

ODAIR JOSÉ MARQUES

PONTO IDEAL DE COLHEITA DE CINCO HÍBRIDOS COMERCIAIS DE
MILHO

MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2009

ODAIR JOSÉ MARQUES

PONTO IDEAL DE COLHEITA DE CINCO HÍBRIDOS COMERCIAIS DE
MILHO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

M357p Marques, Odair José
Ponto ideal de colheita de cinco híbridos comerciais de milho / Odair José Marques. -- Maringá : [s.n.], 2009.
Xvi, 80 f. : il. color.

Orientador : Prof. Dr. Pedro Soares Vidigal Filho.
Co-orientador: Prof. Valdecir Antoninho Dalpasquale, Ph.D.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal, 2009.

1. Milho (*Zea mays* L.) - Deterioração - Produtividade. 2. Milho (*Zea mays* L.) - Umidade - Produtividade. 3. Milho (*Zea mays* L.) - Micotoxinas. 4. Milho (*Zea mays* L.) - Secagem. 5. Milho (*Zea mays* L.) - CCD. 6. Milho (*Zea mays* L.) - Qualidade. I. Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal. II. Título.


CDD 21.ed.633.15

ODAIR JOSÉ MARQUES

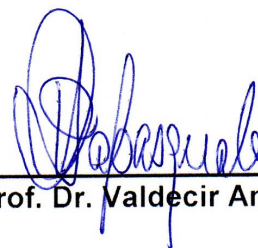
**PONTO IDEAL DE COLHEITA DE CINCO HÍBRIDOS COMERCIAIS DE
MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

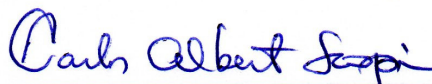
APROVADA em 19 de fevereiro de 2009.



Prof. Dr. Edison Miglioranza



Prof. Dr. Valdecir Antoninho Dalpasquale



Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim
(Presidente)

“Quem estuda e não pratica o que aprendeu é como o homem que lava e não semeia.”

Provérbio árabe

“Podemos escolher o que semear, mas somos obrigados a colher aquilo que semeamos.”

Provérbio chinês

Aos meus amados pais José (*in memorian*) e Aparecida...

Ao meu avô materno Luiz (*in memorian*)...

À minha amada esposa Sheila...

Dedico.

AGRADECIMENTO

Ao Criador, pelo dom da vida e pela força para vivê-la;

À Universidade Estadual de Maringá, que me proporcionou a oportunidade de aperfeiçoamento por meio do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PGA);

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da Bolsa de Estudo;

Aos professores Pedro Soares Vidigal Filho e Valdecir Antoninho Dalpasquale (DAG/PGA), pela Orientação e Co-orientação deste trabalho, pelos bons conselhos e, pela confiança depositada em minha pessoa;

Aos professores Carlos Alberto Scapim (DAG/PGA), Alessandro de Lucca e Braccini (DAG/PGA), Miguel Machinski Júnior (LEPAC) e Sílvio Cláudio da Silva (DBI/NEPRON), pelas valorosas contribuições a esse trabalho;

Ao professor Édison Miglioranza (UEL) pelas sugestões apresentadas;

Aos Srs. Mário Brunati e Afonso Brunati Júnior, pela cessão da propriedade para realização do presente trabalho;

Aos amigos Luiz Fernando Pricinotto e Deivid Lincoln Reche, pelo valoroso auxílio, pela confiança e pela grande amizade que firmamos ao longo dessa caminhada;

Aos Técnicos de Laboratório Antônio Sérgio Dacome (NEPRON), Evanilde Froemming (LEPAC) e à Bioquímica Érika Bando (LEPAC), pelo auxílio nas análises micotoxicológicas;

À Érika Cristina Takamizawa Sato (Secretária do PGA) e à Reinaldo Bernardo, pela atenção dedicada e amizade;

A todos os parentes, amigos e colegas não nominados que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que esse trabalho pudesse ser realizado;

E, finalmente, a todos os meus sobrinhos, que me veem como exemplo, espero que eu não os desaponte.

BIOGRAFIA

ODAIR JOSÉ MARQUES, filho de José Antônio Marques e Aparecida Lunardeli Marques, nasceu na cidade de Maringá-PR, aos 7 dias do mês de Junho de 1973.

Em 1980, ingressou no Grupo Escolar Municipal Anna Saddi Barros Cunha, no município de Sarandi (PR), concluindo o Ensino Básico em 1983.

Em 1984, mudou-se com a família para a Gleba São João, no município de Porto dos Gaúchos (MT), onde no ano de 1985 ingressou no Colégio Estadual Renato Spinelli, concluindo o Ensino Fundamental em 1988.

Em 1989, ingressou no Colégio Estadual Branca da Motta Fernandes, concluindo em 1993 o Ensino Médio, com a obtenção do título de Técnico em Contabilidade.

Em 2002, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), onde, em 2006 obteve o título de Engenheiro Agrônomo;

Em Março de 2007, ingressou no Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, junto ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – PGA/UEM.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Maturidade fisiológica e acúmulo de massa seca.....	4
2.2. Qualidade física dos grãos de milho.....	5
2.2.1. Massa específica e porosidade.....	5
2.2.2. Classificação comercial.....	6
2.2.3. Danos mecânicos.....	8
2.3. Qualidade sanitária dos grãos de milho.....	9
2.4. Micotoxinas.....	11
2.5. Manutenção da qualidade dos grãos de milho na pós-colheita.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Área de coleta.....	13
3.2. Híbridos.....	14
3.3. Colheita experimental.....	14
3.3.1. Amostragem.....	15
3.4. Características avaliadas.....	16
3.4.1. Maturidade fisiológica.....	16
3.4.2. Teor de umidade.....	18
3.4.3. Massa seca.....	18
3.4.4. Massa específica e porosidade.....	19
3.4.5. Classificação comercial.....	20
3.4.6. Danos mecânicos.....	21
3.4.7. Teste de sanidade.....	22
3.4.8. Análises micotoxicológicas.....	23
3.5. Análise econômica.....	24

3.6.	Análise estatística	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1.	Maturidade fisiológica	27
4.2.	Massa seca de grãos.....	29
4.3.	Massas específicas e porosidade da massa de grãos.....	33
4.3.1.	Massa específica aparente.....	33
4.3.2.	Massa específica real	35
4.3.3.	Porosidade da massa de grãos	36
4.4.	Classificação comercial dos grãos.....	38
4.4.1.	Impurezas	38
4.4.2.	Grãos avariados	41
4.4.3.	Grãos carunchados	43
4.5.	Danos mecânicos	45
4.5.1.	Grãos trincados	45
4.5.2.	Grãos rompidos	47
4.5.3.	Grãos quebrados.....	49
4.6.	Teste de sanidade	51
4.6.1.	<i>Aspergillus</i>	51
4.6.2.	<i>Fusarium</i>	53
4.6.3.	<i>Penicillium</i>	55
4.7.	Micotoxinas.....	57
4.8.	Viabilidade econômica.....	59
5.	CONCLUSÕES.....	64
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
	APÊNDICE.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Dados climáticos diários observados nos períodos de colheita da “Safrinha” de 2007.....	15
Figura 2 –	Dados climáticos diários observados nos períodos de colheita da Safra de “Verão” de 2007/2008..	16
Figura 3 –	Representação esquemática dos cinco estádios da linha de solidificação do endosperma do grão de milho.....	17
Figura 4 –	Representação esquemática do diafanoscópio artesanal.....	22
Figura 5 –	Massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.	29
Figura 6 –	Massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, no período de “Verão” de 2007/2008.....	30
Figura 7 –	Massa específica aparente dos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.	33
Figura 8 –	Massa específica aparente dos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.	34
Figura 10 –	Massa específica real dos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.	36
Figura 11 –	Porosidade da massa de grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.	36
Figura 12 –	Porosidade da massa de grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.	37

Figura 14 –	Impurezas nos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	40
Figura 15 –	Grãos avariados dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.....	41
Figura 16 –	Grãos avariados dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	42
Figura 17 –	Grãos carunchados dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.....	43
Figura 18 –	Grãos carunchados dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	44
Figura 19 –	Grãos trincados nos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.....	45
Figura 20 –	Grãos trincados nos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	46
Figura 21 –	Grãos rompidos nos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.....	48
Figura 22 –	Grãos rompidos nos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	48
Figura 23 –	Grãos quebrados nos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.....	49
Figura 24 –	Grãos quebrados nos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.....	50

Figura 25 –	Incidência de fungos do gênero <i>Aspergillus</i> em grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.	52
Figura 26 –	Incidência de fungos do gênero <i>Aspergillus</i> em grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	53
Figura 27 –	Incidência de fungos do gênero <i>Fusarium</i> em grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.	53
Figura 28 –	Incidência de fungos do gênero <i>Fusarium</i> em grãos do híbrido de milho 2B710, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	54
Figura 29 –	Incidência de fungos do gênero <i>Fusarium</i> em grãos dos híbridos de milho 2B707 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.	55
Figura 30 –	Incidência de fungos do gênero <i>Penicillium</i> em grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.	56
Figura 31 –	Incidência de fungos do gênero <i>Penicillium</i> em grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Padrão de qualidade oficial dos grãos de milho.....	7
Quadro 2 –	Padrão de qualidade dos grãos de milho exigido pelo mercado consumidor	8
Quadro 3 –	Características dos híbridos comerciais de milho avaliados.....	14
Quadro 4 –	Resultados obtidos pela Fazenda Renascer com as lavouras de milho cultivadas nos períodos da “Safrinha” de 2007 e da safra de “Verão” de 2007/2008	26
Quadro 5 –	Maturidade fisiológica de grãos de híbridos comerciais de milho avaliados na “Safrinha” de 2007, em função do teor de umidade, da presença de camada negra e da solidificação do endosperma.....	27
Quadro 6 –	Maturidade fisiológica de grãos de híbridos comerciais de milho avaliados na Safra de “Verão” de 2007/2008, em função do teor de umidade, da presença de camada negra e da solidificação do endosperma.....	28
Quadro 7 –	Efeito da variação da massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710 sobre a produtividade em função da umidade de colheita, na “Safrinha” de 2007	31
Quadro 8 –	Efeito da variação da massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto sobre a produtividade em função da umidade de colheita, na Safra de “Verão” de 2007/2008	32
Quadro 9 –	Contribuição de cada porção no total de impurezas e de grãos avariados nas amostras de grãos de milho da “Safrinha” de 2007	39
Quadro 10 –	Contribuição de cada porção no total de impurezas e de grãos avariados nas amostras de grãos de milho da Safra de “Verão” de 2007/2008.....	41

Quadro 11 – Contaminações por micotoxinas em amostras grãos de milho da safra de “Verão” de 2007/2008.....	58
Quadro 12 – Análise econômica da colheita antecipada de grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, na “Safrinha” de 2007	61
Quadro 13 – Análise econômica da colheita antecipada de grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, na safra de “Verão” de 2007/2008	63

RESUMO

MARQUES, ODAIR JOSÉ, M.Sc. Universidade Estadual de Maringá. Fevereiro de 2009. **Ponto ideal de colheita de cinco híbridos comerciais de milho.** Professor Orientador: Pedro Soares Vidigal Filho. Professor Co-orientador: Valdecir Antoninho Dalpasquale. Professores Conselheiros: Carlos Alberto Scapim e Alessandro de Lucca e Braccini.

O objetivo deste trabalho foi determinar o ponto ideal de colheita de cinco híbridos comerciais de milho. O trabalho foi conduzido em área de lavoura comercial de milho, da Fazenda Renascer, em Astorga - PR, durante os períodos da “Safrinha” de 2007 e da Safra de “Verão” de 2007/2008. As amostras de grãos de milho, colhidas em cinco épocas distintas e em cinco repetições, foram coletadas no campo de produção e levadas ao laboratório, onde foram dispostas em um delineamento inteiramente casualizado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão. As características dos grãos de milho avaliadas foram: maturidade fisiológica; teor de umidade; massa seca; classificação comercial; massa específica e porosidade; danos mecânicos; e sanidade. A observação da linha de solidificação do endosperma se mostrou adequada e de fácil detecção da maturidade fisiológica dos grãos de milho, ao contrário da camada negra. No período da “Safrinha”, a maturidade fisiológica dos grãos ocorreu com umidade média de 25,4%, enquanto que, no “Verão”, para o híbrido 2B710, ela ocorreu na umidade de 25,5%, ocasião em que os grãos dos híbridos 2B707 e Impacto já estavam maduros. Após a maturidade fisiológica, em geral, houve redução da massa seca, em função do decréscimo da umidade dos grãos nos híbridos avaliados nos dois períodos em estudo, sendo esse fato atribuído ao processo respiratório dos grãos. As massas específicas, aparente e real, apresentaram elevação, em função do decréscimo da umidade nos grãos, influenciadas, sobretudo, pela redução do volume individual dos grãos, enquanto que a porosidade foi reduzida. Os percentuais de impurezas foram menores com a redução da umidade, enquanto os grãos avariados e grãos carunchados se elevaram independente do híbrido e do período avaliado. Os danos mecânicos mais relevantes (trincas e fragmentação dos grãos), também se elevaram com

a redução da umidade de colheita, independente da textura dos grãos. Na avaliação da qualidade sanitária dos grãos de milho, os fungos do gênero *Fusarium* apresentaram crescimento da incidência, em função do aumento da umidade, enquanto os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* tiveram suas incidências reduzidas. Verificou-se que é possível a produção de aflatoxinas, associadas aos grãos de milho, ainda no campo, e que a antecipação da colheita, seguida de secagem imediata, pode assegurar a qualidade sanitária dos grãos de milho. A faixa de umidade entre 22,0% e 26,0% proporcionou a melhor qualidade física e sanitária dos grãos de milho, enquanto que a colheita dos grãos efetuada aos 24,0% de umidade proporcionou o melhor retorno financeiro.

Termos para indexação: *Zea mays* L., deterioração, produtividade, umidade, secagem, micotoxinas.

ABSTRACT

MARQUES, ODAIR JOSÉ, M.Sc. State University of Maringá. February, 2009. **Ideal harvest time of five commercial hybrid of corn.** Adviser: Pedro Soares Vidigal Filho. Co-adviser: Valdecir Antoninho Dalpasquale. Committee members: Carlos Alberto Scapim e Alessandro de Lucca e Braccini.

The objective of this work was to determine the ideal harvesting point of five commercial hybrids of corn. The work was conducted in a commercial farming area, at Fazenda Renascer, in Astorga - Paraná, during the autumn/fall of 2007 and the summer harvest of 2007/2008. The corn grains samples, harvested in five distinguished periods and in five replications, were collected in the field and taken to the laboratory, where they were disposed in a completely randomized design. The data were submitted to analyses of variance and regression. The corn grains characteristics evaluated were: physiologic maturity; moisture content; dry mass; commercial classification; density and porosity; mechanical damages and sanity. The endosperm solidification line had shown appropriated and easy detection of the physiologic maturity of the corn grains, unlike the black layer. The physiologic maturity of the grains, in autumn/fall harvest, happened with medium humidity of 25.4%, while in the summer harvest, on the hybrid 2B710 it happened on the humidity of 25.5% and on the hybrids 2B707 and Impact the grains were already physiologically mature. In general, after the physiologic maturity, there was a reduction of the dry mass due to the decreasing grain moisture in the appraised hybrids in the two periods studied, being that fact attributed to the breathing process of the grains. The bulk and real densities presented elevation because of the decrease of moisture influenced above all by the reduction of individual volume of the grains, whereas the porosity had decreased. The percentages of impurities were smaller with the reduction of moisture, while the averaged grains and grains damaged by insects increased, independently of hybrid and of appraised period. The more relevant mechanical damages (endosperm scratched and fragmentation of the grains) had also increased with the reduction of moisture, independently of the grains texture. In the evaluation of the sanitary quality of the corn grains, the

genera *Fusarium* presented increasing incidence due to moisture increasing, whereas *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. had their incidences decreased. It was observed that the possible production of aflatoxins, associated to corn grains still in the field. However, the anticipation of the harvest, followed by immediate drying processes assure the sanitary quality of the corn grains. The moisture content between 22.0% and 26.0% allowed the best physical and sanitary quality of the corn grains, but the best financial return was obtained for grains harvested at 24.0% moisture content.

Index terms: *Zea mays* L., deterioration, productivity, moisture content, drying, mycotoxins.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), desde há muitos séculos (FALABELLA et al., 2008) é um alimento essencial aos seres humanos, seja pelo seu consumo direto, na forma de milho verde, milho em conserva, milho pipoca, fubá, farinha, amido e outros produtos, ou indireto, tanto como produtos de origem animal quanto como produtos industrializados (BROOKER et al., 1992; TRENTO et al., 2002; SILVA et al., 2007).

O Brasil se destaca no cenário global, ocupando o terceiro lugar na produção mundial de milho, sendo o Estado do Paraná o maior produtor nacional (CONAB, 2008). Entretanto, o sistema de produção brasileiro apresenta elevados índices de perdas de qualidade de grãos (cariopses). Essas perdas são causadas, em sua maioria, por danos físicos ocorridos durante as operações de colheita, transporte, secagem, beneficiamento e armazenamento, por fatores climáticos, por agentes biológicos e pela própria respiração dos grãos de milho (BROOKER et al., 1992; BRASIL, 1992; PALACIN et al., 2006).

Atualmente, no Brasil, a colheita do milho é iniciada, com raras exceções, quando os grãos estão com a umidade entre 18,0% e 20,0%, sendo esta a recomendação preconizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2007). Enquanto que, nos Estados Unidos da América, entre outros países, a recomendação é de que a colheita seja realizada quando os teores de umidade nos grãos estiverem entre 20,0% e 25,0% (BRUNS e ABBAS, 2004). Por sua vez, na Croácia, Voća et al. (2007) afirmam que o ideal seria colher os grãos de milho com teores de umidade entre 25,0% e 28,0%, para associar o máximo de rendimento com os mínimos danos aos grãos. No entanto, é consenso entre diversos autores (AFUAKWA e CROOKSTON, 1984; BROOKER et al., 1992; BORBA et al., 1994; ARAÚJO et al., 2006; VOĆA et al.; 2007) que a umidade dos grãos, como característica isolada, não serve para determinação do ponto de colheita, devido a influências ambientais e genéticas, sendo necessária a observação de outras

características, tais como a formação da camada negra, linha de solidificação do endosperma e acúmulo de massa seca.

Diante disso, o ponto de maturidade fisiológica seria o momento ideal para se realizar a colheita, pois é nesse estágio fenológico que os grãos de milho apresentam a máxima qualidade, o máximo acúmulo de massa seca e a reduzida incidência de patógenos causadores de deterioração dos grãos (EGLI e TEKRONY, 1997; TOLERA et al. 1998; SAINI e WESTGATE, 2000; CARNEIRO et al., 2005). Entretanto, nessa fase, os grãos de milho ainda apresentam umidade elevada, por vezes maior do que 30,0%, a depender do genótipo utilizado. Tal fato inviabiliza a colheita mecanizada, uma vez que, a debulha se torna difícil, em função do excesso de partes verdes e úmidas das plantas, o que resulta em severas injúrias mecânicas nos grãos por amassamento (BROOKER et al., 1992; ALVES et al., 2001a).

Por outro lado, em condições de campo, os grãos de milho, quando colhidos com umidades inferiores a 18,0%, tendem a perder massa seca por respiração (BROOKER et al., 1992). Além disso, podem sofrer maiores injúrias mecânicas durante os processos de colheita e de pós-colheita, com reflexos negativos na qualidade do produto. Destaca-se, como exemplo, a redução na potencialidade de armazenamento em função da redução da massa específica, bem como, a formação de micotoxinas, promovidas pelo ataque de insetos e de fungos, respectivamente (ALVES et al., 2001a; 2001b; RUFFATO et al., 2001; MARCHI et al., 2006). Tudo isso, sem considerar que o atraso na colheita também promove perdas nutricionais dos grãos de milho (TOLERA et al., 1998).

Em geral, a deterioração da qualidade dos grãos começa ainda no campo, onde, por conveniência econômica, o produto é mantido na planta até a secagem, prática essa que é largamente utilizada pelos agricultores brasileiros, uma vez que a mesma requer um mínimo de investimento. Todavia, essa prática pode resultar no início de elevadas infestações de fungos e de pragas de grãos armazenados (MILLER, 1995; RESNIK et al., 1996; REID et al., 1999; NESCI et al., 2003), bem como comprometer a integridade do pericarpo em função dos danos mecânicos (BROOKER et al., 1992; MARTINS-NETTO et al., 1999; ANDRADE et al., 1999; PAIVA et al., 2000; CARNEIRO et al., 2005; MARCHI et al., 2006; RADÜNZ et al., 2006).

Nesse contexto, a colheita antecipada do milho, ou seja, após a maturidade fisiológica e com umidade dos grãos superior a 22%, ainda é uma prática pouco usual entre os agricultores brasileiros, sobretudo, pela baixa valorização do produto no mercado e pelos elevados custos de transporte e secagem (GOTTARDO e CESTARI Jr., 2008), devido à falta de estruturas secadoras e armazenadoras próximas ao local de produção (PUZZI, 1986). Além disso, as unidades de recebimento de produtos agrícolas (cooperativas agrícolas e cerealistas), em geral, afirmam que o recebimento de produtos com umidade superior a 22,0%, gera alto custo e demora no processo de secagem, fato que justifica os descontos sofridos pelos agricultores quando da entrega do produto (GOTTARDO e CESTARI Jr., 2008).

Diante das considerações expostas, o objetivo geral deste trabalho foi determinar o ponto ideal de colheita de cinco híbridos comerciais de milho, buscando o ponto de equilíbrio entre o máximo rendimento de massa seca acumulada e qualidade dos grãos, associado ao máximo retorno financeiro. Por sua vez, em função da umidade de colheita, os objetivos específicos foram avaliar nos grãos de milho:

- i) O uso da linha de solidificação do endosperma e da presença da camada negra para identificação da maturidade fisiológica;
- ii) O acúmulo de massa seca nos grãos de milho e sua relação com a maturidade fisiológica;
- iii) As massas específicas aparente e real e a porosidade da massa de grãos;
- iv) A classificação comercial dos grãos;
- v) Os danos mecânicos dos grãos;
- vi) A qualidade sanitária e a presença de micotoxinas nos grãos;
- vii) A umidade mais adequada para realizar a colheita, em função da máxima qualidade física e sanitária e do melhor retorno financeiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Maturidade fisiológica e acúmulo de massa seca

A maturidade fisiológica, seja nos cereais ou nas leguminosas, bem como nas oleaginosas, é caracterizada pelo máximo acúmulo de massa seca na semente e pela interrupção do fluxo de fotoassimilados entre a planta e a semente (DELOUCHE, 1971; CHAMMA et al., 1990; HUNTER et al., 1991; TEKRONY e EGLI, 1997, BORRÁS e WESTGATE, 2006). Após a maturidade fisiológica gradualmente ocorre o decréscimo da umidade da semente, uma vez que a fase de “enchimento” está finalizada (TOLERA et al., 1998; SAINI e WESTGATE, 2000; CALDERINI et al., 2000; BORRÁS et al., 2003, 2004; BORRÁS e WESTGATE, 2006).

Por sua vez, o acúmulo de massa seca nos grãos de milho é limitado pela capacidade das folhas (fonte) da planta em fornecer os fotoassimilados e a capacidade das cariopses (dreno) em receber os fotoassimilados, bem como pela duração do período de enchimento de grãos, intensidade e duração da radiação solar, disponibilidade de água e de nutrientes minerais e, pela sanidade das plantas durante esse período (ANDRADE e FERREIRO, 1996; CIRILO e ANDRADE, 1996; RAJCAN e TOLLENAAR, 1999; BORRÁS e OTEGUI, 2001).

Segundo Marcos Filho (2005), o período entre a maturidade fisiológica e a colheita dos grãos de milho é crítico, pois os grãos permanecem presos à planta e expostos à ação de fatores bióticos e abióticos, de modo que a intensidade da deterioração depende do nível de adversidade enfrentado pelos grãos e do período de exposição dos mesmos a essas condições.

