de condutividade elétrica levarem em consideração a massa seca do produto, observa-se que o teor de umidade pode ter influência nesta variável.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Neste experimento, foram utilizados grãos de milho (*Zea mays* L.) da variedade BRS 3060, provenientes da EMBRAPA/CNPMS, localizada na cidade de Sete Lagoas-MG, colhidos com teor de umidade em torno de 14,5% b.u., por uma colhedora mecânica Massey Ferguson 34. As análises desses grãos foram realizadas no Laboratório de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, MG, com os objetivos de avaliar a deterioração dos grãos de milho provocada pela perda de matéria seca, sob diferentes condições de armazenamento e quantificar a perda de matéria seca dos grãos de milho armazenados e infestados ou não com *Sitophilus zeamais*, em diferentes condições de temperatura do ar ambiente, através da determinação da taxa respiratória pela produção de CO<sub>2</sub>.

Após a colheita, os grãos foram armazenados a uma temperatura de 10 °C até o início do experimento, com o intuito de reduzir a taxa respiratória dos grãos, minimizando, assim, a perda de matéria seca. Logo em seguida, os grãos infestados ou não com o inseto-praga na proporção de 10 insetos por quilo de produto foram armazenados dentro de recipientes que permitiam a troca gasosa. Estes, então, foram colocados em câmara do tipo BOD nas temperaturas de 20, 25, 30, 35 e 40 °C. Para a determinação da produção de CO<sub>2</sub> e conseqüente perda de matéria seca, nos intervalos de zero, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 dias os grãos de

cada tratamento foram distribuídos em frascos de vidro, com volume igual a 800 mL, e mantidos hermeticamente fechados por 24 horas. Após este intervalo, 5 mL de ar intergranular foi removido do interior dos frascos e injetado em um analisador de fluxo segmentado com detecção condutimétrica. Através da leitura obtida, da porosidade da massa de grãos, da curva padrão do sistema e da equação dos gases perfeitos foram determinadas a taxa respiratória e a perda de matéria seca dos grãos de milho. Para avaliação da qualidade do milho armazenado utilizou-se o teste de condutividade elétrica da solução contendo os grãos. Neste teste, 50 grãos foram pesados e colocados em recipientes com 75 mL de água deionizada por 24 horas em câmara climática a 25 °C, utilizando-se nove repetições por tratamento.

A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos nas condições específicas deste trabalho permitiram concluir que:

- O sistema em uso (analisador em fluxo bissegmentado) forneceu dados que permitiram o acompanhamento da taxa respiratória dos grãos e mostrou ser sensível para tal;
- A umidade dos grãos e a temperatura de armazenamento influenciam diretamente na taxa respiratória;
- O máximo tempo que os grãos precisam ficar hermeticamente fechados, para se determinar a produção de CO<sub>2</sub> e conseqüente perda de matéria seca durante o armazenamento, é de 24 horas;
- A taxa respiratória dos grãos na ausência do inseto-praga se manteve discreta ao longo do armazenamento, enquanto que na presença deles aumentou cerca de 10 e 15 vezes em apenas 30 dias para as temperaturas de 25 e 30 °C, respectivamente;
- As maiores taxas respiratórias foram observadas para os grãos armazenados nas condições em que o inseto-praga se desenvolveu, ou seja, para as temperaturas de 20, 25 e 30 °C;
- As maiores perdas de matéria seca devido a respiração dos grãos foram obtidas também nas condições em que o inseto-praga se desenvolveu;

- Pode existir uma relação entre a perda de qualidade e taxa respiratória dos grãos, pois foi exatamente nas temperaturas em que os insetos melhor se desenvolveram (25 e 30 °C) é que se obteve as maiores médias de condutividade elétrica e as maiores produções de CO<sub>2</sub>;
- A condutividade elétrica da solução que contém os grãos aumenta com o período de armazenamento, com a elevação da temperatura ambiente e com a presença de inseto-praga, mostrando que está ocorrendo maior perda de qualidade do produto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 384p. (Tese de Doutorado)

ARÊDES, E. M., FARONI, L.R A., CORRÊA, P. C., QUEIROZ, M. E. L. R., CECON, P. R., GONELI, A. L. D. Avaliação das perdas de matéria seca e de qualidade do café (*Coffea arabica* L.) beneficiado e armazenado em importantes municípios produtores da zona da mata mineira e em Alegre-ES. **Rev. Bras. Armaz.**, Viçosa, MG, v.especial café, n.5, p.44-54. 2002.

AL-YAHYA, S. A., BERN, C. J., MISRA, M. K., BAILEY, T. B. Carbon dioxide evolution of fungicide-treated high-moisture corn. **Transactions of the ASAE**, v.36, n.5, p.1417-1422. 1993.

BAILEY, C. H., GURJAR, A. M. Respiration of stored wheat. **Journal of Agriculture Research**, v.12, n. 11, p.685-713, 1918.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Quadro 2 - Estimativa de produção de grãos para 2003**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/estimativa>>. Acesso em: 24 jan. 2003.

BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.

