



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROINDUSTRIAL**

**EFEITOS DA UMIDADE E DO SISTEMA DE
ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE INDUSTRIAL DE
GRÃOS DE AVEIA**

GALILEU RUPOLLO
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, como parte das exigências do Programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
Fevereiro de 2003

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

R945e Rupollo, Galileu

Efeitos da umidade e do sistema de armazenamento na qualidade industrial de grãos de aveia / Galileu Rupollo ; orientador Moacir Cardoso Elias . – Pelotas, 2003. – 80f. : il. Dissertação (Mestrado). Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas,. Pelotas, 2003.

1. Aveia 2. Umidade 3. Armazenamento 4. Micotoxina 5. Qualidade industrial I .Elias, Moacir Cardoso (orientador) II .Título.

CDD 633.13

GALILEU RUPOLLO

Engenheiro Agrônomo

**EFEITOS DA UMIDADE E DO SISTEMA DE
ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE INDUSTRIAL DE
GRÃOS DE AVEIA**

COMISSÃO ORIENTADORA:

ORIENTADOR: prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski

APROVADA: 19 de fevereiro de 2003

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias - UFPel/FAEM/DCTA

Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski - UPF/FAMV/CEPA

Prof. Dr. Fernando Irajá Felix de Carvalho - UFPel/FAEM

Prof. Dr. Manoel Luiz Brenner de Moraes - UFPel/FAEM/DER

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais, Valdir e Alice, pelo apoio e a minha noiva Sandra pelo amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador deste trabalho Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias pela orientação e amizade.

Ao co-orientador Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski pela orientação, paciência, estímulo e amizade, e aos seus filhos e esposa Ivone pelo carinho e presteza.

Aos funcionários e professores do departamento de ciência e Tecnologia Agroindustrial da Universidade Federal de Pelotas pelas contribuições e ajuda prestada.

Aos colegas de mestrado, especialmente aos amigos Iure Martins, Leomar H. da Silva, Leonor Marini, Vandeir Conrad Adriana Corrent e Fausto Ferreira pela bela convivência e sincera amizade.

Aos estagiários e bolsistas do Laboratório de Grãos, especialmente aos amigos Elvio, Lírio, Maurício, Flavio, Lucas e Marcos.

Ao amigo e colega José Antônio Gonzales da Silva pelo apoio nas análises estatísticas.

Aos amigos Riordon, Cleber, José, Alexandre, Evâneo e Elvio que em períodos distintos fizeram parte do meu cotidiano.

Ao professor Marcelo pelo auxílio na revisão do resumo em inglês.

À aluna de iniciação científica Elisa dos Santos, pelo auxílio prestado.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-graduação.

A Universidade de Passo Fundo pela oportunidade de realização de parte do trabalho experimental.

Ao Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento do projeto (processo 477856/01).

À família pelo apoio e carinho recebido durante o andamento deste trabalho. A todos da minha família, em especial a minha noiva Sandra Charão e sua família, pelo estímulo, amor e confiança.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO GERAL.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. IMPORTÂNCIA, CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E	
COMPOSIÇÃO DOS GRÃOS DE AVEIA.....	3
2.2. COLHEITA E SECAGEM.....	8
2.3. ARMAZENAMENTO.....	12
2.4. MICOTOXINAS.....	15
3. METODOLOGIA GERAL.....	22
4. ESTUDO 1.....	26
UMIDADE E PERÍODO DE ARMAZENAMENTO HERMÉTICO SOBRE A	
INCIDÊNCIA DE FUNGOS E A CONTAMINAÇÃO POR MICOTOXINAS EM	26
GRÃOS DE AVEIA.....	
4.1. INTRODUÇÃO.....	26
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.4. CONCLUSÕES.....	42
5. ESTUDO 2	44
SISTEMA DE ARMAZENAMENTOS HERMÉTICO E CONVENCIONAL NA	
CONSERVABILIDADE DE GRÃOS DE AVEIA (<i>Avena sativa L</i>).....	44
5.1. INTRODUÇÃO.....	44
5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.4. CONCLUSÕES.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
7. ANEXOS.....	77

LISTA DE TABELAS

ESTUDO 1

TABELA 1.1 Composição centesimal de grãos de aveia da cultivar UPF 18	33
TABELA 1.2. Composição em ácidos graxos do extrato etéreo de grãos de aveia da cultivar UPF 18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos zero, dois e doze meses ¹	34
TABELA 1.3. Ocorrência fúngica (%) em grãos aveia da cultivar UPF 18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos zero, três, seis, nove, e doze meses	36
TABELA 1.4. Incidência fúngica (%) em grãos aveia da cultivar UPF 18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos zero, três, seis, nove, e doze meses	37
TABELA 1.5. Resultados da incidência fúngica dos gêneros <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Fusarium</i> e outros fungos quanto as umidades e meses de armazenamento hermético ¹	39
TABELA 1.6 Concentração de micotoxinas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) em grãos aveia da cultivar UPF-18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos dois e doze meses	40
TABELA 1.7 Minerais em grãos aveia, UPF-18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades durante doze meses	43

ESTUDO 2

TABELA 2.1 Umidade (%) em grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses	52
TABELA 2.2. Acidez do extrato etéreo ($\text{mg de KOH.100g}^{-1}$ de matéria seca) em grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses	54
TABELA 2.3. Composição em ácidos graxos do óleo de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, dois e doze meses	55
TABELA 2.4 Valores dos componentes L*(luminosidade), -a* (verde), b* (amarelo) do sistema CIELAB de cor de farinha de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por seis meses	56
TABELA 05. Número de queda (segundos) da farinha de grãos de aveia, cultivar UPF18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por dois meses.	58
TABELA 2.6 Atividade residual das enzimas lipase e peroxidase na farinha de grãos de aveia, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por dez meses ¹	58

TABELA 2.8 Germinação (%) de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses	60
TABELA 2.9 Vigor (%) de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses	60
TABELA 2.10 Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses	61
TABELA 2.11 Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses	62
TABELA 2.12 Resultados de análise de média de umidade, extrato etéreo, acidez do extrato etéreo, incidência fúngica, germinação e vigor quanto as umidades, meses de armazenamento e sistema de armazenamento	63

LISTA DE FIGURAS

ESTUDO 1

FIGURA 1.1 Latas utilizadas no armazenamento hermético.	31
FIGURA 1.2. Coloração de grãos aveia, cultivar UPF18, armazenados durante doze meses pelo sistema hermético, em cinco umidades.	38
FIGURA 1.3 Concentração de CO ₂ (% ou KPa) na atmosfera intergranular de grãos de aveia, cultivar UPF 18, aos dois e doze meses de armazenamento hermético com cinco umidades.	42

ESTUDO 2

FIGURA 2.1 Extrato etéreo (% base seca) de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três diferentes nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses.	53
FIGURA 2.2 Curvas viscoamilográficas de aveia, cultivar UPF 18, armazenada pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por dois meses.	57

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AUTOR: Engenheiro Agrônomo Galileu Rupollo

TÍTULO: Efeitos da Umidade e do Sistema de Armazenamento na Qualidade Industrial de Grãos de Aveia

ORIENTADOR: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski

Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial–DCTA–UFPEL–Fevereiro - 2003

RESUMO

Com o trabalho, objetivou-se testar a eficiência da secagem estacionária com ar pouco aquecido e a influência da umidade nos sistemas hermético e convencional durante doze meses de armazenamento, com vistas a indicar parâmetros de manutenção de qualidade para grãos de aveia branca (*Avena sativa* L). Foram utilizados grãos da cultivar UPF 18, produzidos no Centro Agropecuário da Palma, UFPEL, Capão do Leão, RS, safra agrícola de 2001 e avaliados quanto a umidade, composição centesimal, acidez do extrato etéreo, ácidos graxos, viscosidade, coloração, número de queda, atividade residual das enzimas lipase e peroxidase, germinação, vigor, contaminação fúngica, ocorrência de micotoxinas e a concentração de CO₂ na atmosfera intergranular do armazenamento hermético. O trabalho foi dividido em dois estudos. No Estudo 1 foram avaliados parâmetros de conservabilidade no sistema hermético de armazenamento por doze meses de grãos com 9, 12, 15, 18 e 21% de umidade. No Estudo 2 foram comparados os sistemas de armazenamento convencional e hermético em grãos de aveia com 8, 11 e 14% de umidade. Conclui-se que: a) o armazenamento hermético de grãos de aveia, com umidade entre 9 e 21%, não favorece a produção de aflatoxinas (B₁, B₂, G₁ e G₂), ocratoxina A e nem zearalenona, pelo menos, durante doze meses, independentemente da umidade; b) a quantidade de CO₂ na atmosfera intergranular no armazenamento hermético tem comportamento linear e é diretamente proporcional à umidade e ao tempo de armazenamento; c) os fungos de campo diminuem a incidência ao longo do tempo de armazenamento hermético, independentemente da umidade dos grãos; d) o grau de umidade dos grãos influencia na incidência fúngica durante o armazenamento hermético, predominando os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* a 18% de umidade e do *Fusarium* a 21%; e) o aumento do tempo de armazenamento e da umidade dos grãos em valores superiores a 12% intensifica a redução dos conteúdos de ácidos graxos insaturados, com predominância de ação sobre o linoléico e o linolênico; f) a secagem estacionária, com ar pouco aquecido, é um método eficiente na conservação de grão de aveia; g) os sistemas de armazenamento hermético e convencional são eficientes para conservação de grãos de aveia com umidade de até 14%; h) no sistema convencional de armazenamento com períodos de até 12 meses, há equivalência conservativa em grãos armazenados com 8 e 11% de umidade; i) em sistema convencional de armazenamento de grãos de aveia por período superior a seis meses a umidade deve ser inferior a 14%; j) em sistema hermético de armazenamento, há equivalência conservativa de grãos de aveia armazenados por até 12 meses, com 8, 11 e 14% de umidade.

Palavras-chave: micotoxina, fungos, secagem, conservabilidade.

MASTER OF SCIENCE DISSERTATION

AUTHOR: Agronomist Engineer Galileu Rupollo

TITLE: Moisture and Storage System Effects on the Industrial Quality of Oat kernels

SUPERVISOR: Moacir Cardoso Elias, Dr.

CO-SUPERVISOR: Luiz Carlos Gutkoski, Dr.

Dept. of Agroindustrial Science and Tecnology – DCTA – UFPel – February - 2003

ABSTRACT

This work aimed at testing the efficiency of the stationary drying with slightly heated air and the influence of the moisture on the hermetic and conventional systems during a storage period of twelve months with the objective of indicating quality maintenance parameters for white oat kernels (*Avena sativa* L). Grains of the cultivar UPF 18 produced at the Agricultural Center of Palma UFPel, Capão do Leão, RS, agricultural cropping season of 2001 were used and evaluated according to the moisture, centesimal composition, fat acidity, fatty acids, viscosity, color, falling number, residual activity of peroxidase and lipase enzymes, germination, vigor, fungi contamination, mycotoxin occurrence, and the CO₂ concentration in the intergranular atmosphere of the hermetic storage. The work was divided into two studies. In Study 1 it was evaluated the conservability parameters in the storage hermetic system for twelve months of grains with a moisture percentage of 9, 12, 15, 18 e 21% respectively. In Study 2 the conventional and hermetic storage systems were compared in oat grains with moisture of 8, 11 e 14%. It was concluded that: a) the hermetic storage of oat grains with moisture between 9 and 21% does not favor the production of aflatoxins (B₁, B₂, G₁ e G₂), ocratoxin A and not even zearalenona, at least during the period of twelve months, independently of the moisture degree; b) the amount of CO₂ in the intergranular atmosphere in the hermetic storage has linear behavior and is directly proportional to the moisture and storage time. c) the field fungi decrease the incidence during the hermetic storage time, independently of the moisture of the grains; d) the moisture degree of the grains has influence on the fungi incidence during the hermetic storage, with predominance of the *Aspergillus e Penicillium* type, at a moisture level of 18%, and of the *Fusarium* at 21%; e) the increase of the storage time and moisture of the grains in values which are higher than 12% intensifies the reduction of nonsaturated fatty acids, with action predominance on the linoleic and linolenic; f) the stationary drying, with slightly heated air is an efficient method in the oat grain conservation; g) the hermetic and conventional systems are efficient for the conservation of oat grains with moisture of up to 14% ; h) in the conventional storage system with periods of up to 12 months there is a conservative equivalence in grains stored with 8 and 11% of moisture; i) in oat grains conventional storage system for a period superior to six months the moisture must be below 14%; j) in hermetic system there is a conservative equivalence of oat grains stored for up to 12 months with moisture of 8, 11 e 14%

Key-words: mycotoxin, fungi, drying, conservability.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção mundial de grãos de aveia (*Avena sativa* L) da safra 2000/2001 representou o equivalente a 100 milhões de toneladas. O Brasil produziu 330 mil, sendo o estado do Rio Grande do Sul responsável por 29% do total nacional, com rendimento médio de 1695 kg.ha⁻¹.

A cultura da aveia tem ganho importância devido as suas propriedades funcionais, pois as pessoas estão procurando nos alimentos mais do que uma simples fonte de energia e nutrientes essenciais. Isso favoreceu o surgimento de novas indústrias processadoras de aveia, requerendo mais conhecimento em toda a cadeia produtiva.

Considerando-se que as informações sobre colheita, sistemas de secagem e de manejo no armazenamento de grãos de aveia são limitadas no Brasil, e que para a manutenção da qualidade dos grãos na cadeia produtiva esses conhecimentos são fundamentais, é necessária a realização de maiores estudos a respeito.

A umidade do grão, o tempo e as condições de armazenamento são os principais fatores que agem sobre a qualidade do produto, aí incluindo o metabolismo do próprio grão, a ação de fungos e de outros organismos associados. Assim, o entendimento do comportamento higroscópico dos grãos durante o armazenamento, expresso através da variação da umidade, permite estabelecer de forma mais apropriada os padrões de conservabilidade da aveia.

Quanto à composição química, os grãos de aveia se caracterizam por apresentar forte tendência à rancidez, principalmente pela ação das enzimas lipases, produtoras de ácidos graxos livres, que são facilmente oxidados a hidroperóxidos, e, em reações posteriores, se transformam em uma grande variedade de compostos de baixo peso molecular, conferindo aos produtos da aveia aroma e sabor desagradáveis.

Para Kawamoto *et al.* (1991), grãos não danificados, armazenados em temperatura ambiente e com umidade abaixo de 12%, apresentam pequenas variações nos níveis de acidez do óleo, porém maiores valores de umidade e ou temperatura, bem como a ocorrência de danos na integridade física dos grãos são condições suficientes para a ação principalmente da lipase. A secagem da aveia em sistema estacionário produz poucos danos mecânicos e necessita pequeno consumo de energia e poucos

investimentos em estruturas de secagem. Este sistema também proporciona o armazenamento dos grãos na propriedade rural, com utilização da própria unidade secadora para essa finalidade.

Além da degradação química a que o grão de aveia está exposto sob a ação de certos gêneros de fungos, pode haver produção de micotoxinas, impedindo seu uso para o consumo humano e animal. É muito importante, portanto, a detecção no momento certo da deterioração por fungos em grãos armazenados e o emprego de medidas preventivas, que sejam eficientes e impedem significativas perdas nos grãos armazenados (Magan e Evans, 2000). Os diferentes fungos produtores de micotoxinas são encontrados em todas as regiões do mundo e podem crescer em uma grande variedade de substratos e sob várias condições de umidade, pH e temperatura. Desse modo, os grãos estão sujeitos à invasão por fungos e à contaminação com micotoxinas no campo, durante a colheita, no processamento, no transporte e na estocagem, quando em condições deficientes de manuseio.

Na aveia, ocratoxinas, citrinina, tricotecenos e zearalenona causam os maiores problemas (Sabino, 1999; Scussel, 2002) e os fungos micotoxigênicos envolvidos na cadeia alimentar humana pertencem basicamente aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* (Sweeney, 1998).

Com a finalidade de manter a qualidade do grão após a colheita contra a ação de microrganismos e outros fatores deterioradores do ecossistema existente, desenvolveu-se o presente trabalho de pesquisa que objetiva:

- Avaliar níveis de umidade nos sistemas de armazenamento hermético e convencional na qualidade industrial de grãos de aveia;
- Quantificar a incidência de fungos de campo e de armazenamento, bem como a ocorrência de micotoxinas em grãos de aveia;
- Definir parâmetros técnicos relacionados com a qualidade industrial em grãos de aveia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância, características anatômicas e composição dos grãos de aveia branca

A cultura da aveia (*Avena sativa* L) ocupa o sexto lugar na classificação da produção mundial de cereais. Os países que mais produzem são os Estados Unidos, Rússia e Canadá (FAO, 2002).

A produção de grãos de aveia aumentou no Brasil de 39 mil toneladas em 1976 para 350 mil toneladas em 2000/2001 (FAO, 2002), o que representa um crescimento de 897%, sendo que o Rio Grande do Sul e o Paraná são os estados que mais produzem, seguidos por Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Este aumento da oferta interna de grãos eliminou a necessidade de importação deste cereal. Além do aumento da disponibilidade interna, também houve uma melhoria na qualidade industrial dos grãos produzidos em termos de aumento do peso hectolitro, maior tamanho dos grãos e menor porcentagem de casca (Floss, 2002).

Os grãos de aveia são usados, principalmente, no arração animal, sendo o restante usado para consumo humano e como matéria prima industrial, para a produção de cosméticos (Gutkoski, 1996).

A demanda de aveia no Brasil também tem crescido nos últimos anos, tanto para consumo humano quanto para ração animal. Cerca de 45 mil toneladas por ano de grãos de boa qualidade são processados pelas indústrias de aveia, produzindo os produtos primários que são a farinha, os flocos e o farelo de aveia. O número de indústrias de processamento de grãos de aveia para consumo humano vem aumentando significativamente no Brasil (Gutkoski e Pedó, 2000).

A organização morfológica e química do grão de aveia foi descrita por vários autores (Betchel e Pomeranz, 1981; Fulcher, 1986; Hosney, 1990). As cariopses dos grãos de aveia se desenvolvem dentro de coberturas florais que, na realidade, são folhas modificadas. Estas coberturas envolvem as cariopses tão firmemente que permanecem aderidas a elas após a colheita e se constituem na casca dos grãos de aveia (Hosney, 1990).

A cariopse representa em torno de 65-70% do grão, enquanto as cascas, os restantes 30-35%. A proporção entre cariopse e cascas é influenciada pelas condições ambientais e pelos genótipos. Youngs (1972) encontrou um rendimento industrial entre

68,2 e 76,4% e peso de mil cariopses variando entre 18,7 e 22,7g, em sete genótipos de aveia cultivados nas mesmas condições de ambiente.

A cariopse do grão de aveia apresenta cor e tamanho variável, formato fusiforme e as extremidades pontiagudas. Está encoberta por numerosos pelos ou tricomas. Em uma das extremidades, encontra-se o germe e, na outra pelos cabelos finos. A reentrância ou *crease* está localizada no lado oposto do embrião e se estende por todo o comprimento da cariopse (Betchel e Pomeranz, 1981).

O endosperma é composto pela camada de aleurona e pelo endosperma amiláceo. O endosperma é composto de grande quantidade de células amiláceas e contribui com 55,8-68,3% do peso total da cariopse (Betchel e Pomeranz, 1981). As células da camada de aleurona secretam enzimas hidrolíticas durante a germinação, que digerem e mobilizam as reservas de amido, lipídios e proteínas. As camadas externas e a aleurona formam a fração de moagem conhecida como farelo. Youngs (1972), dissecando manualmente cariopses de aveia de sete genótipos, encontrou uma variação no teor de farelo entre 28,7-41,4%. A variação na espessura de farelo variou entre 580-1.010 μm .

O embrião de aveia, compreendendo escutelo e eixo embrionário, está localizado na porção anterior, perto da base da cariopse. O escutelo está em contato com o endosperma e secreta enzimas durante a germinação. O eixo embrionário consiste da plúmula e da radícula, que são responsáveis pela origem de nova plântula. Segundo Youngs (1972), o escutelo e o eixo embrionário compreendem 1,7-2,6% e 1,0-1,4%, respectivamente, da cariopse de aveia.

A proporção das estruturas do grão de aveia com casca e descascado é de 25% de casca, 9 e 12% de pericarpo, 63 e 84% de endosperma e de 2,8 e 3,7% de germe, respectivamente (Kent, 1984). O grão de aveia possui um comprimento de 6 a 13 mm, largura de 1 a 4,5 mm, peso médio de 32 mg e densidade de 520 a 756 Kg m^{-3} (Shukla, 1975).

A composição química da aveia (*Avena sativa* L) a caracteriza como de excelente valor nutricional. Destaca-se entre os outros cereais pelo teor e pela qualidade protéica, variando de 12,4 a 24,5% no grão descascado e por sua maior porcentagem de lipídios, que varia de 3,1 a 10,9%, distribuídos por todo o grão e com predominância de ácidos graxos insaturados (Sá *et al.*, 2000). Além disso, é constituída de 9-11% de fibra alimentar total, responsável pelos efeitos benéficos à saúde humana (Pedó e Sgarbieri, 1997).

A aveia é rica em lipídios, os quais são fonte de energia maior que os carboidratos. Segundo Morrison (1978), a porcentagem de lipídios no grão de aveia varia entre 5,0 e 9,0%, sendo superior às porcentagens encontradas em trigo (2,1-3,8%), arroz (1,83-2,5%), milho (3,9-5,8%), cevada (3,3-4,6%) e centeio (2,0-3,5%). A composição dos lipídios é favorável devida ao alto conteúdo de ácidos graxos insaturados (Peterson, 1992). Os ácidos palmítico, oléico e linoléico são os mais encontrados, representando em torno de 95% do total (Gutkoski e El-Dash, 1999).

Embora existam poucos estudos nutricionais dos lipídios de aveia, pode-se afirmar que o alto conteúdo dos ácidos oléico e linoléico resulta em relação favorável de ácidos graxos insaturados para ácidos graxos saturados, ficando em torno de 3. Este índice é superior ao mínimo recomendado pelos órgãos de saúde que é de 1 (Lockhart e Hurt, 1986).

Em relação ao teor protéico, a aveia também é superior aos demais cereais, sendo o valor médio encontrado de 15,9% (Asp, 1992). As proteínas de aveia são de alta qualidade, apresentando composição aminoacídica de acordo com os padrões exigidos pela FAO/OMS (Hoseney, 1991).

Entre os carboidratos, o amido é o constituinte em maior abundância na aveia, com teores médios entre 43,7 e 61,0% (Paton, 1977). Porém, se comparado a outros cereais como centeio, cevada e trigo, o amido da aveia pode ser considerado baixo, devido a alta concentração de proteínas, lipídios e fibras.

O consumo de farinha e/ou farelo de aveia afeta beneficentemente a saúde humana devido a alta concentração de fibras, situada em torno de 11% (Peterson, 1992), podendo alcançar valores de até 13,86% em cultivares do Sul do Brasil (Gutkoski e Trombetta, 1999). A fibra alimentar pode ser classificada em solúvel e insolúvel em água. A fibra alimentar solúvel da aveia é composta por pectinas, β -glicanas, mucilagens, algumas hemiceluloses e amido resistente. Os principais componentes das fibras insolúveis são a celulose e as hemiceluloses (Walker, 1993).

Segundo Sá *et al.* (2000), as β -glicanas, moléculas lineares compostas de ligações glicosídicas β -1,3 e β -1,4 são componentes das fibras solúveis presentes em grande quantidade na aveia. A cariopse de aveia contém entre 3,91 e 6,82% de β -glicanas e o farelo entre 5,81 e 8,89% (Wood *et al.*, 1991). Estes componentes têm importante ação na redução do colesterol sanguíneo em indivíduos com hipercolesterolemia.

Os produtos contendo fibra de aveia reduzem o risco de doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão e obesidade (Anderson, 1993). Além disso, diminuem as concentrações séricas de colesterol total, lipídios totais e triglicerídios de forma significativa e aumentam a fração de colesterol-HDL, conhecido como o colesterol benéfico. Devido a essas propriedades, a aveia é considerada um alimento funcional (Flores, 2000).