O uso de metodologias simples, de fácil aplicação e com resultados rápidos, é primordial para que os produtores de milho possam avaliar o estágio de desenvolvimento dos grãos, bem como decidir o momento correto para realização da colheita. Nesse sentido, duas características dos grãos de milho, a linha de solidificação do endosperma, também conhecida como “linha do leite”, e a camada negra, enquadram-se na determinação da maturidade

fisiológica. A linha de solidificação do endosperma é caracterizada pelo processo no qual o conteúdo do endosperma passa da fase líquida para a fase sólida, em função da perda de água durante a maturação, ou seja, é uma linha divisória entre essas duas fases (AFUAKWA e CROOKSTON, 1984). Por sua vez, a camada negra é caracterizada pela morte do tecido da região placentar existente entre a chalaza e o pedicelo, que resulta na interrupção do fluxo de fotoassimilados da planta para os grãos (HUNTER et al., 1991).

De acordo com Hunter et al. (1991), a avaliação conjunta da linha de solidificação do endosperma e da camada negra em grãos de milho confere maior segurança na determinação da maturidade fisiológica, sendo que isto ocorre quando os grãos apresentam o estágio 4 de ambas as características. Por outro lado, Vieira et al. (1995) afirmam que a maturidade fisiológica dos grãos de milho ocorre entre os estádios 3 e 4 da linha de solidificação do endosperma. Segundo Afuakwa e Crookston (1984), no estágio 3 da linha de solidificação do endosperma, os grãos de milho já acumularam aproximadamente 95,0% do total de massa seca, ou seja, esse estágio indica que o final da fase de “enchimento de grãos” está próximo.

A avaliação da maturidade fisiológica com base na linha de solidificação do endosperma é mais sensível do que a observação da camada negra e se mostra um método prático e eficiente para a identificação, no campo, da época mais adequada para a colheita dos grãos de milho (FAHL et al., 1994; VIEIRA et al., 1995; FARIA et al., 2002).

2.2. Qualidade física dos grãos de milho

2.2.1. Massa específica e porosidade

Dentre as propriedades físicas dos produtos agrícolas, algumas delas mantêm relação com a qualidade física dos mesmos. Dentre elas, temos a massa específica de grãos, também conhecida como densidade e a porosidade da massa, ou seja, o percentual de espaços intergranulares vazios (BROOKER et al., 1992).

A massa específica está relacionada à dureza do endosperma dos grãos de milho, sendo, portanto, uma característica genética das cultivares de milho (SILVA et al., 2000). Ela apresenta duas denominações: a massa

específica aparente e a real. A massa específica aparente considera a massa de produto, incluindo a porosidade intergranular, que ocupa um determinado volume, $1,0\text{m}^{-3}$, por exemplo. Por sua vez, a massa específica real, não inclui a porosidade. Obviamente essa propriedade tem valores maiores do que a massa específica aparente (PUZZI, 1986; SILVA et al., 1995a).

De modo geral, a massa específica aparente e a porosidade são propriedades físicas primordiais nos processos de secagem e de armazenagem de grãos e de sementes, pois influenciam diretamente na velocidade e na uniformidade de secagem, bem como na capacidade estática dos armazéns e dos silos (BROOKER et al., 1992). Por sua vez, a massa específica real tem aplicação prática no processamento industrial dos grãos de milho (PUZZI, 1986), mas ela também pode ser utilizada como intermediária para a obtenção da porosidade da massa de grãos (SILVA et al., 1995a).

As variações que ocorrem, tanto na massa específica aparente quanto na porosidade, em função da umidade e de outros fatores, tais como estágio de desenvolvimento do grão, presença de impureza, grãos quebrados ou mesmo grãos danificados durante os processos de colheita e pós-colheita, têm sido objeto de estudo de diversos autores (MCMINN e MAGEE, 1997; TOLERA et al., 1998; RUFFATO et al., 1999, 2001; ALVES et al., 2001a; 2001b; BRUNS e ABBAS, 2004; CORRÊA et al., 2006; KOÇ et al., 2008).

A presença de impurezas e de fragmentos de grãos interfere diretamente na massa específica aparente e na porosidade. Conseqüentemente, as mesmas interferem também no processo de secagem, promovendo a desuniformidade da secagem, o que gera perdas de qualidade do produto (BROOKER et al. 1992).

Segundo Bruns e Abbas (2004), é esperado que a massa específica aparente aumente com a redução da umidade nos grãos de milho. Entretanto, com o atraso na colheita, os grãos ficam mais susceptíveis a danos mecânicos e isso pode fazer com que a massa específica aparente seja reduzida.

2.2.2. Classificação comercial

Em função da grande variação na qualidade dos grãos de milho produzidos, faz-se necessária a padronização dos mesmos, para fins de comercialização, tendo como base os critérios de classificação do produto

estabelecidos pela legislação vigente no país (BRASIL, 1976; 1996). Essa padronização da qualidade dos grãos de milho é estabelecida por meio da classificação oficial de cada país, fato que facilita as transações comerciais entre os mercados fornecedores e consumidores de milho (HILL, 1991).

Segundo Ota et al. (2002), os grãos de milho podem ser classificados quanto as: i) características tecnológicas (textura, coloração, tamanho e teores de óleo, de amido e de proteínas); ii) características físicas (integridade dos grãos, danos mecânicos e massa específica); iii) características sanitárias (ardidos, brotados, fungos, micotoxinas, insetos, impurezas e matérias estranhas).

No Brasil, os critérios para classificação comercial dos grãos de milho são estabelecidos pela Portaria Nº. 845 de 08 de novembro de 1976, complementada pela Portaria Nº. 11 de 12 de abril de 1996, ambas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, e determinam os padrões mínimos (Quadro 1) exigidos para comercialização do produto (BRASIL, 1976; 1996).

Quadro 1 – Padrão de qualidade oficial dos grãos de milho

Tipo	Tolerâncias máximas (% em massa)			
	Umidade	Impurezas, matérias estranhas e fragmentos ^b	Avariados	
			Total	Ardidos e brotados
1	14,5	1,5	11	3
2	14,5	2,0	18	6
3	14,5	3,0	27	10
AP ^a	14,5	(a serem especificados em cada caso)		

^a Abaixo do padrão; ^b Retidos em peneira de crivo circular de 4,76mm. Fonte: Brasil (1976; 1996).

Apesar da classificação oficial estabelecidas pelas Portarias supracitadas, o mercado consumidor de milho tem suas próprias exigências (Quadro 2) de qualidade, em função do destino da matéria prima (MARTINEZ e BRONZATTI, 2002).

Embora a umidade padrão para grãos de milho seja de 14,5% (Quadro 1), exceto quando os grãos sejam destinados para ração animal (Quadro 2), o mercado agrícola brasileiro consolidou a umidade de 14,0% como padrão para armazenamento e comercialização dos grãos de milho, independente do destino que será dado aos mesmos, tendo em vista que a maior parte do milho

produzido no Brasil é destinada à ração animal (MARTINEZ e BRONZATTI, 2002).

Quadro 2 – Padrão de qualidade dos grãos de milho exigido pelo mercado consumidor

Destino	Tolerâncias máximas (% em massa)		
	Umidade	Impurezas, matérias estranhas e fragmentos ^a	Ardidos
Ração animal	14,0	1,0 ^b ou 3,0 ^c	6
Consumo humano	14,5	3,0 ^c	10

^a Retidos em peneira de crivo circular de: ^b 3,0mm ou ^c 4,76mm. Fonte: Martinez e Bronzatti (2002).

2.2.3. Danos mecânicos

Os cereais, leguminosas e oleaginosas podem sofrer danos mecânicos em qualquer etapa da colheita ou da pós-colheita, ocasião em que há necessidade de movimentação do produto, ou seja, durante os processos de colheita, transporte, pré-limpeza, limpeza, secagem e armazenamento (BROOKER et al., 1992; ALVES et al., 2001a; 2001b; CARNEIRO et al., 2005; MARCHI et al., 2006). Adicionalmente, os danos mecânicos têm efeito cumulativo, isto é, as injúrias se somam, pois a cada novo impacto sofrido pelos grãos, este se torna cada vez mais sensível a essas injúrias (ANDRADE et al., 1999; PAIVA et al., 2000).

Além dos danos visíveis, as trincas também podem estar presentes no endosperma dos grãos de milho, porém estas nem sempre são visíveis a olho nu, e seu maior problema está relacionado aos danos latentes, ou seja, danos que se manifestarão nas etapas seguintes da pós-colheita (ALVES et al., 2001b; MEDEIROS FILHO et al., 2002). Os danos latentes nada mais são do que a evolução das trincas em danos mais severos, por ação dos impactos sofridos pelos grãos, durante as etapas de secagem e de beneficiamento, ou mesmo pela ação da temperatura do ar de secagem (ALVES et al., 2001a; 2001b; JORGE et al. 2005). As trincas prejudicam a qualidade dos grãos de milho, uma vez que contribuem para o aumento da quantidade de grãos quebrados na pós-colheita (ANDRADE et al., 1999; PAIVA et al., 2000).

De acordo com Ruffato et al. (2001), o pericarpo do grão de milho (película protetora de origem placentar) apresenta características elásticas, quando os teores de umidade são baixos. Porém, a dissipação da energia de

impacto sobre os grãos é maior quando estes apresentam umidades maiores, ou seja, o amortecimento dos impactos é diretamente proporcional ao teor de umidade no grão. Dessa forma, quanto menor for o teor de umidade no grão, maior será a susceptibilidade aos danos promovidos pela ação dos equipamentos.

2.3. Qualidade sanitária dos grãos de milho

A qualidade dos grãos de milho é alterada direta ou indiretamente quando estes são infectados por fungos, devido à produção de micotoxinas, que são compostos metabólicos tóxicos que ocasionam danos à saúde tanto humana quanto animal (FARIAS et al., 2000; KUMAR et al., 2008). Em geral, a deterioração dos grãos começa ainda no campo, onde, por conveniência econômica, o produto é mantido na planta até a secagem, prática essa que é largamente utilizada pelos agricultores, uma vez que a mesma requer o mínimo de investimento. Todavia, essa prática pode resultar no início de elevadas infestações tanto de fungos quanto de pragas de grãos armazenados (MILLER, 1995; RESNIK et al., 1996; REID et al., 1999; NESCI et al., 2003).

O milho é um substrato perfeito para contaminação fúngica, uma vez que o amido é o componente principal do grão (BANKOLE e ADEBANJO, 2003). Segundo Farias et al. (2000), a contaminação por fungos com potencial toxigênicos, tais como *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp., pode ocorrer em grãos de milho aparentemente sadios.

Os fungos que produzem estas micotoxinas vivem como saprófitos habituais do solo, do ar e de restos de culturas, mas podem colonizar diversos substratos se a condição ambiental for propícia (FREITAS e BADOLATO, 1992). Várias espécies de fungos com potencial toxigênicos podem permanecer associadas aos grãos de milho durante o armazenamento, causando deterioração ou se mantendo viáveis por longo período (CORRÊA, 2000; TANAKA et al., 2001).

A presença de fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* é um indicativo da deterioração das sementes ou dos grãos de cereais e de oleaginosas. A colonização por esses patógenos promove danos ao embrião,

descoloração dos tecidos dos grãos de milho, alterações nutricionais e perda da massa seca (SINHA e SINHA, 1991; MILLER, 1995).

Almeida et al. (2000) avaliaram a microbiota fúngica em amostras de três híbridos de milho recém colhidos, provenientes de três regiões distintas do Estado de São Paulo. Os autores encontraram, em média, 71,1%; 46,7% e 22,7% de incidência de *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp., respectivamente, mostrando a predominância desses três gêneros sobre outras espécies fúngicas. Concluíram, também, que fatores abióticos, tais como o teor de umidade nos grãos de milho, a atividade de água, a precipitação pluvial e a temperatura do ar influenciam diretamente no nível de contaminação fúngica, bem como na potencialidade toxigênica das cepas de *Aspergillus flavus* e de *Fusarium moniliforme* quanto à produção de micotoxinas.

Dilkin et al. (2000) encontraram contaminações de 23,6%; 57,1% e 14,3% de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. e *Penicillium* sp., respectivamente, em grãos de cinco híbridos de milho recém-colhidos, com 18,0% de umidade, em Santa Maria - RS. Os autores constataram ainda, que o consumo médio de massa seca dos grãos de milho foi de 1,22% e 2,69%, nos períodos de 5 e 10 dias de incubação do fungo *Aspergillus parasiticus*.

Kikuti et al. (2003), trabalhando com sementes de duas cultivares de milho de polinização livre, encontraram infestações de 31,0% e 98,7% de *Fusarium graminearum* e de *Penicillium* sp., respectivamente, na cultivar BRS106, enquanto que na cultivar AL25, as infestações foram na ordem de 44,8%; 100,0%; 0,67% e 0,33% com os fungos *F. graminearum*, *Penicillium* sp., *Aspergillus niger* e *A. flavus*, respectivamente.

Santin et al. (2004), avaliando o efeito do retardamento da colheita de milho na incidência de grãos ardidos e de fungos patogênicos, constataram que a permanência prolongada das espigas de milho na planta, após a maturidade fisiológica, influenciou na redução da incidência de *Fusarium moniliforme*, ou seja, a incidência do patógeno decresce em função da redução da umidade presente nos grãos. Por outro lado, os autores observaram que houve aumento da incidência de *F. graminearum* e de espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, quando os grãos foram colhidos com umidades menores.

Marin et al. (1998) afirmam que o gênero *Fusarium* se correlaciona negativamente com os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, ou seja, as espécies

de *Fusarium* infectam e colonizam, preferencialmente, substratos com teores de umidade maiores, ao contrário do que ocorre com os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* que se desenvolvem melhor em umidades menores.

2.4. Micotoxinas

As micotoxinas, entre elas as aflatoxinas, ocratoxinas, tricotecenos, zearalenona e fumonisinas são de grande significância na saúde pública e na agropecuária, sendo responsáveis por perdas de milhões de dólares anuais em saúde humana e animal e em produtos agrícolas (HUSSEIN e BRASEL, 2001).

Dentre as micotoxinas produzidas por fungos, as aflatoxinas são as mais importantes. As aflatoxinas são metabólitos secundários, altamente tóxicos, produzidos por fungos do gênero *Aspergillus*, predominantemente de *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* e *A. nomius*, que podem contaminar alimentos e rações a base de milho, tanto no campo quanto no armazenamento, ocasionando prejuízos de ordem sanitária e econômica (AMARAL e MACHINSKI JR, 2006).

Andrade (2004) relata que o consumo de rações ou de qualquer outro alimento contaminado com a aflatoxina pode causar a morte de animais ou diminuir seu desempenho, desenvolvimento e produção, de maneira que a percepção da contaminação só ocorre com a constatação do prejuízo. Consequentemente, a exposição humana às micotoxinas pelo consumo de alimento contaminado é questão de saúde pública no mundo todo (SILVA et al., 2008).

De acordo com a legislação brasileira atual, apenas as aflatoxinas têm níveis máximos em alimentos previstos pelo Ministério da Saúde Brasileiro. Mediante a Resolução RDC Nº. 274, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa, de 15 de outubro de 2002, estabelece o limite de $20\mu\text{g kg}^{-1}$ para aflatoxinas totais presentes em amendoim, pasta de amendoim, grãos de milho e derivados; e de 0,5 e $5,0\mu\text{g L}^{-1}$ para aflatoxina M_1 no leite fluído e em pó, respectivamente (BRASIL, 2002).

A zearalenona é produzida por várias espécies de *Fusarium*, com ocorrência em milho, cevada, trigo e aveia (OLIVEIRA et al., 2002). De acordo com Bennett e Anderson (1978), a produção de zearalenona é favorecida nos

anos ou locais em que há elevada precipitação pluvial, após a maturidade fisiológica dos grãos de milho, pois o gênero *Fusarium* é favorecido pela elevada umidade do ar.

Segundo Kuiper-Goodman et al. (1987), a zearalenona apresenta atividade anabólica e estrogênica em várias espécies animais, sendo mais evidente em suínos, devido à dieta alimentar baseada no consumo de ração de milho. As consequências do consumo de rações contaminadas por zearalenona por fêmeas de suínos podem ser precocidade reprodutiva, infertilidade, aborto, podendo até mesmo ocasionar a morte dos animais (KUIPER-GOODMAN et al., 1987, KUMAR et al., 2008).

2.5. Manutenção da qualidade dos grãos de milho na pós-colheita

O principal propósito do processo de secagem é a eliminação do excesso de água dos produtos agrícolas, de forma a preservar a qualidade física, fisiológica e sanitária dos grãos ou sementes durante longos períodos de armazenamento (VOÇA et al., 2007). Adicionalmente, o processo de secagem deve ser o mais econômico possível, pois os custos variáveis de secagem estão intrinsecamente ligados à umidade e à qualidade inicial do produto, ao tempo de secagem e ao valor agregado no momento da comercialização (DALPASQUALE, 2006).

É fato que quanto maior for a umidade de colheita maior será o custo, pois haverá maior volume de água a ser retirado pelo processo de secagem (BROOKER et al. 1992).

Vale ressaltar que a secagem não melhora a qualidade do produto agrícola, mas tem o importante papel de manter a qualidade desse produto, obtida na produção. Dessa forma, a qualidade final do produto está relacionada aos danos mecânicos sofridos pelos grãos durante os processos de colheita e de pós-colheita, aos danos térmicos e à deposição de fuligem nos grãos, quando o aquecimento do ar for realizado em fornalha de fogo direto, utilizando lenha ou resíduos como combustível (PUZZI, 1986; SILVA et al., 1995b; DALPASQUALE, 2006, VOÇA et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de coleta

As amostras de grãos de milho foram coletadas na Fazenda Renascer (coordenadas geográficas 23°18' S; 51°46' W), no município de Astorga - PR, durante os períodos de Outono/Inverno de 2007 (“Safrinha”) e de Verão de 2007/2008 (safra de “Verão”). O sistema de produção comercial utilizado na Fazenda Renascer consiste da exploração das culturas de milho, soja, aveia e, eventualmente, trigo, mediante o emprego de semeadura direta na palha.

A área de colheita das amostras de grãos, consistiu-se de uma lavoura comercial de milho, homogênea, situada em área de relevo plano, e distante de matas, de no mínimo 50,0m.

A fim de evitar a colheita total da lavoura, as áreas destinadas à coleta de amostras foram delimitadas, sendo uma área para cada híbrido. Por sua vez, de forma a minimizar variações no processo de colheita, utilizou-se sempre a mesma colhedora automotriz, com plataforma de seis linhas e com o mesmo operador. A velocidade de deslocamento da colhedora foi de aproximadamente 3,0km h⁻¹, em 2ª marcha, com o motor operando a 2.380rpm e o cilindro de trilha operando a 550rpm.

As áreas de coletas de amostras foram constituídas de 50 linhas de plantas, espaçadas de 0,70m e com 100,0m de comprimento. A amostragem foi realizada nas seis linhas internas de cada faixa, que foi constituída por dez linhas de plantas. O processo de colheita era suspenso a cada 20m percorridos dentro de cada faixa, para possibilitar coleta da amostra diretamente no graneleiro da colhedora. Com isso, a coleta foi efetuada de forma aleatória na massa de grãos, totalizando cinco amostras de cada híbrido em cada período de colheita. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e a seguir, foram levadas ao laboratório para determinação imediata da umidade nos grãos.

3.2. Híbridos

Por se tratar de lavoura comercial de milho, a escolha dos híbridos cultivados foi livre e exclusiva do produtor, não havendo qualquer interferência deste trabalho nos critérios de escolha dos mesmos, bem como na condução da lavoura, limitando-se apenas à demarcação e colheita das plantas na área de coleta.

No período da “Safrinha”, os híbridos avaliados foram o 2B587, o 2B688 e o 2B710, enquanto que, na safra de “Verão”, avaliaram-se os híbridos 2B707, 2B710 e Impacto (Quadro 3).

Quadro 3 – Características dos híbridos comerciais de milho avaliados

Híbridos	Empresa	Genética	Ciclo	Arquitetura	Grão		
					Cor	Textura	Uso
2B587	Dow Agrosciences	HS	P	N	AAL	SDT	G
2B688		HT	P	N	AL	SD	GS
2B707		HS	P	SE	AL	SD	G
2B710		HS	P	N	AAL	SD	G
Impacto	Syngenta	HS	P	N	AL	D	G

HS: híbrido simples; HT: híbrido triplo; P: precoce; N: normal; SE: semi-ereta; AAL: amarela alaranjada; AL: alaranjada; SDT: semidentada; SD: semidura; D: dura; G: grãos; GS: grãos e silagem.

3.3. Colheita experimental

As colheitas foram realizadas quando os grãos de milho apresentavam teores de umidade entre 33,2% e 14,8%, variando, aproximadamente, em quatro pontos percentuais entre uma colheita e outra, totalizando cinco momentos distintos de colheita.

No período da “Safrinha”, as colheitas foram realizadas nos dias 20/07, 27/07, 03/08, 10/08 e 17/08/2007, mantendo um intervalo constante de sete dias (Figura 1). Enquanto que, na safra de “Verão”, as colheitas foram realizadas nos dias 15/03, 22/03, 31/03, 07/04 e 22/04/2008. No “Verão”, os intervalos maiores entre a segunda e a terceira colheita, bem como, entre a penúltima e a última colheita foram devidos à ocorrência de precipitações pluviais nos referidos períodos (Figura 2).

As setas na parte inferior do eixo X das Figuras 1 e 2 indicam as datas em que as colheitas foram realizadas.

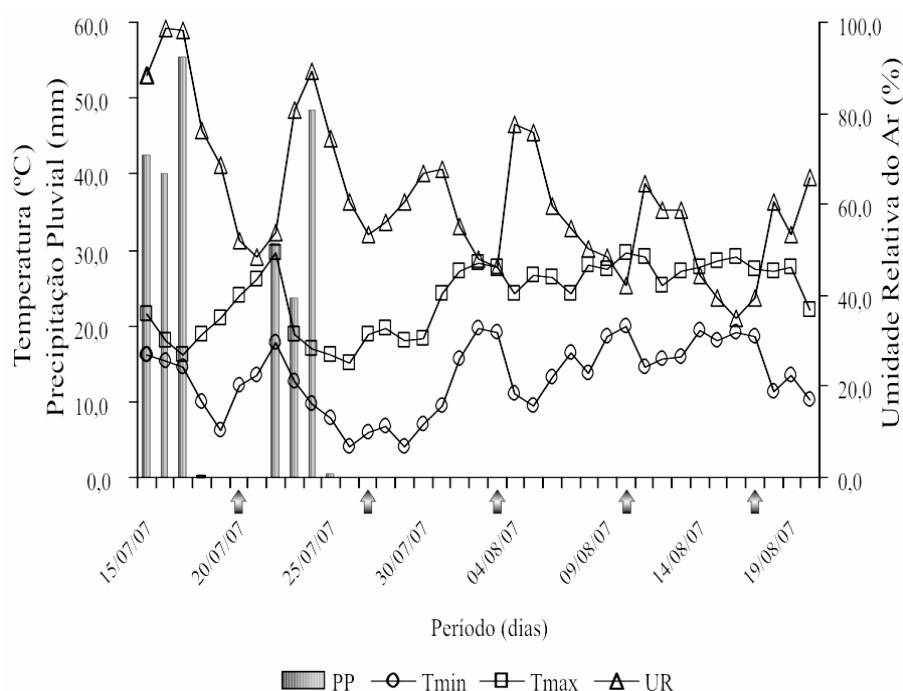


Figura 1 – Dados climáticos diários observados nos períodos de colheita da “Safrinha” de 2007. PP: precipitação pluvial; Tmin: temperatura mínima; Tmax: temperatura máxima; UR: umidade relativa do ar. (Dados climáticos fornecidos pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR).