CALEGARIO, F. F., COSSO, R. G., ALMEIDA, F. V., VERCESI, A. E., JARDIM, W. F. Determination of the respiration rate of tomato fruit using flow analysis. **Postharvest Biology and Technology**, v.22, p.249-256. 2001.

CARVALHO, N. M., NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Fund. Cargill, Campinas, 1983. 429p.

CHAMP, B. R. Occurrence of resistance to pesticides in grain storage pests. In: CHAMP, B. R., HIGHLEY, E. (Eds.). **Pesticides and humid tropical grain storage systems**. Camberra, Austrália: ACIAR. 1985.

COELHO, K. F., PEREIRA, R. G. F. A., VILELA, E. R. Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. **Rev. Bras. Armaz.**, Viçosa, MG, v.especial café, n.2, 22-27, 2001.

COTTON, R. T., WILBOR, D. A. Insects. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, Minnesota, A.O.C.S., p.281-318, 1982.

DOBIE, P., HAINES, C. P., HODGES, R. J., PREVETT, P. F. **Insect and arachnidsof stored products, their biology and identification: a training manual**. UK, Tropical Development and Research Institute, 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo. **Híbrido triplo de milho BRS 3060**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/br3060.html>>. Acesso em: 08 jan. 2004.

EVANS, D. E. The biology of stored products Coleoptera. In: **Proc. Aust. Dev. Asst.** Course on Preservation of Stored Cereals, 1981, p.149-185.

FERNANDEZ, A., STROSHINE, R., TUIITE, J. Mold growth and carbon dioxide production during storage of high-moisture corn. **Cereal Chem.**, v.62, n.2, p.137-143, 1985.

FIELDS, P.G. The control of stored-product insects and mites with extreme temperature. **J. Stored Prod. Res.**, v.28, p.89-118, 1992.

FRIDAY, D. C., TUIITE, J., STROSHINE, R. Effect of hybrid and physical damage on mold development and carbon dioxide production during storage of high moisture shelled corn. **Cereal Chem.**, v.66, n.4, p.422-426, 1989.

GODINHO, R. P., VILELA, E. R., OLIVEIRA, G. A., CHAGAS, S. J. R. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Rev. Bras. Armaz.**, Viçosa, MG, v.especial café, n.1, p.38-43, 2000.

GUPTA, P., WILCKE, W. F., MOREY, R. V., MERONUCK, R. A. Effect of dry matter loss on corn quality. **1998 ASAE Annual International Meeting**. Paper n.º 986042.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. Published by Van Nostrand Reinhold, New York: 1991, 532p.

MILNER, M., GUEDES, W. F. Grain storage studies II. The effect of aeration, temperature and time on the respiration of soybeans containing excessive moisture. **Cereal Chem.** v.22: p.484-501. 1954.

MONTROSS, J. E., MONTROSS, M. D., BAKKER-ARKEMA, F. W. Grain Storage. In: BAKKER-ARKEMA, F. W. (Ed.). **CIGR handbook of agricultural engineering**. St. Joseph: ASAE, 1999. v.4, p.46-59.

MOSHENIN, N. N. Physical characteristics. In: **Physical properties of plant and animal materials**. Gordon and Breach, Science Publishers Ltd., London, p.51-87, 1970.

NG, H. F., MOREY, R. V., WILCKE, W. F., MERONUCK, R. A., LANG, J. P. Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. **Transaction of the ASAE**, v.38, n.4, p.1139-1145, 1995.

NG, H. F., WILCKE, W. F., MOREY, R. V., MERONUCK, R. A., LANG, J. P. Mechanical damage and corn storability. **Transactions of the ASAE**, v.41, n.4, p.1095-1100, 1998.

PEDERSEN, J. R. Insects: Identification, damage and detection. In: SAUER, D. B. (Ed.). **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, MN: AACC. 1992.

SAUER, D. B. **Storage of cereal grains and their products**. Fourth Edition, St. Paul, MN, USA, 1992.

SAUL, R. A., LIND, E. F. Maximum time for safe drying of grain with unheated air. **Transactions of the ASAE**, v.1, n.1, p.29-33, 1958.

SAUL, R. A., STEELE, J. L. Why damage shelled corn costs more to dry. **Agricultural Engineering**, v.47, n.6, p.326-329, 1966.

SEITZ, L. M., SAUER, D. B., MOHR, H. E., ALDIS, D. F. Fungal growth and dry matter loss during bin storage of high-moisture corn. **Cereal Chem.**, v.59, n.1, p.9-14, 1982a.

SEITZ, L. M., SAUER, D. B., MOHR, H. E. Storage of high-moisture corn: fungal growth and dry matter loss. **Cereal Chem.**, v.59, n.2, p.100-105, 1982b.

SHENK, AL. Integral. In: **Cálculo e Geometria analítica**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, p.153-211. 1984.

SILVA,M.C.H.; PASQUINI,C. Determination of gaseus by monosegmented flow systems. Volumetric determination of oxygen and carbon dioxide. **Analytica Chimica Acta**, v.349, p.377-384, 1997.