A aveia é uma boa fonte de manganês, magnésio, ferro e apresenta quantidades satisfatórias de cálcio, zinco e cobre. Em estudos nutricionais, também foram identificados traços de cromo, níquel, flúor, molibdênio, cobalto, vanádio, selênio e estanho. Weaver *et al.* (1981), analisando os elementos minerais Fe, Zn, Mn, Cu, Cr, Ni em vários estágios de moagem da aveia, verificaram que o descascamento resultou em aumento de todos os nutrientes estudados, refletindo menor concentração de minerais na casca quando comparado com a cariopse, exceto para o cromo. Ao comparar as frações de moagem, farelo e endosperma, Peterson *et al.* (1992) verificaram uma maior concentração de minerais no farelo.

Os lipídios caracterizam a fração constituinte mas suscetível à deterioração durante o armazenamento, devido à redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade a alterações estruturais (Pomeranz, 1974). As ações das lipases, galactolipases e fosfolipases dos próprios grãos e das produzidas pela micoflora associada contribuem para o rompimento das ligações éster dos glicerídeos neutros e dos fosfolipídeos, aumentando o teor de ácidos graxos livres. Christensen e Kaufman (1974), relatam que os fungos produzem lipases, que degradam a gordura dos cereais a ácidos graxos livres, os quais são usados como fonte de energia para eles mesmos, no seu próprio metabolismo.

A aveia apresenta uma forte tendência à rancidez, devida a presença de enzimas lipases, produtoras de ácidos graxos livres. A lipase não está uniformemente distribuída no grão de aveia. Segundo Urquart *et al.*, (1983), a maior atividade de lipase está na camada de aleurona.

Além da lipase, as enzimas lipoxigenase, peroxidase, catalase, tirosinase, BAPAase, α amilase, liquenase e protease também estão presentes na aveia (Shukla, 1975).

A peroxidase é uma enzima excepcionalmente estável ao calor, e sua ausência após o tratamento térmico de alimentos frequentemente é utilizada como indicador de que as demais enzimas presentes no produto foram desnaturadas (Adams, 1991).

O grão de aveia destinado para o consumo humano deve atender a uma exigência de qualidade mínima. As especificações para padronização, classificação e comercialização de aveia (*Avena sativa* L) atendem a Portaria Ministerial número 191, de 14 de abril de 1975. De acordo com essa portaria, a aveia é classificada em quatro grupos (1 a 4) com base no peso do hectolitro (PH); em cinco classes (A a E), com base na coloração, e em quatro tipos (I a IV), com base nos teores de umidade, impurezas e grãos avariados e grãos carunchados. Entretanto, as indústrias de aveia, objetivando a manutenção de altos padrões de qualidade, têm maior exigência qualitativa para aquisição de aveia.

Considerando a necessidade de uma nova definição de especificações para padronização e classificação da aveia branca e amarela, a Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia apresentou como sugestão a classificação em três tipos (CBPA, 2000). O tipo I seria constituído de grãos perfeitos, maduros, sadios, limpos e uniformes, com no máximo 13% de umidade, peso do hectolitro maior ou igual a 50 kg.hL⁻¹, espessura de grãos maior que 2mm e cor característica da cultivar. A tolerância é no máximo de 25% de grãos menores que 2mm de largura, porcentagem de grãos manchados menor ou igual a 4%, grãos avariados com limite máximo de 2%, matérias estranhas e impurezas igual ou menor do que 4%, acidez menor ou igual a 2mL de NaOH 0,1N.100g⁻¹ de grãos descascados de aveia.

O tipo II seria constituído de grãos perfeitos, maduros, sadios, limpos e uniformes, com no máximo 13% de umidade, peso do hectolitro maior ou igual a 45 e menor que 50kg.hL⁻¹, espessura de grãos menor que 2 mm e cor característica da cultivar. A tolerância é a porcentagem de grãos manchados maior que 4 e menor ou igual a 8%, grãos avariados com limite máximo de 4%, matérias estranhas e impurezas maior que 4 e igual ou menor que 6%, acidez maior que 2 e menor ou igual a 3mL de NaOH 0,1N.100g⁻¹ de grãos descascados de aveia.

O tipo III é constituído de grãos perfeitos, maduros, sadios, limpos e uniformes, com no máximo 13% de umidade, peso do hectolitro maior ou igual a 40 e menor que 45kg.hL⁻¹, espessura de grãos menor que 2mm e cor característica da cultivar. A tolerância é a porcentagem de grãos manchados maior que 8 e menor ou igual a 15%, grãos avariados com limite máximo de 6%, matérias estranhas e impurezas maior que 6 e igual ou menor que 9%, acidez maior que 3 e menor ou igual a 5mL de NaOH 0,1N.100g⁻¹ de grãos descascados de aveia.

2.2. Colheita e secagem

Durante a operação de colheita, a colheitadeira precisa ser bem regulada em função do teor de umidade do grão. Se o grão estiver muito seco, poderá quebrar-se ou perder a casca, o que determina redução do seu valor comercial; além disso, o descascamento ativa a enzima lipase, que causa a acidez e posterior rancificação do produto.

A colheita deve ser realizada o mais rapidamente possível quando os grãos tiverem atingido a umidade aproximada de 15%. O atraso na colheita determina a ação de fatores adversos, com prejuízos tanto no rendimento quantitativo quanto qualitativo, ou seja, ocorrem acamamento e queda do colmo das plantas, com conseqüentes perdas de panículas que caem ao solo e não são recolhidas pelas colhedoras, o que reflete negativamente no rendimento.

O retardamento da colheita também contribui para a deterioração dos grãos, pois equivale a armazená-los a campo, em condições desfavoráveis, expondo-os por um maior período aos agentes patogênicos. Determina, ainda, a redução significativa do peso do hectolitro e o escurecimento do grão, com sua depreciação industrial.

A colheita, portanto, deve ser realizada no momento próprio e de forma adequada. Colheita realizada na faixa de umidade recomendada minimiza as perdas, mas requer uso da secagem artificial. Contudo, é importante realizar a colheita logo que houver condições, pois quanto mais tempo os grãos permanecerem expostos às intempéries, no campo, maiores serão as perdas, por ataque de pássaros, roedores, insetos e fungos (CBPA, 2000; Elias, 2002).

Silva e Hara (1998) citam que um excesso de umidade nos grãos na colheita significa gastos extras em energia para a secagem, deterioração dos equipamentos, além de, em alguns casos, perda em qualidade do produto.

Após a colheita, os grãos devem ser submetidos à operação de pré-limpeza antes da secagem. Pré-limpeza realizada eficientemente reduz os riscos de incêndio; facilita o movimento do ar e dos grãos, permitindo uniformização da secagem; reduz custos, já que os materiais inúteis não estarão presentes para serem secos, e diminui as fontes de inóculo de microrganismos e de pragas, cujas presenças são indesejáveis na classificação e na conservação posterior (Elias, 2000a).

A finalidade da secagem é a remoção parcial de um líquido (geralmente água) da matéria sólida, por evaporação. Quando o calor necessário para evaporar a água é fornecido ao material, ocorrem transferências simultâneas de calor e massa (Porto,

2001).

O ar, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia térmica provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar. Contudo, o ar absorve em forma de vapor o que perde sob a forma de calor, caracterizando um processo adiabático ou isoentálpico. Grãos são produtos higroscópicos e, como tal, podem sofrer variações no seu conteúdo de água, a qualquer momento, de acordo com as condições do ar ambiente que os circundam (Elias, 2000a; Boemeke, 2000; Milman, 2001).

Altas pressões de vapor podem causar danos irreversíveis nos grãos, pois a retirada muito acelerada da água causa desestruturação das camadas mais internas dos grãos. Os danos mais freqüentemente observados, quando a secagem por ar aquecido não for convenientemente controlada, são reduções de vigor e germinação das sementes, alterações de cor, formação de crosta periférica, perda de matéria seca, redução da integridade física dos grãos, diminuição da digestibilidade das proteínas, desestruturação do amido, suscetibilidade à incidência de defeitos e redução da conservabilidade, além do desperdício de tempo e de energia (Elias, 2002). A temperatura de secagem para as sementes e para os grãos de aveia destinados à industrialização deve ser de 40 a 50°C, respectivamente. Para o armazenamento, a umidade dos grãos deve ser inferior ou igual a 13% (CBPA, 2000).

Grãos de aveia não danificados, armazenados à temperatura ambiente em umidade abaixo de 12% apresentam pequenas variações nos níveis de acidez do óleo. Porém, maiores valores de umidade e/ou temperatura, bem como desagregações parciais ou totais do grão são condições suficientes para a ação de enzimas, principalmente a lipase (Matlashewski *et al.*, 1982; Urquhart *et al.*, 1983).

Ekstrand *et al.* (1992) observaram decréscimo na atividade da lipase com a secagem entre 40 e 80 °C, mas somente com o uso de temperaturas acima de 60 °C a atividade da lipase reduziu consideravelmente.

A secagem constitui a operação mais importante no preparo de grãos para o armazenamento e tem por finalidade coloca-los em níveis recomendáveis de umidade para evitar a deterioração e a perda da qualidade durante o processo de estocagem. Na secagem devem ser evitadas fermentações durante o processo e o excesso de temperatura, devendo a operação ser feita até a obtenção de um grau de umidade conveniente e de um produto uniforme (Ness, 1998; Porto, 2001).

Os métodos de secagem podem ser divididos em naturais, que utilizam a energia

solar e eólica e artificiais, que podem ser estacionário, contínuo, intermitente ou seca-aeração. Os métodos naturais de secagem são dependentes de condições climáticas favoráveis, sobre as quais não se pode ter controle; por isso, são limitados e pouco utilizados (Elias, 2002).

O método estacionário é caracterizado pela passagem forçada do ar, em fluxo axial ou radial, através de uma massa de grãos, a qual permanece parada no compartimento de secagem. Dentre os métodos artificiais, este é o único em que pode ser utilizado ar natural, sem aquecimento (Barbosa *et al.*, 2001).

Hulasare *et al.* (1999), estudando as características de secagem em camada fina de aveia sem casca observaram que a mesma tem maior facilidade de secagem do que trigo e cevada. Na secagem de 21 para 16% de umidade, para a aveia sem casca uma hora de secagem é suficiente enquanto para trigo e cevada é 16 e 17 horas, respectivamente. Vários fatores como o conteúdo de óleo, constituição genética do grão, dimensões dos grãos, densidade e ano da colheita podem contribuir em direção a maior razão de secagem da aveia quando comparada com o trigo e a cevada (Neuber, 1981). Isso demonstra que a tendência ao equilíbrio higroscópico de grãos de aveia no armazenamento se caracteriza com maior dinâmica de desorção e de sorção de umidade originadas pelos gradientes de pressão de vapor de água e térmico entre a massa de grãos e o ar ambiente, quando comparado com grãos de trigo e de cevada.

A secagem, com utilização de ar sem aquecimento, é dependente das condições psicrométricas do ar ambiente e é muito lenta, tendo como agravante o risco de desenvolvimento microbiano durante o processo, além da morosidade e do baixo fluxo operacional (Rombaldi, 1988; Elias, 2000b).

A secagem intermitente é caracterizada pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de grãos também em movimento, promovido pela recirculação do grão no secador. Com isto, há difusão da água do centro para a periferia do grão, e a evaporação da água periférica ocorre de maneira mais branda e equilibrada. Neste processo, os grãos permanecem recirculando no interior do secador durante toda a operação e o seu contato com o ar se realiza de um modo descontínuo (Elias, 2002).

Para a secagem intermitente são utilizados os secadores intermitentes, e o processo ocorre com movimentação da aveia e do ar de secagem, que mantém períodos de contato e sem contato alternadamente. O equipamento é constituído de duas câmaras, uma de secagem, onde ocorrem as trocas de calor e de água durante o contato do grão com o ar insuflado ou succionado, e uma câmara de equalização, onde os grãos passam

sem contato com o ar de secagem. Na câmara de secagem o ar cede energia térmica, se resfria, e absorve, na forma de vapor, a água periférica que evapora do grão. Na câmara de equalização, o repouso permite que a água mais interna da aveia migre para a sua periferia.

De acordo com o modelo de secador (relação de volumes entre as câmaras de secagem e equalização), com o fluxo e a temperatura do ar de secagem, com o fluxo do arroz, e com a velocidade de secagem imprimida durante a operação, a relação entre o tempo de exposição dos grãos ao ar aquecido e o tempo de repouso será maior ou menor (relação de intermitência), sendo encontradas, nas unidades de beneficiamento, relações bastante diversas, tipo 1:15, 1:10, 1:6 e 1:2, sendo classificados, por alguns autores, como secadores intermitentes rápidos ou intermitentes lentos (Elias, 2000b).

Desde que a temperatura do ar de secagem não seja muito elevada, normalmente não superior a 115°C, nem muito baixa, normalmente não inferior a 70°C, este é um sistema que permite obter bons resultados, embora exija maiores investimentos e uso de tecnologias mais sofisticadas do que o estacionário.

A secagem contínua faz uso dos chamados secadores contínuos, que são constituídos por uma estrutura com pelo menos duas câmaras, uma de secagem propriamente dita e outra de resfriamento, podendo haver uma outra, intermediária, neutra, colocada entre as duas. Neste sistema, os grãos ingressam úmidos, mantêm contato com ar aquecido na primeira câmara, se aquecem e secam. Ao passarem pela segunda câmara, tomam contato com ar à temperatura ambiente, quando são resfriados. O contato ar-grãos e os fluxos de movimentação dos grãos ocorrem de forma ininterrupta. A entrada de grãos úmidos e a saída de grãos secos e resfriados são constantes e simultâneas (Rombaldi, 1988).

A seca-aeração utiliza um secador convencional contínuo, adaptado, em que a câmara originalmente destinada ao resfriamento recebe ar aquecido, passando o secador a ter duas câmaras de secagem, donde os grãos saem ainda quentes e parcialmente secos, indo diretamente a um secador estacionário, onde permanecem em repouso durante um determinado tempo. Como a energia interna dos grãos na saída do secador convencional ainda é elevada, a água migra para a periferia, sendo removida através da ventilação forçada com ar não aquecido, que completa a secagem, após um período de repouso, a qual pode também ser realizada na forma multi-seqüencial ou em multiciclo (Milman, 2001).

2.3. Armazenamento

A manutenção da qualidade dos grãos é o maior objetivo de quem armazena grãos. A Predição das condições de armazenamento seguro permitem a preservação de características qualitativas de grão recentemente colhido sobre um longo período de armazenamento, podendo evitar que ocorra uma significativa deterioração. As mudanças na qualidade dos grãos durante o armazenamento são difíceis de se avaliar e monitorar (Fleurat-Lessard, 2002).

Entre os integrantes da qualidade estão incluídos as condições físico-químicas, as propriedades tecnológicas, o valor nutricional, as condições sanitárias e de segurança para o consumo humano ou animal, que em conjunto no final afetam o valor de mercado do grão (Fleurat-Lessard, 1997).

As mudanças de qualidade que gradualmente aparecem em grãos armazenados são o resultado de interações complexas dentro de um sistema ecológico (Multon, 1988; Tipples, 1995). Os parâmetros envolvidos em mudanças de qualidade podem ser classificados em quatro categorias: condição inicial quando o grão é entregue para o armazenamento; condição de armazenamento entre a colheita e o primeiro processamento; operações técnicas e tratamentos do lote de grão, que é chamado o caminho técnico do armazenamento; fatores da deterioração biológica, principalmente representado por fungos de armazenamento e pragas como insetos e ácaros. Esses fatores influenciam a velocidade de mudança de qualidade e cada um deles interage com os outros (Sinha, 1973; Multon, 1988; Tipples, 1995).

A manipulação de grãos combinada com um processo operacional adequado, ou seja, com uma aeração de resfriamento, secagem, separação de impurezas e pó, é possível em silos bem equipados, onde a qualidade de grão é supervisionada. Com isto é possível escolher a melhor estratégia de armazenamento, bem como executar intervenções corretivas (Fleurat-Lessard., 2002).

Vários fatores podem reduzir o tempo de armazenamento e a qualidade dos cereais. O conteúdo de umidade do cereal colhido e a temperatura de armazenamento podem determinar a intensidade de danos por fungos, insetos e pragas. Segundo Pomeranz (1982), o melhor estudo de parâmetros de qualidade é a determinação da capacidade de germinação, sendo de importância direta para sementes e grãos de cevada para malte. No entanto, essa é provavelmente a melhor medida para quantificar a estabilidade dos grãos de cereais. Os grãos que apresentam um alto nível de viabilidade germinativa durante o armazenamento são também os que retêm os outros parâmetros

considerados importantes na comercialização ou qualidade tecnológica (Burges *et al.*, 1963; Desmarchelier, 1990; Bason *et al.*, 1994; Fleurat-Lessard, 1994a,b).

A utilização do indicador germinação para prever a qualidade do grão que está ligado com a classificação do cereal facilita organizar o armazenamento e a venda do grão para ser consumido antes de diminuir a qualidade. Geralmente, a longevidade dos grãos se eleva com as diminuições do conteúdo de umidade e da temperatura de armazenamento (Roberts, 1973; Nellist, 1981).

Também Ellis e Roberts (1980) têm demonstrado que a perda de viabilidade que ocorre durante o armazenamento depende da temperatura e dos níveis de umidade, sendo proporcionais ao tempo de armazenamento.

As trocas de calor e água entre os grãos armazenados e o ar ambiente são dinâmicas e contínuas até o limite de obtenção do equilíbrio higroscópico, em determinadas condições de temperatura. O processo ocorre por sorção ou dessorção de umidade pelos grãos, em função do diferencial de pressão de vapor de água e/ou de temperatura entre esses e atmosfera intergranular. Tais condições, expressas na atividade de água dos grãos estão estreitamente relacionadas com o desenvolvimento microbiano durante o armazenamento (Multon, 1980).

A perda de qualidade também está relacionada com a respiração e a perda de matéria seca. A maior causa de produção de CO₂ e perda de matéria seca em cereais armazenados é devida aos microrganismos (Milner *et al.*, 1947; Hummel *et al.*, 1954; Fernandez *et al.*, 1985; Muir *et al.*, 1985). Segundo Frisvad (1995), as condições de elevada umidade dos grãos em equilíbrio higroscópico e mantidos sob temperatura ambiente aumenta o metabolismo dos grãos, o que favorece o crescimento microbiano, acelerando sua atividade. A contaminação por microrganismos ainda no campo é natural e permanente. Em grãos com elevada umidade na colheita, é favorecida a predominância de fungos dos gêneros *Fusarium*, *Alternaria* e *Helminthosporium*, denominados fungos de campo. Durante um longo período de armazenamento, fungos xerófilos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, chamados fungos de armazenamento, progressivamente substituem os fungos de campo. Em 15 a 19% de umidade (0,75-0,85 de aw) ou mais, espécies de fungos de campo são inibidas ou morrem enquanto que espécies de fungos de armazenamento crescem, embora lentamente.

Os fungos mesófilos e termófilos alcançam a atividade ótima na temperatura ao redor de 40 e 60°C, respectivamente, portanto muito a cima da temperatura que os grãos atingem no período de armazenamento.

O processo químico que produz o aquecimento é principalmente uma redução aeróbica de carboidratos semelhantes ao amido. A reação consome a mesma quantidade de oxigênio com a mesma produção de CO₂ (Flurat-Lessard, 2002). Essa reação é ativa apenas além de um limite de atividade de água em grãos ao redor 0,72aw com 20°C nos cereais em geral.

A ação dos fungos é ativada a partir de um limite de atividade de água nos grãos, estando ao redor 0,72aw com 20°C nos cereais em geral (Hodges, 1989). Durante a queda de 1g de matéria seca por respiração aeróbica usando 1,07g de O₂, 1,47g de CO₂, 0,6g de água, cerca de 15,4kJ de energia na forma de aquecimento é liberada. Dessa forma, a taxa de respiração é quase próxima à perda de matéria seca do grão e, conseqüentemente, à perda global de qualidade.

Os dois principais fatores que afetam a taxa de produção de CO₂ ou de consumo de O₂ em condições aeróbicas normais são a temperatura e a umidade. Outros fatores, como o tempo de armazenamento depois da colheita, o grau de contaminação inicial dos grãos por fungos no início do período de armazenamento, o grau com infestação de insetos, também tem influência (Milner *et al.*, 1947; Frazer e Muir, 1981; White *et al.*, 1982; Muir *et al.*, 1985; Wrigley *et al.*, 1994).

Vários estudos sobre a avaliação das condições aeróbicas de armazenamento de grãos, com ilimitado fornecimento de O₂, mostram que a existência de uma pequena abertura no topo das caixas em que é realizada a fermentação anaeróbica já é suficiente para não gerar anaerobiose. Essa é uma situação normal na maioria dos grãos armazenados. Em condições aeróbicas ocorre produção de água e altos níveis de CO₂, fenômeno que é muito diferente na fermentação anaeróbica, pois o metabolismo de carboidratos produz álcool e baixos níveis de CO₂ (Fleurat-Lessart, 2002).

Modelos de produção de CO₂ podem ser usados simplificadaamente para prever as taxas de perda de qualidade, em sistema de armazenamento convencional. A medida da taxa de CO₂ em uma amostragem representativa de grãos pode ser usada no modelo de predição de viabilidade de grãos (Hamer *et al.*, 1990).

A aplicação de um modelo de perda de matéria para predição de níveis de conservação de grãos pode ser baseada na predição do CO₂ liberado por kg de grão em um período de 24 horas (Steele *et al.*, 1969; White *et al.*, 1982; Srour, 1988).

Muitos métodos rápidos para detecção de fungos prejudiciais aos grãos têm sido estudados de forma experimental. Entre esses incluem-se a quantificação dos efeitos de degradação de componentes dos grãos, mudanças por atividade enzimática de fungos,

atividade respiratória de fungos, mudanças em componentes químicos, particularmente a quitina, ergosterol e ATP de fungos durante o crescimento no grão, imunofluorescência, métodos eletroquímicos e mais recentemente, métodos de fotoacústica (Tothill *et al.*, 1992; Magan, 1993; Gordon *et al.*, 1998). Até o momento, esses métodos apresentaram baixa correlação com o crescimento dos fungos ou com o desenvolvimento de biomassa colonizada no grão. Várias dessas técnicas são também demoradas, caras e não têm a sensibilidade suficiente para a detecção antecipada da atividade fúngica.

Os fungos comumente produzem compostos voláteis quando colonizam substratos ricos em nutrientes como é o caso de grãos. Kaminski *et al.* (1972, 1974, 1975) demonstraram que o estrago fúngico produz voláteis, o qual foi caracterizado de forma distinta dos voláteis produzidos pelas bactérias ou pelo próprio grão. Estudos sugerem que o monitoramento pela presença de voláteis pode ser um bom indicador de perda de qualidade e formação de micotoxinas em grãos (Stawicki *et al.*, 1973; Richard-Molard *et al.*, 1976; Abramson *et al.*, 1980).

2.4. Micotoxinas

As características de segurança associados à imagem de inocuidade dos alimentos, representada pela ausência de agrotóxicos ou microrganismos contaminantes, como bactérias, vírus, micotoxinas, substâncias alergênicas, aditivos sintéticos, ou manipulações genéticas, vem assumindo crescente importância, passando a ocupar posição central entre as preocupações dos consumidores e da sociedade em geral. Aliás, estas características estão substituindo as barreiras alfandegárias, tradicionalmente utilizadas entre países para proteger seus produtos ou mercados no que se refere a commodities (Bacaltchuk, 1999).

Os diferentes fungos produtores de micotoxinas são encontrados em todas as regiões do mundo e podem crescer em uma grande variedade de substratos e sob várias condições de umidade, pH e temperatura. Assim, os alimentos estão sujeitos à invasão por fungos e contaminação com micotoxinas no campo durante e após a colheita, no processamento, no transporte e na estocagem, em condições deficientes de manuseio. Em quase todos os tipos de produtos alimentícios já foram detectadas micotoxinas sendo que em aveia as ocratoxinas, citrinina, tricotecenos, zearalenona causam os maiores problemas (Sabino, 1999).

Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos durante o

armazenamento de sementes, grãos e rações são: umidade, temperatura, período de armazenamento, nível de contaminação, impurezas e matérias estranhas, insetos, nível de O₂ e CO₂ e condições físicas e sanitárias de semente ou do grão (Lazzari, 1997).

O número de espécies fúngicas existentes está estimado entre 100 mil e 250 mil, estando atualmente descritas aproximadamente 50 mil (Richard, 1986). Entretanto, 200 espécies tem a capacidade de produzir metabólitos tóxicos, sendo isolado cerca de 300 micotoxinas. As toxinas presentes em maior quantidade nos alimentos e que comprovadamente têm causado danos ao consumidor são o Ergot, as aflatoxinas, a esterigmatocistina, a ocratoxina A, a zearalenona, os tricotecenos, as fumonisinas, a patulina, as toxinas produzidas no arroz, as rubratoxinas, as esporoderminas, o ácido ciclopiazônico e as micotoxinas tremorgênicas (Scussel, 2002). Na aveia, ocratoxinas, citrinina, tricotecenos e zearalenona foram citadas como as de maior probabilidade de ocorrência (Sabino, 1999; Scussel, 2002).

Estudos e pesquisas sobre micotoxinas tiveram origem com o primeiro grande surto natural de micotoxicose, na Inglaterra, ocorrido em 1960, onde cerca de 100000 perus morreram intoxicados por uma toxina produzida pelo fungo *Aspergillus flavus*, posteriormente denominada de aflatoxina. Daquela data até hoje, inúmeras outras micotoxinas foram descritas e seus efeitos estudados (Cruz, 1995).

Micotoxinas são compostos tóxicos produzidos durante o metabolismo secundário de alguns fungos, sendo o termo originário da palavra grega *mykes*, que significa fungo e da palavra latina *toxicum*, que significa veneno. A ingestão destes metabólitos pelo homem ou pelos animais pode vir a causar doenças, denominadas micotoxicoses ou mesmo a morte (D'Mello e Macdonald, 1997).

Os fungos micotoxigênicos envolvidos na cadeia alimentar humana pertencem basicamente aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, os quais são responsáveis pela produção da maioria das micotoxinas até hoje conhecidas e estudadas. As espécies de *Fusarium* são patógenos da planta, produzindo micotoxinas antes da colheita ou imediatamente após ela. Os *Penicillium* e *Aspergillus* são mais comumente encontrados como contaminantes de produtos durante a secagem e o armazenamento, sendo chamados de fungos de depósito ou armazenamento (Sweeney e Dobson, 1998). Estes gêneros, são capazes de se manterem em desenvolvimento com baixa umidade, produzindo toxinas que reduzem a qualidade nutritiva dos grãos e seu valor de mercado (Wetzel, 1987). Os *Aspergillus flavus* e *parasiticus* são cosmopolitas e costumam contaminar cereais tanto no campo como durante o armazenamento.

A temperatura e a umidade são os fatores mais importantes que determinam se a aflatoxina vai se desenvolver no grão pós-colheita. Abaixo de um determinado grau de umidade, o *Aspergillus flavus* não consegue crescer e não produz toxina. A umidade deve ser considerada em termos de umidade relativa (UR) ou atividade de água (aw). Para efeitos práticos, 85% de UR é o limite mínimo para uma atividade significativa desse fungo. À medida que UR aumenta acima de 85%, o crescimento do *Aspergillus flavus* aumenta consideravelmente. Nesta faixa, um pequeno aumento na umidade pode ser muito significativo em termos de risco de contaminação por aflatoxinas (Sweeney e Dobson, 1998). Na prática, mede-se geralmente o conteúdo de umidade do grão ao invés de UR ou aw. Não é muito fácil correlacionar o conteúdo de umidade com estes dois parâmetros por causa das diferentes composições entre as cultivares devidas a fatores ambientais e genéticos, temperatura de secagem e o efeito da histerese (Chen, 2000).

As Aflatoxinas quimicamente pertencem ao grupo das furanocumarinas complexas (OMS, 1983). A aflatoxina B₁, forma na qual se encontra naturalmente, é obrigatoriamente inerte. Após sua conversão em outras formas ativas, como o 8-9 epóxido de aflatoxina B₁, capazes de se ligar covalentemente com DNA, RNA, proteínas e outras moléculas é que se manifestam os efeitos carcinogênicos, teratogênicos e mutagênicos. A toxicidade das aflatoxinas decresce na seguinte ordem B₁>B₂>G₁>G₂. A G₁ possui a metade da toxicidade de B₁. O efeito tóxico causado pelas aflatoxinas pode ser de curta duração, ou seja, aflatoxicose aguda e de longa duração, denominado aflatoxicose crônica (Scussel, 2002).

A proporção com que as aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂ estão presentes nos cereais é dependente da espécie de *Aspergillus* presente. O *Aspergillus flavus* produz aflatoxinas B₁ e B₂, enquanto o *Aspergillus parasiticus* produz as quatro aflatoxinas (B₁, B₂, G₁ e G₂). O *Aspergillus flavus* está adaptado aos grãos e à parte aérea dos cereais, enquanto o *Aspergillus flavus* está melhor adaptado ao solo (Moss, 1991).

Mirocha *et al.* (1978) relatam a produção de aflatoxina em temperaturas extremas de 12 a 42°C, sendo a temperatura ótima de 27-30°C, enquanto Azevedo *et al.* (1993), citados por Nordin (1995), ao pesquisarem a influência da temperatura e da umidade relativa na produção de aflatoxina em amostras de milho contaminado com *Aspergillus flavus* concluem que a toxina é produzida pelo fungo a 15°C, em umidade relativa de 86,5%, a 25°C, em todas as umidades relativas testadas (64, 85 e 98%) e a 40°C nas umidades relativas de 61,5 e 96%.

Pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de se avaliar a influência da a_w no crescimento e na produção de aflatoxinas por fungos do gênero *Aspergillus*. De maneira geral, as aflatoxinas são produzidas a valores de a_w variando de 0,95 a 0,99, com um valor mínimo de 0,82 para *Aspergillus flavus* (ICMSF, 1996). Kozakiewicz e Smith (1994), estudando o efeito da atividade de água sobre o crescimento de *Aspergillus flavus* e *parasiticus* quanto à produção de aflotoxinas, verificaram que *Aspergillus flavus* é capaz de crescer em a_w menores do que 0,80, vindo a produzir aflatoxina em a_w de 0,82. Em relação ao *Aspergillus parasiticus*, o crescimento ocorreu a uma a_w de 0,84, com produção de toxina a 0,87. Um limite superior de umidade não parece restringir o crescimento do fungo ou a produção de aflatoxina, porém em condições normais, altos teores de umidade podem ser inadequados para o *Aspergillus flavus* devido à competição com outros microrganismos.

Quando as temperaturas estão entre 15 e 20°C, o risco do *Aspergillus flavus* crescer é reduzido, porém, de 20 a 35°C, o risco é elevado, o mesmo acontecendo com o crescimento de espécies de *Penicillium* e de *Fusarium*. A colheita com umidade próxima a 25% torna o grão mais vulnerável à invasão fúngica, do que colhida com menor umidade (Fonseca, 1997). Segundo o autor, a colheita de grão com umidade elevada, sem a subsequente secagem artificial em um curto prazo, contribui amplamente para elevar drasticamente os níveis de aflatoxina.

Zeringue *et al.* (1996) sugeriram que as variações nas concentrações de aflatoxina encontradas em diferentes híbridos de milho, estejam relacionadas à concentração de ácido linoléico e da enzima lipoxigenase. A lipoxigenação do ácido linoléico seria capaz de produzir aldeídos voláteis com cadeia de 6 até 12 carbonos, inibindo ou impedindo o crescimento de fungos e a formação de Aflatoxinas. Da mesma forma Dilkin *et al.* (2000), avaliando cinco genótipos de milho híbrido concluíram que os níveis de ácido linoléico e produção de lipoxigenase foram similares, propiciando condições semelhantes aos fungos do gênero *Aspergillus* sp. para a produção de afatoxinas.

Landers *et al.* (1967) mostram o efeito das concentrações de O_2 e CO_2 no crescimento e na formação de aflatoxinas pelo *Aspergillus flavus* em amendoim. Quando variaram a concentração de O_2 de 1 a 21% com concentração constante de CO_2 a 20%, o crescimento do fungo não foi afetado significativamente pelo decréscimo dos níveis de O_2 até 5%, no entanto, inferior a esse nível ocorreu diferenças. A produção de toxina diminuiu proporcionalmente com a redução da concentração de O_2 . Quando

variaram a concentração de O₂ de 0,1 a 21% com concentração constante de CO₂ próximo a 0%, o crescimento do fungo não foi afetado com aumento da concentração acima de 5% de O₂. Porém a quantidade de toxina reduziu menos do que quando o CO₂ estava a 20%. Quando variaram a concentração de CO₂ de 0,03% (ar) a 80% com concentração constante de O₂ a 20%, o crescimento do fungo e a produção de toxina diminuiram com o aumento da concentração de CO₂, mas a quantidade de toxina teve maior sensibilidade do que o crescimento fúngico.

Ellis *et al.* (1993), verificaram que a diminuição da concentração de O₂ e o aumento de CO₂ inibem tanto o crescimento quanto a formação de toxinas. Entretanto, a produção de toxinas é mais sensível a altas concentrações de CO₂ do que o crescimento do fungo. O *Aspergillus flavus* pode crescer em um ambiente enriquecido com CO₂, mas deverá apresentar altas concentrações de O₂. A produção de CO₂ por *A. parasiticus* se correlacionou com a produção de aflatoxinas em milho armazenado com alta umidade. Com a Limitação de suprimento de O₂ ocorre alteração no metabolismo de carboidratos em *Aspergillus parasiticus*, podendo aumentar a formação de aflatoxinas.

A inibição da produção de aflatoxina por *A. flavus* e *A. parasiticus* ocorre pela redução de oxigênio livre, através de atmosfera modificada em alimentos empacotados em filmes com barreira ou pela retirada de oxigênio (Ellis *et al.*, 1994a,b).

Os minerais têm grande influência na produção de micotoxinas, destacando-se o zinco e manganês que são essenciais para a biossíntese das aflatoxinas (Gourama e Bullerman, 1995). Os produtos agrícolas com alto teor de chumbo, zinco e magnésio parecem ser bons substratos para fungos produtores de toxinas em geral (Scussel, 2002).

Segundo Ueno (1986), a aflatoxina B₁ tem profundos efeitos bioquímicos em animais, através da indução da inibição da fosforilação oxidativa, desagregação do perfil polissômico e perda de integridade de lisossomas. Desta forma, pode ser esperado efeito sobre a imunidade dos animais. Além disso, a rápida absorção desta toxina pelo trato gastrointestinal e sua ligação reversível com a albumina hepática levam a potencialização de sua toxidez. Apesar de altamente tóxica, a aflatoxina B₁ apresenta rápida metabolização e eliminação do organismo, principalmente através de secreções biliares, intestinais e em ovos (Busby e Wogan, 1981). Estudos de IARC (1993) demonstram a capacidade da aflatoxina em atravessar a barreira placentária em humanos.

A diagnose de aflatoxicoses agudas em aves, por exemplo, passa pela observação geral do estado do animal. A contaminação por níveis elevados de

aflatoxinas é freqüentemente referida como uma alteração de vários órgãos, como por exemplo, aumento de tamanho do fígado, baço e rins e redução da bursa de fabricius e timo. A aparência de algumas vísceras é alterada, como por exemplo, fígados com coloração tipicamente amarelada, textura friável e infiltrados com gordura. Entretanto, a contaminação por níveis reduzidos é de diagnose mais difícil, sem no entanto, deixar de causar prejuízos na eficiência alimentar dos animais e conseqüentemente prejuízo econômico (Vieira, 1995).

A zearalenona é uma lactona do ácido fenólico resorcílico, cuja estrutura sugere que ela seja sintetizada pela via do acetato-polimalonato, resultando na condensação de unidades de acetato (Shier, 1998).

A Zearalenona é um metabólito secundário produzido por várias espécies de *Fusarium*. O *F. graminearum* é o maior produtor, sendo que, os *F. crookwellense* e *F. semitectum* também são considerados produtores de zearalenona (IARC, 1993).

O metabolismo da zearalenona tem sido estudado em ratos, sendo metabolizada ao longo de dois caminhos. O principal é a conjugação com ácido glicurônico e o outro é a redução para um isômero do zearalenol (D'Mello *et al.*, 1999). A capacidade desta toxina atuar como um estrogênio pode ser atribuída ao fato de ela poder adotar uma conformação semelhante ao 17 β estradiol e outros estrogênios naturais, permitindo sua ligação com receptores estrogênicos (Shier, 1998).

A melhor temperatura para o crescimento de *Fusarium* ssp. é 25°C, porém a maior produção de zearalenona ocorre com temperatura entre 12 a 18°C (Sweeney e Dobson, 1998).

A Ocratoxina A é quimicamente caracterizada como um composto formado por uma β -fenilalanina ligada a uma isocumarina (Sweeney e Dobson, 1998). Quando o fungo em questão é o *Penicillium verrucosum*, o crescimento pode ocorrer nas temperaturas entre 0 e 31°C, sendo 20°C a temperatura ótima. Por ser este também um fungo xerofílico, o seu crescimento ocorre mesmo em baixas atividades de água (0,80) (ICMSF, 1996).

A ocorrência de ocratoxina A pode variar de ano para ano dependendo do clima e das condições de armazenamento como conteúdo de umidade, temperatura, tempo e níveis de infecção de fungos apropriados. Olsen *et al.* (1993) verificaram que os maiores níveis de ocratoxina A em cereais e em sangue humano estavam correlacionados com anos de chuva na colheita.

Em relação à atividade de água, o crescimento ótimo de *Aspergillus ochraceus* ocorre entre 0,95 e 0,99, embora também possa crescer em atividade de água baixa, como 0,77 por ser um fungo xerofítico. De fato, a produção de ocratoxina A pode ocorrer em atividade de água tão baixa, como 0,80 (Adebajo *et al.*, 1994).

As condições ótimas que induzem a produção de ocratoxina A depende do fungo em questão. *Aspergillus ochraceus*, por ser mais característico de climas quentes cresce a temperaturas entre 8 e 37°C, com um ótimo entre 24 e 37°C. A produção de ocratoxina A ocorre entre 12 e 37°C, tendo como temperatura ótima 31°C (ICMS, 1996).

Scudamore *et al.* (1999), avaliando a presença de ocratoxina A em 306 amostras de aveia, trigo e cevada armazenadas em fazendas na Inglaterra, detectaram que em 21% das amostras ocorreu micotoxinas, com maior frequência na cevada, seguido de trigo e aveia. Concentrações médias de ocratoxina A encontradas nas amostras foi 0,69 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em cevada, 0,29 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em trigo e 0,15 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em aveia. Também observaram um aumento na frequência de amostras contaminadas com o tempo de armazenamento, sendo que a máxima frequência ocorreu no período final de armazenamento, ou seja, aquele que antecede a nova colheita. O aumento na frequência de amostras contaminadas se relacionou com a concentração de ocratoxina A, o conteúdo de umidade do grão armazenado, o tempo de armazenamento e a área geográfica.

A ocratoxina A é um potente inibidor da síntese de proteínas em células animais e bacterianas. Além disso, ela pode atuar como um análogo da fenilalanina em relação a aminoacilação de RNAt em bactérias. Esta reação é catalisada pela fenilalanina RNAt sintetase e é fundamental para todos organismos vivos. Desta forma, inibe competitivamente a formação de fenilalanina RNAt (Ueno, 1986).

Entre os animais, os suínos são mais suscetíveis, apresentando danos renais a níveis inferiores a 2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de ocratoxina A em ração. As aves são similarmente afetadas com reduzida taxa de crescimento e baixa produção de ovos a níveis superiores a 2 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Os bovinos, ao contrário dos suínos e aves são resistentes aos níveis encontrados em grãos naturalmente contaminados (Prelusky *et al.*, 1994).

3. METODOLOGIA GERAL

3.2.1 Matéria-prima

O cultivar UPF-18 foi desenvolvido e selecionado pela Universidade de Passo Fundo a partir da linhagem UPF 90H400-2, tendo sido lançada no mercado em 1999. As principais características da cultivar são: hábito de crescimento semi-ereto, panícula de coloração amarela e de forma irregular, resistência a ferrugem do colmo e grãos de coloração branca. Quanto aos aspectos de qualidade/rendimento, o cultivar apresenta peso do hectolitro de 46kg.hl⁻¹, peso de mil sementes de 30 g, rendimento de grãos 2372Kg.ha⁻¹ e rendimento industrial de 67% (CBPA, 2000).

O município Capão do Leão está situado a 31° 52' 00'' de latitude Sul e 52° 21' 24'' de longitude e a uma altitude de 13,24m. O clima segundo a classificação de Köepen é temperado, sendo 1280,2mm a média anual de precipitação pluviométrica, com solo classificado em planossolo e tendo uma temperatura média anual de 17,9°C. As condições climatológicas durante o cultivo e o armazenamento estão apresentadas nas Tabelas 1a e 2a do Anexo.

3.2.2 Métodos

3.2.2.2 Colheita e armazenamento

A colheita foi realizada com automotriz quando a umidade dos grãos estava próxima a 16%, sendo eles pré-limpos, em máquina de ar e peneiras.

No Estudo 1, para serem obtidas umidades nas faixas de 9, 12, 15, 18 e 21%, parte dos grãos foi submetida à secagem estacionária até as umidades de 15, 12 e 9% e parte foi reidratada até as umidades de 18 e 21%, sendo os grãos foram mantidos em câmara fria, a 4°C, durante 5 dias, com atmosfera saturada.

No Estudo 2, para serem obtidas umidades nas faixas de 8, 11, 14% os grãos foram submetidos à secagem estacionária.

Utilizou-se a secagem estacionária em camada delgada (1,0m) pelo emprego do silo-secador protótipo, com fluxo de ar axial e velocidade constante de $0,1\text{m.s}^{-1}$, até as umidades desejadas. Após a secagem os grãos foram armazenados por doze meses.

3.2.3 Avaliações

As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos, do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da FAEM/UFPEL; no Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitossanidade da FAEM/UFPEL e no Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da UPF.

Além da avaliação qualitativa, foram realizadas análises quantitativas para se verificar o comportamento dos tratamentos ao longo do período de armazenamento, sendo considerado tempo zero de armazenamento as avaliações feitas imediatamente após a secagem ou reidratação.

3.2.3.1 Umidade

O grau de umidade foi determinado através do método de estufa a $105\pm 3^\circ\text{C}$, com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com a metodologia oficial de análise de sementes preconizada pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 1992). Os resultados das análises realizadas em triplicata foram expressos em porcentagem de umidade e na base úmida.

3.2.3.2 Composição química

Os lipídios totais foram determinados em aparelho Soxhlet, de acordo com o procedimento descrito pelo método n° 30.20 da AACC (1983). Umidade e cinzas foram determinadas de acordo com os métodos n° 44-15A e 08-12 da AACC (1983). A proteína bruta (Nx6,25) foi determinada pelo método Kjeldahl, conforme procedimento n° 46-12 da AACC (1983). Os carboidratos foram estimados por diferença, diminuindo-se de 100 o somatório de proteína bruta, extrato etéreo, cinzas e umidade. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em g.100g^{-1} , na base úmida.

3.2.3.3 Composição em ácidos graxos

A extração do óleo do grão moído com casca foi realizada pelo método n° 30.20 da AACC (1983), em aparelho Soxhlet. A transformação em ésteres metílicos foi realizada de acordo com Maia e Rodriguez-Amya (1993), adaptado de Hartman e Lago (1973). As amostras foram saponificadas e os ácidos graxos metilados com o reagente esterificante constituído por cloreto de amônio-ácido sulfúrico e metanol. A composição de ácidos graxos foi determinada usando cromatógrafo Varian Star 3400CX, com integração automática operando nas seguintes condições: coluna DB-Wax 30m x 25mm x 0,25µm, temperatura inicial da coluna 130 °C (0 minutos), rampa de aquecimento 2 °C.min⁻¹, temperatura final 210 °C (10 minutos). O gás de arraste utilizado foi H ultra puro, temperatura do injetor de 220 °C e do detector 230 °C, injetor tipo splitless e injetada alíquota de 1µL. A identificação dos ácidos graxos foi feita com padrão Supelco FAME Mix C8-C24, n° 18918.

3.2.3.4 Contaminação fúngica

A contaminação fúngica de campo e de armazenamento foi avaliada com o uso do *Blotter Test*, segundo a metodologia proposta por Neergard (1977) e adotada como método oficial para análise microbiológica de sementes pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 1992), porém utilizando três repetições de 100 sementes por amostra.

Cada amostra foi distribuída em quatro caixas *Gerbox*, com 25 grãos cada, tendo como substrato papel mata-borrão umedecido. Os recipientes eram mantidos a temperatura de 20±2°C, por 7 dias, iluminados através de lâmpadas fluorescentes de 40W, com comprimento de onda entre 320 e 420nm, em turnos alternados de 12 horas de escuro e 12 horas de luz.

Após a incubação, a leitura foi realizada com o auxílio de microscópio estereoscópio, complementada com microscópio ótico, quando necessária a identificação dos gêneros dos fungos. Os resultados foram expressos em porcentagem de grãos contaminados.

3.2.3.5 Análise de micotoxinas

O método utilizado para determinação das micotoxinas foi a cromatografia em camada delgada, utilizando-se cromatofolhas de alumínio de sílica gel 60G (Merck), segundo método de determinação de multi-toxinas de Soares e Rodrigues-Amaya

(1989). A preparação de solução de estoque dos padrões e a determinação exata da concentração seguiram a metodologia descrita pela AOAC (1997), método n° 917.22. Os processos de extração, clarificação e concentração do estrato seguiram a metodologia desenvolvida por Soares (1987) para determinação simultânea das micotoxinas aflatoxinas B₁, B₂, G₁, G₂, ocratoxina A e zearalenona descrita pela AOAC (1997), métodos n° 982.24, 982.25 e 982.26, respectivamente.

As etapas de extração e limpeza para triagem e quantificação destas micotoxinas inicialmente começou com 50g de grãos de aveia moídos com casca, os quais foram pesados e homogeneizados em blender com 270mL de metanol P.A. e 30mL de KCl 4% por 5 min. Para extração das micotoxinas, o extrato foi então filtrado e 150mL coletados e clarificados com 150mL de sulfato de amônio 30% e 50cm³ de celite. Uma nova filtração foi realizada e 150mL do filtrado, colocados em funil de separação já contendo 150mL de água destilada para realização da extração através de duas partições líquido-líquido consecutivas, com 10mL de clorofórmio. Foram coletados 5mL do extrato clorofórmio da primeira e da segunda extração, respectivamente para compor o extrato quantitativo. O extrato restante foi colocado para realização da análise qualitativa. Os extratos obtidos foram evaporados até secura total em banho-maria a 85°C e passados por corrente de nitrogênio. O resíduo resultante foi redissolvido em 100μL de benzeno e agitado em vortex por 30 segundos. Alíquotas de 10μL de cada extrato foram aplicadas em placas de sílica gel 60G. Os padrões também foram aplicados como forma de comparação. A placa foi desenvolvida em uma mistura de solventes, tolueno: acetato de etila: ácido fórmico (60:40:0,5).

Após o desenvolvimento até 12cm do ponto de aplicação, o cromatograma foi observado sob luz ultra-violeta, de comprimento de onda longo (365nm) e curto (254nm), para visualização de fluorescências características das aflatoxinas B₁ e G₁, ocratoxina A e zearalenona, respectivamente.

Os limites de detecção do método para a quantificação das amostras foram (em μg.kg⁻¹): aflatoxina B₁ = 3; aflatoxina B₂ = 2; aflatoxina G₁ = 3; aflatoxina G₂ = 2; zearalenona = 530; ocratoxina = 75. Para estes limites de detecção foram empregados os padrões de aflatoxinas B₁ (A6636), B₂ (A9026), G₁ (A0138), G₂ (A9151); ocratoxina A (O1877) e zearalenona (Z2126).