3.3.1. Amostragem

As amostras coletadas foram divididas, ainda no campo, em duas amostras correspondentes. A primeira amostra, com aproximadamente 5,0kg, foi destinada às análises de determinação de umidade, massa seca, maturidade fisiológica, classificação comercial, massas específicas aparente e real, porosidade, danos mecânicos e sanidade dos grãos. Por sua vez, a segunda amostra, com aproximadamente 1,0kg, foi destinada às análises micotoxicológicas. Cada amostra proveniente do campo foi dividida em três subamostras, no Laboratório de Fisiologia da Produção, do Núcleo de Pesquisa Aplicada à Agricultura (Nupagri), da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

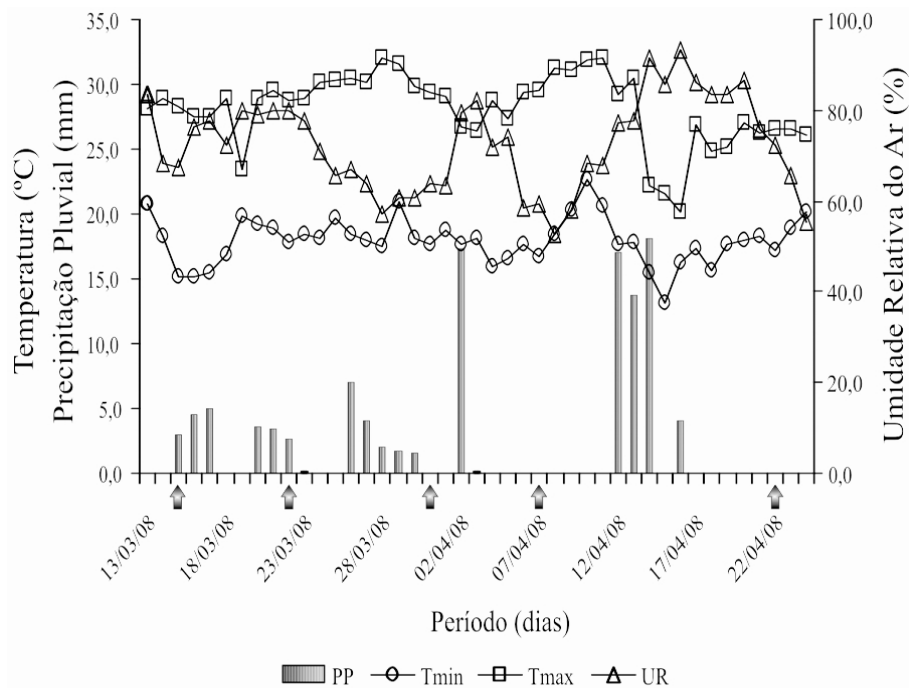


Figura 2 – Dados climáticos diários observados nos períodos de colheita da Safra de “Verão” de 2007/2008. PP: precipitação pluvial; Tmin: temperatura mínima; Tmax: temperatura máxima; UR: umidade relativa do ar. (Dados climáticos fornecidos pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR).

3.4. Características avaliadas

3.4.1. Maturidade fisiológica

A determinação da maturidade fisiológica dos grãos foi realizada pela visualização da linha de solidificação do endosperma e da camada negra. A linha de solidificação foi avaliada conforme procedimento descrito por Hunter et al. (1991), porém o número de grãos de milho observados foi aumentado de cinco para dez, em cada subamostra. Por outro lado, a presença da camada negra foi avaliada de acordo com a descrição de Daynard e Duncan (1969).

Na determinação da linha de solidificação do endosperma foram selecionados os grãos que apresentavam características da porção mediana da espiga, excluindo os grãos característicos da base e da ponta da espiga. Em seguida, os grãos selecionados foram inspecionados visualmente na superfície voltada para a base da espiga para visualizar a linha de solidificação. As medidas de comprimento total do grão, excluindo o pedicelo, e comprimento

da parte superior do grão até a posição da linha de solidificação foram tomadas com o auxílio de um paquímetro.

Os mesmos grãos foram seccionados longitudinalmente e visualizados com o auxílio de uma lupa de bancada com aumento de 10x, a fim de constatar a presença ou ausência da camada negra.

Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem de endosperma solidificado e em porcentagem de grãos com camada negra visível.

Os estádios de desenvolvimento da linha de solidificação (Figura 3) receberam as seguintes classificações (HUNTER et al., 1991):

- Estádio 1 – o endosperma se apresenta completamente líquido, com nenhuma LSE visível (Figura 3a);
- Estádio 2 - 25% do comprimento do grão possui o endosperma solidificado, com a LSE presente no quarto superior do comprimento do mesmo (Figura 3b);
- Estádio 3 - 50% do comprimento do grão possui o endosperma solidificado, com a LSE presente na porção mediana do grão (Figura 3c);
- Estádio 4 - 75% do comprimento do grão possui o endosperma solidificado, com a LSE próxima da base do grão (Figura 3d);
- Estádio 5 - o endosperma se apresenta completamente sólido, ou seja, com ausência da LSE (Figura 3e).

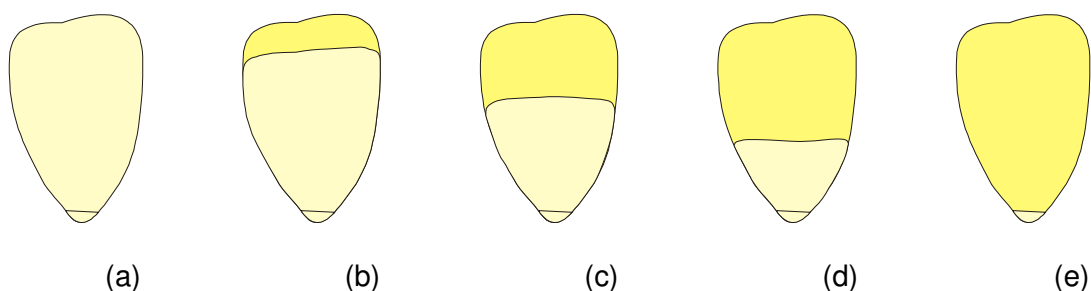


Figura 3 – Representação esquemática dos cinco estádios da linha de solidificação do endosperma do grão de milho, (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75% e (e) 100% de solidificação.

3.4.2. Teor de umidade

A umidade nos grãos de milho foi determinada pelo método da estufa, com circulação forçada de ar, sob temperatura de $103 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 72h, sendo o valor da umidade obtido por diferença de massas (ASAE, 1987).

Logo após a chegada das amostras provenientes do campo, elas foram homogeneizadas, sendo tomadas três subamostras correspondentes, cada uma contendo 100 grãos. A seguir, as subamostras foram acondicionadas em placas de Petri (de vidro), apropriadas para altas temperaturas, pesadas em balança digital, com precisão de milésimo de grama e levadas para a estufa.

Ao término do período determinado para secagem, os recipientes foram transferidos da estufa para dessecadores para resfriamento por um período de 30 minutos, após o qual os mesmos foram pesados novamente.

Na quantificação percentual dos resultados de teor de umidade, utilizou-se a expressão 1:

$$U_{b.u.} = 100 \left[\frac{(mi - t) - (mf - t)}{(mi - t)} \right] \quad (1)$$

Em que:

$U_{b.u.}$: Umidade de colheita, em base úmida (%);

mi : massa inicial da subamostra (g);

mf : massa final da subamostra (g);

t : tara do recipiente (g).

3.4.3. Massa seca

A massa seca acumulada nos grãos de milho foi obtida pela divisão da massa final das subamostras do item 3.4.1, após a secagem, pelo número de grãos da subamostra.

Na quantificação dos resultados de massa seca, utilizou-se a expressão 2:

$$MS = \frac{mf}{100} \quad (2)$$

Em que:

MS : massa seca dos grãos (g grão^{-1});

mf : massa final da subamostra (g).

3.4.4. Massa específica e porosidade

A massa específica aparente foi determinada com uma balança de massa quilolétrica, ou seja, aquela que permite a relação direta da massa de produto em um volume de $1,0\text{m}^3$ ($\text{kg de produto m}^{-3}$). Para tanto, tomaram-se três subamostras que preenchessem o volume do cilindro metálico da balança (COUTO et al., 1999).

Na quantificação dos resultados de massa específica aparente, utilizou-se a expressão 3:

$$\rho_a = (mt - mc) \quad (3)$$

Em que:

ρ_a : massa específica aparente (kg m^{-3});

mt : massa do cilindro + massa da subamostra (g);

mc : massa do cilindro [tara] (g).

A massa específica real foi determinada por meio de uma modificação da metodologia de complementação de volume, proposta por Moreira et al. (1985), utilizando n-Hexano como líquido complementar, em função da sua característica de não absorção pelos grãos de milho. Além disso, foram utilizados provetas e balões volumétricos com maior capacidade volumétrica, a fim de garantir a acurácia da metodologia.

Após a pesagem de cada subamostra, cada uma delas foi retirada da balança de massa quilolétrica e, a seguir, foram colocadas em proveta de vidro com capacidade de 500mL, aferida com balão volumétrico de mesma capacidade. Em seguida, o n-Hexano foi transferido de balões volumétricos de 100mL e de 50mL para o interior da proveta contendo a subamostra, sendo o volume dessa proveta complementado com n-Hexano, por meio de uma bureta, até atingir o volume de 500mL.

Na quantificação dos resultados de massa específica real, utilizou-se a expressão 4:

$$\rho_r = 1000 \left\{ \frac{\rho_a}{[1000 - (v * 2)]} \right\} \quad (4)$$

Em que:

ρ_r : massa específica real (kg m^{-3});

ρ_a : massa específica aparente (kg m^{-3});

v : volume de n-Hexano (mL);

A porosidade da massa de grãos foi determinada por intermédio das massas específicas, aparente e real, e, para tanto, quantificaram-se os resultados percentuais, utilizando a expressão 5:

$$PO = 100 \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_r} \right) \right] \quad (5)$$

Em que:

PO : porosidade da massa de grãos (%);

ρ_r : massa específica real (kg m^{-3});

ρ_a : massa específica aparente (kg m^{-3});

3.4.5. Classificação comercial

A classificação do milho foi realizada conforme a determinação do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1976; 1996). De cada amostra proveniente do campo de produção, após homogeneização, foram tomadas três subamostras de aproximadamente 250g. As subamostras foram peneiradas em peneiras metálicas de crivo circular de 4,76mm (12/64 polegadas) de diâmetro e, em seguida, foram separadas manualmente as porções: i) impurezas [impurezas, matérias estranhas e fragmentos de grãos < 4,76mm]; ii) grãos avariados [grãos ardidos, quebrados > 4,76mm, chochos e/ou imaturos, e os atacados por animais roedores e parasitas, bem como os grãos prejudicados por diferentes causas] e iii) grãos carunchados.

Na quantificação percentual dos resultados de classificação comercial, utilizou-se a expressão 6:

$$CM = 100 \left(\frac{mp}{mt} \right) \quad (6)$$

Em que:

CM : classificação de milho [impurezas, fragmentos, avariados, brotados, ardidos e chochos] (%);

mp : massa da porção (g);

mt : massa total da subamostra (g).

3.4.6. Danos mecânicos

Na determinação dos danos mecânicos, foram tomadas três subamostras de aproximadamente 300g de cada amostra proveniente do campo de produção. Os danos mecânicos foram determinados por visualização dos grãos de milho em um diafanoscópio, conforme descrito por Alves et al. (2001a). Dessa forma, construiu-se um diafanoscópio artesanalmente, o qual foi constituído de uma lâmina de vidro liso e transparente de tamanho 0,10 x 0,15m, instalado em uma caixa de madeira, com uma lâmpada fluorescente na parte interna para possibilitar o contraste entre os grãos e a superfície do vidro (Figura 4).

Os grãos foram distribuídos sobre o vidro, de modo que a luz emitida pela lâmpada atravessasse o endosperma, evidenciando os danos mecânicos, sobretudo as trincas no endosperma. Adicionalmente, uma lupa de bancada com aumento de 10x foi utilizada juntamente com o diafanoscópio para facilitar a visualização.

Os danos mecânicos foram avaliados conforme descrito por Alves et al. (2001a), com algumas modificações, sendo os danos divididos em três classes:

- Grãos trincados — grãos com trincas no endosperma, com ou sem o rompimento do pericarpo, mas sem exposição do interior do endosperma;
- Grãos rompidos — grãos com o pericarpo rompido e o interior do endosperma exposto, mas com todas as suas partes ligadas pelo pericarpo;
- Grãos quebrados — fragmentos de endosperma ou do escutelo de qualquer tamanho.

Na quantificação percentual dos resultados de danos mecânicos, utilizou-se a expressão 7:

$$DM = 100 \left(\frac{md}{mt} \right) \quad (7)$$

Em que:

DM: Danos mecânicos (%);

md: massa da porção de grãos danificados (g);

mt: massa total da subamostra (g).

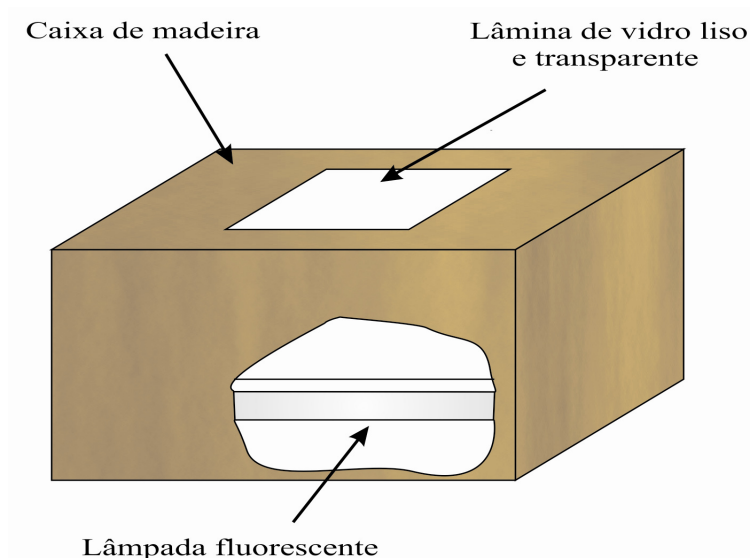


Figura 4 – Representação esquemática do diafanoscópio artesanal.

3.4.7. Teste de sanidade

Na avaliação da sanidade dos grãos de milho, o método adotado foi o “Blotter Test” ou teste do papel de filtro, para o qual foram separados 100 grãos de cada amostra, divididos em cinco repetições de 20 grãos. Os grãos de milho foram distribuídos em gerbox plástico com quatro folhas de papel filtro, umedecidas com água destilada e autoclavada, em câmara de fluxo laminar. A seguir, os recipientes foram colocados sob iluminação, com fotoperíodo de 12h, à temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), por um período de 7 dias. A identificação dos fungos, em nível de gênero, presentes nos grãos de milho foi realizada por

meio de lupa estereoscópica e microscópio ótico. Na ocasião, foi efetuada a quantificação percentual da incidência de fungos (BRASIL, 1992).

3.4.8. Análises micotoxicológicas

As amostras de grãos de milho utilizadas para análises micotoxicológicas foram mantidas sob congelamento, numa temperatura de 15°C negativos, em freezer horizontal comum, até a realização dos procedimentos laboratoriais.

As análises micotoxicológicas foram realizadas no Núcleo de Produtos Naturais (Nepron) e no Laboratório de Toxicologia da UEM, utilizando, para a detecção e a quantificação de aflatoxinas e de zearalenona, a metodologia da cromatografia em camada delgada (CCD), proposta por Soares e Rodriguez-Amaya (1989), na qual os limites de detecção foram de 2µg kg⁻¹, para as aflatoxinas, e 55µg kg⁻¹, para a zearalenona.

Inicialmente as amostras foram moídas até a granulometria de 20 mesh e quarteadas para tomada de amostras analíticas de 50g cada. A seguir, cada amostra analítica foi homogeneizada em blender com 270mL de álcool metílico e 30mL de cloreto de potássio (4%), durante 5 minutos, sendo que a primeira mistura obtida foi filtrada em papel filtro comum. A seguir, 150mL do primeiro filtrado foram transferidos para um béquer, no qual foram adicionados 150mL de sulfato de amônio (30%) e 50mL de celite, homogeneizados e deixados em repouso por 5 minutos. Após esse período, a segunda mistura foi filtrada em papel filtro comum. Do segundo filtrado, foram transferidos 150mL para um funil de separação, sendo adicionados 150mL de água destilada. A terceira mistura obtida foi particionada duas vezes com 10mL de clorofórmio. A seguir, 5mL da primeira e da segunda partição de clorofórmio foram combinados e evaporados em “banho maria” a 80°C, até a evaporação total do clorofórmio. O resíduo (extrato) obtido foi dissolvido em 200µL de benzeno:acetoneitrila, na proporção de 98:2 (v/v).

Na fase móvel, foram aplicados 10µL do extrato na cromoplaca (Sil G - silicagel 60G) a 2cm da base, com os padrões sendo aplicados separadamente. A placa foi colocada em uma cuba não saturada contendo

95mL da solução tolueno:acetato de etila:clorofórmio:ácido fórmico, na proporção de 35:25:25:10 (v/v/v/v), até atingir a altura percorrida de 10cm.

Na fase de quantificação, foram aplicados volumes conhecidos de amostras e de padrões nas cromoplasas. Os cálculos foram realizados de acordo com o a AOAC (1998).

A identidade das micotoxinas foi confirmada por reações de derivação e de avaliação com os padrões por CCD. A revelação de zearalenona foi realizada conforme a metodologia proposta por Malaiyandi et al. (1976).

3.5. Análise econômica

Na análise econômica da antecipação da colheita dos grãos de milho, foram utilizados os valores médios de comercialização, obtidos pela Fazenda Renascer (Quadro 4). Adicionalmente, foram obtidas três tabelas de descontos progressivos por umidade, sendo a primeira, a Tabela Oficial da Conab (2009) e as outras duas pertencentes a uma Cooperativa Agropecuária e a uma empresa privada, ambas da região de Maringá. Tais dados foram obtidos sob pena de não divulgação dos nomes das entidades envolvidas, exceto da Conab, devido a imposições da concorrência de mercado. Dessa forma, foi possível estabelecer a viabilidade econômica da antecipação da colheita dos grãos de milho.

Segundo Silveira et al. (1995), nas Tabelas de Desconto de Umidade estão inclusos o percentual de umidade a ser retirado da massa de produto úmido, para obtenção da massa de produto seco, com 14,0% de umidade, e os custos de manutenção e de depreciação da estrutura de processamento dos produtos agrícolas. Além dos descontos por umidade, há, ainda, custos de secagem fixos em R\$ 1,00 por saca de produto úmido e custo adicional de secagem de 3,0% sobre a massa de produto úmido, entregue com umidade superior a 24,0%. Vale ressaltar que todos os descontos foram aplicados sobre a massa de produto úmido, ou seja, sobre a massa de grãos de milho com a umidade de colheita.

3.6. Análise estatística

As amostras provenientes do campo foram homogeneizadas e dispostas em um delineamento inteiramente casualizado para realização de todas as avaliações das características propostas neste trabalho, sendo todas elas avaliadas em triplicata. Os tratamentos foram constituídos das unidades de colheita, para cada híbrido.

O modelo matemático utilizado foi $Y_{ij} = \bar{m} + t_i + \varepsilon_{ij}$.

Em que:

- i) Y_{ij} = valor observado no tratamento i (umidade de colheita 1, 2, 3, 4 e 5) na repetição j (1, 2, 3, 4 e 5);
- ii) \bar{m} = média geral do experimento, sob restrição matemática;
- iii) t_i = efeito do tratamento i ;
- iv) ε_{ij} = efeito residual associado ao tratamento i na repetição j .

As médias das variáveis respostas obtidas foram submetidas aos testes de Levene e de Shapiro-Wilks, para determinar a homocedasticidade das variâncias ($P > 0,01$) e a normalidade dos erros ($P > 0,01$), respectivamente, por meio do programa estatístico SAS. Em seguida, as médias foram submetidas à análise de regressão ($p < 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR.

Os erros das variáveis respostas, que não atenderam as pressuposições básicas de homocedasticidade das variâncias e normalidade, foram transformados em raiz quadrada, sendo posteriormente, submetidos à análise de regressão.

Apenas as variáveis “porcentagem de camada negra” e “porcentagem de linha de solidificação do endosperma” foram submetidas à análise descritiva, por se tratarem de características qualitativas e por terem caráter de identificação de um determinado estágio de desenvolvimento da cultura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lavouras de milho cultivadas nos dois períodos em estudo foram colhidas com duas colhedoras automotrizes, sendo uma de propriedade da Fazenda Renascer e a outra, alugada. Os valores médios de umidade de colheita, produtividade e de preço de comercialização dos grãos de milho são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Resultados obtidos pela Fazenda Renascer com as lavouras de milho cultivadas nos períodos da “Safrinha” de 2007 e da safra de “Verão” de 2007/2008

Período	Híbridos	Umidade de colheita (%)	Produtividade ¹ (kg ha ⁻¹)	Preço de comercialização ² (R\$ sc ⁻¹)
“Safrinha”	2B587	24,0	6.619,3	24,00
	2B688		6.382,9	
	2B710		7.210,3	
“Verão”	2B707	18,0	9.337,9	19,50
	2B710		9.692,5	
	Impacto		9.219,7	

1: Umidade corrigida para 14,0%; 2: Saca de 60kg.

Por ocasião da colheita, no período de “Verão” de 2007/2008, tanto as lavouras de soja, quanto as lavouras de milho da Fazenda Renascer encontravam-se em estágio de maturação e com conteúdo de umidade nos grãos, adequados, no mesmo período. Aliado a isso, o cenário econômico favorecia as duas culturas, visto que os preços praticados também atingiram o ápice, naquele período (CONAB, 2008). Dessa maneira, a colheita do milho foi preterida, em relação à colheita da soja, visto que a mesma é altamente susceptível a ciclos de molhamento e secamento, em função da precipitação pluvial (PINTO et al., 2007). Esse fato gerou uma defasagem no início da coleta de amostras da safra de “Verão”, em virtude da disponibilidade da colhedora, sendo evidenciado pelos teores de umidade menores nos grãos, quando comparados aos teores de umidade dos mesmos que foram aferidos na “Safrinha” (Quadros 5 e 6).

4.1. Maturidade fisiológica

A avaliação da maturidade fisiológica, em função da umidade de colheita, é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 – Maturidade fisiológica de grãos de híbridos comerciais de milho avaliados na “Safrinha” de 2007, em função do teor de umidade, da presença de camada negra e da solidificação do endosperma

Híbrido	Umidade (%)	CN (%)*	SE (%)*	Estádio da LSE	MF
2B587	33,2	54,00 ± 1,49	54,21 ± 3,41	3	Não
	28,2	87,33 ± 4,35	78,68 ± 1,80	4	Não
	25,8	100,00 ± 0,00	96,59 ± 1,25	5	Sim
	21,0	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	16,0	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
2B688	31,9	61,33 ± 4,47	60,52 ± 7,78	3 - 4	Não
	28,4	89,33 ± 3,65	76,34 ± 1,93	4	Não
	23,9	100,00 ± 0,00	93,81 ± 3,83	5	Sim
	20,1	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	16,5	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
2B710	31,6	61,33 ± 3,80	56,08 ± 0,33	3	Não
	28,4	88,00 ± 5,06	78,80 ± 1,08	4	Não
	24,7	100,00 ± 0,00	87,20 ± 1,97	4 - 5	Sim
	20,9	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	17,3	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim

*Média e desvio padrão amostral. CN: camada negra; SE: solidificação do endosperma; LSE: linha de SE; MF: maturidade fisiológica.

No período da “Safrinha”, a primeira colheita foi realizada quando os grãos dos híbridos apresentavam-se na fase de “grãos farináceos duros”, que, segundo Ritchie et al. (1993), corresponde ao estágio reprodutivo “R5”. Tal fato foi confirmado pela posição da linha de solidificação do endosperma na porção mediana dos grãos de milho, indicando que a maturidade fisiológica ainda não havia ocorrido (Quadro 5). A partir da segunda colheita em diante, os três híbridos apresentavam mais de 75,0% dos grãos com a camada negra formada e no estágio 4 da linha de solidificação do endosperma. Todavia, embora Hunter et al. (1991) tenham afirmado que a maturidade fisiológica dos grãos de milho coincida com o estágio 4 da linha de solidificação do endosperma, no período da “Safrinha”, observou-se que ela ocorreu quando os grãos atingiram o estágio 5, coincidindo com o máximo acúmulo de massa seca (Figura 5).