SILVA,M.C.H.; PASQUINI,C. Bisegmented flow system for determination of low concentrations. **Analytica Chimica Acta**, v.393, p.121-129, 1999.

SILVA, M. C. H., ROHWEDDER, J. J. R., PASQUINI, C. Determination of CO<sub>2</sub> in gaseous samples using a monosegmented flow system and conductimetric detection. **Analytica Chimica Acta**, v.366, p.223-229, 1998.

SINHA, R. N. Interrelations of physical, chemical and biological variables in the deterioration of stored grains. In: SINHA, R. N., MUIR, W. E. (Eds.). **Grain storage: part of system**. Westport, 1973. p. 15-47.

SONE, J. Carbon dioxide production in stored maize as affected by moisture content, level of broken corn and foreign materials and infestation by *Sitophilus zeamais* (M.). **J. Asia-Pacific Entomol.** v.2, n.2, p.133-141. 1999.

SPRAGG, S. P., YEMM, E. W. Respiratory mechanism and the change of glutathione and ascorbic acid in germinating peas. **J. Exp. Bot.**, Oxford, v.10, p.409. 1959.

STEELE, J. L., SAUL, R. A., HUKILL, W.V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. **Transaction of the ASAE**, v.12, n.1, p.685-689, 1969.

SYMANSKI, J. S., MARTINCHEK, G. A., BRUCKENSTEIN, S. Conductometric sensor for atmospheric carbon dioxide determination. **Anal. Chem.**, 55, p.1152-1156, 1983.

THOMPSON, T. L. Temporary storage of high-moisture shelled corn using continuous aeration. **Transaction of the ASAE**, v.15, n.2, p.333-337, 1972.

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP; UNESP, 1994. p. 103-132.

WHITE, N.D.G., SINHA, R.N., MUIR, W.E. Intergranular carbon dioxide as indicator of deterioration in stored rapeseed. **Can. Agric. Eng.**, v.24, n.1, p.43-49. 1982.

WILCKE, W. F., MERONUCK, R. A., MOREY, R. V., NG, H. F., LANG, J. P., JIANG, D. Storage life of shelled corn treated with a fungicide. **Transactions of the ASAE**, v.36, n.6, p.1847-1854, 1993.



WILCKE, W.F., GUPTA, P., MOREY, R.V., MERONUCK, R. A. Effect of changing temperature on deterioration of shelled corn. **1998 ASAE Annual International Meeting**. Paper n.º 986041.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE

Quadro 1A - Resumo da análise de variância do teor de umidade dos grãos de milho armazenados na presença e ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Tratamento (presença e ausência da praga)	1	1,755 <sup>n.s.</sup>
Resíduo	208	1,760
CV	-	10,106

<sup>n.s.</sup> Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 2A - Resumo da análise de variância do teor de umidade dos grãos armazenados em diferentes temperaturas e na ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Período de Armazenamento (P)	6	9,615**
Temperatura de Armazenamento (T)	4	23,007**
P x T	24	0,827**
Resíduo	70	0,012
CV	-	0,830

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 3A - Resumo da análise de variância do teor de umidade dos grãos armazenados em diferentes temperaturas e na presença do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Período de Armazenamento (P)	6	7,732**
Temperatura de Armazenamento (T)	4	26,997**
P x T	24	1,677**
Resíduo	70	0,016
CV	-	0,965

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 4A - Resumo da análise de variância da taxa respiratória dos grãos armazenados em diferentes temperaturas e na ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Período de Armazenamento (P)	6	5,979**
Temperatura de Armazenamento (T)	4	260,175**
P x T	24	18,876**
Resíduo	65	0,432
CV	-	19,809

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 5A - Resumo da análise de variância da taxa respiratória dos grãos armazenados em diferentes temperaturas e na ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Período de Armazenamento (P)	6	7867,117**
Temperatura de Armazenamento (T)	4	38845,52**
P x T	24	2167,164**
Resíduo	64	7,7854
CV	-	5,607

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 6A - Resumo da análise de variância da taxa respiratória dos grãos armazenados na presença e ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Tratamento (presença e ausência da praga)	1	107326,6**
Resíduo	197	1289,865
CV	-	135,906

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 7A - Resumo da análise de variância da condutividade elétrica dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na ausência e na presença do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Tratamento (presença e ausência da praga)	1	2047,794**
Resíduo	356	60,4487
CV	-	45,022

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 8A - Resumo da análise de variância da condutividade elétrica dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na ausência do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Período de Armazenamento (P)	5	257,0815**
Temperatura de Armazenamento (T)	4	193,5905**
P x T	20	16,0683**
Resíduo	149	4,4448
CV	-	14,171

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 9A - Resumo da análise de variância da condutividade elétrica dos grãos armazenados em diferentes temperaturas, na presença do inseto-praga *S. zeamais*

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios
Período de Armazenamento (P)	5	806,9181**
Temperatura de Armazenamento (T)	4	991,8406**
P x T	20	432,9129**
Resíduo	149	12,1243
CV	-	17,71

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.