3.2.3.5 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado, com

três repetições para os diferentes tratamentos. Os resultados foram analisados pelo emprego da análise de variância (Anova) e nos modelos significativos realizado a comparação múltipla de média pelo emprego do teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

O processamento de dados e a análise estatística foram elaborados com o uso do programa estatístico SAS® (SAS INSTITUTE, 1985).

Foram realizadas também análises de regressão polinomial, através da utilização do programa estatístico Microsoft Excel 2000®.

4. ESTUDO 1

UMIDADE E PERÍODO DE ARMAZENAMENTO HERMÉTICO SOBRE A INCIDÊNCIA DE FUNGOS E A CONTAMINAÇÃO POR MICOTOXINAS EM GRÃOS DE AVEIA

4.1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem aumentado o consumo de aveia e seus subprodutos, impulsionado principalmente pelo melhor conhecimento sobre suas propriedades nutricionais e pelos benefícios que este cereal propicia à saúde. Desse modo, informações sobre colheita, secagem e armazenamento são fundamentais na manutenção da qualidade do grão (Gutkoski, 2000). Além disso, tem aumentado consideravelmente a demanda de estudos no que se refere a métodos aplicáveis a agroindústrias e a agricultores, os quais praticam cada vez mais as atividades de pós-colheita na unidade de produção rural (Martins *et al.*, 2002).

A umidade do grão, o tempo e as condições de armazenamento são os principais fatores que agem sobre a qualidade do produto, influenciando diretamente no metabolismo de grãos, fungos e outros organismos associados. Mudanças na qualidade nutricional que ocorrem durante o armazenamento constituem a rede de resultados de interações dentro de um sistema ecológico complexo. Manter a qualidade do grão é o maior objetivo de um administrador da unidade armazenadora. Procedimentos e condições de segura armazenagem possibilitam preservar as características qualitativas dos grãos por longos períodos (Elias, 2002).

A armazenagem hermética de grãos secos é baseada na redução do oxigênio disponível no ecossistema de armazenamento a níveis letais ou limitantes para os

organismos vivos associados, podendo essa redução ser obtida espontaneamente através do processo respiratório dos grãos e organismos existentes. O CO₂ é um dos produtos finais do metabolismo de substratos orgânicos em organismos vivos. O seu efeito conservativo sob condições herméticas advém de sua ação inibitória sobre a atividade enzimática dos próprios grãos e organismos associados e/ou a morte destes últimos. A ação conservativa do CO₂, em grãos armazenados sob condições herméticas, está relacionada com as concentrações dissolvidas na atmosfera intergranular e a sua adsorção na estrutura porosa interna dos grãos. Inibição e/ou bloqueio de sistemas enzimáticos e formação de carbonatos com grupos funcionais de proteínas são mecanismos relacionados com o processo. As condições herméticas de armazenamento de grãos atuam seletivamente sobre as populações de insetos através da diminuição da sua atividade, inibição e/ou paralisação biológica. O grau de umidade dos grãos, o tempo de armazenamento, a temperatura da atmosfera intergranular, as características específicas de resistência da espécie e os diferentes estádios de desenvolvimento são os principais fatores que influem na sua eficiência e/ou intensidade (Elias, 2001).

Em condições favoráveis de umidade e temperatura, os esporos dos fungos germinam, produzindo hifas, as quais invadem sementes, grãos, rações e outros substratos. Os esporos suportam grandes variações de temperatura e umidade. Em função destas características eles podem infectar produtos e sub-produtos sob as mais diversas condições ambientais. Quando o substrato proporciona a umidade necessária, os esporos germinam e ocorre o desenvolvimento do fungo (Prado, 1991).

Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos durante o armazenamento de grãos e rações são a umidade, a temperatura, o período de armazenamento, o nível inicial de contaminação, as impurezas e matérias estranhas, os insetos, os níveis de oxigênio e de CO₂, e as condições físicas e sanitárias dos grãos (Lazzari, 1997).

Os fungos potencialmente capazes de produzir metabólitos secundários tóxicos (micotoxinas) são denominados toxigênicos e podem contaminar os grãos ainda no campo, antes mesmo da colheita ou durante o armazenamento, podendo persistir em alimentos e rações destinados ao consumo de humanos e animais (Cruz, 1995). Os fungos de armazenamento estão sempre presentes em grande número em todos locais como no ar, poeira, água, e são constituintes normais da película de grãos e sementes (Lazzari, 1997).

Os fungos micotoxigênicos envolvidos na cadeia alimentar humana pertencem

basicamente aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, os quais são responsáveis pela produção da maioria das micotoxinas até hoje conhecidas e estudadas. As espécies de *Fusarium* são patógenos de plantas, produzindo micotoxinas antes da colheita ou imediatamente após ela. Os gêneros *Penicillium* e *Aspergillus* são mais comumente encontrados como contaminantes de produtos durante a secagem e o armazenamento, sendo denominados de fungos de armazenamento (Sweeney e Dobson, 1998). Estes gêneros são capazes de manter o desenvolvimento em baixas umidades, produzindo toxinas que reduzem a qualidade nutritiva dos grãos e o valor de mercado (Wetzel, 1987). Os fungos *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus* são cosmopolitas, contaminando cereais tanto no campo quanto no armazenamento.

A proporção com que as aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂ estão presentes nos cereais é dependente da espécie de *Aspergillus* presente. Segundo Doner *et al.* (1984), o *Aspergillus flavus* produz aflatoxinas B₁ e B₂, enquanto o *Aspergillus parasiticus* produz as quatro aflatoxinas (B₁, B₂, G₁ e G₂). No entanto, Sabino *et al.* (1986), verificaram também a produção de aflatoxina G₁ por *Aspergillus flavus*. O *Aspergillus flavus* está adaptado aos grãos e à parte aérea dos cereais, enquanto o *Aspergillus parasiticus* está melhor adaptado ao ambiente de solo, sendo predominante no amendoim (Moss, 1991).

A ocorrência de ocratoxina A pode variar de ano para ano, dependendo do clima e das condições de armazenamento, como conteúdo de umidade, temperatura, tempo e níveis de infecção de fungos apropriados. Olsen *et al.* (1993) verificaram que os maiores níveis de ocratoxina A em cereais e em sangue humano estavam correlacionados com anos de chuva na colheita.

Scudamore *et al.* (1999), avaliando a presença de ocratoxina A em 306 amostras de aveia, trigo e cevada, armazenadas em fazendas na Inglaterra, detectaram que em 21% das amostras ocorram micotoxinas, com maior frequência na cevada, seguindo-se trigo e aveia. Concentrações médias de ocratoxina A encontradas nas amostras foi 0,69µg.kg⁻¹ em cevada, 0,29µg.kg⁻¹ em trigo e 0,15µg.kg⁻¹ em aveia. Também observaram um aumento na frequência de amostras contaminadas com o tempo de armazenamento, sendo que a máxima frequência ocorreu no período final de armazenamento, ou seja, aquele que antecede a nova colheita. O aumento na frequência de amostras contaminadas se relacionou com a concentração de ocratoxina A, o conteúdo de umidade do grão armazenado, o tempo de armazenamento e a área geográfica.

A Zearalenona é um metabólito secundário produzido por várias espécies de *Fusarium*. O *F. graminearum* é o maior produtor, sendo que, os *F. crookwellense* e *F. semitectum* também são considerados produtores de zearalenona (IARC, 1993). Segundo D’Mello *et al.* (1999) as espécies *F. roseum culmorum* e *F. roseum equiseti* também são produtoras dessa micotoxina.

Este fungo desenvolve-se com produção de toxina em clima temperado, principalmente nas estações frias e úmidas (Furlong, 1999). Estudos sugerem que a zearalenona pode estar envolvida na etiologia dos tumores de mama em humanos. Puberdade precoce e ginecomastia também foram observadas, havendo uma correlação com a alta incidência de zearalenona nos alimentos à base de milho (Kuiper-Goodman *et al.*, 1987).

Com o trabalho se objetivou avaliar a contaminação natural por fungos a campo e a produção de micotoxinas em grãos em aveia armazenados no sistema hermético.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Matéria-prima

Para a realização do presente trabalho, que foi utilizado grãos de aveia (*Avena sativa* L), cultivar UPF-18. A aveia foi produzida em um hectare, no Campo Experimental da Palma, da UFPel, localizado no município do Capão do Leão, RS, na safra 2001. As operações de pós-colheita foram realizadas no laboratório de Pós-colheita e Industrialização de Grãos-DCTA-FAEM-UFPel.

4.2.2 Métodos experimentais

4.2.2.2 Colheita e armazenamento

A colheita foi realizada com automotriz quando a umidade dos grãos estava próxima a 16%, sendo eles pré-limpos, em máquina de ar e peneiras. Para serem obtidas umidades nas faixas de 9, 12, 15, 18 e 21%, parte dos grãos foi submetida a secagem estacionária e parte foi reidratada.

A secagem estacionária foi realizada em camada delgada (1,0m) e um silo-secador protótipo, com fluxo de ar axial, em velocidade constante de $0,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, até as umidades de 15, 12 e 9%. Para a reidratação os grãos foram mantidos em câmara fria, a 4°C , durante 5 dias, com atmosfera saturada.

Os grãos foram armazenados no sistema hermético, em latas de 20 litros com 6kg de aveia (Figura 1.1). As latas foram tampadas com pressão, cujas as tampas

também foram colocadas fitas vedantes, para garantia da hermeticidade. Em cada período das análises, a aveia era descartada na ocasião da coleta da amostra. Cada tratamento foi composto por 15 latas.



FIGURA 1.1 Latas utilizadas no armazenamento hermético.

4.2.3 Avaliações

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da FAEM/UFPel e no Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da UPF. As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitossanidade da FAEM/UFPel.

Além da avaliação qualitativa, foram realizadas análises quantitativas para se verificar o comportamento dos tratamentos ao longo do período de armazenamento, sendo as avaliações do tempo zero de armazenamento as realizadas logo após o condicionamento por secagem ou reidratação, conforme o caso.

4.2.3.1 Química, físico-químicas e bioquímicas

4.2.3.1.1 Composição

Foram analisados os conteúdos de lipídeos, proteína bruta, cinzas ou minerais e umidade, de acordo com a metodologia oficial. Por diferença foram calculados os percentuais de carboidratos. Também foram analisadas as composições de ácidos graxos, por método cromatográfico.

4.2.3.1.2 Minerais

Os macronutrientes (P, K, Mg) foram determinados por uma única digestão por H_2O_2 e H_2SO_4 . O teor de P foi determinado por espectrometria numa alíquota após

adição de molibdato de amônio e ácido aminonaftolsulfônico. O K foi determinado por fotometria de chama e, Mg foi determinado por espectrofotometria de absorção após diluição do extrato e adição de La ou Sr em solução ácida.

Os Micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Fe) e o macronutriente Na foram digeridos por HNO₃ e HClO₄. Para determinar Cu, Zn, Fe e Mn utilizou-se o fotômetro de absorção e para determinar o Na utilizou-se fotômetro de chama.

O espectrômetro de absorção atômica utilizado nas análises de minerais foi o Perkin Elmer modelo 3110 e as determinações realizadas de acordo com a metodologia desenvolvida por Tedesco *et al*, (1995).

4.2.3.2 Fungos e micotoxinas

4.2.3.2.1 Contaminação fúngica

A contaminação fúngica foi avaliada pelo *Blotter Test*.

4.2.3.2.2 Micotoxinas

A quantificação foi realizada pelo método de camada delgada.

4.2.3.3 CO₂ na atmosfera intergranular

A concentração de CO₂ foi quantificada em cromatógrafo Shimadzu® CR 950, equipado com sistema de detecção por condutividade térmica, utilizando-se como padrão, solução de CO₂ a 5%. Amostras de 1mL foram retiradas, com seringa, da atmosfera das latas onde estavam armazenados hermeticamente os grãos e injetadas no cromatógrafo. Os resultados da produção de CO₂ foram expressos em porcentagem.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química de grãos de aveia com casca em termos de proteína bruta, extrato etéreo, umidade, cinzas e carboidratos, antes de serem armazenados no sistema hermético em diferentes umidades está apresentada na Tabela 1.1. A concentração de proteínas foi de 14,92%, valor próximo à média de 15,01% encontrada por Pedó e Sgarbieri (1997) ao caracterizar quatro cultivares de aveia.

O teor de proteína bruta do grão de aveia varia consideravelmente entre as cultivares, bem como no mesmo cultivar quando exposto a diferentes locais de cultivo (Gutkoski, 2000). Em estudo realizado com 25 genótipos de aveia cultivados em diferentes ambientes no sul do Brasil com relação ao conteúdo de proteínas, os valores

variaram entre 12,7 e 16,9% (Milach *et al.*, 2000).

O teor de lipídios obtido na aveia em estudo, 6,82%, está de acordo com os resultados obtidos por Pedó e Sgarbieri (1997), os quais variaram entre 7,18 e 7,50. Gutkoski *et al.* (1997) em estudo de caracterização química da cultivar UPF 16 verificaram valores mais altos (8,90%) na fração de granulometria superior a 532 μ m; 8,0% na cariopse e 7,27% na fração de granulometria inferior a 532 μ m.

O teor de cinzas encontrado ficou acima dos 2,00% verificados por Pedó e Sgarbieri (1997) pelo fato de a aveia do presente trabalho ter sido analisada com casca.

TABELA 1.1 Composição centesimal de grãos de aveia da cultivar UPF 18

Componente	Porcentagem
Proteína bruta (N x 6,25)	14,92 \pm 0,36
Extrato etéreo	6,82 \pm 0,16
Cinzas	2,23 \pm 0,14
Umidade	13,52 \pm 0,05
Carboidratos ¹	62,51 \pm 0,58

Resultados representam a média de três determinações \pm desvio padrão;

1. Calculado por diferença.

A composição em ácidos graxos do extrato etéreo de grãos de aveia, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos zero, dois e doze meses estão apresentados na Tabela 1.2. A análise de variância no modelo fatorial demonstrou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) em relação ao tempo de armazenamento quanto aos ácidos graxos saturados. Percebe-se um aumento no conteúdo dos ácidos graxos saturados totais ao longo do período de armazenamento, com exceção dos tratamentos a 9 e 12% de umidade, em que ocorreu diminuição.

Em relação aos ácidos graxos insaturados totais, verifica-se um aumento nos tratamentos a 9 e 12% de umidade e diminuição nos de 15, 18 e 21%. O teor de ácido linolênico sofreu uma redução em todos os tratamentos aos doze meses de armazenamento. Nas umidades de 18 e 21% a redução do ácido linolênico aos doze meses de armazenamento foi 61,9 e 60,3%, respectivamente, em comparação aos dois meses de armazenamento. Também o ácido graxo linoléico apresentou uma redução, sendo mais intenso nos tratamentos com maiores teores de umidade de armazenamento hermético.

TABELA 1.2. Composição em ácidos graxos do extrato etéreo de grãos de aveia da cultivar UPF 18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos zero, dois e doze meses¹

Ácidos graxos	Tempo de armazenamento (meses)										
	0	2					12				
	M.P.	9% b.u.	12% b.u.	15% b.u.	18% b.u.	21% b.u.	9% b.u.	12% b.u.	15% b.u.	18% b.u.	21% b.u.
Mirístico C 14:0	0,00	0,12	0,16	0,15	0,09	0,21	0,13	0,18	0,22	0,12	0,25
Palmítico C 16:0	13,3	15,03	16,01	14,64	15,6	16,1	14,5	14,67	16,65	17,56	17,56
Esteárico C 18:0	1,70	1,65	1,72	1,61	1,68	1,92	1,75	1,67	2,35	2,2	2,2
Araquídico C 20:0	1,30	0,95	0,83	1,07	0,9	0,8	1,19	1,16	1,16	1,3	1,06
Total saturados	16,4	17,75	18,72	17,47	18,27	19,03	17,64	17,68	20,38	21,18	21,07
Oléico C18:1	43,8	41,55	41,03	42,04	42,32	41,06	42,91	43,15	40,53	45,74	43,93
Linoléico C 18:2	37,5	39,21	38,87	39,16	38,15	38,49	38,13	38,06	38,04	32,3	34,12
Linolênico C 18:3	2,3	1,49	1,38	1,33	1,26	1,42	1,25	1,11	1,05	0,78	0,88
Total insaturados	83,6	82,25	81,28	82,53	81,73	80,97	82,36	82,32	79,62	78,82	78,93

b.u. - percentual de umidade, expresso em base úmida;

M.P. - matéria-prima;

¹ médias aritméticas em duplicata, expressas em g.100g⁻¹.

A composição de lipídios na aveia é favorecida pelo alto teor de ácidos graxos insaturados, dentre eles o linoléico que é considerado essencial para a nutrição humana, também é o mais abundante. Por outro lado, essa composição contribui para a frágil estabilidade dos produtos de aveia e a formação de compostos indesejáveis (Galliard, 1983). Segundo Shahidi (1995) a determinação de voláteis individuais ou totais de compostos carbonílicos formados da degradação dos hidroperóxidos é uma alternativa para monitorar a extensão da rancidez oxidativa. O n-hexanal, um dos principais produtos secundários formados durante a oxidação do ácido linoléico (Frankel *et al.*, 1981), bem como outros aldeídos e cetonas têm sido usados para monitorar a rancidez oxidativa de grãos cereais e seus produtos.

A rancidez oxidativa consiste na incorporação do oxigênio aos glicerídeos e ácidos graxos livres com a formação de peróxidos, ácidos, aldeídos, polímeros e outros. A presença de luz, oxigênio, íons metálicos e altas temperaturas também aceleram o processo de oxidação. Entretanto, a rancidez cetônica decorre da ação de alguns fungos que na presença de umidade elevada e material nitrogenado, produzem metil-cetonas, além de outros metabólitos, dando origem ao odor característico do ranço (Elias, 2001).

Na rancidez oxidativa enzimática, as lipoxigenases e outras enzimas catalisam reações entre ácidos graxos insaturados e o oxigênio molecular, produzindo

hidroperóxidos. Os hidroperóxidos são degradados, por diversas reações, a compostos voláteis e a compostos não voláteis. A velocidade de oxidação dos ácidos graxos aumenta em relação ao seu grau de insaturação. As taxas relativas de rancidez oxidativa dos ácidos oléico, linoléico e linolênico são na ordem de 1:40-50:100, com base no consumo de oxigênio, e de 1:12:25, com base na formação de peróxidos (Galiard, 1983).

Por outro lado, os lipídios dos grãos de aveia são protegidos da oxidação por vários componentes químicos com propriedades antioxidantes. Os compostos fenólicos estão entre desses componentes e inibem a atividade da lipase no grão, evitando a oxidação lipídica e protegendo da atividade destrutiva dos radicais livres. Zaderowski *et al.* (1999) observaram que o tratamento hidrotérmico aplicado no grão durante o processamento da aveia não reduz as propriedades antioxidantes. No entanto, processos mais drásticos, como a extrusão, resulta na degradação dos compostos fenólicos, deixando os produtos extrusados mais suscetíveis à oxidação.

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com Molteberg *et al.* (1995) em que não verificaram a redução no conteúdo de ácidos graxos insaturados de aveia armazenada por 15,5 meses a umidades de até 14,5%. Nas amostras que sofreram processamento, o ácido linolênico apresentou redução, o que está relacionado com o aumento do conteúdo de produtos de oxidação. A diminuição do ácido linolênico no armazenamento e processamento ocorreu em função de sua degradação a compostos menores. Molteberg *et al.* (1995) verificaram que mesmo na aveia não processada e armazenada na umidade relativa de 80% a formação de n-hexanal foi 2 vezes maior quando comparado com a aveia armazenada a 30% de umidade relativa.

A ação dos fungos é ativada a partir de um limite de atividade de água nos grãos, estando ao redor 0,72 aw com 20°C nos cereais em geral (Hodges, 1989). A diminuição dos ácidos graxos insaturados totais encontrados nos tratamentos com teores mais elevados de umidade pode também estar relacionado com a ação de fungos de armazenamento que estão em maior número (Tabela 3), conforme trabalho realizado Hodges (1989).

Na Tabela 1.3 são apresentados os valores de ocorrência de fungos nos grãos e na Tabela 1.4 são apresentados os valores de contaminação por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicilium* e outros fungos em grãos de aveia, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos, zero, três, seis, nove e doze meses de armazenamento.

Na Tabela 1.3 pode-se observar que houve ataque fúngico em todos os grãos armazenados com umidade superior a 15%, já a partir do terceiro mês de armazenamento. Em umidades mais baixas, o ataque fúngica foi diminuindo com o passar do tempo.

TABELA 1.3. Ocorrência fúngica (%) em grãos aveia da cultivar UPF 18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos zero, três, seis, nove, e doze meses

Umidade dos grãos (% b.u.)	Tempo de armazenamento (meses)	Grãos com incidência fúngica	Grãos sem incidência fúngica
9	0	96	4
9	3	89	11
9	6	91	09
9	9	71	29
9	12	65	35
12	0	96	4
12	3	86	14
12	6	87	13
12	9	81	19
12	12	61	39
15	0	96	4
15	3	97	3
15	6	92	08
15	9	81	19
15	12	87	23
18	0	96	4
18	3	99	1
18	6	100	-
18	9	100	-
18	12	100	-
21	0	96	4
21	3	99	1
21	6	100	-
21	9	100	-
21	12	100	-

O tempo zero de armazenamento refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura;

b.u.- percentual de umidade dos grãos, expresso em base úmida.

TABELA 1.4. Incidência fúngica (%) em grãos aveia da cultivar UPF 18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos zero, três, seis, nove, e doze meses

Umidade (% b.u.)	T.A.	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	Fungos arm.*	Outros
9	0	1	1	2	4	92
9	3	-	-	-	0	92
9	6	-	-	-	0	94
9	9	-	-	-	0	78
9	12	-	-	-	0	69
12	0	1	1	2	4	92
12	3	01	-	01	2	89
12	6	-	02	-	2	95
12	9	-	-	-	0	83
12	12	-	-	-	0	68
15	0	1	1	2	4	92
15	3	15	1	3	19	85
15	6	04	06	03	13	78
15	9	04	05	04	13	92
15	12	05	05	01	11	89
18	0	1	1	2	4	92
18	3	41	42	10	93	27
18	6	45	62	09	116	16
18	9	34	65	11	110	13
18	12	31	86	10	127	3
21	0	1	1	2	4	92
21	3	6	42	72	120	4
21	6	05	46	59	110	2
21	9	12	52	47	111	6
21	12	19	48	46	113	3

* Σ dos fungos de armazenamento (*Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*);

** o tempo zero refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura;

T.A.- tempo de armazenamento (meses);

b.u.- percentual de umidade dos grãos, expresso em base úmida.

No tempo zero, os fungos encontrados referem-se basicamente aos de campo, ou seja, a contaminação natural dos grãos na lavoura (Tabela 1.4). Nos tratamentos com umidades mais baixas dos grãos, menos do que 15%, foi verificada predominância de fungos tipicamente de campo, cuja incidência decresceu na seguinte ordem *Colletotrichum*, *Chaetomium*, *Phoma*, *Bipolaris*, *Alternaria* e *Neurospora*. Umidades

mais elevadas favoreceram os fungos típicos de armazenamento. O ecossistema apresentado e a dinâmica típica de sucessão da microflora explicam o comportamento.

A modificação da coloração dos grãos em aveia ocorrida no final de doze meses de armazenamento, (Figura 1.2), permite destacar a ação dos microrganismos nas diferentes umidades de armazenamento.