Por sua vez, no período da safra de “Verão” os híbridos 2B707 e Impacto apresentavam grãos maduros fisiologicamente por ocasião da primeira colheita, devido ao atraso na colheita em função da disponibilidade da colhedora. No caso do híbrido 2B710 os grãos somente apresentaram maturidade fisiológica quando atingiram o estágio 5, de forma análoga ao que ocorreu com o referido híbrido na “Safrinha” (Quadro 6).

Quadro 6 – Maturidade fisiológica de grãos de híbridos comerciais de milho avaliados na Safra de “Verão” de 2007/2008, em função do teor de umidade, da presença de camada negra e da solidificação do endosperma

Híbrido	Umidade (%)	CN (%)*	SE (%)*	Estádio da LSE	MF
2B707	26,2	98,00 ± 1,83	92,57 ± 1,99	5	Sim
	23,2	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	19,0	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	15,9	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	15,0	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
2B710	28,7	86,00 ± 4,35	77,16 ± 1,15	4	Não
	24,8	100,00 ± 0,00	94,91 ± 0,19	5	Sim
	21,1	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	17,1	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	15,9	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
Impacto	23,9	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	21,5	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	18,5	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	16,1	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim
	14,8	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	5	Sim

*Média e desvio padrão amostral. CN: camada negra; SE: solidificação do endosperma; LSE: linha de SE; MF: maturidade fisiológica.

A observação da linha de solidificação do endosperma se mostrou adequada e de fácil detecção, entretanto, os resultados encontrados em ambos os períodos de avaliação diferiram daqueles apresentados por Afuakwa e Crookston (1984) e Hunter et al. (1991), os quais afirmaram que a maturidade fisiológica ocorre no estágio 4 da linha de solidificação do endosperma. Por outro lado, a observação da camada negra é mais difícil e nem sempre fica clara a sua presença, devido ao curto espaço de tempo para sua formação (DAYNARD e DUNCAN, 1969).

4.2. Massa seca de grãos

No período da “Safrinha”, por ocasião da primeira e da segunda colheitas (Quadro 5), os grãos dos híbridos avaliados se encontravam próximos da maturidade fisiológica, porém os mesmos ainda estavam acumulando massa seca.

Observou-se que os três híbridos apresentaram médias de acúmulo de massa seca com ajustes quadráticos, sendo que nos pontos de máximo (x) igual a 24,7%; 25,24% e 26,31% de teor de umidade nos grãos, as respostas máximas (\hat{y}) do acúmulo de massa seca foram 0,267; 0,256 e 0,253g grão⁻¹, nos híbridos 2B587, 2B688 e 2B710, respectivamente (Figura 5).

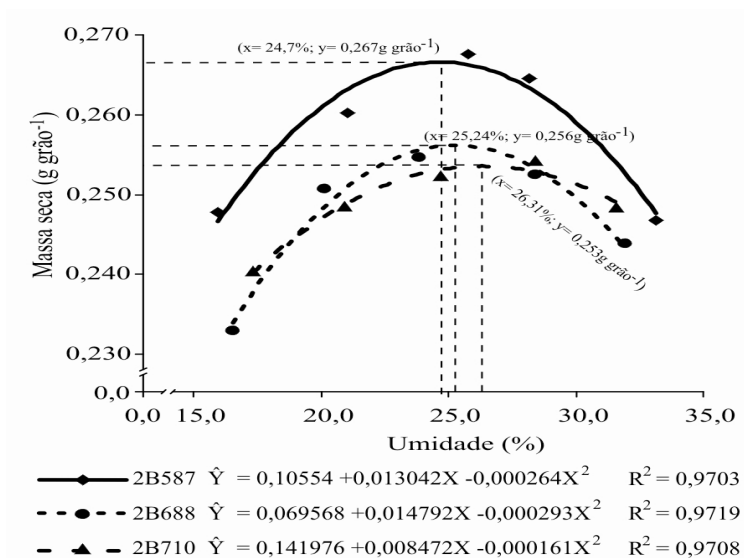


Figura 5 – Massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Observou-se que, após a maturidade fisiológica, identificada entre a segunda e a terceira colheita (Quadro 5), não houve mais acúmulo de massa seca nos grãos, contrariando as afirmações de Borba et al. (1994); Fahl et al. (1994); Araújo et al. (2006). Além disso, na mesma ocasião, observou-se que as plantas entraram em senescência acentuada, com decréscimo gradual da umidade nos grãos de milho (TOLERA et al., 1998; SAINI e WESTGATE, 2000;

CALDERINI et al., 2000; BORRÁS et al., 2003, 2004; BORRÁS e WESTGATE, 2006).

Por sua vez, no período de “Verão”, devido ao atraso no início da colheita, em função da disponibilidade da colhedora, conforme já fora mencionado, observou-se que apenas para o híbrido 2B710 as médias de massa seca acumulada se ajustaram de forma quadrática, apresentando a resposta máxima ($\hat{y} = 0,309\text{g grão}^{-1}$) no ponto de máximo $x = 25,51\%$ de umidade nos grãos (Figura 6). O híbrido Impacto teve as médias ajustadas de forma linear, com acréscimo de $0,0014\text{g grão}^{-1}$ por unidade de umidade acrescida nos grãos, enquanto que, para o híbrido 2B707, não houve ajuste significativo da regressão (Figura 6). Dessa forma, como foi demonstrado na Figura 6, após a maturidade fisiológica, houve perda de massa seca nos grãos dos híbridos 2B710 e Impacto, enquanto que tais perdas não foram significativas no híbrido 2B707.

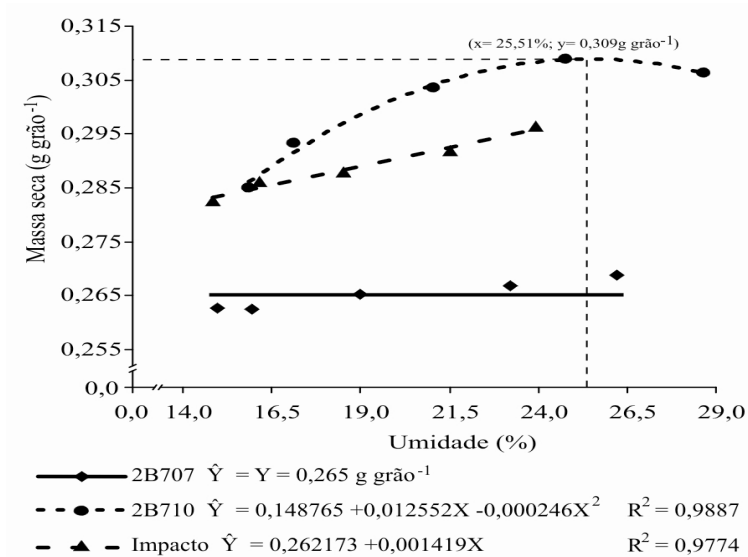


Figura 6 – Massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, no período de “Verão” de 2007/2008.

Após a maturidade fisiológica, observou-se que houve redução da massa seca acompanhando o decréscimo de umidade dos grãos nos híbridos avaliados, nos dois períodos em estudo (Figuras 5 e 6). Tal fato pode ser atribuído ao processo respiratório dos grãos, o qual utiliza os componentes

acumulados, sobretudo o amido, como substrato para a respiração e, dessa forma, reduz as reservas dos grãos (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Os três híbridos avaliados na “Safrinha” apresentaram redução da massa seca nas umidades inferiores a 25,0% (Figura 5), indicando que o atraso da colheita contribuiu para a menor produtividade da lavoura (Quadro 7). Por sua vez, no período de “Verão”, também foi possível observar a perda significativa de massa seca em dois dos três híbridos avaliados (Figura 6) e, da mesma forma que na “Safrinha”, tal fato influenciou na redução da produtividade (Quadro 8).

Quadro 7 – Efeito da variação da massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710 sobre a produtividade em função da umidade de colheita, na “Safrinha” de 2007

H	U (%)	MS (g grão ⁻¹)	V _{MS} (%)	pap (kg m ⁻³)	NG (grãos dm ⁻³)	P* (kg ha ⁻¹)		
2B587	A	33,1	0,247	-7,78	692,4	4.052	6.412,9	
		28,2	0,265	-1,14	712,6	3.780	6.874,9	
		25,8	0,268	0,00	724,6	3.737	6.954,0	
		21,0	0,260	-2,76	741,9	3.850	6.762,0	
		16,0	0,248	-7,44	765,0	4.040	6.436,5	
	B	24,0	0,266	-0,43	730,8	3.753	6.923,8	
	C	18,0	0,255	-4,81	755,9	3.925	6.619,3	
	2B688	A	31,9	0,244	-4,67	712,5	4.101	6.461,3
			28,4	0,252	-1,30	725,3	3.961	6.690,3
			23,9	0,255	-0,47	742,8	3.928	6.746,3
20,1			0,251	-1,99	766,1	3.989	6.643,1	
16,5			0,233	-8,92	788,7	4.292	6.173,3	
B		24,0	0,256	0,00	747,9	3.909	6.778,2	
C		18,0	0,241	-5,83	777,5	4.151	6.382,9	
2B710		A	31,6	0,248	-2,30	701,6	4.026	7.391,2
			28,4	0,254	0,00	713,8	3.941	7.564,9
			24,7	0,252	-0,75	727,2	3.964	7.508,5
	20,9		0,249	-2,23	745,1	4.024	7.395,8	
	17,3		0,240	-5,41	763,3	4.162	7.155,4	
	B	24,0	0,252	-0,88	732,7	3.968	7.498,6	
	C	18,0	0,242	-4,69	758,4	4.127	7.210,3	

*Umidade corrigida para 14,0%. A: umidades de colheita experimentais; B: umidade máxima isenta de adicional de secagem; C: umidade de colheita real; H: híbridos; U: umidade; MS: massa seca; V_{MS}: variação da MS; pap: massa específica aparente; NG: número de grãos; P: produtividade.

A redução da massa seca acumulada nos grãos se soma às perdas de grãos decorrentes de outras causas, tais como, grãos ou espigas que não são recolhidas pela colhedora, grãos que se perdem durante o transporte ou na movimentação nos processos de pós-colheita, grãos ardidos, chochos e

danificados mecânica ou termicamente (BROOKER et al., 1992; BRASIL, 1992; ANDRADE et al., 1999; PAIVA et al., 2000; ALVES et al., 2001a; 2001b; MEDEIROS FILHO et al., 2002; CARNEIRO et al., 2005; JORGE et al. 2005; MARCHI et al., 2006; PALACIN et al., 2006).

Observou-se, ainda, que, no período de “Verão”, o acúmulo de massa seca foi maior do que na “Safrinha”, em valores absolutos (Quadros 7 e 8). Esse fato é explicado pelas condições ambientais mais adequadas ao desenvolvimento da cultura do milho no verão, ocasião em que a incidência de radiação solar é maior, assim como é maior a disponibilidade de água e de nutrientes minerais (STONE et al., 1999; ARGENTA et al., 2001; TOLLENAAR e LEE, 2002).

Quadro 8 – Efeito da variação da massa seca acumulada nos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto sobre a produtividade em função da umidade de colheita, na Safra de “Verão” de 2007/2008

H	U (%)	MS (g grão ⁻¹)	V _{MS} (%)	pap (kg m ⁻³)	NG (grãos dm ⁻³)	P* (kg ha ⁻¹)		
2B707		26,2	0,269	0,00	684,6	3.722	9.470,6	
	A		23,2	0,267	-0,74	698,0	3.752	9.400,8
			19,0	0,265	-1,30	737,6	3.770	9.347,5
			15,9	0,263	-2,30	771,9	3.809	9.252,8
			15,0	0,263	-2,29	775,2	3.810	9.254,0
			24,0	0,265	-1,40	697,8	3.774	9.337,9
C	25,0	0,265	-1,40	689,2	3.774	9.337,9		
2B710		28,7	0,306	-0,80	684,1	3.264	9.616,3	
	A		24,8	0,309	0,00	699,0	3.238	9.693,6
			21,1	0,304	-1,72	722,8	3.295	9.526,8
			17,1	0,293	-5,04	746,9	3.410	9.205,1
			15,9	0,285	-7,72	764,7	3.509	8.945,1
			24,0	0,308	-0,17	708,3	3.243	9.677,2
C	25,0	0,309	-0,01	702,1	3.238	9.692,5		
Impacto		23,9	0,296	-0,43	706,6	3.375	9.200,2	
	A		21,5	0,292	-1,93	734,3	3.426	9.061,6
			18,5	0,288	-3,28	766,7	3.476	8.937,2
			16,1	0,286	-3,83	779,4	3.495	8.886,4
			14,8	0,283	-5,05	802,2	3.539	8.773,1
			24,0	0,296	-0,48	707,6	3.376	9.195,8
C	25,0	0,297	0,00	697,7	3.367	9.219,7		

*Umidade corrigida para 14,0%. A: umidades de colheita experimentais; B: umidade máxima isenta de adicional de secagem; C: umidade de colheita real; H: híbridos; U: umidade; MS: massa seca; pap: massa específica aparente; NG: número de grãos; V_{MS}: variação da MS; P: produtividade.

Outra observação pertinente é que, inicialmente, durante o estágio R5 (grão farináceo duro), os grãos ainda apresentam acúmulo de massa seca (RITCHIE et al., 1993), ou seja, o volume individual de cada grão não está totalmente preenchido. Esse fato permite que o número de grãos que ocupam um determinado volume (1,0dm³, por exemplo) seja maior antes e depois da ocorrência da maturidade fisiológica, conforme observado nos Quadros 7 e 8.

4.3. Massas específicas e porosidade da massa de grãos

4.3.1. Massa específica aparente

No período da “Safrinha”, a massa específica aparente dos grãos se ajustou de forma linear, para os três híbridos avaliados. Os decréscimos na variável resposta foram de 4,19; 4,93 e 4,29kg m⁻³, para cada unidade acrescida no teor de umidade dos grãos, respectivamente, para os híbridos 2B587, 2B688 e 2B710 (Figura 7).

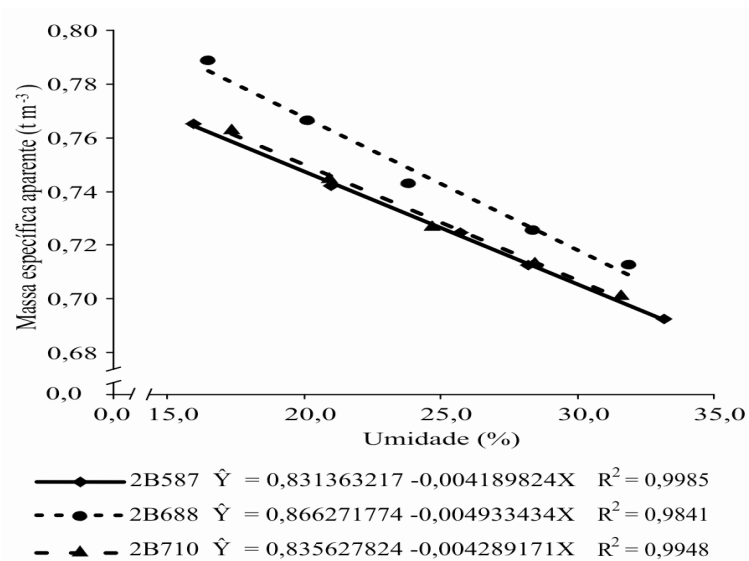


Figura 7 – Massa específica aparente dos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Por sua vez, da mesma forma que na “Safrinha”, na safra de “Verão”, a massa específica aparente apresentou ajustes lineares decrescentes, porém, com coeficientes angulares maiores, ou seja, para cada unidade acrescida no

teor de umidade dos grãos, houve redução da massa específica aparente em 8,61; 6,14 e 9,97kg m⁻³, respectivamente para os híbridos 2B707, 2B710 e Impacto (Figura 8).

De modo geral, como era de se esperar, a massa específica aparente dos híbridos cultivados no “Verão” (Figura 8), foi maior do que nos híbridos da “Safrinha” (Figura 7), em função de que, no verão, em geral, as condições ambientais são mais adequadas ao desenvolvimento da cultura (STONE et al., 1999; ARGENTA et al., 2001; TOLLENAAR e LEE, 2002).

O comportamento linear decrescente, observado para todos os híbridos nos dois períodos estudados (Figuras 7 e 8), pode ser atribuído à contração dos tecidos celulares dos grãos, devido à redução do volume de água, presente no interior das células e, em seguida, dos espaços intercelulares. Conseqüentemente, isso resulta na redução do volume individual ocupado pelo grão de milho e no rearranjo destes na massa de grãos (HOSENEY, 1986; SILVA et al., 1995a).

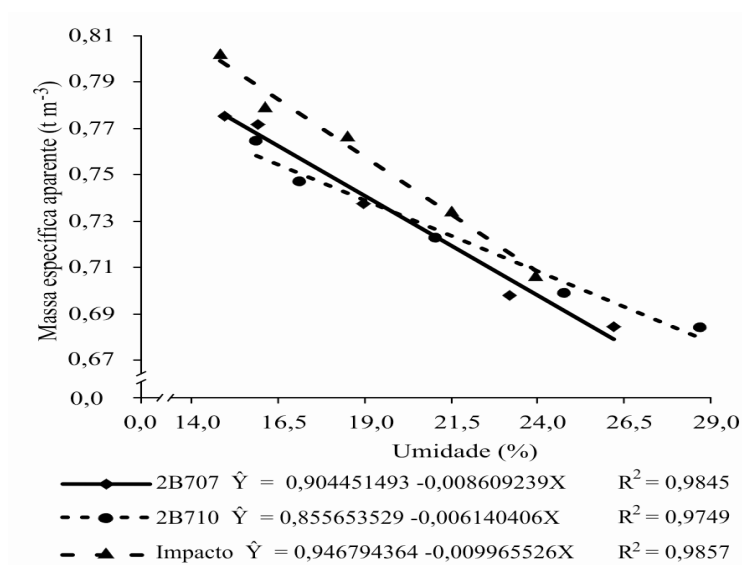


Figura 8 – Massa específica aparente dos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

A elevação da massa específica aparente em função da redução da umidade nos grãos de milho é esperada (RUFFATO et al., 1999). Entretanto, com o atraso na colheita os grãos ficam mais susceptíveis aos danos

mecânicos, e isso pode fazer com que a massa específica aparente seja reduzida (BRUNS e ABBAS, 2004).

4.3.2. Massa específica real

A massa específica real (Figuras 9 e 10) apresentou o mesmo comportamento linear decrescente observado na massa específica aparente (Figuras 7 e 8), em todos os híbridos e nos dois períodos avaliados.

No período da “Safrinha”, os decréscimos da massa específica real foram de 5,22; 6,60 e 5,20kg m⁻³, para cada unidade acrescida no teor de umidade dos grãos, respectivamente, para os híbridos 2B587, 2B688 e 2B710 (Figura 9).

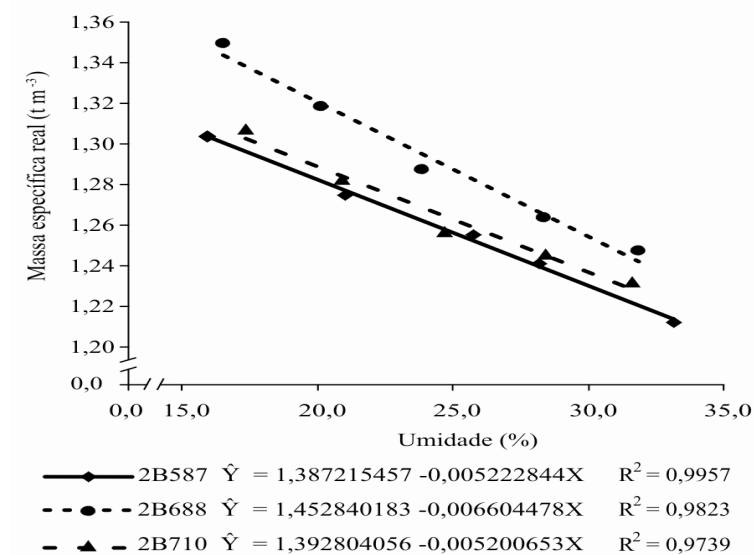


Figura 9 – Massa específica real dos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Por sua vez, no período de “Verão”, os decréscimos foram de 12,20; 7,53 e 13,36kg m⁻³, respectivamente para os híbridos 2B707, 2B710 e Impacto (Figura 10).

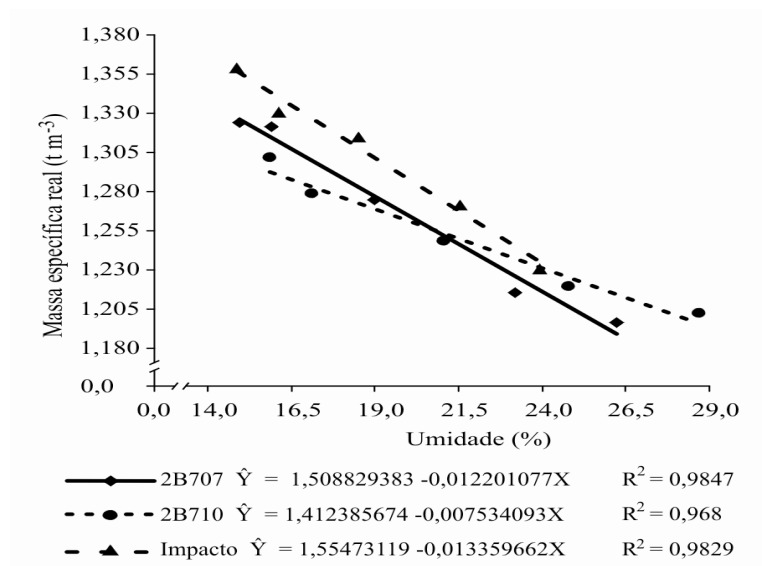


Figura 10 – Massa específica real dos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

4.3.3. Porosidade da massa de grãos

Em relação ao teor de umidade, a porosidade da massa de grãos (Figuras 11 e 12) apresentou comportamento inverso ao da massa específica aparente (Figuras 7 e 8) e da massa específica real (Figuras 9 e 10), nos dois períodos avaliados. Ou seja, as médias de porosidade se ajustaram de forma linear crescente, em todos os híbridos estudados (Figuras 11 e 12).

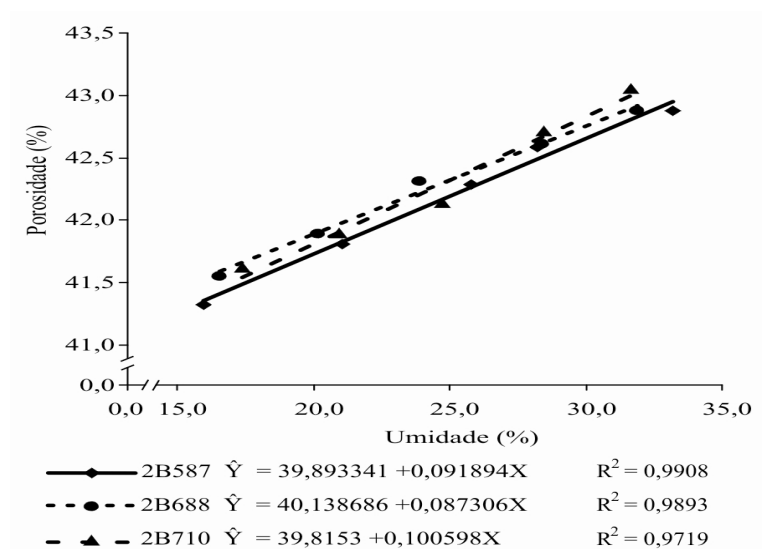


Figura 11 – Porosidade da massa de grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Na “Safrinha”, a cada unidade de umidade acrescida nos grãos de milho, houve acréscimo de 0,09% de porosidade, para os híbridos 2B587 e 2B688, e de 0,10% para o híbrido 2B710 (Figura 11). Por sua vez, na safra de “Verão”, os acréscimos de porosidade foram de 0,12; 0,14 e 0,17% para os híbridos 2B707, 2B710 e Impacto, respectivamente (Figura 12).

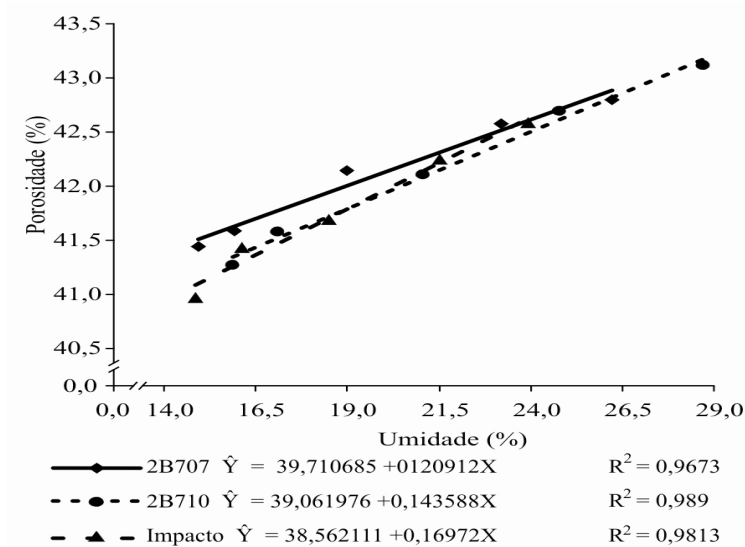


Figura 12 – Porosidade da massa de grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

A redução da porosidade da massa de grãos acompanhando a redução do teor de umidade é esperada, pois há a redução do volume individual ocupado pelo grão. Com isso, um número maior de grãos (Quadros 7 e 8) podem ocupar um espaço predeterminado, 1,0dm³, por exemplo (HOSENEY, 1986; SILVA et al., 1995a; RUFFATO et al., 1999;). Dessa forma, a redução da porosidade, em função do teor de umidade nos grãos de milho, indica a elevação da massa específica aparente, tendo como consequência o aumento da pressão estática oferecida pela massa de grãos à passagem do ar de secagem, o que pode dificultar o processo de secagem (BROOKER et al., 1992).

4.4. Classificação comercial dos grãos

A padronização dos grãos de milho no Brasil, estabelecida pela Portarias Nº. 845/1976 e Nº. 11/1996, abrange a totalidade da dimensão geográfica do país (BRASIL 1976 e 1996). Tal legislação menospreza as variações de latitude e de altitude, não levando em consideração que tais fatores influenciam nas condições climáticas regionais. Sobretudo, no que se refere à umidade para padrão de armazenamento e de comercialização do milho que é única (14,5%), para todo o país (Quadro 1).

Além disso, as Portarias supracitadas assumem uma disparidade, quando apresentam padrões mais severos para os grãos de milho destinados à ração animal, em relação àqueles que são destinados ao consumo humano (Quadro 2).

4.4.1. Impurezas

Na “Safrinha”, os três híbridos avaliados apresentaram variável resposta (impurezas) com ajustes quadráticos (Figura 13), sendo as respostas mínimas (\hat{y}) igual a 0,29%; 0,62% e 1,14%, nos pontos de mínimo (x) igual a 23,93%; 26,6% e 20,7%, respectivamente para os híbridos 2B587, 2B688 e 2B710.

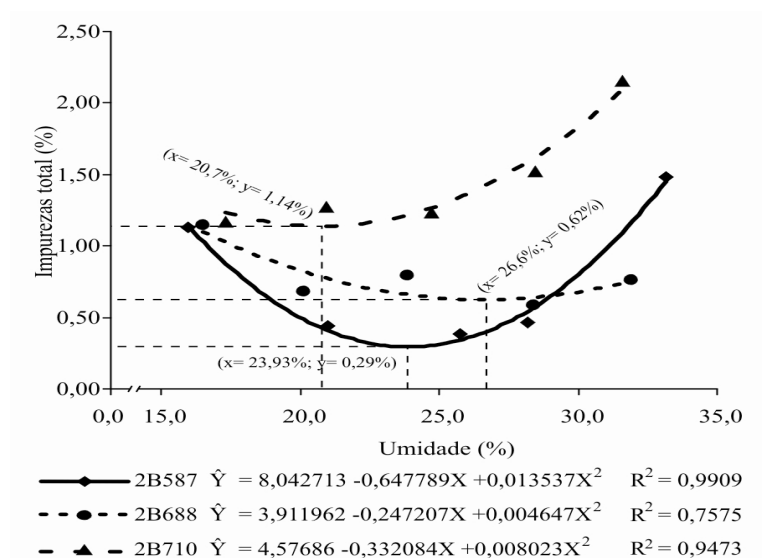


Figura 13 – Impurezas nos grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

O que se espera, em relação às porções de impurezas e de matérias estranhas, é que o valor seja crescente, juntamente com a umidade de colheita, uma vez que estas retêm elevado teor de umidade, dificultando sua separação dos grãos de milho pelas peneiras e pela ventilação da colhedora (BROOKER et al. 1992).

Por outro lado, em relação à porção de fragmentos de grãos, espera-se um comportamento contrário (RUFFATO et al., 2001), isto é, há redução da fragmentação de grãos, em função do acréscimo da umidade de colheita. Dessa forma, observou-se que houve redução seguida de aumento da variável resposta (impurezas), em função da elevação do teor de umidade nos grãos (Figura 13). Esse fato pode ser explicado pela redução significativa ($p < 0,05$) da porcentagem de fragmentos de grãos (Quadro 9), que compõe a variável resposta, em função da elevação da umidade de colheita.

Quadro 9 – Contribuição de cada porção no total de impurezas e de grãos avariados nas amostras de grãos de milho da “Safrinha” de 2007

Híbrido	Umidade (%)	Impurezas (%)		Avariados (%)		
		Impurezas e matérias estranhas	Fragmentos	Quebrados	Chochos	Ardidos
2B587	33,2	1,29	0,19	2,97	0,71	0,47
	28,2	0,37	0,09	2,20	0,28	0,17
	25,8	0,26	0,12	2,00	0,27	0,23
	21,0	0,32	0,12	2,18	0,31	0,17
	16,0	0,54	0,59	3,68	0,98	0,17
2B688	31,9	0,58	0,18	1,94	0,34	2,12
	28,4	0,33	0,25	1,53	0,41	1,64
	23,9	0,35	0,45	1,69	0,45	2,26
	20,1	0,45	0,45	2,47	0,46	2,12
	16,5	0,66	0,49	3,28	0,53	3,37
2B710	31,6	2,05	0,10	3,00	0,28	1,16
	28,4	1,29	0,23	2,79	0,29	0,66
	24,7	0,89	0,34	2,60	0,27	0,62
	20,9	0,87	0,40	2,89	0,30	1,40
	17,3	0,55	0,62	3,92	0,28	1,84

Na safra de “Verão”, o comportamento do total de impurezas (Figura 14) também foi influenciado pela porcentagem de fragmentos de grãos (Quadro 10), sobretudo no híbrido Impacto, o qual apresentou a variável resposta com ajuste quadrático bem acentuado, sendo que a resposta mínima ($\hat{y} = 1,0\%$) ocorreu com teor de umidade nos grãos de $x = 22,02\%$. Por sua vez,

observaram-se respostas lineares decrescentes, do total de impurezas, nos híbridos 2B707 e 2B710, com redução de 0,09% e 0,03%, respectivamente, a cada unidade acrescida no teor de umidade.

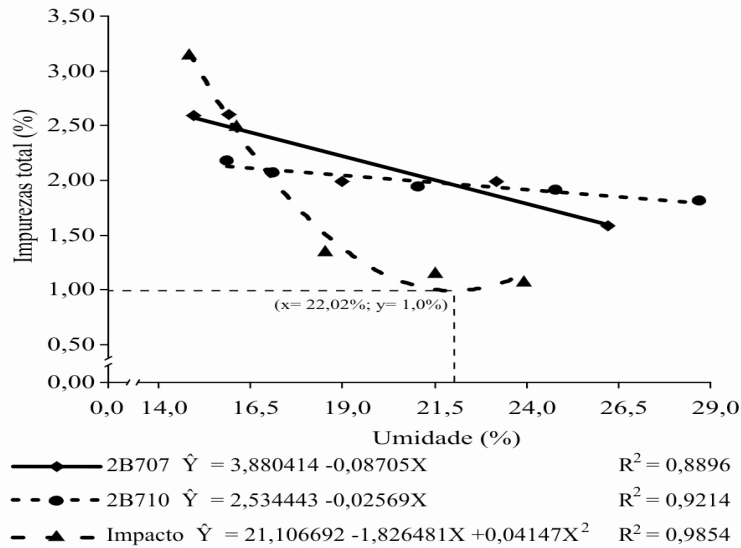


Figura 14 – Impurezas nos grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

O total de impurezas apresentados no momento da colheita terá pouca ou nenhuma influência sobre a qualidade dos grãos de milho, desde que, imediatamente depois de colhido, o produto passe pelos processos de pré-limpeza, de secagem e de limpeza, antes de ser armazenado ou processado (BROOKER et al., 1992).

Os processos de pré-limpeza e de limpeza removerão a maior parte das impurezas, das matérias estranhas e dos fragmentos de grãos, que podem contribuir com o desenvolvimento de fungos e de insetos advindos do campo, caso sejam mantidos junto aos grãos sadios, bem como alterar a massa específica aparente e a porosidade da massa de grãos (FARIAS et al., 2000; ALVES et al., 2001a; 2001b; MARCHI et al., 2006; RADÜNZ et al., 2006).

Quadro 10 – Contribuição de cada porção no total de impurezas e de grãos avariados nas amostras de grãos de milho da Safra de “Verão” de 2007/2008

Híbrido	Umidade (%)	Impurezas (%)		Avariados (%)		
		Impurezas e matérias estranhas	Fragmentos	Quebrados	Chochos	Ardidos
2B707	26,2	1,22	0,36	2,96	0,25	0,55
	23,2	0,85	1,14	4,05	0,23	0,60
	19,0	0,53	1,46	4,49	0,22	0,65
	15,9	0,27	2,33	4,99	0,23	0,83
	15,0	0,26	2,34	5,02	0,22	1,05
2B710	28,7	1,66	0,15	3,79	0,32	0,60
	24,8	1,18	0,73	4,87	0,28	0,65
	21,1	0,85	1,09	4,84	0,24	0,84
	17,1	0,41	1,66	5,63	0,26	1,07
	15,9	0,34	1,84	5,71	0,29	1,50
Impacto	23,9	0,66	0,42	3,58	0,24	0,48
	21,5	0,45	0,70	3,42	0,21	0,45
	18,5	0,27	1,09	4,43	0,16	0,62
	16,1	0,26	2,24	5,22	0,17	0,68
	14,8	0,39	2,77	6,28	0,18	0,96

4.4.2. Grãos avariados

A variável resposta grãos “avariados” se ajustou de forma quadrática nos três híbridos avaliados na “Safrinha” (Figura 15). As respostas mínimas (\hat{y}) iguais a 2,36%; 3,76% e 3,55% ocorreram nos teores de umidade (x) iguais a 25,18%; 27,37% e 26,27%, respectivamente para os híbridos 2B587, 2B688 e 2B710.

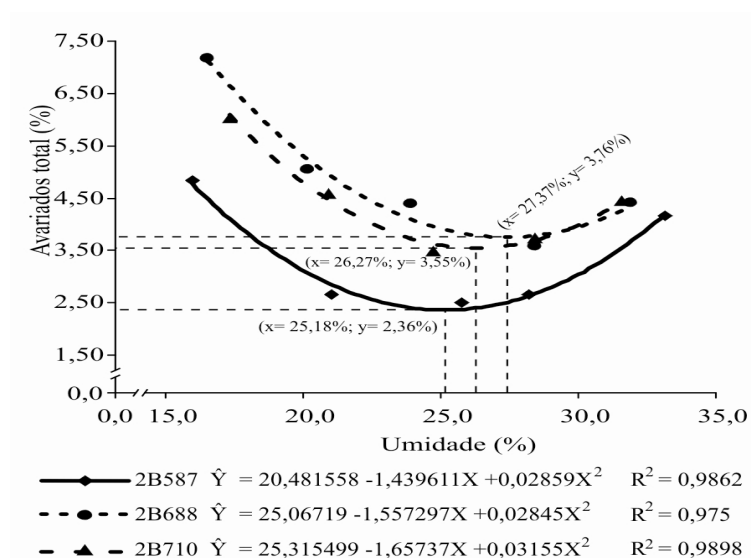


Figura 15 – Grãos avariados dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Por sua vez, na safra de “Verão” (Figura 16), o ajuste quadrático foi observado para o híbrido Impacto, com o ponto de mínimo $x = 22,44\%$, apresentando a resposta mínima $\hat{y} = 4,15\%$. No caso dos híbridos 2B707 e 2B710, a variável resposta se ajustou de forma linear negativa (Figura 16), com decréscimo de 0,21% e 0,14% de avariados por unidade de umidade acrescida.

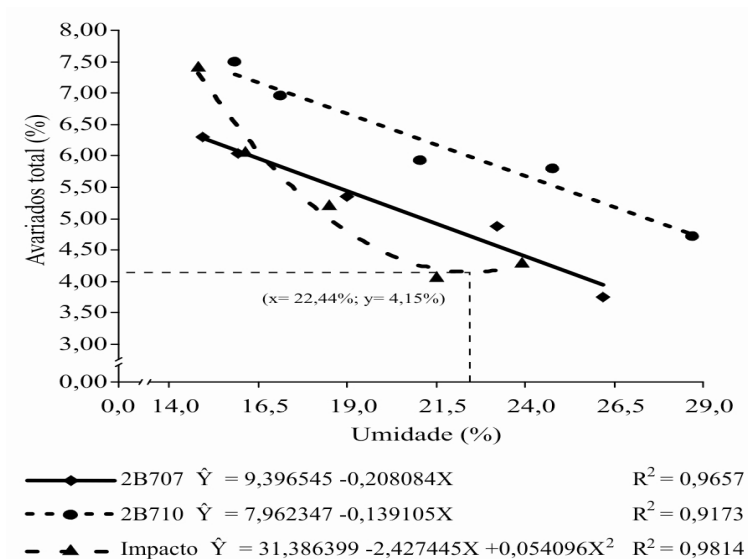


Figura 16 – Grãos avariados dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

O total de grãos avariados foi fortemente influenciado pela porção “grãos quebrados” (Quadros 9 e 10), bem como, pela porção “grãos ardidos”, elevando os níveis nas menores umidades de colheita (Figuras 15 e 16). Tal fato indica maior susceptibilidade a avarias nos grãos de milho, dos híbridos em questão, quando esses foram colhidos mais secos (RUFFATO et al., 2001).

Vale lembrar que o processo de secagem também contribuirá para o aumento de grãos quebrados, devido às altas temperaturas do ar de secagem, bem como às temperaturas do ar de resfriamento, que, juntas, promovem trincas no endosperma ou agravam as trincas pré-existentis (BROOKER et al., 1992; ALVES et al., 2001a; 2001b; CARNEIRO et al., 2005; JORGE et al. 2005; MARCHI et al., 2006).

Os resultados obtidos (Figura 15 e 16) sugerem que os grãos colhidos com umidades menores estarão sujeitos a perda de qualidade física nas etapas seguintes de pós-colheita, uma vez que as avarias promovidas pelos impactos sofridos pelos grãos são cumulativas. Dessa forma, após a etapa de colheita, o nível de grãos quebrados é crescente, em relação ao decréscimo de umidade, pois os mesmos estarão mais vulneráveis aos danos mecânicos, quando comparados aos grãos intactos (ANDRADE et al., 1999; PAIVA et al., 2000; ALVES et al., 2001a; 2001b; MEDEIROS FILHO et al., 2002).

Os grãos brotados também compõem o total de grãos avariados, entretanto, não foram detectados indícios de germinação de grãos nas amostras que foram coletadas neste trabalho.

4.4.3. Grãos carunchados

O percentual de grãos carunchados, observados nos grãos dos três híbridos avaliados na “Safrinha”, foi linearmente decrescente (Figura 17), com coeficientes angulares, mostrando a redução de 0,02% de grãos carunchados para os híbridos 2B587 e 2B710 e 0,01% para o híbrido 2B688, por unidade de umidade acrescida aos grãos.

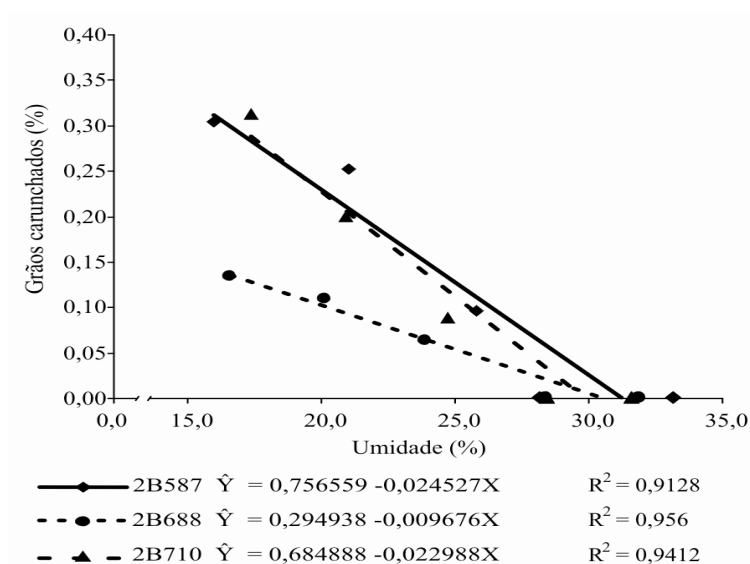


Figura 17 – Grãos carunchados dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Da mesma forma que na “Safrinha”, os híbridos avaliados na safra de “Verão” também apresentaram grãos danificados por insetos, cujo comportamento da variável resposta seguiu a mesma tendência linear decrescente (Figura 18). O híbrido Impacto, no entanto, apresentou o maior percentual de danos por insetos (gorgulhos), apesar de possuir grãos com textura semidura, característica que poderia contribuir para reduzir o ataque inicial de insetos (FARONI, 1992; SINGH e FINNER, 1993).

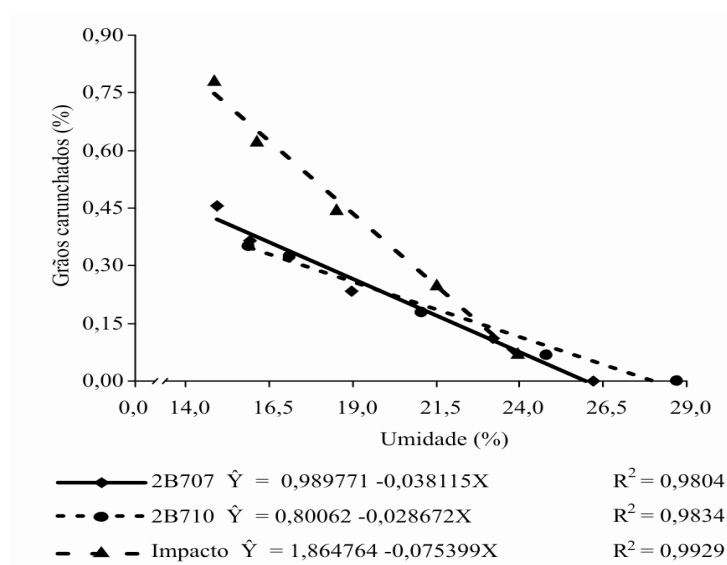


Figura 18 – Grãos carunchados dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

Entre os insetos encontrados nas amostras avaliadas neste trabalho foram identificadas duas espécies, ambas pertencentes à ordem Coleoptera e à família Curculionidae, de acordo com Gallo et al.(2002). A primeira espécie, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1855), foi predominante sobre a segunda espécie, *S. oryzae* (Linnaeus, 1763).

Os coeficientes angulares observados (Figura 18) indicaram que cada unidade acrescida no teor de umidade dos grãos de milho promoveu a redução do percentual de grãos carunchados na ordem de 0,04%; 0,03% e 0,08%, respectivamente para os híbridos 2B707, 2B710 e Impacto. Observou-se que, independente da textura do grão, todos os híbridos tiveram grãos danificados por gorgulhos, ainda no campo. Segundo Brooker et al. (1992), quanto menor

for a umidade dos grãos de milho, por ocasião da colheita, ou seja, quanto mais tardia for realizada a colheita, maior será o percentual a infestação por insetos, fato que foi demonstrado pelos resultados apresentados nas Figuras 17 e 18. Também foi observado que os ataques de insetos ocorreram quando os grãos apresentavam teores de umidade inferiores a 28,0%, indicando que a umidade é um fator limitante ao desenvolvimento das pragas.

4.5. Danos mecânicos

4.5.1. Grãos trincados

No período da “Safrinha”, a porcentagem de trincas (Figura 19), observadas nos grãos dos híbridos 2B587 e 2B688, apresentou decréscimo em função do aumento da umidade de colheita. A variável resposta grãos trincados se ajustou de forma quadrática e linear negativa, respectivamente, para o primeiro e o segundo híbrido. No híbrido 2B587, a resposta mínima ($\hat{y} = 1,11\%$ de grãos trincados) foi observada na umidade de $x = 29,06\%$, enquanto que no híbrido 2B688, o coeficiente angular (β_1) indicou a redução de 0,09% de grãos trincados a cada acréscimo de uma unidade de umidade dos grãos. Por sua vez, no híbrido 2B710, a porcentagem de grãos trincados não apresentou resposta significativa ($p > 0,05$).

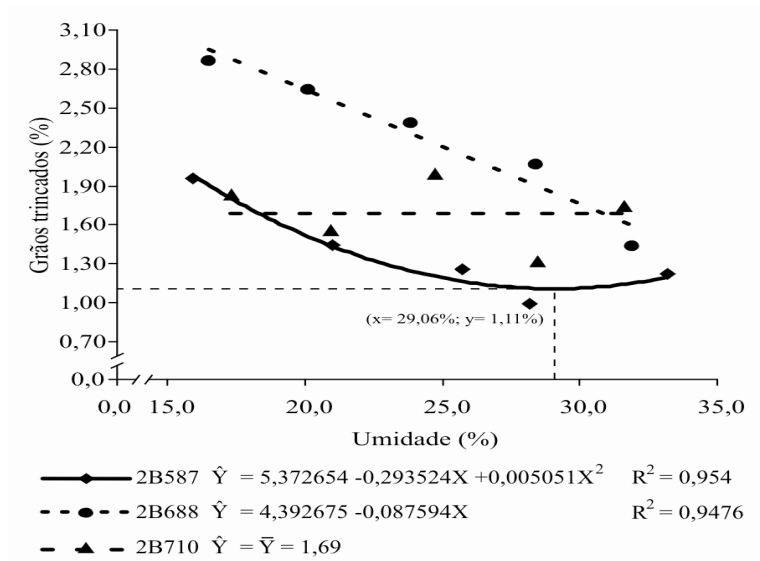


Figura 19 – Grãos trincados nos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Na safra de “Verão”, observou-se que a porcentagem de grãos trincados (Figura 20) foi mais elevada, em valores absolutos, em comparação com os valores observados na “Safrinha” (Figura 19), sobretudo quando a colheita dos grãos foi realizada com teores de umidade menores nos grãos. A variável resposta, grãos trincados nos híbridos 2B710 e Impacto (Figura 20), ajustou-se de forma quadrática, apresentando respostas mínimas de $\hat{y} = 1,54\%$ e $\hat{y} = 1,03\%$, nos pontos de mínimo $x = 26,88\%$ e $x = 22,81\%$ de teor de umidade, respectivamente para o primeiro e o segundo híbrido. Por sua vez, para o híbrido 2B707, houve uma resposta linear negativa, com decréscimo de 0,27% de grãos trincados a cada unidade de umidade acrescida nos grãos de milho (Figura 20).