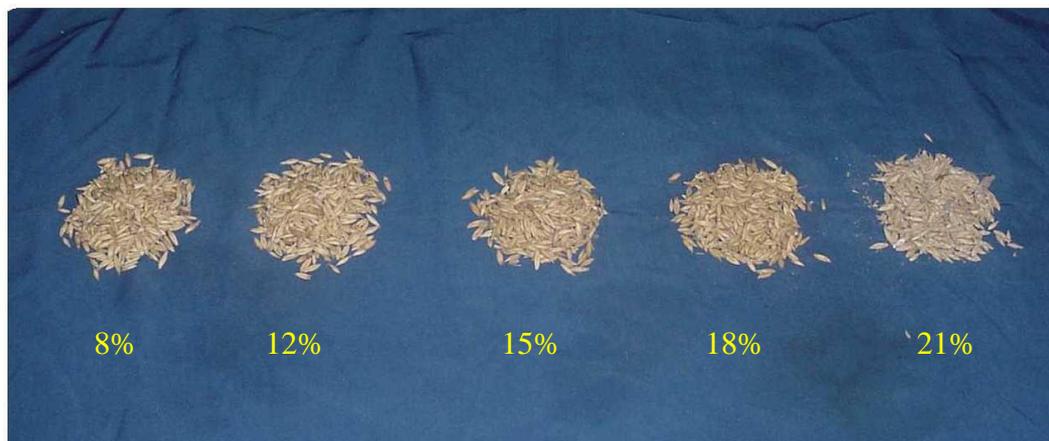


FIGURA 1.2. Coloração de grãos aveia, cultivar UPF18, armazenados durante doze meses pelo sistema hermético, em cinco umidades.

A análise de variância (Tabela 3a, Anexo) do tipo fatorial detectou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos com relação os fatores umidades dos grãos e meses de armazenamento, evidenciando a influência desses parâmetros sobre a dinâmica populacional dos fungos de campo e de armazenamento no sistema hermético. Os resultados da análise estatística demonstram que a interação entre umidade de armazenamento x tempo de armazenamento também foi significativa ($p \leq 0,01$).

Os dados da Tabela 1.5 confirmam a baixa incidência dos fungos de armazenamento, sendo significativamente inferiores nas umidades 9 e 12%. A maior incidência fúngica para os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* ocorreu na umidade de 18%, seguindo-se os tratamentos 21 e 15%. A incidência fúngica significativamente superior nos grãos com umidade maior do que 15% é devida ao fato de estes gêneros de fungos serem beneficiados pelo aumento da umidade, ainda que sobrevivam em grãos mais secos. Para o gênero *Fusarium*, a maior incidência foi em grãos com 21% de umidade, provavelmente por se adaptar melhor em umidades relativas mais elevadas.

Em relação ao fator tempo de armazenagem hermética, os fungos de campo diminuíram ao longo do tempo, enquanto as outras espécies aumentaram. O gênero *Penicillium* apresentou um aumento crescente na incidência fúngica, a partir do terceiro mês enquanto o *Fusarium* apresentou comportamento inverso. Os fungos do gênero

Aspergillus apresentaram a máxima incidência aos três meses de armazenamento, ocorrendo diminuição após esse período.

TABELA 1.5. Resultados da incidência fúngica dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* e outros fungos quanto as umidades e meses de armazenamento hermético¹

Umidade*	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	Outros fungos
9	D 0,20	D 0,60	D 0,40	A 85,06
12	D 0,46	D 0,20	D 0,67	A 85,40
15	C 5,80	C 3,67	C 2,67	A 87,20
18	A 30,60	A 51,20	B 8,40	B 30,20
21	B 8,40	B 37,80	A 45,00	C 21,40

Tempo (meses)	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	Outros fungos
0	C 1,00	E 1,00	E 2,00	A 92,00
3	A 12,47	D 17,07	A 17,27	B 59,46
6	B 10,80	C 23,20	B 14,00	C 57,00
9	B 10,00	B 24,40	C 12,40	D 54,40
12	B 11,20	A 27,80	D 11,47	E 46,40

* b.u. - percentual de umidade, expresso em base úmida;

¹Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Frisvad (1995), condições de elevada umidade de grãos e de temperatura ambiente aumentam o metabolismo dos grãos, o que favorece o crescimento microbiano. A contaminação por microrganismos ainda no campo é natural e permanente. Em condições ambientais, os grãos que apresentam umidade elevada na colheita favorecem a predominância de fungos dos gêneros *Fusarium*, *Alternaria* e *Helminthosporium*, denominados fungos de campo.

Durante um longo período de armazenamento, fungos xerófilos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, denominados fungos de armazenamento, progressivamente substituem os fungos de campo. Nas umidades de 15 a 19% (0,75-0,85 de aw), mais espécies de fungos de campo são inibidas ou morrem enquanto espécies de fungos de

armazenamento crescem, mesmo que lentamente. O resultados (Tabelas 1.3, 1.4, 1.5) estão de acordo com as observações de Frisvad (1995).

Na Tabela 1.6 são apresentados os valores de determinação das micotoxinas aflatoxinas B₁, B₂, G₁, G₂, zearalenona e ocratoxina A em grãos de aveia, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos dois e doze meses.

TABELA 1.6 Concentração de micotoxinas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) em grãos aveia da cultivar UPF-18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades nos tempos dois e doze meses

Micotoxinas	Tempo de armazenamento (meses)									
	2					12				
	9% b.u.	12% b.u.	15% b.u.	18% b.u.	21% b.u.	9% b.u.	12% b.u.	15% b.u.	18% b.u.	21% b.u.
Aflatoxina B ₁	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Aflatoxina B ₂	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Aflatoxina G ₁	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Aflatoxina G ₂	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Zearalenona	<530	<530	<530	<530	<530	<530	<530	<530	<530	<530
Ocratoxina A	<75	<75	<75	<75	<75	<75	<75	<75	<75	<75

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

Analisando-se os dados da Tabela 1.6, verifica-se que diferem dos resultados relatados por Scudamore *et al.* (1999), os quais, examinando amostras de aveia, trigo e cevada detectaram em 21% das amostras examinadas a ocorrência da micotoxina Ocratoxina A, com maior frequência em cevada do que trigo e aveia. As concentrações médias de ocratoxina A encontradas nas amostras foram $0,69 \mu\text{g.kg}^{-1}$ em cevada, $0,29 \mu\text{g.kg}^{-1}$ em trigo e $0,15 \mu\text{g.kg}^{-1}$ em aveia. Também observaram um aumento na frequência de amostras contaminadas com o tempo de armazenamento. Embora com baixa incidência de micotoxinas, os resultados de Scudamore *et al.* (1999) diferem do presente trabalho provavelmente em virtude do limite de detecção do método empregado, que foi de $75 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para a Ocratoxina A, portanto bem acima dos $15 \mu\text{g.kg}^{-1}$, em média, citados pelos autores.

Considerando-se que no presente trabalho o método empregado para detecção das micotoxinas tem limite mínimo de ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) para a aflatoxina B₁ = 3, aflatoxina B₂ = 2, aflatoxina G₁ = 3, aflatoxina G₂ = 2, zearalenona = 530 e ocratoxina = 75, pode-se afirmar que em todos os tratamentos, a ocorrência foi baixa. No Brasil, a legislação ainda não define o limite de detecção para micotoxinas em aveia, bem como para os

demais grãos cereais. Entretanto, o mercado tem utilizado como indicador na compra de grãos de aveia para consumo humano, o limite máximo de 20 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de aflatoxinas (Setti, 2002).

A quantidade do ácido graxo linolênico, a atividade da enzima lipoxigenase, a predominância de fungos saprófitas a campo, os antioxidantes presentes naturalmente, a concentração de CO_2 da atmosfera intergranular e a capacidade de complexação dos minerais pelo ácido fítico (Zeringue *et al.*, 1996; Dilkin *et al.*, 2000; Peterson, 2001), também podem ser apontados como fatores que interferiram na ocorrência de concentrações de micotoxinas em grãos de aveia armazenados pelo sistema hermético em diferentes umidades, pelo menos em quantidades não detectáveis na sensibilidade da metodologia analítica utilizada.

Nem só a pesquisa mostra preocupações com análises de ocorrência de micotoxinas. No serviço de controle de qualidade de uma empresa de processamento de aveia para uso na alimentação humana, após seis anos de monitoramento de grãos de aveia utilizados no processo, não foi detectado lotes com micotoxinas (Setti, 2002). Neste controle de micotoxinas o limite mínimo de detecção para a ocratoxina A foi de $1\mu\text{g.kg}^{-1}$.

Dentre os fungos produtores de aflatoxinas destacam-se as espécies de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* e *Aspergillus nomius* (Carvajal e Arroyo, 1997). A capacidade de produção de micotoxinas é uma característica inerente de cada cepa, sendo que nem todos os fungos produzem toxinas e nem todas as espécies de um mesmo gênero demonstram-se potencialmente toxigênicas (Taniwaki e Silva, 1996).

A ocratoxina A pode ser produzida por espécies de *Aspergillus*, especialmente por *Aspergillus ochraceus* e espécies de *Penicillium*, principalmente *Penicillium verrucosum*. As espécies de *Penicillium* produzem ocratoxina A em climas temperados, enquanto *Aspergillus ochraceus* encontra melhores condições para a produção de ocratoxina A em climas quentes (Sweeney e Dobson, 1998).

A produção da toxina zearalenona não se dá na sua temperatura ótima de crescimento do fungo, nem em temperaturas próximas. O *Fusarium* ssp. cresce na faixa entre 0 e 40°C, sendo que a temperatura ótima é de 20 a 25°C. A toxina, contudo, pode ser produzida a temperaturas baixas, em torno de 12°C (Lazzari, 1993).

Nos grãos de aveia são encontrados muitos componentes que tem atividade antioxidante. Vitamina E, ácido fítico e compostos fenólicos são os mais abundantes antioxidantes em aveia, estando também presentes os flavonóides e esteróis (Peterson,

2001). Esses fatos, certamente determinaram os comportamentos observados.

Na Figura 1.3 estão representadas as concentrações de CO₂ na atmosfera gasosa intergranular de grãos de aveia do cultivar UPF-18, armazenados pelo sistema hermético com cinco umidades nos tempos dois e doze meses. A produção de CO₂ pelo grão é diretamente proporcional ao seu grau de umidade e ao tempo de armazenamento, o que pode ser comprovado pela equação de regressão de primeiro grau aos dois e doze meses de armazenamento, cujos coeficientes de determinação foi 0,9761 e 0,9657, respectivamente. Esse aumento linear da umidade com o CO₂, pode explicar o efeito conservativo do CO₂ na massa de grãos, diferentemente do que ocorre no armazenamento convencional.

No armazenamento pelo sistema hermético, o CO₂ produzido estabiliza o processo de degradação da massa de grãos e cessa a respiração pela redução da relação oxigênio/gás carbônico, diminuindo a produção de água e calor, os processos respiratórios e o ataque por microrganismos. De fato, a maior causa da produção de CO₂ e perda de matéria seca em cereais armazenados é devida à incidência de microrganismos, conforme relatos da literatura especializada (Milner *et al.*, 1947; Fernandez *et al.*, 1985; Muir *et al.*, 1985; Elias, 2001; Fleurat-Lessart, 2002).

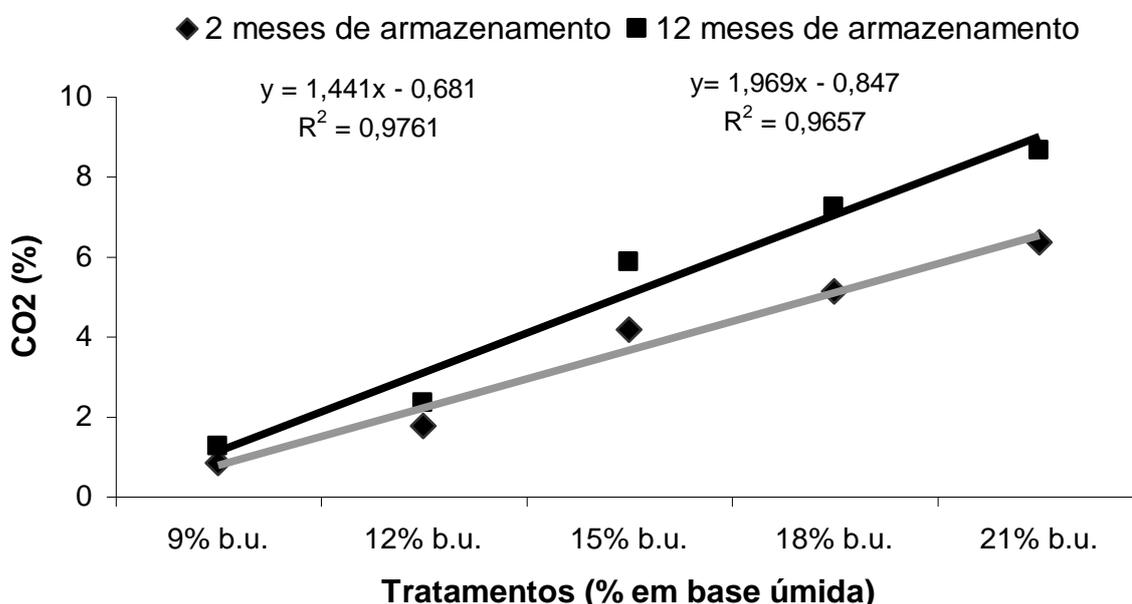


FIGURA 1.3 Concentração de CO₂ (% ou KPa) na atmosfera intergranular de grãos de aveia, cultivar UPF 18, aos dois e doze meses de armazenamento hermético com cinco umidades.

Na Tabela 1.7 está apresentada composição mineral em grãos aveia descascados da cultivar UPF 18, oriundos de doze meses de armazenamento hermético, com casca, em cinco umidades.

TABELA 1.7 Minerais em grãos aveia, UPF-18, armazenados pelo sistema hermético em cinco umidades durante doze meses

Tratamentos (% b.u.)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Na (mg/kg)
9	0,46	0,63	0,13	28,15	54,15	2,13	55,78	88,13
12	0,44	0,60	0,13	28,05	53,29	1,96	51,82	87,30
15	0,48	0,50	0,14	28,48	57,80	2,94	62,45	88,13
18	0,40	0,45	0,14	28,91	55,09	2,94	86,36	86,56
21	0,46	0,50	0,13	28,27	49,67	2,94	46,50	91,28

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida, de grãos descascados.

Observando-se os resultados da Tabela 1.7, verifica-se que os maiores teores são de potássio, fósforo e sódio, havendo grande diversificação de nutrientes nos grãos de aveia.

Como o grau de umidade dos no armazenamento influencia no metabolismo dos grãos e dos organismos associados, esse fato se reflete nos valores observados. As grandes variações proporcionais de constituintes dos grãos ocorrem na parte orgânica, com reflexos proporcionalmente menores nos conteúdos minerais, embora esses sejam importantíssimos tanto em termos de valor nutritivo dos grãos, quanto no desenvolvimento microbiano e na produção de micotoxinas conforme registra a literatura especializada (Gourama e Bullerman, 1995; Scussel, 2002)

4.4. CONCLUSÕES

a) O armazenamento hermético de grãos de aveia, com umidade entre 9 e 21%, não favorece a produção de aflatoxinas (B₁, B₂, G₁e G₂), ocratoxina A e nem zearalenona, pelo menos, durante doze meses independentemente da umidade.

b) A quantidade de CO₂ na atmosfera intergranular no armazenamento hermético tem comportamento linear e é diretamente proporcional à umidade e ao tempo de armazenamento.

c) Os fungos de campo diminuem a incidência ao longo do tempo de armazenamento hermético, independentemente da umidade dos grãos.

d) O grau de umidade dos grãos influencia na incidência fúngica durante o armazenamento hermético, predominando os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* a 18% de umidade e do *Fusarium* a 21%.

e) O aumento do tempo de armazenamento e da umidade dos grãos em valores superiores a 12% intensifica a redução dos conteúdos de ácidos graxos insaturados, com predominância de ação sobre o linoléico e o linolênico.

5. ESTUDO 2

SISTEMAS DE ARMAZENAMENTOS HERMÉTICO E CONVENCIONAL NA CONSERVABILIDADE DE GRÃOS DE AVEIA (*Avena sativa* L)

5.1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem aumentado consideravelmente o consumo de aveia e seus subprodutos, impulsionado principalmente pelo crescente conhecimento sobre suas propriedades nutricionais e pelos benefícios que este cereal propicia à saúde. Desse modo, informações sobre colheita, secagem e armazenamento são fundamentais na manutenção da qualidade do grão. Assim, tem aumentado também a demanda de estudos sobre o assunto, especialmente no que se refere a métodos aplicáveis a agroindústrias e a propriedades rurais, os quais praticam, cada vez mais, as atividades ligadas a pós-colheita na unidade de produção rural (Martins *et al.*, 2002).

O método estacionário é caracterizado pela passagem forçada do ar em fluxo axial ou radial, através da massa de grãos, a qual permanece parada no compartimento de secagem (Barbosa *et al.*, 2001). Após a operação de secagem os grãos podem ser armazenados ou processados, devendo ser mantida sua qualidade. A predição das condições de armazenamento seguro permite a preservação de características qualitativas de grãos recentemente colhidos sobre um longo período de armazenamento, podendo evitar que ocorra uma significativa deterioração. Embora seja importante prever as mudanças de qualidade dos grãos durante o armazenamento, as mesmas são difíceis de avaliar e monitorar (Fleurat-Lessard, 2002).

O sistema hermético de armazenamento de grãos secos é baseado na redução do oxigênio disponível no ecossistema de armazenamento a níveis letais ou limitantes para os organismos vivos associados, podendo essa redução ser obtida espontaneamente através do processo respiratório dos grãos e organismos existentes (Elias, 2002).

O armazenamento convencional, extensivamente utilizada no Brasil, usa estruturas como armazéns e/ou depósitos de construção relativamente simples, de alvenaria, na quase totalidade, com o acondicionamento dos grãos em sacaria. A versatilidade de utilização das instalações, permitindo o armazenamento na mesma construção, de mais de uma espécie e/ou cultivar de grãos, com destinos distintos e utilização para outros fins que não o armazenamento, como a guarda de maquinaria agrícola e adubos (Puzzi, 2000).

A umidade do grão, o tempo e as condições de armazenamento são os principais fatores que agem sobre a qualidade do produto, aí incluindo o metabolismo do grão da ação de fungos e outros organismos associados. Mudanças na qualidade que ocorrem durante o armazenamento constituem a rede de resultados de interações dentro de um sistema ecológico complexo. Manter a qualidade do grão é o maior objetivo de um administrador da unidade armazenadora. Procedimentos e condições seguras de armazenagem possibilitam preservar as características qualitativas dos grãos por longos períodos (Elias, 2002).

Não obstante os avanços tecnológicos verificados, o armazenamento de aveia necessita de atenção especial, pelo fato de o grão ter forte tendência à rancidez, principalmente pela ação das enzimas lipases, produtoras de ácidos graxos livres. Desse modo, os ácidos graxos de cadeias insaturadas, são facilmente oxidados a hidroperóxidos, que, em reações posteriores, se transformam numa grande variedade de compostos de baixo peso molecular, conferindo ao produto aroma e sabor desagradáveis (Gutkoski e Pedó, 2000). Assim, é necessária a adoção de medidas preventivas que mantenham a qualidade, em sistema integrado, encontrando o melhor caminho econômico na manutenção da qualidade do grão para proteção contra pragas e outros fatores deterioradores do ecossistema existente.

A ação de certos gêneros de fungos, além da degradação, pode resultar em produção de micotoxinas, o que impede o consumo de grão mofado. O uso de medidas preventivas, que são eficientes e impedem significativas perdas (Magan e Evans, 2000). Isso facilita e melhora o manejo existente em grãos armazenados.

Os diferentes fungos produtores de micotoxinas são encontrados em todas as

regiões do mundo e podem crescer em uma grande variedade de substratos e sob várias condições de umidade, pH e temperatura. Assim, os grãos estão sujeitos à invasão por fungos e à contaminação com micotoxinas no campo, ou durante a colheita, no processamento, no transporte e na estocagem, quando em condições deficientes de manuseio (Scussel, 2002).

Com o trabalho se objetivou avaliar a influência da umidade nos sistemas hermético e convencional durante doze meses armazenamento, com vistas a indicar parâmetros de qualidade para aveia branca.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Avaliações

As análises físico-químicas foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da FAEM/UFPel e no Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da UPF. As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitossanidade da FAEM/UFPel.

Além da avaliação qualitativa, foram realizadas análises quantitativas para se verificar o comportamento dos tratamentos ao longo do período de armazenamento, sendo as avaliações do tempo zero de armazenamento as realizadas logo após o condicionamento por secagem ou reidratação, conforme o caso.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Matéria-prima

Para a realização do presente trabalho, utilizaram-se grãos de aveia (*Avena sativa* L), cultivar UPF-18. A aveia foi produzida em um hectare, no Campo Experimental da Palma, da UFPel, localizado no município do Capão do Leão, RS, na safra 2001. As operações de pós-colheita foram realizadas no laboratório de Pós-colheita e Industrialização de Grãos-DCTA-FAEM-UFPel.

5.2.2 Métodos experimentais

5.2.2.2 Colheita e armazenamento

A colheita foi realizada com automotriz quando a umidade dos grãos estava próxima a 16%, sendo eles pré-limpos, em máquina de ar e peneiras. Para serem obtidas umidades nas faixas de 8, 11, 14% os grãos foram submetidos à secagem estacionária.

Utilizou-se a secagem estacionária em camada delgada (1,0m) pelo emprego do silo-secador protótipo, com fluxo de ar axial e velocidade constante de $0,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, até as umidades de 14, 11 e 8%. Após a secagem os grãos foram armazenados em dois sistemas: hermético e convencional.

Os grãos foram armazenados no sistema hermético, em latas de 20 litros com 6kg de aveia. As latas foram tampadas com pressão, cujas as tampas também foram colocadas fitas vedantes, para garantia da hermeticidade. Em cada período das análises, a aveia era descartada na ocasião da coleta da amostra. Cada tratamento foi composto por 15 latas.

No sistema convencional os grãos foram armazenados em sacarias de polipropileno, de 40 kg, dispostas em pilhas, com condições atmosféricas não modificadas e com controle técnico operacional, constituído de avaliações periódicas das condições ambientais e das infestações de insetos. Durante o armazenamento foram realizadas duas operações de expurgo, uma na instalação do experimento e a segunda aos cinco meses, em função da presença de pragas, com aplicação de pastilhas de fosfeto de alumínio, na dosagem de duas gramas de princípio ativo por metro cúbico de câmara.

As umidades iniciais de 14, 11 e 8%, verificadas no início do armazenamento, sofreram alterações de acordo com as condições ambientais e de equilíbrio higroscópico dos grãos, conforme estão apresentados na Tabela 2.1.

5.2.3 Avaliações

As análises físico-químicas foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da FAEM/UFPeI e no Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da UPF. As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitossanidade da FAEM/UFPeI e no Laboratório de Sementes do Departamento de Fitotecnia da FAEM/UFPeI.

Além da avaliação qualitativa, foram realizadas análises quantitativas para se verificar o comportamento dos tratamentos ao longo do período de armazenamento, sendo as avaliações do tempo zero de armazenamento as realizadas logo após o condicionamento por secagem.

5.2.3.1 Químicas, físico-químicas e biológicas

5.2.3.1.1 Composição

Foram analisados os conteúdos de lipídeos totais determinados em aparelho Soxhlet pelo método 30.20 da AACC (1983). Os resultados foram expressos em $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$, em base seca, com três repetições. Também foram analisadas as composições de ácidos graxos, por método cromatográfico.

5.2.3.1.2 Índice de Acidez. A determinação do índice de acidez foi realizada de acordo com o método número Ca5a-40 da AOCS (1990) e os resultados expressos em mg de $\text{KOH} \cdot \text{g}$ óleo⁻¹.

5.2.3.1.3 Atividade de lipase. A atividade residual da enzima lipase foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Kaur *et al.* (1993), através do preparo de substrato pela homogeneização de 2g de álcool polivinílico, 40mg de desoxicolato de sódio e 50mL de óleo de oliva em 100mL de tampão fosfato 0,2M, pH 7,4 (0,5:1) por 2,5 minutos. A seguir, 2g de amostra foram dispersas em 5mL de substrato, incubado a 38 °C por 24 horas, sendo a reação paralisada pela adição de 20mL de solução de álcool etílico e acetona (1:1), neutralizada. A quantidade de ácidos graxos livres foi estimada pela titulação da mistura com KOH 0,1N até pH 8,3 e a atividade de lipase expressa em porcentagem de hidrólise com base no índice de saponificação do substrato.