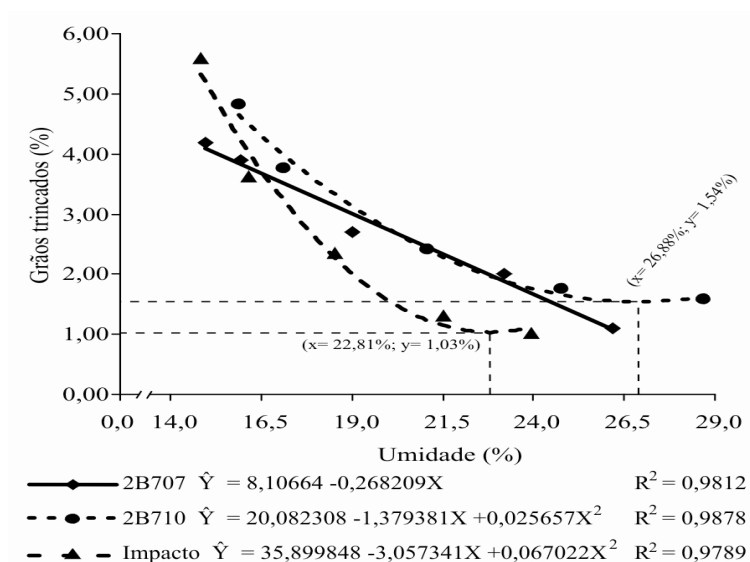


Figura 20 – Grãos trincados nos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

Os resultados de grãos trincados, obtidos nos híbridos avaliados na “Safrinha” (2B587 e 2B688) e na safra de “Verão” (2B707, 2B710 e Impacto), estão de acordo com Ruffato et al. (2001), que afirmam que a redução da elasticidade do pericarpo é acompanhada da redução na umidade dos grãos, tornando-os mais susceptíveis aos danos mecânicos, em função do menor amortecimento dos impactos que ocorrem durante o processo de colheita.

Os resultados obtidos (Figura 19 e 20) sugerem que os grãos de milho colhidos com umidades menores estarão sujeitos à perda de qualidade física nas etapas seguintes de pós-colheita, uma vez que os danos mecânicos são cumulativos. Dessa forma, quanto maior for o percentual de trincas nos grãos após a etapa de colheita, maior será o percentual de grãos quebrados nas etapas seguintes. Isso decorre do fato de que, à medida que a umidade nos grãos decresce, os mesmos tornam-se mais vulneráveis aos danos mecânicos que os grãos intactos (ANDRADE et al., 1999; PAIVA et al., 2000; ALVES et al., 2001a; 2001b; MEDEIROS FILHO et al., 2002). Posteriormente, o processo de secagem também contribuirá para o aumento de grãos quebrados, uma vez que as elevadas temperaturas do ar de secagem, bem como as temperaturas do ar de resfriamento são promotoras de novas trincas nos grãos, ou mesmo do agravamento das trincas já existentes, devido ao choque térmico sofrido pelos grãos na saída dos mesmos do secador (BROOKER et al., 1992; ALVES et al., 2001a; 2001b; CARNEIRO et al., 2005; JORGE et al. 2005; MARCHI et al., 2006).

4.5.2. Grãos rompidos

A porcentagem de grãos rompidos, avaliada no período da “Safrinha” (Figura 21), apresentou respostas lineares positivas para os híbridos 2B688 e 2B710, com o acréscimo de 0,05% e 0,08%, respectivamente, a cada acréscimo de uma unidade de umidade nos grãos de milho. Já para o híbrido 2B587, houve um ajuste quadrático da porcentagem de grãos rompidos, com uma resposta máxima de $\hat{y} = 0,50\%$ na umidade de $x = 26,14\%$ (ponto de máximo).

Os híbridos avaliados na safra de “Verão” (Figura 22) apresentaram um comportamento semelhante aos avaliados na “Safrinha” (Figura 21), em relação à porcentagem de grãos rompidos, ou seja, em ambos os casos observou-se o aumento da variável resposta em função da elevação da umidade de colheita (Figura 21 e 22).

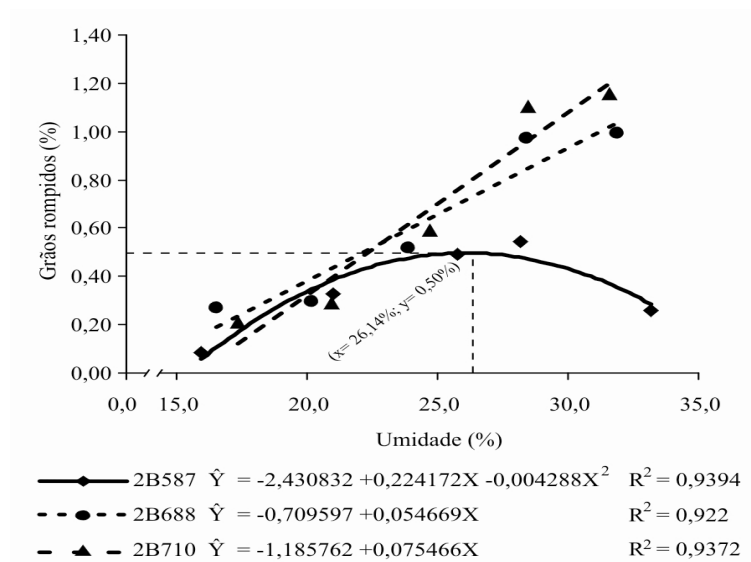


Figura 21 – Grãos rompidos nos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

A porcentagem de grãos rompidos na safra de “Verão” (Figura 22) se ajustou de forma quadrática, com respostas máximas de $\hat{y} = 1,13\%$ e $\hat{y} = 0,69\%$, nos pontos de máximo $x = 25,05\%$ e $x = 22,29\%$ de teor de umidade, respectivamente, para os híbridos 2B707 e Impacto. Por sua vez, o híbrido 2B710 apresentou uma resposta linear positiva da porcentagem de grãos rompidos, com acréscimo de 0,13% por unidade de umidade acrescida.

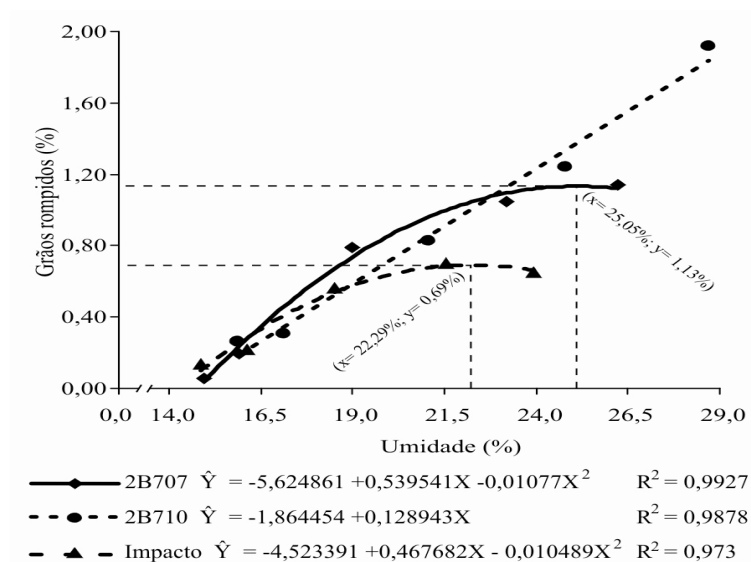


Figura 22 – Grãos rompidos nos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

Os grãos rompidos estão relacionados com a ação de amassamento, ou seja, os grãos de milho estão mais sujeitos ao esmagamento, quando seu teor de umidade é maior, uma vez que o aumento da compressão sofrida pelo grão resulta na ruptura do pericarpo e exposição do seu conteúdo (BROOKER et al., 1992; ALVES et al., 2001a; 2001b), conforme sugeridos pelos resultados obtidos (Figura 21 e 22).

4.5.3. Grãos quebrados

Na avaliação dos grãos quebrados, observou-se tendência semelhante para os três híbridos avaliados na “Safrinha” (Figura 23), com a variável resposta se ajustando negativamente e de forma linear para os três híbridos. Da mesma forma que, para “grãos trincados” (Figura 19), houve decréscimo da porcentagem de grãos quebrados, em função do aumento da umidade de colheita. O decréscimo na porcentagem de grãos quebrados observado foi de 0,12%; 0,13% e 0,15%, a cada acréscimo de uma unidade na umidade dos mesmos, respectivamente para os híbridos 2B587, 2B688 e 2B710 (Figura 23).

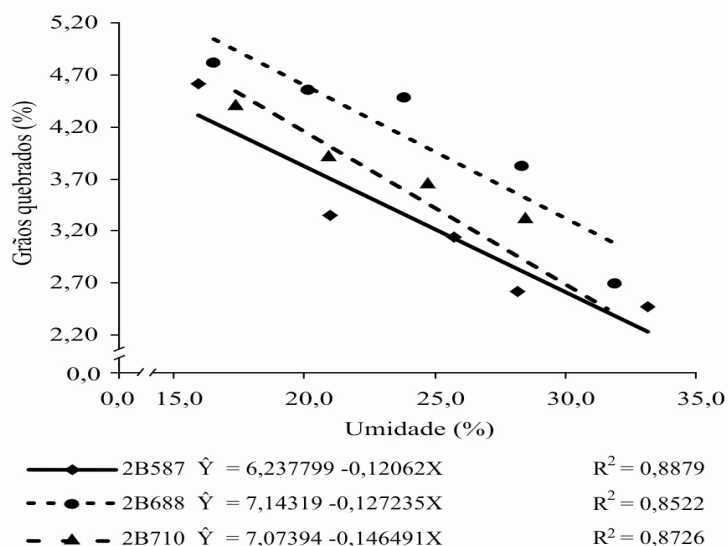


Figura 23 – Grãos quebrados nos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Na safra de “Verão”, a porcentagem de grãos quebrados (figura 24) apresentou um comportamento decrescente em função do aumento da

umidade de colheita, de forma análoga ao que foi observado na “Safrinha” (Figura 23).

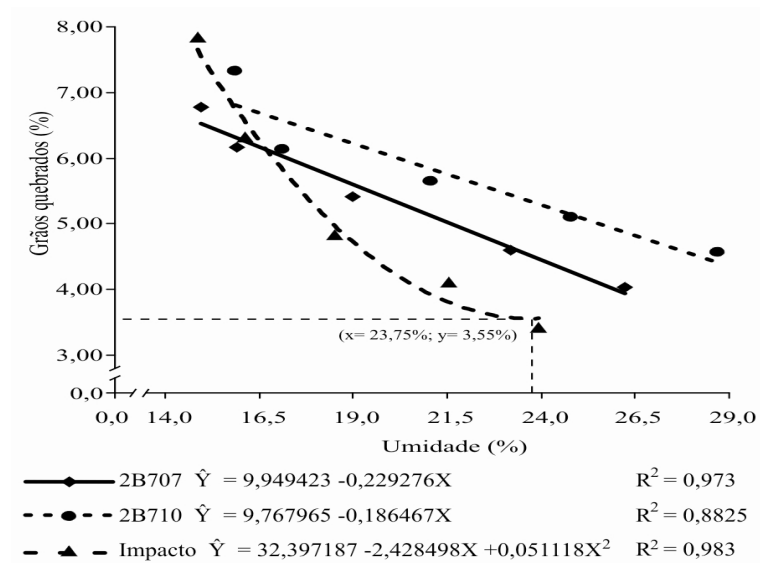


Figura 24 – Grãos quebrados nos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Observaram-se respostas lineares negativas, com decréscimo de 0,23% e 0,19% por unidade de umidade acrescida, respectivamente para os híbridos 2B707 e 2B710 (Figura 24). Quanto ao híbrido Impacto, o mesmo apresentou a variável resposta com ajuste quadrático, sendo que a resposta mínima foi de $\hat{y} = 3,55\%$, no ponto de mínimo, com umidade de $x = 23,75\%$ (Figura 24).

Nos dois períodos de avaliação, os resultados encontrados indicaram maior susceptibilidade dos grãos dos híbridos em estudo aos danos mecânicos, nas suas menores umidades de colheita, concordando com a afirmação de Ruffato et al. (2001). Observou-se, ainda, que o percentual de grãos quebrados foi maior, em valores absolutos, na safra de “Verão”, em relação ao ocorrido na “Safrinha”. Em geral, no período de “Verão”, os grãos de milho são mais densos, porém apresentam maior susceptibilidade à quebra (VYN e TOLLENAAR, 1998), pois eles apresentam menor capacidade de absorção dos impactos, devido a uma maior rigidez do endosperma (RUFFATO et al., 2001).

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a colheita dos grãos de milho deva ser realizada quando os teores de umidade estiverem entre 22,0% e 26,0%, situação em que os danos mecânicos foram menores (Figuras 19 e 20; 23 e 24), ao contrário do que ocorre no Brasil, onde, em geral, a colheita de milho é realizada com teores de umidade inferiores a 20,0% (ALVES et al., 2001a; 2001b). Dessa forma, a antecipação da colheita do milho pode minimizar as perdas qualitativas e quantitativas dos grãos, em função dos danos mecânicos. Entretanto, há que se considerar a elevação nos custos de transporte e de secagem, uma vez que haverá maior quantidade de água a ser removida do produto por ocasião da secagem dos grãos (BROOKER et al., 1992).

4.6. Teste de sanidade

4.6.1. *Aspergillus*

Na “Safrinha” de 2007, a incidência de fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (Figuras 25 e 30) foi decrescente em função do aumento de umidade na colheita, enquanto o gênero *Fusarium* apresentou acréscimo na sua incidência (Figura 27). Isso corrobora com a afirmação de Marin et al., (1998), de que fungos da espécie *Fusarium* spp. têm preferência por substratos com teores de umidade mais elevados.

Em relação à *Aspergillus* spp., a incidência nos grãos dos três híbridos avaliados na “Safrinha” foi baixa, quando comparados com resultados de literatura (ALMEIDA et al., 2000; DILKIN et al., 2000; KUMAR et al., 2008), sendo o maior valor observado (3,2%) no híbrido 2B587, quando colhido com 16,0% de umidade (Figura 25). A análise de regressão evidenciou que houve resposta significativa do modelo linear nos híbridos 2B587 e 2B688, sendo que a cada acréscimo de uma unidade na umidade, a incidência do patógeno foi reduzida em 0,14% e 0,08%, respectivamente. Por sua vez, as médias de incidência do patógeno no híbrido 2B710 se ajustaram de forma quadrática, apresentando o ponto de máximo ($x = 22,29\%$ de umidade) com a incidência máxima estimada em $\hat{y} = 2,67\%$ (Figura 25).

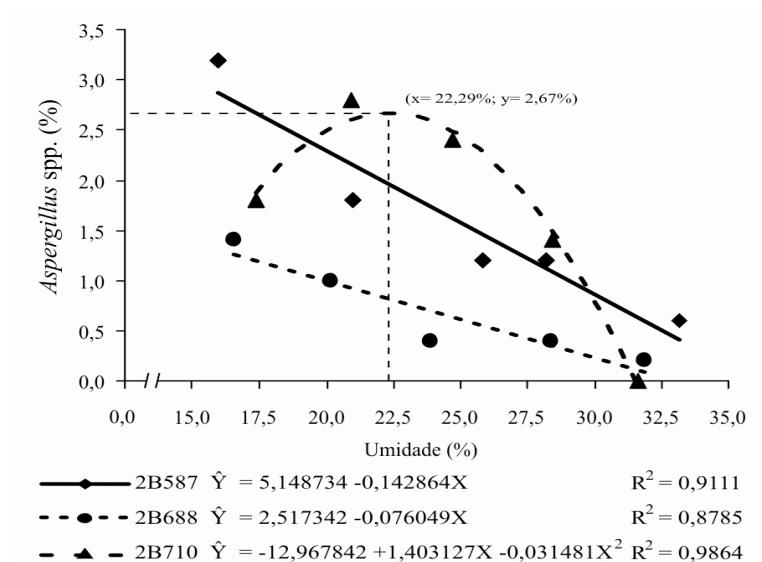


Figura 25 – Incidência de fungos do gênero *Aspergillus* em grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

A incidência de *Aspergillus* spp. foi relativamente maior, em valores médios absolutos, nos grãos dos híbridos 2B707 e 2B710 avaliados na safra de “Verão” de 2007/2008 (Figura 26), quando comparados com os híbridos avaliados na “Safrinha” de 2007 (Figura 25). Isso, provavelmente, pode ser atribuído à ocorrência de precipitações pluviais (Figura 2), durante o período de colheita, o que resultou em acréscimos de tempo entre as colheitas, fato que não ocorreu na “Safrinha” (Figura 1). Além disso, o patógeno pode ter sido favorecido pelas altas temperaturas, característica do período de verão (ALMEIDA et al., 2000; SANTIN et al., 2000; SILVA et al., 2008).

A análise de regressão evidenciou que as médias de incidência do gênero *Aspergillus* se ajustaram de forma cúbica para os híbridos 2B707 e 2B710. No híbrido 2B707, os pontos de mínimo ($x = 15,6\%$) e de máximo ($x = 22,67\%$ de umidade) apresentaram as incidências estimadas em $\hat{y} = 0,21\%$ e $\hat{y} = 4,63\%$, respectivamente. Por sua vez, para o híbrido 2B710 as incidências estimadas foram $\hat{y} = 0,52\%$ e $\hat{y} = 7,14\%$, nos pontos de mínimo ($x = 28,04\%$) e de máximo ($x = 19,44\%$ de umidade), respectivamente. Em relação ao híbrido Impacto, não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$), pelo teste F, entre as médias de incidência de *Aspergillus* spp., pelo teste F (Figura 26).

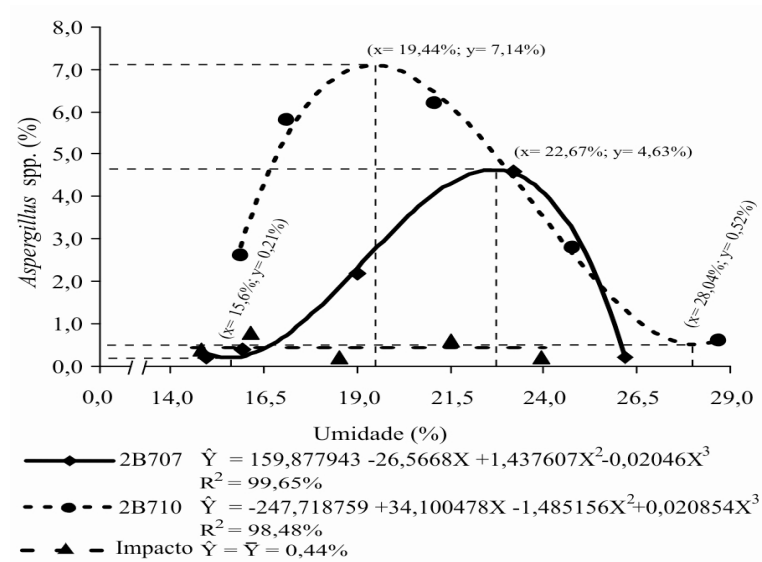


Figura 26 – Incidência de fungos do gênero *Aspergillus* em grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

4.6.2. *Fusarium*

O gênero *Fusarium*, como citado anteriormente, apresentou médias de incidência crescentes nos grãos dos híbridos 2B587 e 2B710, com ajuste linear, sendo que a cada acréscimo de uma unidade na umidade dos grãos, a incidência do patógeno aumentou em 1,14% e 3,26%, respectivamente. As médias de incidência de *Fusarium* spp. no híbrido 2B688 (Figura 27), se ajustaram de forma quadrática, com a incidência estimada em 13,56% no ponto de mínimo (19,9% de umidade).

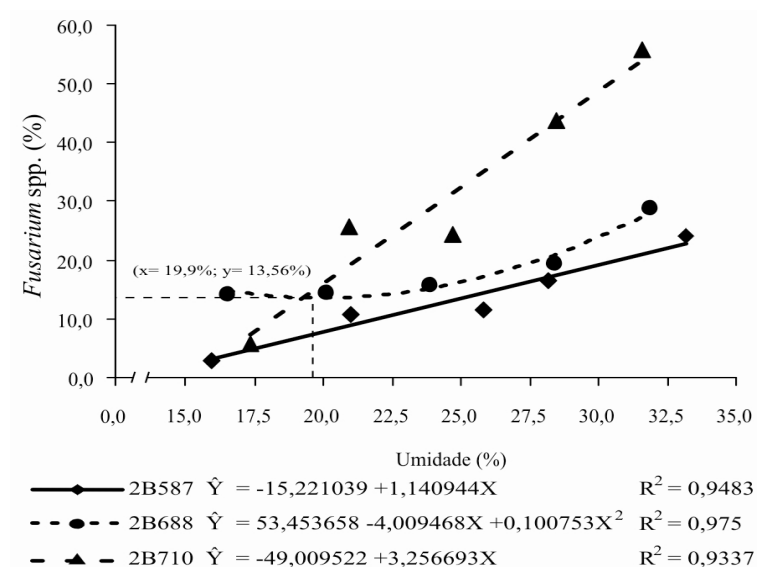


Figura 27 – Incidência de fungos do gênero *Fusarium* em grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

A incidência de *Fusarium* spp., no híbrido 2B710, ajustou-se de forma quadrática (Figura 28), apresentando no ponto mínimo ($x = 18,41\%$ de umidade) a incidência mínima estimada de $\hat{y} = 6,03\%$. O comportamento do patógeno, nesse híbrido, foi semelhante ao que ocorreu nas avaliações da “Safrinha”, ou seja, houve aumento da incidência fúngica, em função da elevação de umidade nos grãos de milho (MARIN et al., 1998).

O gênero *Fusarium* se comportou de maneira diferenciada nos híbridos 2B707 e Impacto (Figura 29), em relação ao ocorrido no híbrido 2B710 (Figura 28), inclusive com incidências relativamente menores.

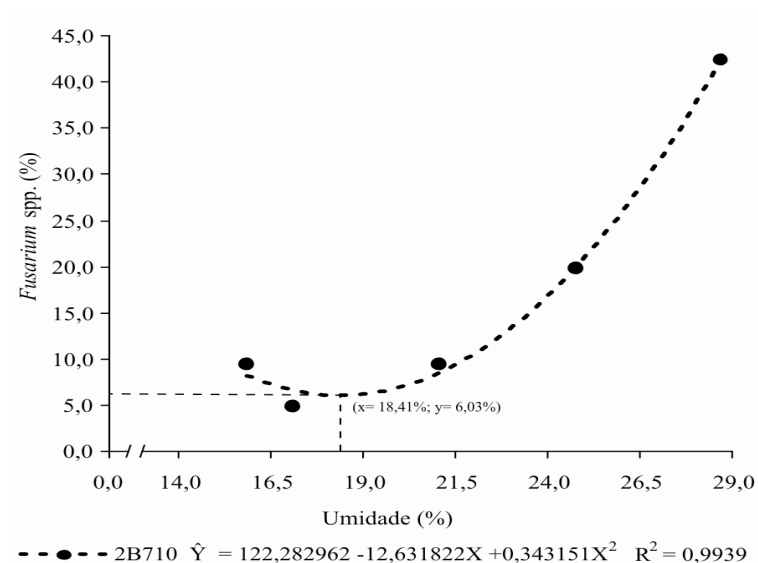


Figura 28 – Incidência de fungos do gênero *Fusarium* em grãos do híbrido de milho 2B710, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

As médias de incidência do patógeno nos híbridos 2B707 e Impacto se ajustaram de forma cúbica e quadrática, respectivamente (Figura 29). No entanto, a análise de variância da regressão apresentou desvios significativos ($p < 0,05$), com coeficientes de determinação (R^2) baixos para as equações ajustadas. Entretanto, como as equações e seus coeficientes (β_n) foram significativos ($p < 0,05$), pelos testes F e t, respectivamente, optou-se por apresentá-las mesmo assim, atribuindo o comportamento biológico do referido patógeno às variações climáticas observadas no período (Figura 2).

No caso do híbrido 2B707, a equação polinomial cúbica apresentou nos pontos de máximo ($x = 17,19\%$) e de mínimo ($x = 22,47\%$ de umidade), as incidências estimadas de $\hat{y} = 2,89\%$ e $\hat{y} = 2,27\%$, respectivamente. Por sua vez, a equação polinomial quadrática, ajustada para o híbrido Impacto, apresentou no ponto de mínimo ($x = 19,44\%$ de umidade), $\hat{y} = 3,61\%$ de incidência estimada (Figura 29).

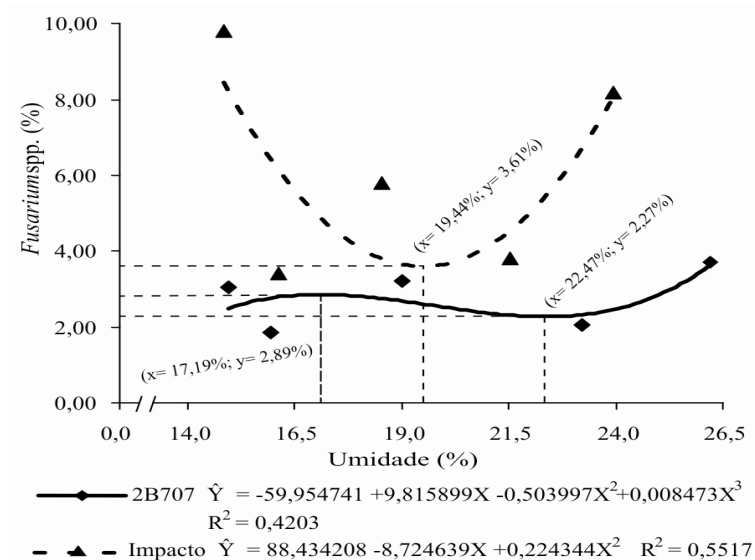


Figura 29 – Incidência de fungos do gênero *Fusarium* em grãos dos híbridos de milho 2B707 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

4.6.3. *Penicillium*

Da forma análoga ao que ocorreu com o gênero *Aspergillus* (Figura 25), o gênero *Penicillium* (Figura 30) apresentou decréscimo da incidência, em função da elevação do teor de umidade nos grãos (MARIN et al., 1998). Todavia, nos híbridos 2B587 e 2B688 as médias se ajustaram de forma quadrática, apresentando nos pontos de máximo ($x = 22,89\%$ e $x = 23,96\%$ de umidade) as incidências máximas estimadas de $\hat{y} = 81,21\%$ e $\hat{y} = 72,71\%$, respectivamente. Quanto à incidência de *Penicillium*, nos grãos do híbrido 2B710 (Figura 30), as médias apresentaram ajuste linear decrescente, sendo que o coeficiente angular foi de $-3,23\%$ a cada acréscimo de uma unidade no teor de umidade.

Em relação ao gênero *Penicillium*, as incidências observadas (Figura 31) nos três híbridos avaliados na safra de “Verão” foram elevadas (DILKIN et al., 2000; SANTIN et al., 2004). Observou-se que a incidência do patógeno manteve o comportamento decrescente, em função da elevação do teor de umidade nos grãos de milho (MARIN et al., 1998).

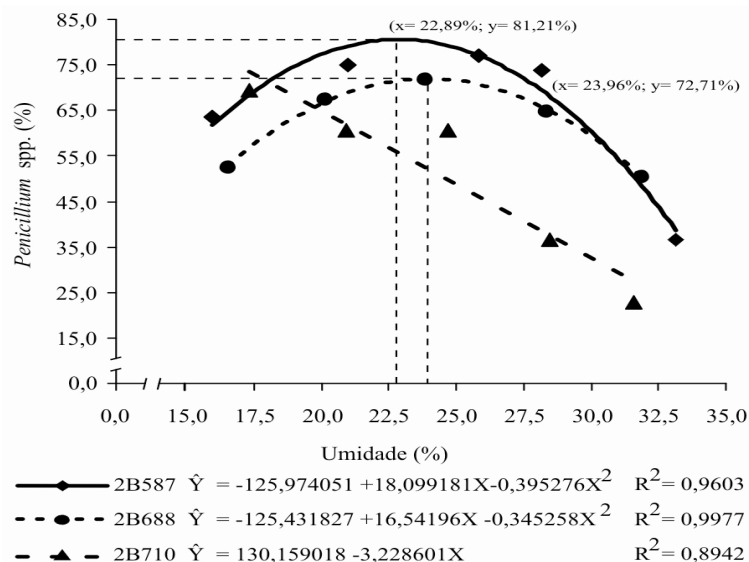


Figura 30 – Incidência de fungos do gênero *Penicillium* em grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, em função da umidade de colheita, “Safrinha” de 2007.

Quanto aos híbridos 2B707 e 2B710, os mesmos apresentaram médias de incidências de *Penicillium* spp. com ajuste linear, sendo que, a cada acréscimo de uma unidade na umidade, houve redução de 3,05% e 3,79% na incidência do patógeno, no primeiro e no segundo híbrido, respectivamente (Figura 31).

O gênero *Penicillium* se comportou de maneira bastante distinta no híbrido Impacto, quando comparado aos outros dois híbridos (Figura 31). De forma análoga às médias do gênero *Fusarium* nos híbridos 2B707 e Impacto, as médias do gênero *Penicillium*, nesse último híbrido, também apresentaram desvio da equação de regressão significativo ($p < 0,05$). Porém, a exemplo do caso anterior, optou-se por apresentar a equação de regressão polinomial quadrática ajustada, cujo ponto de mínimo foi de $x = 21,05\%$ de umidade, no qual a resposta mínima foi de $\hat{y} = 53,65\%$ de incidência.

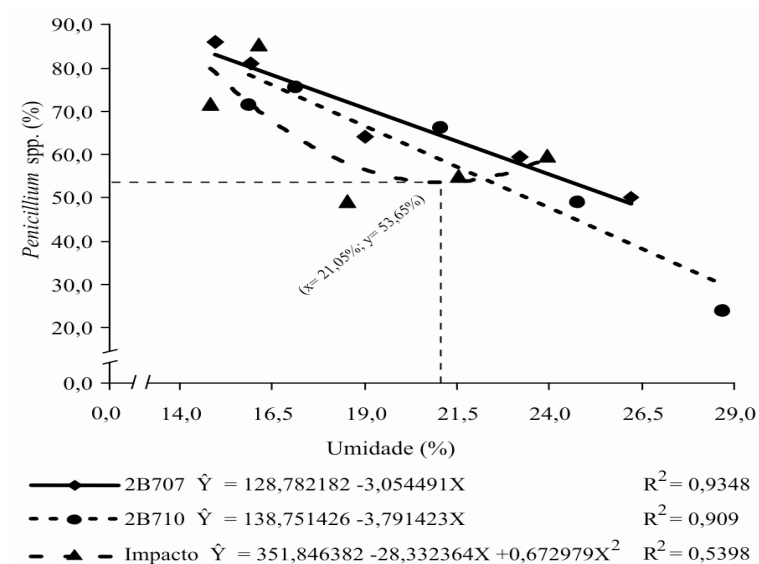


Figura 31 – Incidência de fungos do gênero *Penicillium* em grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, em função da umidade de colheita, Safra de “Verão” de 2007/2008.

A incidência dos patógenos observados, nos dois períodos avaliados, é condizente com os resultados encontrados por Kikuti et al. (2003), nos quais predominaram os gêneros *Fusarium* e *Penicillium*. Por outro lado, os resultados deste trabalho diferenciam daqueles encontrados por Santin et al. (2004) para os gêneros *Fusarium* e *Aspergillus*, porém, são condizentes em relação ao gênero *Penicillium*.

4.7. Micotoxinas

Nas análises toxicológicas realizadas com as amostras de grãos de milho colhidos na “Safrinha” de 2007, não foram detectadas quaisquer traços de contaminação por micotoxinas, independente das umidades de colheita. Dessa forma, os resultados sugerem que os patógenos não foram favorecidos pelas condições climáticas desta estação de cultivo (Figura 1), no que tange à produção de micotoxinas, sobretudo, devido às baixas temperaturas noturnas observadas no período (ALMEIDA et al., 2000, SANTIN et al., 2000, SILVA et al., 2008).

Nas análises toxicológicas realizadas com as amostras de grãos colhidos no período de “Verão” de 2007/2008, algumas amostras dos híbridos 2B710 e Impacto apresentaram contaminação por aflatoxinas (Quadro 11), com

valores observados dentro do limite estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2002). Entretanto, não foram detectados quaisquer traços de contaminação por zearalenona em nenhuma amostra avaliada na safra de “Verão”.

As condições climáticas durante o período de colheita na safra de “Verão” (Figura 2) possivelmente favoreceram a produção das aflatoxinas pelo gênero *Aspergillus* (Quadro 11), demonstrando que, ainda no campo, o patógeno foi capaz de produzir a toxina (KUMAR et al., 2008).

Quadro 11 – Contaminações por micotoxinas em amostras grãos de milho da safra de “Verão” de 2007/2008

Amostra	Híbrido	Umidade (%)	Concentrações ($\mu\text{g kg}^{-1}$)				Zea
			Aflatoxinas				
			B ₁	B ₂	G ₁	G ₂	
3.3	Impacto	23,9	16,6	nd	nd	nd	nd
3.4			14,0	nd	nd	nd	nd
7.2	2B710	21,1	11,1	nd	nd	nd	nd
7.3			10,2	nd	nd	nd	nd
9.2	Impacto	18,5	10,7	nd	nd	nd	nd
13.4	2B710	15,9	14,7	1,13	nd	nd	nd

*Não detectada. Zea: zearalenona

Apesar das baixas incidências de *Aspergillus* spp. (ALMEIDA et al., 2000; DILKIN et al., 2000; KUMAR et al., 2008), observadas em todos os híbridos avaliados, nos dois períodos de cultivo, os grãos de milho contaminados pelo patógeno constituem o inóculo inicial (MILLER, 1995; RESNIK et al., 1996; REID et al., 1999; NESCI et al., 2003). Isso indica o potencial do gênero *Aspergillus* para causar danos aos grãos de milho, quando armazenados, caso o patógeno encontre condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento, sobretudo em situações nas quais o processo de secagem for ineficiente (RADÜNZ et al., 2006; KUMAR et al., 2008).

Bankole e Adebanjo (2003) afirmam que a antecipação da colheita contribui para reduzir o nível de contaminações por micotoxinas, sobretudo, as aflatoxinas. Dessa forma, em relação aos fungos do gênero *Aspergillus*, deve-se proceder a secagem criteriosa e imediata dos grãos de milho recém-colhidos, até a umidade segura de armazenamento (BROOKER et al., 1992; BANKOLE e ADEBANJO, 2003; PALACIN et al., 2006 RADÜNZ et al., 2006),

por se tratar de fungos que apresentam habilidade de colonizar substratos com baixa umidade, sendo, assim, considerados fungos de pós-colheita ou de armazenamento (SANTIN et al., 2004).

4.8. Viabilidade econômica

Na análise econômica, buscou-se confrontar os valores médios cobrados dos agricultores, na ocasião em que estes entregam seus produtos nas unidades de recebimento de produtos agrícolas. Ou seja, os valores médios praticados pelo mercado agrícola regional, a fim de se determinar a viabilidade econômica da antecipação da colheita dos grãos de milho.

De modo geral, o custo médio de secagem, cobrado do agricultor, foi de R\$ 1,00 por cada saca de 60kg (14,0% de umidade), em ambos os períodos estudados. Adicionalmente, nas umidades de colheita superiores a 24,0%, foi acrescida uma sobretaxa de 3,0% sobre a massa de produto úmido. Esse custo adicional de secagem pode ser fixo, como no caso presente, ou progressivo, isso depende da unidade de recebimento e do mercado agrícola regional, isto é, funciona como um instrumento de concorrência de mercado.

Com base nas informações obtidas na Fazenda Renascer e no mercado agrícola regional, foi possível realizar uma análise econômica (Quadros 12 e 13), por meio de equações matemáticas simples, estabelecendo a viabilidade econômica da antecipação da colheita dos grãos de milho, em função da variação da massa seca acumulada nos grãos (Quadros 7 e 8).

No período da “Safrinha” de 2007, devido à disponibilidade da colhedora, foi possível iniciar as coletas de amostras antes da maturidade fisiológica dos grãos dos híbridos de milho estudados (Quadro 5). Na ocasião, a maturidade fisiológica foi identificada quando os grãos de milho apresentavam umidade próximas de 25,5%, para os três híbridos (Quadro 5), coincidindo com o máximo acúmulo de massa seca (Figura 5).

Observou-se, também, que para os três híbridos estudados na “Safrinha” de 2007, as maiores rendas brutas por área de produção, isto é, os valores máximos recebidos pela massa de produto seco (14,0% de umidade) por unidade de área, seriam obtidos se os grãos de milho fossem colhidos com

24,0% de umidade, coincidindo com o teor de umidade limite, isento do adicional de secagem (Quadro 12).

Por sua vez, na safra de “Verão” de 2007/2008, como foi mencionado anteriormente, o atraso da colheita permitiu a identificação do momento em que ocorreu a maturidade fisiológica, somente no híbrido 2B710 (Quadro 6). Dessa forma, somente foi possível detectar o máximo acúmulo de massa seca nos grãos de milho do híbrido em questão, sendo que, na ocasião, os mesmos apresentavam teor de umidade de 25,5% (Figura 6). Todavia, observou-se que, de forma análoga ao que ocorreu na “Safrinha”, para o híbrido 2B710, os valores máximos das rendas, bruta e líquida, seriam obtidos com a umidade de 24,0% (Quadro 13).

No caso do híbrido 2B707, como não houve redução significativa ($p > 0,05$) da massa seca acumulada nos grãos de milho (Figura 6), o retorno financeiro seria influenciado, sobretudo, pelo desconto de umidade dos grãos, sendo que, obviamente, este seria menor. Dessa forma, concluiu-se que a maior renda líquida seria obtida com a umidade de 19,0% (Quadro 13). Enquanto que, no caso do híbrido Impacto, mesmo não tendo sido possível a identificação do ponto de máximo acúmulo de massa seca (Figura 6), observou-se que o melhor retorno financeiro seria obtido, também, com a umidade de 24% (Quadro 13).

Desse modo, a perda de massa seca acumulada nos grãos, em função da redução do teor de umidade nos grãos de milho, foi o fator determinante na decisão do momento ideal de colheita dos grãos, nos dois períodos de cultivo estudados (Quadros 12 e 13), exceto para o híbrido 2B707 (Quadro 13). Tais fatos demonstram que, embora os valores máximos de massa seca dos grãos de milho tenham ocorrido com umidades próximas de 25,5% (Figuras 5 e 6), a incidência do custo adicional de secagem sobre o produto úmido torna a umidade de 24,0% a mais atraente do ponto de vista financeiro (Quadros 12 e 13), para realização da colheita dos grãos de milho, no caso em que o agricultor não disponha de sistema de secagem na fazenda.

Quadro 12 – Análise econômica da colheita antecipada de grãos dos híbridos de milho 2B587, 2B688 e 2B710, na “Safrinha” de 2007

Híbridos	U (%)	MPU (kg ha ⁻¹)	IM (kg ha ⁻¹)	UM ¹ (kg ha ⁻¹)	MPS ² (kg ha ⁻¹)	CS ³ (R\$ ha ⁻¹)	AS ⁴ (R\$ ha ⁻¹)	CP ⁵ (R\$ ha ⁻¹)	RB ⁶ (R\$ ha ⁻¹)	RL ⁷ (R\$ ha ⁻¹)	V _{RL} (%)		
2B587	A	33,1	8.248,9	121,95	2.184,52	6.064,4	137,48	77,0	214,44	2.425,75	2.211,31	-13,45	
		28,2	8.232,0	34,82	1.660,76	6.571,3	137,20	82,5	219,70	2.628,51	2.408,81	-5,72	
		25,8	8.054,8	35,34	1.348,07	6.706,7	134,25	83,4	217,69	2.682,68	2.464,99	-3,52	
		21,0	7.362,9	42,55	756,92	6.606,0	122,71	0,0	122,71	2.642,38	2.519,67	-1,38	
		16,0	6.586,6	78,14	231,05	6.355,5	109,78	0,0	109,78	2.542,22	2.432,44	-4,79	
	B	24,0	7.834,8	22,96	1.121,00	6.713,8	130,58	0,0	130,58	2.685,52	2.554,94	0,00	
	C	18,0	6.942,1	53,35	421,59	6.520,6	115,70	0,0	115,70	2.608,22	2.492,52	-2,44	
	2B688	A	31,9	8.162,3	60,09	2.056,34	6.105,9	136,04	77,5	213,57	2.442,38	2.228,81	-10,95
			28,4	8.034,9	41,98	1.639,35	6.395,6	133,92	80,3	214,20	2.558,23	2.344,03	-6,34
23,9			7.622,6	60,75	1.076,06	6.546,6	127,04	0,0	127,04	2.618,63	2.491,59	-0,45	
20,1			7.154,6	48,58	640,25	6.514,4	119,24	0,0	119,24	2.605,74	2.486,50	-0,65	
16,5			6.361,2	72,88	260,34	6.100,8	106,02	0,0	106,02	2.440,34	2.334,32	-6,73	
B		24,0	7.670,1	50,29	1.093,44	6.576,6	127,83	0,0	127,83	2.630,65	2.502,81	0,00	
C	18,0	6.694,2	64,79	405,72	6.288,5	111,57	0,0	111,57	2.515,40	2.403,83	-3,96		
2B710	A	31,6	9.291,3	200,01	2.273,74	7.017,6	154,86	88,7	243,55	2.807,04	2.563,49	-7,51	
		28,4	9.088,7	138,11	1.835,76	7.252,9	151,48	90,8	242,26	2.901,16	2.658,90	-4,07	
		24,7	8.578,3	105,94	1.294,58	7.283,7	142,97	90,1	233,07	2.913,49	2.680,42	-3,29	
		20,9	8.044,2	102,34	810,07	7.234,1	134,07	0,0	134,07	2.893,65	2.759,58	-0,43	
		17,3	7.444,2	87,19	371,53	7.072,7	124,07	0,0	124,07	2.829,07	2.705,00	-2,40	
	B	24,0	8.485,3	104,21	1.202,68	7.282,6	141,42	0,0	141,42	2.913,03	2.771,61	0,00	
	C	18,0	7.562,0	90,65	457,25	7.104,7	126,03	0,0	126,03	2.841,90	2.715,86	-2,01	

1: Desconto progressivo, em função da umidade de entrega; 2: Quantidade de produto disponível ao agricultor para comercialização, com umidade de 14,0%; 3: Tarifa de secagem fixa de R\$ 1,00 por saca de 60kg, sobre a massa de produto úmido; 4: Adicional de secagem de 3,0% sobre a massa de produto úmido, quando este apresentar umidade > 24,0%; 5: Valor total da limpeza e da secagem cobrado do agricultor; 6: Valor de comercialização da quantidade de produto seco (preço pago ao agricultor R\$ 24,00 por saca de 60kg); 7: Valor recebido pelo agricultor após desconto do custo de processamento; A: umidades de colheita experimentais; B: umidade máxima isenta de adicional de secagem; C: umidade de colheita real; U: umidade; MPU: massa produto úmido; IM: desconto de impurezas; UM: desconto de umidade; MPS: massa de produto seco; CS: custo de secagem; AS: adicional de secagem; CP: custo de processamento; RB: renda bruta; RL: renda líquida; V_{RL}: variação da renda líquida.

Por outro lado, do ponto de vista agrônomo, de acordo com os resultados apresentados neste trabalho, o momento em que os grãos de milho dos híbridos estudados apresentaram a máxima qualidade física e sanitária, variou entre os teores de umidade de 22,0% e de 26,0%, salvo o híbrido Impacto, cuja umidade máxima avaliada foi de 23,9% (Quadro 13). Isso demonstra que na situação do presente estudo, a recomendação brasileira oficial de colheita dos grãos de milho com umidades inferiores à 20,0% (EMBRAPA, 2007), é inadequada. Assim sendo, faz-se necessária a revisão dos valores de umidade estabelecidos para a colheita de milho, por parte de tal instituição oficial, tendo em vista, o acelerado avanço tecnológico que, nas últimas décadas, tem sido observado em máquinas colhedoras, sistemas de limpeza e de secagem de produtos agrícolas, e, principalmente, no melhoramento genético de híbridos comerciais de milho. Além disso, o ponto ótimo de colheita, na Safrinha, foi determinado pela incidência do custo adicional de secagem de 3,0% sobre a massa de produto com umidade superior a 24,0%, uma clara demonstração de sistemas de secagem ineficientes no mercado. Mesmo assim, o produtor submetido a esses critérios de mercado beneficiar-se-ia mais se tais custos fossem incidentes em milho com mais de 25,5% de umidade, pois, dessa forma, teria maior quantidade de massa seca disponível para comercialização.

Quadro 13 – Análise econômica da colheita antecipada de grãos dos híbridos de milho 2B707, 2B710 e Impacto, na safra de “Verão” de 2007/2008

Híbridos	U (%)	MPU (kg ha ⁻¹)	IM (kg ha ⁻¹)	UM ¹ (kg ha ⁻¹)	MPS ² (kg ha ⁻¹)	CS ³ (R\$ ha ⁻¹)	AS ⁴ (R\$ ha ⁻¹)	CP ⁵ (R\$ ha ⁻¹)	RB ⁶ (R\$ ha ⁻¹)	RL ⁷ (R\$ ha ⁻¹)	V _{RL} (%)		
2B707		26,2	11.036,9	174,79	1.892,18	9.144,7	183,95	92,3	276,29	2.972,03	2.695,75	-4,68	
	A		23,2	10.526,3	209,20	1.361,85	9.164,4	175,44	0,0	175,44	2.978,43	2.802,99	-0,89
			19,0	9.923,7	197,34	712,94	9.210,7	165,39	0,0	165,39	2.993,48	2.828,09	0,00
			15,9	9.465,1	246,24	316,21	9.148,9	157,75	0,0	157,75	2.973,39	2.815,64	-0,44
			15,0	9.357,5	242,87	203,26	9.154,3	155,96	0,0	155,96	2.975,13	2.819,18	-0,32
		B	24,0	10.566,6	189,14	1.475,67	9.090,9	176,11	0,0	176,11	2.954,54	2.778,43	-1,76
C	25,0	10.707,4	182,03	1.655,65	9.051,8	178,46	91,0	269,50	2.941,83	2.672,33	-5,51		
2B710		28,7	11.593,4	209,97	2.376,86	9.216,6	193,22	93,8	286,98	2.995,38	2.708,40	-5,96	
	A		24,8	11.080,5	211,65	1.677,06	9.403,4	184,67	94,5	279,19	3.056,11	2.776,93	-3,58
			21,1	10.381,0	201,14	1.067,86	9.313,1	173,02	0,0	173,02	3.026,76	2.853,74	-0,91
			17,1	9.552,1	197,75	450,88	9.101,2	159,20	0,0	159,20	2.957,89	2.798,69	-2,82
			15,9	9.144,0	199,11	306,81	8.837,2	152,40	0,0	152,40	2.872,10	2.719,70	-5,57
		B	24,0	10.950,5	210,25	1.527,26	9.423,2	182,51	0,0	182,51	3.062,55	2.880,04	0,00
C	25,0	11.114,0	210,06	1.715,20	9.398,9	185,23	94,5	279,74	3.054,63	2.774,89	-3,65		
Impacto		23,9	10.400,5	112,73	1.463,95	8.936,5	173,34	0,0	173,34	2.904,38	2.731,03	-0,08	
	A		21,5	9.931,0	114,86	1.088,61	8.842,4	165,52	0,0	165,52	2.873,76	2.708,25	-0,91
			18,5	9.432,4	128,37	627,09	8.805,3	157,21	0,0	157,21	2.861,73	2.704,52	-1,05
			16,1	9.112,8	228,07	326,07	8.786,7	151,88	0,0	151,88	2.855,69	2.703,81	-1,07
			14,8	8.860,2	279,91	167,32	8.692,9	147,67	0,0	147,67	2.825,19	2.677,52	-2,03
		B	24,0	10.405,7	120,71	1.462,53	8.943,2	173,43	0,0	173,43	2.906,55	2.733,12	0,00
C	25,0	10.571,9	143,78	1.640,34	8.931,6	176,20	89,9	266,09	2.902,76	2.636,67	-3,53		

1: Desconto progressivo, em função da umidade de entrega; 2: Quantidade de produto disponível ao agricultor para comercialização, com umidade de 14,0%; 3: Tarifa de secagem fixa de R\$ 1,00 por saca de 60kg, sobre a massa de produto úmido; 4: Adicional de secagem de 3,0% sobre a massa de produto úmido, quando este apresentar umidade > 24,0%; 5: Valor total da limpeza e da secagem cobrado do agricultor; 6: Valor de comercialização da quantidade de produto seco (preço pago ao agricultor R\$ 19,50 por saca de 60kg); 7: Valor recebido pelo agricultor após desconto do custo de processamento; A: umidades de colheita experimentais; B: umidade máxima isenta de adicional de secagem; C: umidade de colheita real; U: umidade; MPU: massa produto úmido; IM: desconto de impurezas; UM: desconto de umidade; MPS: massa de produto seco; CS: custo de secagem; AS: adicional de secagem; CP: custo de processamento; RB: renda bruta; RL: renda líquida; V_{RL}: variação da renda líquida.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido o presente estudo, concluiu-se que:

1. A observação da linha de solidificação do endosperma se mostrou adequada e de fácil detecção da maturidade fisiológica dos grãos de milho, ao contrário da camada negra.
2. O acúmulo de massa seca nos grãos de milho foi máximo na maturidade fisiológica, sendo que o teor de umidade variou em função dos híbridos e das condições ambientais. Além disso, houve redução da massa seca dos grãos com o atraso da colheita.
3. O atraso na colheita resultou em elevação das massas específicas aparente e real e redução da porosidade da massa de grãos, em função da redução do volume individual dos grãos, ocasionado pela redução do teor de umidade dos mesmos.
4. Os percentuais do conjunto de impurezas, de matérias estranhas e de fragmentos de grãos foram maiores nos teores mais elevados de umidade de colheita. Enquanto que os percentuais do conjunto de grãos avariados, de chochos e de ardidos foram menores, independente do híbrido e do período avaliado. Os percentuais de grãos carunchados se elevaram linearmente com a redução da umidade nos grãos de milho, em todos os híbridos, nos dois períodos de avaliação.
5. Os danos mecânicos na forma de trincas e de fragmentação dos grãos de milho se elevaram com a redução da umidade de colheita, independente da textura dos grãos. Enquanto que o percentual de danos mecânicos, decorrentes da ruptura do pericarpo com exposição do endosperma, teve os valores reduzidos, independente da textura dos grãos.