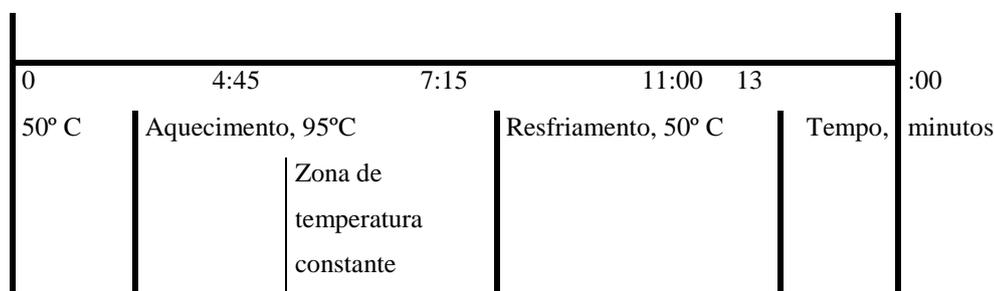
5.2.3.1.4 Atividade de peroxidase. A atividade residual da enzima peroxidase foi determinada através da dispersão de 0,625g de amostra em 25mL de tampão TRIS-HCL 0,2 M, pH 8,5, agitação por 10 minutos e centrifugação por 15 minutos a 2.000 x g. Uma alíquota de 0,5mL do sobrenadante foi misturada com 3mL da solução de substrato, realizando-se a leitura em espectrofotômetro na absorvância de 420nm. O substrato foi preparado pela homogeneização de 50mM de guaiacol, 20mM de peróxido de hidrogênio e 5% de etanol em tampão acetato de sódio 0,1M, pH 5,0 (Ekstrand *et al.*, 1992). Uma atividade de peroxidase correspondeu ao aumento de 0,001 na absorvância a 420nm.minuto⁻¹.g⁻¹ de amostra.

5.2.3.2 Físicas e tecnológicas

5.2.3.2.1 Cor. Foi determinada pelo Espectrofotômetro de Reflectância Difusa, marca Hunter Lab, modelo Color Quest II, com sensor ótico geométrico de esfera. O aparelho

foi calibrado com cerâmica, realizando-se a leitura por reflexão e utilizando-se ângulo de observação de 10°, iluminante principal D65 (luz do dia) e iluminante secundário flu-branca fria. No sistema Hunter de cor, corrigido pela CIE, os valores L* (luminosidade) flutuam entre zero (preto) e 100 (branco), -a* (verde) até +a* (vermelho), e -b* (azul) até +b* (amarelo). As leituras foram realizadas em triplicata.

5.2.3.2.2 Viscosidade. A viscosidade das amostras foi determinada usando-se o analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser), modelo RVA-3D+ da Newport Scientific Pty. Ltd., Sidney, Austrália, provido do software Termocline. O tempo (min) e a temperatura (°C) utilizados nesta determinação foram distribuídos da seguinte forma:



O analisador rápido de viscosidade foi projetado para determinações de viscosidade de produtos amiláceos a partir de pequenas quantidades de amostra (3-4g) e em curto espaço de tempo (13-20min). As etapas de aquecimento, temperatura constante e resfriamento são monitoradas automaticamente por computador (Walker *et al.*, 1988). Foram tomados 25mL de água destilada e 3,5g de amostra, previamente corrigida para 14% de umidade e colocada em copo especial de folha de alumínio, em duplicata. Após a inserção da paleta e da colocação do copo no aparelho, o ciclo do teste foi iniciado, sendo os resultados das análises interpretados a partir dos gráficos fornecidos pelo software do aparelho. Os parâmetros usados na interpretação dos resultados (unidades viscoamilográficas-UVA) foram:

- viscosidade inicial - valor da viscosidade no ponto onde se inicia o amilograma à temperatura de 50°C;
- viscosidade à temperatura constante - valor da viscosidade máxima obtida durante o aquecimento à temperatura constante de 95°C;
- viscosidade final - valor da viscosidade máxima, obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C;
- temperatura de pasta (ou temperatura inicial de gelatinização) - temperatura em °C que

corresponde ao ponto onde inicia a formação de curva no gráfico.

5.2.3.2.3 Número de queda. A atividade amilolítica foi determinada em aparelho Falling Number, marca Perten, de acordo com o método nº 56-81 B da AACC (1983). Foi utilizado 7g de amostra corrigida para 14% de umidade, adicionado de 25mL de água destilada, agitado 30-40 vezes e realizado o ensaio em duplicata.

5.2.3.3 Qualidade biológica

5.2.3.3.1 Teste de germinação. O teste de germinação foi realizado de acordo com o recomendado pelas Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 1992), porém utilizando-se 4 repetições de 50 grãos, em germinador a 25°C e contagens aos 7 e 10 dias, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

5.2.3.3.2 Teste de vigor. O vigor foi avaliado pelo teste de calor sem solo, sendo seguida a metodologia sugerida por Cícero e Vieira (1994), utilizando-se 4 repetições de 50 grãos, distribuídas em rolos de papel germitest, sendo o mesmo umedecido com água destilada equivalente 2,5 vezes o seu peso. Após a montagem dos rolos, os mesmos eram embalados em sacos plásticos e mantidos em refrigerador a temperatura constante de 41°C, durante 3 dias. Após esse período, os rolos eram retirados dos sacos plásticos e transferidos para um germinador regulado para temperatura constante de 20°C. As contagens foram realizadas aos sete e aos dez dias e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

5.2.3.4 Fungos e micotoxinas

5.2.3.4.1 Contaminação fúngica

A contaminação fúngica foi avaliada pelo *Blotter Test*.

5.2.3.4.2 Micotoxinas

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2.1 estão apresentados os resultados de umidade dos grãos de aveia armazenados pelos sistemas hermético e convencional, em diferentes umidades, nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses. A análise de variância do tipo fatorial (Tabela 4a, Anexo) detectou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos com

relação à umidade de armazenamento, aos sistemas e aos meses de armazenamento, evidenciando a influência desses parâmetros sobre o equilíbrio higroscópico. Os resultados da análise estatística também evidenciam a existência de interação entre os fatores analisados.

TABELA 2.1 Umidade (%) em grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses

Tratamentos (%b.u.)	Tempo de armazenamento (meses)				
	0	3	6	9	12
8 Convencional	7,95	8,55	12,70	13,35	12,80
11 Convencional	11,05	11,36	13,20	13,55	13,35
14 Convencional	13,85	12,95	13,10	13,70	13,05
8 Hermético	7,95	8,05	8,15	8,00	8,10
11 Hermético	11,05	11,20	11,05	10,95	11,15
14 Hermético	13,85	13,80	14,05	14,00	13,95

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

Os resultados apresentados na Tabela 2.12 demonstram o efeito da umidade sobre o sistema hermético de armazenamento quando comparado com o sistema convencional. No armazenamento convencional, a umidade dos grãos variou até o sexto mês, quando ocorreu o equilíbrio higroscópico, o qual acompanham a umidade relativa do ar do local de armazenamento (Tabelas 1a e 2a). As amostras armazenadas com umidades menores (8 e 11%) do que o equilíbrio higroscópico ganham água até o sexto mês, ocorrendo o inverso com as armazenadas com umidade maior (14%). A partir daí, as variações de umidade dos grãos acompanham as variações de umidade do ar.

O armazenamento hermético apresentou menor umidade devido a não ocorrência de trocas com o ambiente durante o armazenamento, permitindo a estabilidade da umidade dos grãos. Em condições aeróbicas ocorre a produção de água e altos níveis de CO₂, fenômeno que é diferente no sistema de armazenamento hermético, pois o metabolismo dos carboidratos, na ausência de O₂ produz álcool e baixos níveis de CO₂. No sistema convencional, a variação no grau de umidade reflete uma tendência ao equilíbrio dos grãos com a atmosfera intergranular.

O conteúdo de umidade do grão pode variar em função da umidade relativa, da composição química da cultivar estudada, de fatores ambientais, de fatores genéticos, da temperatura de secagem e da histerese, conforme relato da bibliografia especializada (Chen, 2000).

Na Figura 2.1 estão representados os valores de extrato etéreo de grãos de aveia armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos

zero, três, seis, nove e doze meses. A análise de variância do tipo fatorial (Tabela 4a, Anexo) detectou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos com relação aos fatores umidade, sistema e tempo de armazenamento. Além disso, os resultados da análise estatística demonstram que há interação entre os fatores estudados.

Na Tabela 2.12 verifica-se que a umidade e o sistema de armazenamento não interferem na degradação do extrato etéreo, enquanto o tempo de armazenamento teve influência até os três meses.

A degradação que ocorre nos lipídios durante o armazenamento por processos bioquímicos, como a respiração ou por processos de oxidação, resulta na diminuição do teor de extrato etéreo, ou seja, ocorre a hidrólise dos lipídios. Os resultados estão de acordo com os observados por Ekstrand *et al.* (1993) verificaram que a hidrólise de lipídios aumentou durante o armazenamento de amostras de aveia tratadas por secagem ou hidrotermicamente, sendo mais pronunciada na matéria-prima nativa. Da mesma forma, os resultados estão de acordo com Molteberg *et al.* (1995), os quais verificaram em aveia não processada e armazenada em umidade relativa de 80% uma diminuição do teor de extrato etéreo com o tempo de armazenamento.

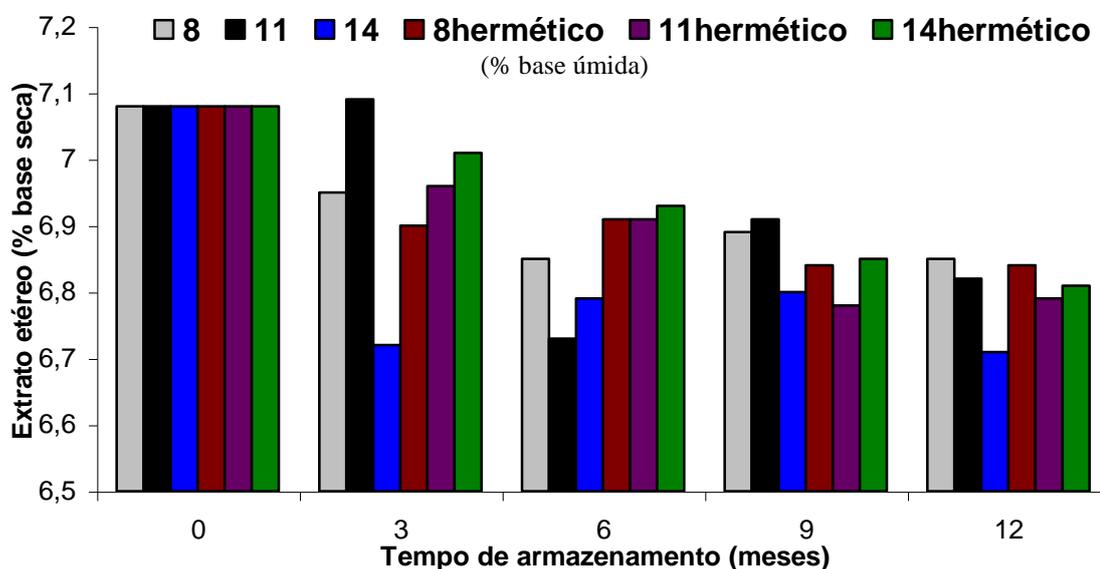


FIGURA 2.1 Extrato etéreo (% base seca) de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três diferentes nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses.

Na Tabela 2.2 estão apresentados os resultados do índice de acidez do extrato etéreo em grãos de aveia armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três

umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses. A análise de variância (Tabela 4a, Anexo) do tipo fatorial detectou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos com relação as diferentes umidades, sistemas e meses de armazenamento, evidenciando a influência desses parâmetros sobre a conservabilidade dos grãos. Além disso, os resultados evidenciaram interação entre os fatores estudados ($p \leq 0,01$).

O índice de acidez do extrato etéreo dos grãos pode ser um indicativo de qualidade de grãos de aveia. Em cada sistema de armazenamento o aumento do índice de acidez foi proporcional à umidade de armazenamento (Tabela 2.2). A acidez do extrato etéreo também variou significativamente com o tempo de armazenamento, aumentando até o sexto mês no sistema hermético e até o nono mês no não hermético. Pode-se verificar que no armazenamento hermético, o índice de acidez do extrato etéreo foi significativamente menor, sendo este um indicativo de uma melhor conservação dos grãos de aveia.

TABELA 2.2. Acidez do extrato etéreo ($\text{mg de KOH} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de matéria seca) em grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses

Tratamento (%b.u.)	Tempo de armazenamento (meses)				
	0	3	6	9	12
8 Convencional	0,37	0,42	0,46	0,59	0,58
11 Convencional	0,37	0,46	0,52	0,73	0,75
14 Convencional	0,37	0,54	0,63	0,77	0,84
8 Hermético	0,37	0,41	0,46	0,45	0,48
11Hermético	0,37	0,43	0,48	0,64	0,60
14Hermético	0,37	0,50	0,55	0,59	0,68

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

O aumento de ácidos graxos livres do extrato etéreo ocorre através da ação de enzimas lipases, galactolipases e fosfolipases presentes nos próprios grãos ou produzidas pela microflora associada, por ácaros e/ou por insetos que contribuem para o rompimento das ligações éster dos glicerídios neutros.

O aumento do índice de acidez do extrato etéreo, aliado ao alto teor de ácidos graxos insaturados contribui para a frágil estabilidade dos produtos de aveia e a formação de compostos indesejáveis, conforme registra a literatura especializada (Galliard, 1983). Simultaneamente, há a ação metabólica dos próprios grãos e de organismos associados, como os fungos, que produzem lipases, degradando a gordura dos cereais a ácidos graxos livres os quais são usados como fonte de energia para eles mesmos, no seu próprio metabolismo.

Os resultados estão de acordo com os relatados por outros autores (Matlashewski *et al.*, 1982; Urquhart *et al.*, 1983; Molteberg *et al.*, 1995), os quais registram que em grãos de aveia não danificados, armazenados à temperatura ambiente em umidade abaixo de 12% apresentam pequenas variações nos níveis de acidez do óleo. Porém, maiores valores de umidade e ou temperatura, bem como desagregações parciais ou totais do grão são condições suficientes para a ação de enzimas, principalmente a lipase.

Os lipídios dos grãos de aveia são protegidos da oxidação por vários componentes químicos com propriedades antioxidantes, conforme registraram Zadernowski *et al.*, 1999, os compostos fenólicos presentes evitam a oxidação lipídica e a atividade destrutiva dos radicais livres, fazendo com que permaneçam em teores acentuados.

Na Tabela 2.3 estão apresentados os valores da composição em ácidos graxos do extrato etéreo de grãos de aveia armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, dois e doze meses.

Houve pequenas mudanças na composição dos ácidos graxos durante ao armazenamento. As alterações no perfil de ácidos graxos com o tempo de armazenamento provavelmente ocorreram em função da degradação do extrato etéreo a compostos menores. O aumento da acidez ao longo do tempo de armazenamento (Tabela 2.12) é um indicativo desta degradação.

TABELA 2.3. Composição em ácidos graxos do óleo de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, dois e doze meses

Ácidos Graxos	Tempo de armazenamento (meses)												
	0	2						12					
		8C*	11C*	14C*	8H*	11H*	14H*	8C*	11C*	14C*	8H*	11H*	14H*
Mirístico C 14:0	0,00	0,06	0,12	0,11	0,1	0,2	0,1	0,14	0,11	0,16	0,1	0,2	0,2
Palmitico C 16:0	13,3	14,7	15,0	14,5	15,0	16,0	14,6	15,0	14,7	13,5	14,5	14,6	14,6
Esteárico C 18:0	1,70	1,71	1,62	1,59	1,6	1,7	1,6	1,75	1,64	1,73	1,7	1,6	2,3
Araquídico C20:0	1,3	1,05	1,15	0,94	0,9	0,8	1,1	1,03	0,92	0,96	1,2	1,2	1,2
Total saturados	16,3	17,5	17,8	17,3	17,6	18,7	17,4	18,1	17,6	16,6	17,5	17,6	18,3
Oléico C18:1	43,8	41,5	42,0	41,7	41,5	41,0	42,0	41,0	41,4	42,6	42,9	43,1	41,3
Linoléico C 18:2	37,5	39,6	39,2	39,2	39,2	38,8	39,1	38,9	38,7	37,9	38,1	38,1	39,8
Linolênico C18:3	2,3	1,33	1,58	1,28	1,49	1,38	1,33	1,16	1,47	1,29	1,2	1,1	1,2
Total insaturados	83,7	82,5	82,2	82,7	82,4	81,3	82,6	81,9	82,4	83,4	82,5	82,4	81,7

percentual de umidade, expresso em base úmida;

C- Armazenamento pelo sistema convencional;

H- Armazenamento pelo sistema hermético;

¹ Médias aritméticas em duplicata, expressas em (g.100g⁻¹).

Os resultados obtidos estão de acordo com Molteberg *et al.* (1995) em que não verificaram redução no conteúdo de ácidos graxos insaturados de aveia armazenada por 15,5 meses a umidades de até 14,5%. Nas amostras que sofreram processamento, o ácido linolênico apresentou redução, o que está relacionado com o aumento do conteúdo de produtos de oxidação. A diminuição do ácido linolênico no armazenamento dos produtos processados ocorreu devido sua degradação a compostos menores. Verificaram também, a formação de compostos de baixo peso molecular mesmo na aveia não processada e armazenada na umidade relativa de 80%. A formação de n-hexanal foi 2 vezes maior quando comparado com a aveia armazenada a 30% de umidade relativa.

Os resultados dos componentes L*, -a* e b* do sistema CIELAB de cor estão apresentados na Tabela 2.4, verifica-se que as variáveis L*, -a* e b* não diferiram significativamente pelo teste F. Este comportamento decorre da baixa incidência fúngica (Tabela 2.12) e da pouca drasticidade térmica empregada na secagem.

O uso de altas temperaturas de secagem seguido de tratamento hidrotérmico de cariopses de aveia causa escurecimento. Esse escurecimento é devido às reações de caramelização ou de Maillard, pelo fato de a aveia possuir açúcares redutores e aminoácidos livres.

TABELA 2.4 Valores dos componentes L*(luminosidade), -a* (verde), b* (amarelo) do sistema CIELAB de cor de farinha de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por seis meses

Tratamentos (%b.u.)	Componentes de cor		
	L*	-a*	+b*
8 Convencional	81,61ns	1,41ns	11,88ns
11 Convencional	81,73	1,54	12,33
14 Convencional	80,94	1,71	12,61
8 Hermético	81,03	1,61	12,43
11 Hermético	82,21	1,46	11,86
14 Hermético	81,61	1,58	12,16

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida;

n= não significativo ao nível de 5% pelo teste da análise de variação.

Os resultados das determinações de viscosidade inicial a 50°C, viscosidade máxima à temperatura constante a 95°C, viscosidade final a 50°C e temperatura de pasta das farinhas de grãos de aveia dos tratamentos estudados não diferiram significativamente pelo teste F e estão representados na Figura 2.2.

Nas suspensões de farinhas de cereais, a viscosidade depende da capacidade dos grânulos de amido em absorver água, inchar, romper-se e difundir-se no meio líquido.

As modificações dos grânulos de amido pelo processo de gelatinização, determinam as propriedades funcionais das matérias-primas amiláceas e suas diversas aplicações industriais.

A viscosidade inicial de farinhas nativas é praticamente nula. Ao realizar tratamento térmico, o amido gelatiniza, absorve água a frio e, quanto maior o grau de gelatinização, maior será a capacidade de formar uma pasta, gel ou líquido viscoso à temperatura ambiente.

A análise dos picos de gelatinização e dos declínios de viscosidade demonstram que não ocorreu a pré-gelatinização nas farinhas de aveia estudadas em função das temperaturas de secagem estudadas. De fato, as temperaturas de secagem foram baixas e, aliado a indisponibilidade de água, não ocorreram modificações significativas nas propriedades de gelatinização e de retrogradação da farinha de aveia.

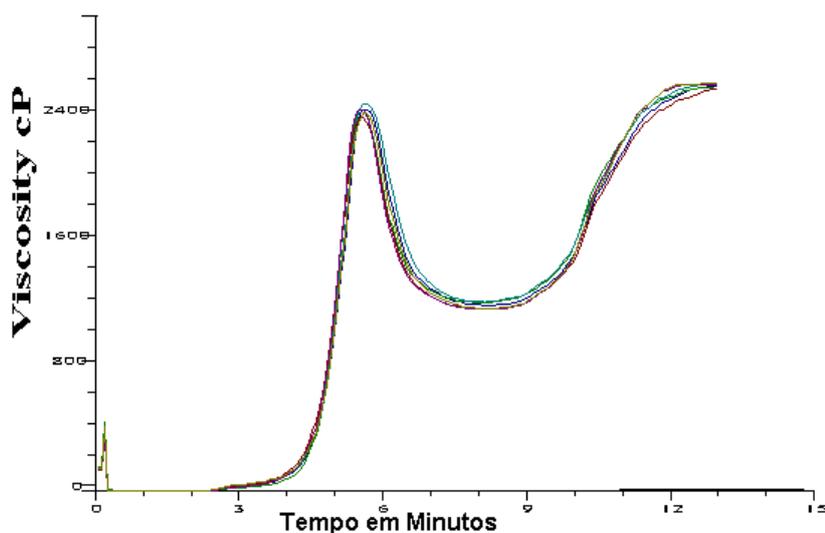


FIGURA 2.2 Curvas viscoamilográficas de aveia, cultivar UPF 18, armazenada pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por dois meses.

O número de queda das farinhas de grãos de aveia armazenados nos sistemas hermético e convencional em três umidades não diferiram significativamente pelo teste F (Tabela 2.5).

Os resultados do número de queda do presente trabalho foram similares aos obtidos por Hart (2001) em farinha de aveia não tratada hidrotermicamente. Eles demonstraram que a atividade enzimática das farinhas de aveia não foi afetada pelas condições estudadas.

TABELA 05. Número de queda (segundos) da farinha de grãos de aveia, cultivar UPF18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por dois meses.

Tratamentos (% em b.u.)	Número de queda (segundos)
8 Convencional	337 ^{ns}
11 Convencional	334
14 Convencional	328
8 Hermético	341
11 Hermético	339
14 Hermético	331

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida;

ns= não significativo ao nível de 5% pelo teste da análise de variação.

Na Tabela 2.6 são apresentados os valores da atividade residual das enzimas lipase e peroxidase em grãos de aveia armazenados pelos sistemas hermético e convencional em diferentes umidades por dez meses. A análise de variância (Tabela 5a, Anexo) detectou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos. Mesmo existindo diferenças nas atividades de lipase e peroxidase, nenhum dos tratamentos apresentou redução da atividade enzimática a níveis de impedir a degradação dos lipídios.

Os resultados estão de acordo com os relatados por Hart (2001), a qual verificou que em farinha de aveia submetida ao tratamento hidrotérmico com atividade residual da lipase de 2,96% de hidrólise, a acidez da farinha teve um aumento ao longo do armazenamento similar ao da matéria prima nativa. Também para a peroxidase, ocorreu um comportamento similar ao verificado na lipase.

TABELA 2.6 Atividade residual das enzimas lipase e peroxidase na farinha de grãos de aveia, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades por dez meses¹

Tratamentos (b.u.)	Atividade de lipase (% de hidrólise)	Atividade de peroxidase (Abs _{420nm} / min/g)
8 Convencional	C 15,94	AB 6225
11 Convencional	A 20,34	A 6434
14 Convencional	B 18,24	A 6310
8 Hermético	C 16,92	B 5986
11 Hermético	C 15,74	A 6360
14 Hermético	B 18,87	A 6628

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida;

¹Letras maiúsculas distintas na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Nas Tabelas 2.8 e 2.9 estão apresentados os valores de germinação e vigor em grãos de aveia armazenados pelos sistemas hermético e convencional em diferentes umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses. A análise de variância (Tabela 4a, Anexo) do tipo fatorial detectou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os

tratamentos com relação as diferentes umidades, sistemas e meses de armazenamento, evidenciando a influência desses parâmetros sobre a conservabilidade dos grãos. Além disso, os resultados da análise estatística demonstram que a interação entre os fatores estudados também foi significativa ($p \leq 0,01$), com exceção do sistema de armazenamento na germinação.

Pelos dados da Tabela 2.12, verifica-se que a germinação foi baixa no período inicial devido provavelmente a dormência das sementes. A maior porcentagem de germinação ocorreu entre o terceiro e o sexto mês, apresentando a partir daí uma diminuição significativa até os 12 meses.

A umidade não teve influência significativa na variação no vigor das sementes, enquanto o tempo de armazenamento teve interferência no tempo zero, devido provavelmente o efeito da dormência dos grãos. Após esse período, o vigor apresentou nova redução somente aos 12 meses de armazenamento. O sistema de armazenamento também apresentou diferenças significativas, tendo o armazenamento pelo sistema convencional mantido o vigor em valores mais elevados.

Assim como no vigor, o percentual de germinação pode ser usado como um dos parâmetros avaliação da qualidade de grãos de aveia armazenados, pois uma diminuição no percentual de germinação reflete deficiências no processo conservativo e/ou de secagem.

Vários fatores podem reduzir a qualidade dos grãos durante o armazenamento. O grau de umidade na colheita e a temperatura de armazenamento podem determinar a intensidade de danos por fungos, insetos e pragas. A porcentagem de germinação permite quantificar a estabilidade dos grãos de cereais, ou seja, os grãos que apresentam uma alta porcentagem de viabilidade germinativa durante o armazenamento são também os que retêm os outros parâmetros considerados importantes na comercialização ou qualidade tecnológica.

A utilização do indicador germinação para prever a qualidade do grão que está ligado com a classificação do cereal, facilita organizar o armazenamento e a venda do grão para ser consumido antes de diminuir a qualidade. Geralmente, a longevidade dos grãos cereais se eleva com as diminuições do conteúdo de umidade e da temperatura de armazenamento.

Grãos são armazenados vivos, ocorrendo vários fenômenos biológicos durante o armazenamento, os quais se mostram dependentes não apenas das condições de armazenamento, como também das condições que o antecedem, desde a produção até a

secagem. Capacidade de germinação, vigor e longevidade constituem a qualidade fisiológica do grão. Estes se constituem em importantes componentes do sistema produtivo, amplamente conhecidos e utilizados no manejo de grãos conforme relata Mello (1996).

TABELA 2.8 Germinação (%) de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses

Tratamento (%b.u.)	Tempo de armazenamento (meses)				
	0	3	6	9	12
8 Convencional	51	95	97	92	81
11 Convencional	77	97	94	89	85
14 Convencional	83	92	95	85	83
8 Hermético	49	94	95	91	88
11 Hermético	69	98	91	94	83
14 Hermético	85	92	91	86	82

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

TABELA 2.9 Vigor (%) de grãos de aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses

Tratamentos (%b.u.)	Tempo de armazenamento (meses)				
	0	3	6	9	12
8 Convencional	48	89	87	90	81
11 Convencional	69	84	88	79	76
14 Convencional	76	81	80	74	65
8 Hermético	48	90	88	86	84
11 Hermético	71	87	84	87	89
14 Hermético	83	88	75	79	71

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

Na Tabela 2.10 são apresentados os valores de ocorrência de fungos nos grãos e na Tabela 2.11 são apresentados os valores de contaminação por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicilium* e outros fungos em grãos de aveia, armazenados pelo sistema hermético em diferentes umidades nos tempos, zero, três, seis, nove e doze meses de armazenamento. No tempo zero os fungos encontrados referem-se basicamente aos de campo, ou seja, a contaminação natural dos grãos na lavoura. Outros fungos encontrados nos tratamentos são predominantemente de campo e dos gêneros *Colletotrichum*, *Chaetomium*, *Phoma*, *Bipolaris*, *Alternaria* e *Neurospora*.

TABELA 2.10 Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses

Umidade dos grãos (% b.u.)	Tempo de armazenamento (meses)	Grãos com incidência fúngica	Grãos sem incidência fungica
8C	0	96	4
8C	3	100	-
8C	6	91	09
8C	9	87	13
8C	12	67	33
11C	0	96	4
11C	3	88	12
11C	6	94	06
11C	9	92	08
11C	12	81	19
14C	0	96	4
14C	3	100	-
14C	6	100	-
14C	9	98	02
14C	12	89	11
8H	0	96	4
8H	3	85	15
8H	6	69	31
8H	9	71	29
8H	12	54	46
11H	0	96	4
11H	3	79	21
11H	6	71	29
11H	9	68	32
11H	12	57	43
14H	0	96	4
14H	3	99	01
14H	6	93	07
14H	9	81	19
14H	12	79	21

O tempo zero de armazenamento refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura;

C- Armazenamento pelo sistema convencional;

H- Armazenamento pelo sistema hermético;

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

TABELA 2.11 Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPF 18, armazenados pelos sistemas hermético e convencional em três umidades nos tempos zero, três, seis, nove e doze meses

Tratamento (% b.u.)	T.A.	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	Fungos arma.*	Outros
8C	0	1	1	2	4	92
8C	3	01	03	02	06	112
8C	6	02	-	-	02	121
8C	9	-	03	-	03	98
8C	12	-	01	-	01	85
11C	0	1	1	2	4	92
11C	3	-	03	01	04	108
11C	6	-	02	7-	02	117
11C	9	-	03	-	03	96
11C	12	-	01	-	01	91
14C	0	1	1	2	4	92
14C	3	05	03	01	09	134
14C	6	02	01	-	03	104
14C	9	01	03	-	04	118
14C	12	04	05	01	10	101
8H	0	1	1	2	4	92
8H	3	-	-	1	1	87
8H	6	-	-	-	0	83
8H	9	-	-	-	0	74
8H	12	-	-	-	0	59
11H	0	1	1	2	4	92
11H	3	01	-	-	1	85
11H	6	-	01	-	1	88
11H	9	-	-	-	0	73
11H	12	-	-	-	0	62
14H	0	1	1	2	4	92
14H	3	07	04	02	13	96
14H	6	06	02	01	09	91
14H	9	03	04	04	11	81
14H	12	04	02	01	07	74

* Σ dos fungos de armazenamento (*Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*);

O tempo zero de armazenamento refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura;

T.A.- Tempo de armazenamento (meses);

C- Armazenamento pelo sistema convencional;

H- Armazenamento pelo sistema hermético;

b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

TABELA 2.12 Resultados de análise de média de umidade, extrato etéreo, acidez do extrato etéreo, incidência fúngica, germinação e vigor quanto as umidades, meses de armazenamento e sistema de armazenamento¹

Umidade (% b.u.)	Umidade (% b.u.)	Extrato etéreo (% b.s.)	Acidez*	F. A. (%)	Outros fungos (%)	Germina ção (%)	Vigor (%)
8	C 9,64	A 6,92	C 0,48	B 2,83	B 91,40	A 86,40	A 78,10
11	B 11,79	A 6,93	B 0,55	B 2,37	B 91,50	A 89,30	A 79,33
14	A 13,68	A 6,89	A 0,60	A 7,67	A 99,20	A 87,96	A 77,36
Tempo (meses)	Umidade (% b.u.)	Extrato etéreo (% b.s.)	Acidez*	F. A. (%)	Outros fungos (%)	Germina ção (%)	Vigor (%)
0	B 10,99	A 7,10	D 0,40	B 3,22	B 93,11	D 71,22	C 65,67
3	B 11,08	B 6,95	C 0,47	A 5,89	A 104,44	A 95,83	A 83,06
6	A 12,08	C 6,86	B 0,53	B 3,67	A 101,83	A 94,50	A 82,78
9	A 12,27	C 6,85	A 0,64	AB 4,67	B 90,89	B 90,17	A 83,11
12	A 12,09	C 6,81	A 0,66	B 4,00	C 79,89	C 84,39	B 77,72
Sistema armazena- mento	Umidade (% b.u.)	Extrato etéreo (% b.s.)	Acidez*	F. A. (%)	Outros fungos (%)	Germina ção (%)	Vigor (%)
Conven- cional	A 12,32	A 6,90	A 0,57	A 4,27	A 105,16	A 87,31	A 79,87
Hermético	B 11,08	A 6,93	B 0,51	A 4,31	B 82,91	A 87,14	B 77,08

b.u. - percentual de umidade, expresso em base úmida;

F.A.- Σ dos fungos de armazenamento (*Aspergillus*, *Penicilium* e *Fusarium*);

* Acidez do extrato etéreo expresso em mg KOH.100g óleo⁻¹;

¹Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de variância do tipo fatorial (Tabela 4a, Anexo) detectou diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos com relação a umidade, sistema e tempo de armazenamento, evidenciando a influência desses parâmetros sobre a incidência fúngica. Além disso, os resultados da análise estatística demonstram que a interação entre os fatores estudados também foi significativa ($p \leq 0,01$).

Na Tabela 2.12 observa-se que os fungos de armazenamento foram significativamente superiores nos grãos armazenados com umidade de 14%. Ao longo do tempo de armazenamento a variação também foi significativa, sendo aos três meses a

maior incidência. Os outros gêneros de fungos também tiveram sua maior incidência aos três meses de armazenamento, diminuindo de forma significativa após o terceiro mês.

O sistema de armazenamento apresentou diferenças significativas para outros fungos, sendo que a incidência foi inferior no hermético.

Além da determinação da incidência fúngica foi investigada a presença das micotoxinas aflatoxinas B₁, B₂, G₁, G₂, zearalenona e ocratoxina A em grãos de aveia aos dois e doze meses de armazenamento. Não foi detectada a presença de micotoxinas, embora já tenha registro dos trabalhos de outros autores, de ocorrência em aveia.

Os resultados diferem dos relatados por Scudamore *et al.* (1999), os quais, examinando amostras de aveia, trigo e cevada detectaram em 21% das amostras examinadas a ocorrência da micotoxina Ocratoxina A, com maior frequência em cevada do que trigo e aveia. As concentrações médias de ocratoxina A encontradas nas amostras foram 0,69 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em cevada, 0,29 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em trigo e 0,15 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ em aveia. Também observaram um aumento na frequência de amostras contaminadas com o tempo de armazenamento. Embora com baixa incidência de micotoxinas, os resultados de Scudamore *et al.* (1999) diferem do presente trabalho provavelmente em virtude do limite de detecção do método empregado, que foi de 75 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ para a Ocratoxina A, portanto bem acima dos 15 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, em média, citados pelos autores.

A quantidade do ácido graxo linolênico, a atividade da enzima lipoxigenase, a predominância de fungos saprófitas a campo, os antioxidantes presentes naturalmente, a concentração de CO₂ da atmosfera intergranular e a capacidade de complexação dos minerais pelo ácido fítico (Zeringue *et al.*, 1996; Dilkin *et al.*, 2000; Peterson, 2001), também podem ser apontados como fatores que interferiram na ocorrência de concentrações de micotoxinas em grãos de aveia armazenados pelo sistema hermético em diferentes umidades, pelo menos em quantidades não detectáveis na sensibilidade da metodologia analítica utilizada.

Nem só a pesquisa mostra preocupações com análises de ocorrência de micotoxinas. No serviço de controle de qualidade de uma empresa de processamento de aveia para uso na alimentação humana, após seis anos de monitoramento de grãos de aveia utilizados no processo, não foi detectado lotes com micotoxinas (Setti, 2002). Neste controle de micotoxinas o limite mínimo de detecção para a ocratoxina A foi de 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

5.4. CONCLUSÕES

a) A secagem estacionária, com ar aquecido a 45°C em camada delgada, é um método eficiente na conservação de grão de aveia.

b) Os sistemas de armazenamento hermético e convencional são eficientes para conservação de grãos de aveia com umidade de até 14%, sendo que, em sistema convencional de armazenamento de grãos de aveia por período superior a seis meses a umidade deve ser inferior a 14%.

c) No sistema convencional de armazenamento com períodos de até 12 meses, há equivalência conservativa em grãos armazenados com 8 e 11% de umidade.

e) Em sistema hermético de armazenamento, há equivalência conservativa de grãos de aveia armazenados por até 12 meses com 8, 11 e 14% de umidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC- AMERICAN ASSOCIATION CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 8 ed. Saint Paul, 1983.

AACC- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 9 ed. Saint Paul, 1995.

ABRAMSON, D.; SINHA, R.N.; MILLS, J.T. Mycotoxin and odor formation in moist cereal grain during granary storage. **Cereal Chemistry**, v.57, p.346-351, 1980.

ADAMS, J.B. Review: enzyme inactivation during heat processing of food-stuffs. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v.26, n.1, p.1-20, 1991.

ADEBAJO, L.O.; BAMGBELU, O.A.; OLOWU, R.A. Mould contamination and the interference of water activity and temperature on mycotoxin production by two *Aspergillus* in melon seed. **Natrung**, v.38, p.209-217, 1994.

ANDERSON, J.W. Fibra, doença cardiovascular e diabetes. **Dieta e Saúde**, Rio de Janeiro v.2, n.2, p.4-5, 1993.

AOAC- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16 ed. Arlington: Washington, v.I e II, 1997.

AOCS- AMERICAN OIL CHEMISTS'SOCIETY. **Official methods and recommended practices**. 3.ed., Chicago, 1990.

ASP, N.G.; MATTSON, B.; ONNING, G. Variation in dietary fibre, β -glucan, starch, protein, fat and hull content of oats grown in Sweden 1987-1989. **European Journal Clinical Nutrition**, London, v.46, n.1, p.31-37, 1992.

BACALTCHUK, B. Qualidade dos alimentos exigida pelos consumidores no século XXI. In: 1ª Conferência Brasileira de pós-colheita. Porto Alegre, 1999. Anais...Passo Fundo: Abrapós/Cesa/Embrapa-Trigo, 1999. p.13-22.

BARBOSA, F.F.; FAGUNDES, C.A.A.; MARTINS, I.R.; ELIAS, M.C. Glp para o aquecimento do ar na secagem estacionária do arroz irrigado In: II Congresso brasileiro do arroz irrigado/XXIV Reunião da cultura do arroz irrigado, Porto Alegre, 2001. 664-666.

BASON, M.L.; GRAS, P.W.; BANKS, H.J. Modelling the effects of temperature, water activity and storage atmosphere on the viability of stored maize and paddy. In: Highley, E.; Wright, E.J.; Banks, H.J.; Camp, B.R. (Ed.), Proceedings of the Sixth International Working Conference on Stored-product Protection, v.2 Canberra, Australia, p.17-23 April, p.677-683, 1994.

BETCHEL, D.B.; POMERANZ, Y. Ultrastructure and cytochemistry of mature oat (*Avena sativa*, L.) endosperm. The aleurone layer and starchy endosperm. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.58, n.1, p-61-69, 1981.

BOEMEKE, L.R.S. **Desempenho energético e qualidade de grãos nas secagens estacionária e intermitente de arroz**. Pelotas, 2001, 60f. Dissertação (Mestrado), UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 1992. 365 p.

BURGES, H.D.; EDWARDS, D.M.; BURRELL, N.J.; CAMMELL, M.E. Effects of storage temperature and moisture content on the germinative energy of malting barley, with particular reference to high temperature. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.14, p.580-583, 1963.

BUSBY, W.F.; WOGAN, G.N. Aflatoxinas In: Mycotoxins and N-Nitroso Compounds: **Environmental Risks**, 1981.

CARVAJAL, M. ARROYO, G. Management of aflatoxin contaminated maize in Tarmaulipas, México. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.45, n.4, p.1301-1305, 1997.

CBPA- COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. Recomendações técnicas para a cultura da aveia. Pelotas: UFPel, 2000. 69p.

CHEN, C. Factors which effect equilibrium relative humidity of agricultural products. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.3, p.673-683, 2000.

CHRISTENSEN, C.M.. **Storage of Cereal Grains and Their Products**. St. Paul, A.A.C.C, p.56-114, 1974.

CRUZ, L.C.H. Características gerais das micotoxinas e micotoxicoses- reflexos na indústria avícola. Anais: **Simpósio Internacional sobre Micotoxinas e Micotoxicoses em Aves**, p.1-13, 1995.

D'MELLO, J.P.F.; MACDONALD, A.M.C. Mycotoxins. **Animal Feed Science and Technology**, v.69, p.155-166, 1997.

D'MELLO, J.P.F.; PLACINTA, C.M.; MACDONALD, A.M.C. *Fusarium* mycotoxins: a review global implications for animal health, welfare and productivity. **Animal Feed Science and Technology**, v.80, p.183-205, 1999.

DELOUCHE, J. C. Metodologia para pesquisa em sementes III. Vigor, revigoração e desempenho no campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v.3, n.2, p.57-64, 1981.

DESMARCHELIER, J.M. A new look at aeration. In: Fleurat-Lessard, F.; Ducom, P. (Ed.), Proceedings of the Fifth International Working Conference on Stored-Product Protection, v.2. Bordeaux, France 9-14 September 1990, p.1173-1182, 1990.

DILKIN, P.; MALLMANN, C.A.; SANTURIO, J.M.; HICKMANN, J.L. Classificação macroscópica, identificação da microbiota fúngica e produção de aflatoxinas em híbrido de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.137-141, 2000.

- EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G. Lipase activity in oats- distribution , pH dependence and heat inactivation. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.69, n.4, p.379-381, 1992.
- EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G.; STÓLMANN, V.; LINGNERT, H.; DAHL, S. Lipase activity and development of rancidity in oats and oat products related to heat treatment during processing. **Journal of Cereal Science**, New Iork, v.17, n.3, p.247-254, 1993.
- ELIAS, M. C.; LOECK, A. E.; BARBOSA, F. F.; GRÜTZMACHER, D. D. In: Recomendações técnicas para colheita, secagem, armazenamento e industrialização de arroz para o sul do Brasil. Pólo de Modernização Tecnológica em Alimentos da Região Sul. UFPel, 19p. 2000a.
- ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de Grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.311-359.
- ELIAS, M.C. Secagem e armazenamento de grãos, em média e pequena escala 3ªed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2002, 219p.
- ELIAS, M.C. Tecnologia em secagem e armazenamento de grãos: sistemas, processos e métodos. Pelotas, UFPEL/COREDE, 84 p.2000b.
- ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H. The interference of temperature and moisture on seed viability period in barley (*Hordeum distichum*) Annals of Botany, v.45, p.31-37, 1980.
- ELLIS, W.O.; SMITH, J.P.; SIMPSON, B.K.; KHANIZADEH, S.; OLDHAM, J.H. Control of growth and aflatoxin production of *Aspergillus flavus* under modified atmosphere packaging(MAP) conditions. **Food Microbiology**, v.10, n.1, p.9-21, 1993.
- ELLIS, W.O.; SMITH, J.P.; SIMPSON, B.K.; RAMASWAMY, H.; DOYBON, G. Effect of gas barrier characteristics of films on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in peanuts packaged under modified atmosphere packaging (MAP) conditions. Food Res. Int., v.27, p.505-512, 1994a.
- ELLIS, W.O.; SMITH, J.P.; SIMPSON, B.K.; RAMASWAMY, H.; DOYBON, G. Novel techniques for controlling growth of and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus* in packaged peanuts. **Food Microbiology**, v.11, p.357-368. 1994b.
- FERNANDEZ, A.; STROSHINE, R.; TUIITE, J. Mould growth and carbon dioxide production during storage of high moisture corn. **Cereal Chemistry**, v.62, p.137-143, 1985.
- FLEURAT-LESSARD, F. A European perspective on new quality requirements in grain trading. **Cereal Foods World**, v.42, p.206-209, 1997.
- FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, p.191-218, 2002.

FLEURAT-LESSARD, F.; ANDRIEU, A.J.; WILKIN, D.R. New trends in stored-grain infestation detection inside storage bins for permanent infestation risk monitoring. In: Highley, E.; Wright, E.J.; Banks, H.J.; Camp, B.R. (Ed.), Proceedings of the Sixth International Working Conference on Stored-product Protection, v.2 Canberra, Australia, p.17-23 April, p.397-402, 1994a.

FLEURAT-LESSARD, F.; JUST, D.; BARRIEU, P.; LE TORC'H, J.M.; RAYMOND, P.; SAGLIO, P.; Effect of modified atmosphere storage on wheat seed germination vigour and on physiological criteria of the ageing process. In: Highley, E.; Wright, E.J.; Banks, H.J.; Camp, B.R. (Ed.), Proceedings of the Sixth International Working Conference on Stored-product Protection, v.2 Canberra, Australia, p.17-23 April, p.695-700, 1994b.

FLORES, H.E.M.; BASTOS, F.M.; CHANG, Y.K. Efeito benéfico na saúde humana das fibras dietéticas presentes nos alimentos. In: Simpósio de Alimentos Funcionais para o Novo Milênio, 1, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: 2000. p.24-25. (Resumos).

FLOSS, E.L. Pesquisa de aveia. Do acadêmico ao desenvolvimento. In: 22^a Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia, Passo Fundo, 2002. **Anais...**Passo Fundo: UPF p.27-38, 2002.

FONSECA, H.; MARTINELLI, F.A.; DEL NERY, H.; RONCATTO, E. Espécies de *Aspergillus* produtoras de aflatoxina, na Região Araraquarense, SP. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.31, p.519-536, 1997.

FRANKEL, E.N.; NEFF, W.E.; SELKE, E. Analysis of autoxidized fats by gas chromatography-mass spectrometry: VII. Volatile thermal decomposition products of pure hidroperoxides from autoxidized and photosensitized methyl oleate, linoleate and linolenate. **Lipids**, Austin, v.16, n.5, p.279-292, 1981.

FRAZER, B.M.; MUIR, W.E. Airflow requirements for drying grain with ambient and solar-heated air in Canada. **Transaction of the ASAE**, 24, p.208-210, 1981.

FRISVAD, J.C. Mycotoxins and mycotoxigenic fungi in storage. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. (Ed.), *Stored-grain Ecosystems*. M. Dekker, Inc., New York, p.251-288, 1995.

FULCHER, R.G. Morfphological and chemical organization of the oat kernel. In: WEBSTER, F. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, p.47-74, 1986.

FURLONG, E.B. Aflatoxinas, ocratoxina A e zearalenona em alimentos da Regiões Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.58, n.2, p.105-111, 1999.

GALLIARD, T. Rancidity in cerreal products. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. **Rancidity in Foods**. London: Applied Science Publishers, p.109-130, 1983.

GORDON, S.; WHEELER, B.; SCHUDDY, R.; WICKLOW, D.; GREENE, R. Neural network pattern recognition of photoacoustic FTIR spectra and knowledge-based

technique for detection of mycotoxigenic fungi in food grains. **Journal of Food Protection**, v.61, p.221-230, 1998.

GOURAMA, H.; BULLERMAN, L.B. *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*: Aflatoxigenic fungi of concern in foods and feeds: a review. **Journal of Food Protection**, v.58, n.12, p.1395-1404, 1995.

GUTKOSKI, L.C. Composição química. In: GUTKOSKI, L.C.; PEDO, I. **Aveia – composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. 96p.

GUTKOSKI, L.C. Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia (*Avena sativa*, L) e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade. **Tese de Doutorado**. Campinas, 1996.

GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A. Efeito do cozimento por extrusão na estabilidade oxidativa de produtos de moagem de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.1, p.119-127, 1999.

GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A.; PEDÓ, I. Caracterização química e nutricional de frações de moagem de aveia, **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.40, n.1, p.121-134, 1997.

GUTKOSKI, L.C.; TROMBETTA, C. Avaliação dos teores de fibra alimentar e de beta-glicanas em cultivares de aveia (*Avena sativa* L), **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.3, p.387-390, 1999.

HAMER, A.; LACEY, J.; MAGAN, N. Use of an automatic electrolytic respirometer to study respiration of stored grain. In: Fleurat-Lessard, F.; Ducom, P. (Ed.), Proceedings of the Fifth International Working Conference on Stored-Product Protection, v.1. Bordeaux, France, 9-14 September 1990, p.321-330, 1990.

HART, F. **Caracterização química da cultivar UPF 18 e estudos das farinhas estabilizadas termicamente por vapor e água quente**. Pelotas, 2001, 94f. Dissertação (Mestrado), UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

HARTMANN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v.22, p.475-476, 1973.

HODGES, T.P. Prediction of spoilage in grain drying and storage- a review. Divisional note DN 1501. AFRC Institute of Engineering Research, Silsoe, Bedford, UK, 1989.

HOSENEY, R.C. Principles of cereal science and technology. 2.ed. Saint Paul: **American Association of Cereal Chemists**, 1990. 327p.

HOSENEY, R.C. Procesamiento de arroz, avena y cebada. In: **Princípios de ciência e tecnologia de los cereales**. Zaragoza, España, Ed. Acribia, p.163-180, 1991.

HULASARE, R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. Thin layer drying characteristics of hulless oats at near ambient temperatures (*Avena sativa L.*). **Canadian Agricultural Engineering**, v.41, n.3, p.167-173, 1999.

HUMMEL, B.C.W.; CUENDET, L.S.; CHRISTENSEN, C.M.; GEDDES, W.F.; 1954. Grain storage studies XIII- comparative changes in respiration, viability and chemical composition of mold-free and mold-contaminated wheat upon storage. **Cereal Chemistry**, v.31, p.143-150, 1954.

IARC. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans**. Lyon: IARC, v.56: Some naturally occurring substances: food items and constituents heterocyclic aromatic amines and mycotoxins, p.245-524, 1993.

ICMSF (INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS). Toxigenic Fungi: *Aspergillus*. In: **Microorganisms in Foods**. Characteristics of foods of pathogens. Academic Press, London, p.347-381, 1996.

KAWAMOTO, H.; SINHA, R.N.; MUIR, W.E. Regression models for estimation of temperature and moisture content of freshly harvest wheat and barley. **Canadian Agricultural Engineering**, v.33, p.321-328, 1991.

KAMINSKI, E.; LIBBEY, L.M.; STAWICKI, S.; WASOWIEZ, E. Identification of the predominant volatile compounds produced by *Aspergillus flavus*. **Applied Microbiology**, v.24, p.721-726, 1972.

KAMINSKI, E.; LIBBEY, L.M.; STAWICKI, S.; WASOWIEZ, E. Volatile flavour substances by moulds in wheat grain. **Acta Alimentaria Polonica**, v.1, p.153-164, 1975.

KAMINSKI, E.; STAWICKI, S.; WASOWIEZ, E. Volatile flavour compounds produced by moulds of *Aspergillus*, *Penicillium* and fungi imperfecti. **Applied Microbiology**, v.27, p.1001-1004, 1974.

KAUR, J.; RAMAMURTHY, V.; KOTHARY, R.M. Characterisation of oat lipase for lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biotechnology Letters**, London, v.15, n.3, p.257-262, 1993.

KENT, N.L. Oats. In: KENT, N.L. **Technology of Cereals**. 3.ed. Oxford: Pergamon Press, 1984. p.154-174.

KOZAKIEWICZ, Z.; SMITH, D. Physiology of *Aspergillus*. In: SMITH, J.E. *Aspergillus*. Plenum Press. New York, p.23-40, 1994.

KUIPER-GOODMAN, T.; SCOTT, P.M.; WARANABE, H. Risk assessment of the mycotoxin zearalenone. *Regul. Toxic. Pharmac.* v.7, p.253-306, 1987.

LANDERS, K.E.; DAVIS, N.D.; DIENER, U.L. Influence of atmospheric gases on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in peanuts. **Phytopathol**, v.57, n.10, p.1086-1090, 1967.

LAZZARI F.A. **Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações**. 2ªed. Curitiba: Do Autor, 1997, 148p.

LOCKHART, H.B.; HURT, H.D. Nutrition of oats. In: WEBSTER, H.F. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, p.413-426, 1986.

MAGAN, N. Early detection of fungi in stored grain. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v.32, p.145-160, 1993.

MAGAN, V.; EVANS, P. Volatiles as an indicator of fungal activity and differentiation between species, and the potential use of electronic nose technology for early detection of grain spoilage. **Journal of Stored Products Research**, v.36, 319-340, 2000.

MAIA, E.L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Avaliação de um método simples e econômico para a metilação de ácidos graxos com lipídios de diversas espécies de peixes. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.53, n.1/2, p. 23-35, 1993.

MARTINS, R.R.; FRANCO, J.B.R.; OLIVEIRA, P.A.V.; ANGONESE, C. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de Grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.117-155.

MATLASHEWSKI, G.J.; URQUART, A.A.; SAHASRABUDHE, M.R.; ALTOSAAR, I. Lipase activity in oat flour suspensions and soluble extracts. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.59, n.5. p. 418-422, 1982.

MELLO, V.D.C. **Qualidade fisiológica de sementes de arroz sob condições de secagem estacionária e contínua**. Pelotas, 1996, 98f. Dissertação (Doutorado), UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1996.

MILACH, S.C.K.; TISIAN, L.M.; WEILER, R.; FEDERIZZI, L.C.; TEIXEIRA, M.C.; LIMBERGER, E. Conteúdo de proteína em genótipos de aveia cultivados em diferentes ambientes do sul do Brasil, In: XX REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 20., 2000, Pelotas. **Anais...** Pelotas: 2000. p. 141-143.

MILLER, J.D. Fungi and mycotoxins in Grain: Implications for Stored Product Research (Review). **Journal Stored Products Research**, v.31, n.1, p.1-16, 1995.

MILMAN, M. J. **Manejo da relação de intermitência e da temperatura do ar na secagem industrial do arroz**. Pelotas, 2001. 54f. Dissertação (Mestrado), UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

MILNER, M.; CHRISTENSEN, C.M.; GEDDES, W.F. Grain storage studies VI-wheat respiration in relation to moisture content, mould growth, chemical determination and heating. **Cereal Chemistry**, v.24, p.182-199, 1947.

MIROCHA, C.J.; PATHRE, S.V.; CHRISTENSEN, C.M. Mycotoxins. **Advances in Cereal Science and Technology**, v.3, p.159-225, 1978.

MOLTEBERG, G.L.; VOGT, G.; NILSSON, A.; FROLICH, W. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, v.72, n.1, p.88-93, 1995.

MORRISON, W.R. Cereal lipids. In: POMERANZ, Y. **Advances in Cereal Science and Technology**, Saint Paul, v.2, p.221-288, 1978.

MOSS, M.O. Economic importance of mycotoxins-recent incidence. **International Biodeterioration**, Birmingham, v.27, p.195-205, 1991.

MUIR, W.E.; WATERER, D.; SINHA, R.N. Carbon dioxide as an early indicator of stored cereals and oilseed spoilage. **Transactions of the ASAE**, v.28, p.1673-1675, 1985.

MULTON, J.L. Spoilage mechanisms of grains and seeds in the post-harvest ecosystem, the resulting losses and strategies for the defense of stocks. In: Multon, J.L.(Ed.), **Preservation and Storage of Grains, Seeds and their By-Products**. Lavoisier publishing, New York, USA, 1988. p.3-63.

MULTON, J.L. Water vapor and heat transfers in grains silos and their consequences on storage. In: SHEJBAL, J. **Controlled atmosphere storage of grains**. Amsterdam, Elsevier, p.399-408, 1980.

NEERGAARD, P. Incubation tests. **Seed Pathology**, Mac Millan Press v.11, p.739-743, 1977.

NELLIST, M.E. Predicting the viability of seed dried with heated air. **Seed Science and Technology**, v.9, p. 439-455, 1981.

NESS, A.R.R. **Qualidade do arroz em casca, seco e armazenado em silos metálicos com aeração controlada**. Rio Grande, 1998. 108f. Dissertação (mestrado) – Mestrado em Engenharia de Alimentos, Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande, 1998.

NEUBER, E.E. Evaluation of critical parameters for developing moisture sorption isotherms of cereal grains. In: **Water activity: Influence on Food Quality**, (ed.) Rockland, L.B.; Stewart, G.F. Toronto, ON: Academic Press, p.199-222, 1981.

NORDIN, N.S.D. **Deteção de aflatoxinas e zearalenona em milho destinado à alimentação animal**. Porto Alegre, 1995. 82f. Dissertação (Mestrado), UFRGS, PMAA. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

OLSEN, M.; MÖLLER, T.; AKERSTRAND, K. Ochratoxin A: Occurrence and intake by Swedish population. **Proceedings of the UK workshop on occurrence and significance of mycotoxins**, University of West London, ad. By K. A. Scudamore (Slough: Central Science Laboratory, MAFF), p.96-100, 1993.

OMS. ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. **Criterios de salud ambiental, micotoxinas**. Washington: Organización Panamericana de la Salud, 1983. p.133.

PATON, D. Oat Starch. Part1. Extraction, purification and pasting properties. **Starch/Stärke**, Stuttgart, v.29, p.149-153, 1977.

PEDÓ, I.; SGARBIERI, V.C. Caracterização química de cultivares de aveia (*Avena sativa* L), **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.2, p. 78-83, 1997.

PETERSON, D.M. Oat antioxidants. **Journal of Cereal Science**, n.33, p.115-129, 2001.

PETERSON, M.P. Composition and Nutritional Characteristics of Oat Grain and Product. In: MARSHALL, H.G.; SOLLELS, M.S. Oat science and technology. Madison: **American Society of Agronomy**, Inc., 1992. p.266-287.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. Storage of cereal grains and their products, Saint Paul: **American Association of Cereal Chemists**, p.56-157, 1974.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: Christensen, C.M. (Ed.), Storage of cereal grains and their products, 3^a edition. **American Association of Cereal Chemists**, St Paul, MN, USA, p.56-114. 1982.

PORTO, A.G. **Avaliação da qualidade de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) secas e armazenadas em silos metálicos**. Rio Grande, 2001. 128p. Dissertação (mestrado) – Mestrado em Engenharia de Alimentos, Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande, 2001.

PRADO, G. *et al.* Efeito da umidade relativa na contaminação microbiana e produção de aflatoxinas em amendoim em grão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.11, n.2, p.264-273, 1991.

PRELUSKY, D.B.; ROTTER, B.A.; ROTTER, R.G. Toxicology of mycotoxins. In: MILLER, J.D. TRENHOM, H.L. (Ed.) **Mycotoxins in Grain** – Compounds other than aflatoxin. Minnesota: Eagan Press, 1994. p.359-486.

PUZZI, D. **Armazenamento e Abastecimento de Grãos**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000, 603p.

RICHARD, J.L. Introduction to some public health aspects of the mycotoxins-mycotoxicoses problem: **VI International Conference of the mycoses**. OPAS/OMS. Scientific Publication, n°479, Washington DC, USA, 1986. p.43-81.

RICHARD-MOLARD, D.; CAHAGNIER, B.; POISSON, J.; DRAPRON, R. Evolutions compare es des constituantes volatils et de la microflore de mais stokes sous differentes conditions de temperature et d’humidite. **Annals de Technologic Agricole**, v.25, p.29-44, 1976.

ROBERTS, E.H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**, v.1, p.499-514, 1973.

ROMBALDI, C.V. **Condições de secagem e tempo de armazenamento na qualidade industrial do arroz (*Oryza sativa*, L)**. Pelotas, 1988, 124f. Tese (Mestrado), UFPel,

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1988.

SÁ, R.M.; DE FRANCISCO, A.; OGLIARI, P.J.; BERTOLDI, F.C. Variação no conteúdo de beta-glucanas em cultivares brasileiros de aveia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.99-102, 2000.

SABINO, M. **Deteção e monitoramento de micotoxinas**. In: 1ª Conferência Brasileira de pós-colheita. Porto Alegre, 1999. Anais...Passo Fundo: Abrapós/Cesa/Embrapa-Trigo, 1999. p.68-74.

SABINO, M. Ocorrência de aflatoxinas, ocratoxina A e zearalenona em milho doce de Minas Gerais. Parte I. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v.46, p.65-71, 1986.

SAS INSTITUTE. User's guide: statistics. 5.ed. Cary, NC, 1985. 956p.

SCUDAMORE, K.A.; PATEL, S.; BREEZE, V. Surveillance of stored grain from the 1997 harvest in the United Kingdom for ochratoxin A. **Food Additives and Contaminants**, UK, v.16, n.7, p.281-290, 1999.

SCUSSEL, V.M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de Grãos**. IBG, Campinas, 2002. p.675-804

SHAHIDI, F. Stability of fats and oils. In: Congresso e Exposição Latino Americano Sobre Processamento de Óleos e Gorduras, 1995, Campinas. **Anais**. Campinas: R. Vieira, 1995, p.47-54.

SHEPHARD, G.S.; THIEL, P.G.; STOCKENSTRÖM, S.; SYDENHAM, E.W. Worldwide survey of fumonisin contamination of corn and corn-based products. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists International**, Arlington, v.79, n.3, p.671-687, 1996.

SHIER, W.T. Estrogenic mycotoxins. **Revue Méd. Vet.**, v.149, n.6, p.599-604, 1998.

SHUKLA, T.P. Chemistry of oats: proteins foods and other industrial products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.6, n.4, p.383-431, 1975.

SILVA, J. S.; HARA, T. **Contenido de humedad de los granos**. Viçosa, 1998. 5p. Universidade Federal de Viçosa, 1998.

SINHA, R.N. Interrelations of physical, chemical and biological variables in the deterioration of stored grain. In: Sinha, R.N.; Muir, W.E. (Ed), Grain Storage: Part of a System. Avi publishing Company, Wesport, CT, USA, 1973. p.15-48

SOARES, L.M.V. **MICOTOXINAS: Um método para análise simultânea e incidência em alimentos comercializados na região de Campinas**. Campinas, 1987, 88f. Tese (Doutorado), Unicamp, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1987.

SOARES, L.M.V.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Survey of aflatoxins, ochratoxin A zearalenone and sterigmatocystin in some Brazilian foods by using multitoxin thin-layer

chromatographic method. **Journal of the Association of Official Analytical Chemist**, Arlington, v.72, p.22-26, 1989.

SROUR, S. Thermic properties of grains-production of heat and CO₂. In: Multon, J.L. (Ed.), *Preservation and Storage of Grains, Seeds and their By-Products*. Lavoisier publishing, New York, USA, 1988. p. 189-202.

STAWICKI, S.; KAMINSKI, E.; NIEWIAROWIEZ, A.; TROJAN, M.; WASOWIEZ, E. The effect of microflora on the formation of odours in grain during storage. **Annales de Technologie Agricole**, v.22, p.449-476, 1973.

STEELE, J.L.; SAUL, R.S.; HUKILL, W.F. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. **Transactions of the ASAE**, v.12, p.685-689, 1969.

SWEENEY, M.J.; DOBSON, A.D.W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. *International Journal of Food Microbiology*, v.43, p.141-158, 1998.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Departamento de Solos da UFRGS, Boletim Técnico nº5, Porto Alegre, 1995. 174p.

TIPPLES, K.H. Quality and nutritional changes in stored grain. In: Jayas, D.S.; White, N.D.G.; Muir, W.E. (Ed.), *Stored-grain Ecosystems*. M. Dekker, Inc., New York, USA, 1995. p.189-202.

TOTHILL, I.E.; HARRIS, D.; MAGAN, N. The relationship between fungal growth and ergosterol content of wheat grain. **Mycological Research**, v.11, p.965-970, 1992.

UENO, Y. Toxicology of microbial toxins. **Pure & Appl. Chem.**, v.58, n.2, p.339-350, 1986.

URQUHART, A.A.; ALTOSAAR, I.; MATLASHEWSKI, G.J.; SAHASRABUDHE, M.R. Localization of lipase activity in oat grains and milled oat fractions. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.60, n.2, p.181-183, 1983.

VIEIRA, S.L. Micotoxinas e a produção de ovos. **Simpósio Internacional sobre Micotoxinas e Micotoxicoses em Aves**, p.65-78, 1995.

WALKER, A.R.P. Does the dietary fiber hypothesis really “work”? **Cereal Foods World**, v.38, n.3, p.128-134, 1993.

WALKER, C.E.; ROSS, A.S.; WRIGLEY, C.W. Accelerated starch-paste characterization with the rapid visco analyser. **Cereal Foods World**, v.33, n.6, p.491-494, 1988.

WEAVER, C.M.; CHEN, P.H.; RYNEARSON, S.L. Effect of milling on trace element and protein content of oats and barley. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.58, n.2, p.120-124, 1981.

WETZEL, M.V.S. **Patologia de sementes: Fungos do armazenamento**. Campinas, 1987. Fundação Cargil. 480p.

WHITE, N.D.G.; SINHA, R.N.; MUIR, W.E. Intergranular carbon dioxide as an indicator de biological activity associated with the spoilage of stored wheat. **Canadian Agricultural Engineering**, v.24, p.35-42, 1982.

WOOD, P.J.; WEIZ,J.; BLACKWELL, B.A. Molecular characterization of cereal β -D-glucans. Structural analysis of oat β -D-glucan and rapid structural evaluation of β -D-glucans from different souces by high-performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.68, n.1, p.31-39, 1991.

WRIGLEY, C.W.; GRAS, P.W.; BASON, M.L. Maintenance of grain quality during storage-prediction of the conditions and period of "safe" storage. In: Highley, E., Wrigley, E.J.; Banks, H.J.; Champ, B.R. (Ed.). Proceedings of the Sixth International Working Conference on Stored-product Protection, v.2 Canberra, Australia, p.17-23 April, p.666-670, 1994.

YOUNGS, V.L. Protein distribution in the oat kernel. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.49, n.4, p.407-411, 1972.

ZADERNOWSKI, R.; POLAKOWSKA, H.N.; RASHED, A.A. The influence of heat treatment on the activity of lipo and hydrophilic components of oat grain. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.23, p.177-191, 1999.

ZERINGUE, H.J.; BROWN, R.L.; NEUCERE, J.N. Relationship between C₆-C₁₂ alkanal and alkenal volatile contents and resistance of maize genotypes to *Aspergillus falvus* and aflatoxin production. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, USA, v.44, p.403-407, 1996.

7. ANEXOS

TABELA 1a - Temperatura média mensal e mínima média mensal durante os quatro meses de permanência na lavoura e doze meses de armazenamento na região de Pelotas, Rio Grande do Sul

Mes es	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
Mé dia ¹	13,2	16,6	15,7	19,4	20	21,2	23,3	22,1	24	19,1	17,4	13,0	12,5	15,5	17,8	19,8
Mé dia ²	9,7	13,0	12,9	16,6	16	17,8	19,8	18,4	21,2	16,1	14,1	9,7	9,2	15,7	12,9	17,1

¹ - Temperatura média mensal durante o período de armazenamento;

² - Temperatura média mínima mensal durante o período de armazenamento;

(FONTE: ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS, 2001/2002).

TABELA 2a - Umidade relativa média mensal e precipitação pluviométrica média mensal durante os quatro meses de permanência na lavoura e doze meses de armazenamento na região de Pelotas, Rio Grande do Sul

Mes es	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
Mé dia ¹	87,2	86,8	85,9	84	78,8	79,3	79,9	80,6	87,6	86,3	88,6	85,4	86,2			
Mé dia ²	146	51	229	67	204	125	179	137	349	248	129	145	109, 4			

¹ - Umidade relativa média mensal durante o período de armazenamento;

² - Precipitação pluviométrica total mensal durante o período de armazenamento;

(FONTE: ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS, 2001/2002).

TABELA 3a. Resumo da análise de variação realizado na incidência fúngica (*Aspergillus*, *Penicilium*, *Fusarium* e Outros fungos) quanto as umidade e meses de armazenamento

ANÁLISE DE VARIAÇÃO	GL	QM (<i>Apergillus</i>)	CV(%) = 6,71
Umidade (U)	4	2352,65**	-
Meses de Armazenamento(M)	4	318,95**	-
U*M	16	206,32**	-
Total	74	-	-
ANÁLISE DE VARIAÇÃO	GL	QM (<i>Penicillium</i>)	CV(%) = 3,72
Umidade (U)	4	8688,45**	-
Meses de armazenamento(M)	4	1693,15**	-
U*M	16	681,67**	-
Total	74	-	-
ANÁLISE DE VARIAÇÃO	GL	QM (<i>Fusarium</i>)	CV(%) = 7,30
Umidade (U)	4	5439,12**	-
Meses de armazenamento(M)	4	489,52**	-
U*M	16	405,65**	-
Total	74	-	-
ANÁLISE DE VARIAÇÃO	GL	QM (Outros)	CV(%) = 1,64
Umidade (U)	4	16403,11**	-
Meses de armazenamento (M)	4	4621,61**	-
U*M	16	1167,86**	-
Total	74	-	-

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

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 4a. Resumo da análise de variação realizado na umidade, extrato etéreo, acidez do extrato etéreo, incidência fúngica, germinação e vigor quanto a umidades, meses de armazenamento e sistema de armazenamento

ANÁLISE DE VARIAÇÃO	GL	QM (umidade)	CV(%) = 1,38
Umidade (U)	2	122,74**	-
Sistema de armazenamento (S)	1	34,96**	-
U*S	2	24,38**	-
Meses de Armazenamento(M)	4	6,82**	-
S*M	4	6,93**	-
U*M	8	2,58**	-
U*S*M	8	2,97**	-
Total	89	-	-

ANÁLISE DE VARIAÇÃO	QM (Extrato etéreo)	CV(%) = 0,95
Umidade (U)	0,01*	-
Sistema de armazenamento (S)	0,02**	-
U*S	0,05**	-
Meses de Armazenamento(M)	0,23**	-
S*M	0,01**	-
U*M	0,01**	-
U*S*M	0,01**	-
Total	-	-

ANÁLISE DE VARIAÇÃO	QM (Acidez do Extrato etéreo)	CV(%) = 5,28
Umidade (U)	0,11**	-
Sistema de armazenamento (S)	0,10**	-
U*S	0,01**	-
Meses de Armazenamento(M)	0,23**	-
S*M	0,02**	-
U*M	0,01**	-
U*S*M	0,01*	-
Total	-	-

ANÁLISE DE VARIAÇÃO	QM (Fungos de armazenamento)	CV(%) = 39,11
Umidade (U)	258,34**	-
Sistema de armazenamento (S)	0,04	-
U*S	48,14**	-
Meses de Armazenamento(M)	19,40**	-
S*M	6,04**	-
U*M	25,90**	-
U*S*M	16,89**	-
Total	-	-

ANÁLISE DE VARIAÇÃO	QM (Outros fungos)	CV(%) = 3,40
----------------------------	---------------------------	---------------------

Umidade (U)	600,70**	-
Sistema de armazenamento (S)	11133,34**	-
U*S	9,54*	-
Meses de Armazenamento(M)	1710,15**	-
S*M	704,79**	-
U*M	206,46**	-
U*S*M	96,20**	-
Total	-	-
ANÁLISE DE VARIAÇÃO	QM (germinação)	CV(%) = 2,77
Umidade (U)	192,54**	-
Sistema de armazenamento (S)	0,71	-
U*S	6,88*	-
Meses de Armazenamento(M)	1799,17**	-
S*M	15,66**	-
U*M	417,64**	-
U*S*M	11,95**	-
Total	-	-
ANÁLISE DE VARIAÇÃO	QM (vigor)	CV(%) = 5,56
Umidade (U)	52,43**	-
Sistema de armazenamento (S)	176,40**	-
U*S	37,90*	-
Meses de Armazenamento(M)	1015,24**	-
S*M	69,04**	-
U*M	441,03**	-
U*S*M	35,99**	-
Total	-	-

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

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 5a. Resumo da análise de variação realizado na atividade da lipase e peroxidase quanto a umidade

ANÁLISE DE VARIAÇÃO	GL	QM (Lipase)	CV(%) = 9,15
Umidade (U)	2	10,36**	-
Total	5	-	-
ANÁLISE DE VARIAÇÃO		QM (Peroxidase)	CV(%) = 7,36
Umidade (U)	2	15,63**	-
Total	5	-	-

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