6. Na avaliação da qualidade sanitária dos grãos de milho, os fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* se comportaram de maneira diferenciada, em função dos teores de umidade nos grãos de milho. Embora a ocorrência do gênero *Aspergillus* tenha sido baixa, a produção de aflatoxinas ocorreu nos grãos presos às espigas, ainda no campo, devido às condições ambientais favoráveis aos patógenos.

7. A faixa de umidade entre 22,0% e 26,0% proporcionou a melhor qualidade física e sanitária dos grãos de milho, enquanto que o melhor retorno financeiro foi proporcionado pela colheita dos grãos de milho com teor de umidade de 24,0%.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFUAKWA, J.J.; CROOKSTON, R.W. Use the kernel milk line to visually monitor grain maturity in maize. **Crop Science**, Madison , v.24, n.4, p.687-691, 1984.

ALMEIDA, A.P.; CORREA, B.; MALLOZZI, M.A.B. Mycoflora and aflatoxin/fumonisin production by fungal isolates from freshly harvested corn hybrids. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.31, n.4, p.321-326, 2000.

ALVES, W.M.; FARONI, L.R.A.; CORRÊA, P.C.; QUEIROZ, D.M.; TEIXEIRA, M.M. Influência dos teores de umidade de colheita na qualidade do milho (*Zea mays* L.) durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.26, n.2, p.40-45, 2001a.

ALVES, W.M.; FARONI, L.R.A.; QUEIROZ, D.M.; CORRÊA, P.C.; GALVÃO, J.C.C. Qualidade dos grãos de milho em função da umidade de colheita e da temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.469-474, 2001b.

AMARAL; K.A.S.; MACHINSKI JÚNIOR, M. Métodos analíticos para a determinação de aflatoxinas em milho e seus derivados: uma revisão. **Revista Analytica**, São Paulo, n.24, p.60-62, 2006.

ANDRADE, A.N. Micotoxinas: importância na alimentação. **Revista Brasileira de Cancerologia**, Rio de Janeiro, v.50, n.2, p.161-163, 2004.

ANDRADE, E.T.; CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; ALVARENGA, E.M. Avaliação de dano mecânico em sementes de feijão por meio de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.54-60, 1999.

ANDRADE, F.H.; FERREIRO, M.A. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.155–165, 1996.

AOAC INTERNATIONAL. Official methods of analysis of International Chemistry Society. 16th Editions. 4th version. **AOAC**, Arlington, 1998 (Software Adobe and E-DOC/CJS).

ARAÚJO, E.F.; ARAÚJO, R.F.; SOFIATTI, V.; SILVA, R.F. Maturação de sementes de milho-doce: grupo super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.28, n.2, p.69-76, 2006.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.

ASAE Standards. Standards, engineering practices and data developed and adopted by the American Society of Agricultural Engineers. 1987. 34 ed., **ASAE Standards**, St. Joseph, 1987, p.339.

BANKOLE, S.A.; ADEBANJO, A. Mycotoxins in food in West Africa: current situation and possibilities of controlling it. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.2, n.9, p.254-263, 2003.

BENNETT, G.A.; ANDERSON, R.A. Distribution of aflatoxin and/or zearalenone in wet-milled corn products: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v.26, n.5, p.1055-1060, 1978.

BORBA, C.S.; ANDRADE, R.V.; AZEVEDO, J.T; OLIVEIRA, A.C. Maturidade fisiológica de sementes do híbrido simples BR 201 de milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.16, n.1, p.63-67, 1994.

BORRÁS, L.; OTEGUI, M.E., Maize kernel weight response to post-flowering source–sink ratio. **Crop Science**, Madison, v.49, p.1816–1822, 2001.

BORRÁS, L.; MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.82, p.13–26, 2003.

BORRÁS, L.; SLAFER, G.A.; OTEGUI, M.E. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.86, p.131–146, 2004.

BORRÁS, L.; WESTGATE, M.E. Predicting maize kernel sink capacity early in development. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.95, p.223–233, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria N^o. 845 de 08 de novembro de 1976 – especificações para a padronização, classificação e comercialização interna de milho. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992, 365p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria n^o. 11, de 12 de abril de 1996. Uniformização dos critérios para classificação do milho (*Zea mays* L.) para o Mercado interno. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1996.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n^o 274, de 15 de outubro de 2002, Limites máximos de aflatoxinas admissíveis no leite, no amendoim, no milho. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2002.

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

BRUNS, H.A.; ABBAS, H.K. Effects of harvest date on maize in the humid subtropical mid-south USA. **Maydica**, Bergamo, v.49, p.1-7, 2004.

CALDERINI, D.F.; ABELEDO, L.G.; SLAFER, G.A. Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, p.895–901, 2000.

CARNEIRO, L.M.T.A.; BIAGI, J.D.; FREITAS, J.G.; CARNEIRO, M.C.; FELÍCIO, J.C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.127-137, 2005.

CHAMMA, H.M.C.P.; MARCOS FILHO, J.; CROCOMO, O.J. Maturation of seeds of 'Aroana' beans and its influence on storage potential. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.18, n.2, p.371-382, 1990.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and kernel weight in maize. **Crop Science**, Madison, v.36, p.325–331, 1996.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos – intenção de plantio, primeiro levantamento, outubro 2008**. Brasília: CONAB, 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14 out. 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Tabela de tarifas para unidades armazenadoras de ambiente natural da Conab**. Brasília: CONAB, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 04 jan. 2009.

CORRÊA, B. Fungos toxigênicos: panorama nacional. In: Scussel, V.M. (Ed.). **Atualidades em micotoxinas e armazenagem de grãos**. Encontro Nacional de Micotoxinas e Simpósio de Armazenamento Qualitativas de Grãos do Mercosul, 9., 1998, Florianópolis: Vildes M. Scussel, p.162-168, 2000.

CORRÊA, P.C.; RIBEIRO, D.M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F.M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.665–670, 2006.

COUTO, S.M.; MAGALHÃES, A.C.; QUEIROZ, D.M.; BASTOS, I.T.; Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.61-68, 1999.

DALPASQUALE, V.A. **Fluxo de ar ideal para secagem de milho com ar ambiente, no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. Resumos... Viçosa: SBEA, p.404, 1995.

DALPASQUALE, V.A. Post-harvesting corn losses indexes in a storage unit: A case study. In: LORINI, I.; BACALTCHUK, B.; BECKEL, H.; DECKERS, D.; SUNDFELD, E.; SANTOS, J.P.; BIAGI, J.D.; CELARO, J.C.; FARONI, L.R.D'A.; BORTOLINI, L.O.F.; SARTORI, M.R.; ELIAS, M.C.; GUEDES, R.N.C.; FONSECA, R.G.; SCUSSEL, V.M. (Eds.). **Proceedings of the 9th international working conference on stored product protection**. Campinas: ABRAPÓS, 15 a 18 out., p.64-70, 2006.

DAYNARD, T.B.; DUNCAN, W.G. The black layer and grain maturity in corn. **Crop Science**, Madison, v.9, n.4, p.473-476, 1969.

DELOUCHE, J.C. Seed maturation. In: **Handbook of seed technology**. State College: Mississippi State University, p.17-21, 1971.

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

EGLI, D.B.; TEKRONY, D.M. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. **Seed Science Research**, Cambridge, v.21, p.289-294, 1997.

EMBRAPA. – Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. **Sistemas de Produção Nº. 2: Milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA. 3ª ed. Set/2007. Documento eletrônico. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/>>. Acesso em: 26 dez. 2008.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; MONIZ, E.A.L.; OLIVEIRA, A.L.F. Avaliação da Maturação de grãos de milho através da linha do leite para aplicação de dessecantes químicos. **Bragantia**, Campinas, v.53, n.2, p.209-218, 1994.

FALABELLA, F.; PLANELLA, M.T.; TYKOT, R.H. El maíz (*Zea mays*) en el mundo prehispánico de Chile Central. **Latin American Antiquity**, Washington, DC, v.19, n.1, p.25-46, 2008.

FARIA, M.A.V.R.; VON PINHO, R.G.; RESENDE-VON PINHO, E.V.; GUIMARÃES, R.M.; FREITAS, F.E.O. Qualidade fisiológica de sementes de milho colhidas em diferentes estádios de "linha de leite". **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.1, n.1, p.93-104, 2002.

FARIAS, A.X.; ROBBS, C.F.; BITTENCOURT, A.M.; ANDERSEN, P.M.; CORRÊA, T.B.S. Contaminação endógena por *Aspergillus* spp. em milho pós-colheita no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.617-621, 2000.

FARONI, L.R.D. Manejo das pragas dos grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.17, n.1-2, p.36-43, 1992.

FREITAS, V.P.S.; BADOLATO, M.I.C. Incidência de aflatoxinas em paçocas e amendoim consumidas na cidade de Campinas, Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v.52, n.1/2, p.83-87, 1992.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**, 10^a ed., Piracicaba: FEALQ, 2002, p.839-840, 895.

GOTTARDO, F.A.; CESTARI JÚNIOR, H. Viabilidade econômico-financeira de implantação de um sistema de armazenagem de grãos: um estudo de caso em uma média propriedade rural em Campo Mourão – PR. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v.1,n.1, p.55-76, 2008.

HILL, L.D. Grain quality grading and classification. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.36, p.491–494, 1991.

HOSENEY, R.C. **Principles of cereal science and technology: a general reference on cereal foods**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986, 327p.

HUNTER, J.L.; TEKRONY, D.M.; MILES, D.F.; EGLI, D.B. Corn maturity indicators and their relationship to uptake of Carbon-14 assimilate. **Crop Science**, Madison, v.31, n.5, p.1309-1313, 1991.

HUSSEIN, S.H.; BRASEL, J.M. Toxicity, metabolism and impact of micotoxins on humans e animals. **Toxicology**, Ireland, v.167, n.2, p.101-134, 2001.

JORGE, M.H.A.; CARVALHO, M.L.M.; RESENDE-VON PINHO, E.V.; OLIVEIRA, J.A. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho colhidas e secas em espigas. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.679-686, 2005.

KIKUTI, A.L.P.; VASCONCELOS, R.C.; MARINCEK, A.; FONSECA, A.H. Desempenho de sementes de milho em relação à sua localização na espiga. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.4, p.765-770, 2003.

KOÇ, B.; EREN, I.; ERTEKIN, F.K. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. **Journal of Food Engineering**, Madison, v.85, p.340-349, 2008.

KUIPER-GOODMAN, T.; SCOTT, P.M.; WATANABE, H. Risk assessment of the mycotoxin zearalenone. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, Madison, v.7, p.253-306, 1987.

KUMAR, V.; BASU, M.S.; RAJENDRAN, T.P. Mycotoxin research and mycoflora in some commercially important agricultural commodities. **Crop Protection**, Amsterdam, v.27, p.891–905, 2008.

MALAIYANDI, M.; BARRETTE, J.P.; WAVROCK, P.L. Bis-diazotized benzidine as a spray reagent for detecting zearalenone on thin layer chromatoplates. **Journal Association of Official Analytical Chemists**, Washington, v.59, n.5, p.959-962, 1976.

MARCHI, J.L.; MENTEN, J.O.M.; MORAES, M.H.D.; CÍCERO, S.M. Relação entre danos mecânicos, tratamento fungicida e incidência de patógenos em sementes de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.5, n.3, p.351-358, 2006.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005, 495p.

MARIN, S.; SANCHIS, V.; SAENZ, R.; RAMOS, A.J.; VINAS, I.; MAGAN, N. Environmental-factors, in-vitro interactions, and niche overlap between *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum*, and *F. graminearum*, *Aspergillus* and *Penicillium* species from maize grain. **Mycological Research**, Cambridge, v.102, p.831–837, 1998.

MARTINEZ, A.G.; BRONZATTI, L.S. Padrões de qualidade para grãos. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (Ed.). **Armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Bio Geneziz, cap.12.1, p.889-897, 2002.

MARTINS-NETTO, D.A.; BORBA, C.S.; OLIVEIRA, A.C.; AZAVEDO, J.T.; ANDRADE, R.V. Efeito de diferentes graus de dano mecânico na qualidade fisiológica de sementes de sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1475-1480, 1999.

MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Physical characteristics of dehydrated potatoes – part I. **Journal of Food Engineering**, London, v.33, n.1-2, p.37-48, 1997.

MEDEIROS FILHO, S.; PAIVA, L.E.; FRAGA, A.C. Efeito da colheita mecânica, beneficiamento e condições de armazenamento sobre o desempenho de sementes de milho no campo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.1, p.45-51, 2002.

MILLER, J.D. Fungi and mycotoxins in grain: implications for stored product research. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v.31, n.1, p.1-16, 1995.

MOREIRA, S.M.C; CHAVES, M.A.; OLIVEIRA, L.M. Comparação da eficiência de líquidos na determinação da massa específica aparente de grãos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.9, n.1 e 2, p.22-24, 1985.

NESCI, A.; RODRIGUEZ, M.; ETCHEVERRY, M. Control of *Aspergillus* growth and aflatoxin production using antioxidants at different conditions of water activity and pH. **Journal of Applied Microbiology**, Northern Ireland, v.95, p.279–287, 2003.

OLIVEIRA, M.S.; PRADO, G.; ABRANTES, F.M.; SANTOS, L.G.; VELOSO, T. Incidência de aflatoxinas, desoxinivalenol e zearalenona em produtos comercializados em cidades do estado de Minas Gerais no período de 1998 – 2000. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v.61, n.1, p.1-6, 2002.

OTA, M.M.; TOSCHI, C.C.; OLIVEIRA, S.S.C.; ANTONIAZZI, N. Exigências do Mercado consumidor. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (Eds.). **Armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Bio Geneziz, cap.12.2, p.889-959, 2002.

PAIVA, L.E.; MEDEIROS FILHO, S.; FRAGA, A.C. Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: efeitos sobre danos mecânicos e qualidade fisiológica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.4, p.846-856, 2000.

PALACIN, J.J.F.; LACERDA FILHO, A.F.; CECON, P.R.; MONTES, E.J.M. Determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico de milho (*Zea mays* L.) nas espigas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.31, n.2, p.197-205, 2006.

PINTO, T.L.F.; CICERO, S.M.; FORTI, V.A. Avaliação de danos por umidade, em sementes de soja, utilizando a técnica da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.29, n.3, p.31-38, 2007.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986, 604p.

RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; ELIAS, M.C.; BARBOSA, F.F. Influência do método de armazenamento na qualidade física e biológica de grãos de milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.31, n.2, p.136-143, 2006.

RAJCAN, I; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.60, p.245-253, 1999.

REID, L.M., NICOL, R.W., OUELLET, T., SAVARD, M., MILLER, J.D., YOUNG, J.C., ATEWART, D.W.; SCHAAFSMA, A.W. Interaction of *Fusarium graminearum* and *F. moniliforme* in maize ears: disease progress, fungal biomass, and mycotoxin accumulation. **Phytopathology**, New York, v.89, p.1028-1037, 1999.

RESNIK, S.; NEIRA, S.; PACIN, A.; MARTINEZ, E.; APRO, N.; LATREITE, S. A survey of the natural occurrence of aflatoxins and zearalenone in Argentina field

maize 1983–1994. **Food Additives and Contaminants**, Oxford, v.13, p.115–120, 1996.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Special Report n. 48. Ames: **Iowa State University of Science and Technology**. Cooperative Extension Service, 1993.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; MANTOVANI, B.H.M.; SILVA, J.N. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade de milho pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.45-48, 1999.

RUFFATO, S.; COUTO, S.M.; QUEIROZ, D.M. Módulo de elasticidade de grãos de milho submetidos a impactos mecânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.101-106, 2001.

SAINI, H.S.; WESTGATE, M.E. Reproductive development in grain crops during drought. **Advances in Agronomy**, Newark, v.68, p.59–96, 2000.

SANTIN, E.; MAIORKA, A.; ZANELLA, I.; MAGON, L. Micotoxinas do *Fusarium* spp. na avicultura comercial. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.1, p.185-190, 2000.

SANTIN, J.A.; REIS, E.M.; MATSUMURA, A.T.S.; MORAES, M.G. Efeito do retardamento da colheita de milho na incidência de grãos ardidos e de fungos patogênicos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.3, n.2, p.182-192, 2004.

SILVA, J.S.; DONZELES, S.M.L.; AFONSO, A.D.L. Qualidade de grãos. In: SILVA, J.S. (Ed.). **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, p.55-104, 1995a.

SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; GUIMARÃES, A.C. Estudos dos métodos de secagem. In: SILVA, J.S. (Ed.). **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, p.105-143, 1995b.

SILVA, R.P.; LOGUERCIO, L.L.; PAIVA, E. Caracterização dos padrões protéicos do endosperma do milho e sua relação com a estrutura física do grão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.3, p.567-575, 2000.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; MONTEIRO, R.O.C.; BUZETTI, S. Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.445-452, 2007.

SILVA, J.O.; CÂNDIDO, L.M.B.; NOVELLO, D.; MACHADO, C. Ocorrência de aflatoxinas em arroz consumido por militares do Exército Brasileiro por

cromatografia em camada delgada e cromatografia líquida de alta eficiência. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.4, p.1238-1244, 2008.

SILVEIRA, S.F.R.; SILVA, J.S.; PINTO, F.A.C. Custos de secagem. In: SILVA, J.S. (Ed.). **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, p.199-229, 1995.

SINGH, S.S.; FINNER, M.F. A centrifugal impacter for damage susceptibility evaluation of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.6, p.1858-1863, 1993.

SINHA, K.K.; SINHA, A.K. Impact of stored grain pests on seed deterioration and aflatoxin contamination in maize. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v.28, n.3, p.211-219, 1991.

SOARES, L.M.V.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Survey of aflatoxins, ochratoxin A, zearalenone, and sterigmatocystin in some Brazilian foods by using multi-toxin thin-layer chromatographic method. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, Arlington, v.72, n.1, p.22-29, 1989.

STONE, P.J.; SORENSEN, I.B.; JAMIESON, P.D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperate climate. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.63, p.169-178, 1999

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: Eliane Romanato Santarém et al. Porto Alegre: ARTMED, 3ª ed., cap.11, p.251-284, 2004.

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

TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Accumulation of seed vigour during development and maturation. In: ELLIS, R.H.; BLACK, M.; MURDOCH, A.J. (Eds.). **Proceedings of the fifth international workshop on seeds**. Reading, p.369-384, 1997.

TOLERA, A.; SUNDSTØL, F.; SAID, A.N. The effect of stage of maturity on yield and quality of maize grain and stover. **Animal Feed Science and Technology**, Madison, v.75, p.157-168, 1998.

TOLLENAAR, M.; LEE, E.A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.75, p.161-169, 2002.

TRENTO, S.M.; IRGANG, H.; REIS, E.M. Efeito de rotação de culturas, de monocultura e de densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v.27, n.4, p.609-613, 2002.

VIEIRA, R.D.; MINOHARA, L.; CARVALHO, N.M.; BERGAMASCHI, M.C.M. Relationship of black layer and milk line development on maize seed maturity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.1, p.142-147, 1995.

VOĆA N.; KRIČKA, T.; MATIN, A.; JANUŠIĆ, V.; JUKIĆ, Ž.; KIŠEVIĆ, M. Activation energy of water release rate from corn kernel during convective drying. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, Zagreb, v.72, n.3, p.199-204, 2007.

VYN, T.J.; TOLLENAAR, M. Changes in chemical and physical quality parameters of maize grain during three decades of yield improvement. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.59, p.135-140, 1998.

APÊNDICE

Equações matemáticas complementares:

1. Variação percentual da massa seca acumulada nos grãos de milho:

$$V_{MS} = \left[\left(\frac{MS}{MS_{máx}} \right) * 100 \right] - 100$$

Em que:

V_{MS} : variação percentual da massa seca dos grãos (%);

MS : massa seca dos grãos (g grão^{-1});

$MS_{máx}$: máximo acúmulo de massa seca, em cada híbrido de milho (g grão^{-1}).

2. Massa seca volumétrica dos grãos de milho:

$$MS_{vol} = \rho a * \left(\frac{100 - UC}{100} \right)$$

Em que:

MS_{vol} : massa seca volumétrica (kg m^{-3});

ρa : massa específica aparente (kg m^{-3});

UC : umidade de colheita (%).

3. Número de grãos de milho por volume:

$$NG = \left[\frac{\left(\frac{MS_{vol} * 1000}{MS} \right)}{MS_{vol}} \right]$$

Em que:

NG : número de grãos (grãos dm^{-3}).

4. Produtividade de grãos de milho com umidade de 14,0%:

$$PROD = \left[\frac{(100 - UC_R)}{(100 - 14)} \right] * MPC$$

Em que:

$PROD$: produtividade, com umidade de 14,0% (kg ha^{-1});

MPC : massa de produto úmido, com umidade de colheita real (kg ha^{-1});

UC_R : umidade de colheita real (%).

5. Produtividade estimada em função da massa seca acumulada nos grãos de milho:

$$PROD_{MS} = \left[\frac{PROD}{(100 - |V_{MS}|)} \right] * 100$$

Em que:

$PROD_{MS}$: produtividade estimada em função da massa seca (kg ha^{-1});

$PROD$: produtividade, com umidade de 14,0% (kg ha^{-1});

V_{MS} : variação percentual da massa seca dos grãos (%).

6. Produtividade estimada na umidade de colheita experimental:

$$PROD_{UE} = PROD_{MS} * \left(\frac{V_{MS}}{100} \right) + PROD_{MS}$$

Em que:

$PROD_{UE}$: produtividade estimada em cada umidade experimental de colheita (kg ha^{-1});

$PROD_{MS}$: produtividade estimada no ponto de máximo acúmulo de massa seca (kg ha^{-1});

V_{MS} : variação percentual da massa seca dos grãos (%).

7. Massa de produto úmido, com umidade de colheita:

$$MPU = \left[\frac{(100 - 14)}{(100 - UC)} \right] * PROD_{UE}$$

Em que:

MPU : massa de produto úmido, com umidade de colheita (kg ha^{-1}).

8. Percentual de desconto de impurezas sobre o produto úmido:

$$IM = MPU * \left(\frac{\%IM}{100} \right)$$

Em que:

IM : desconto de impurezas sobre o produto úmido (kg ha^{-1});

$\%IM$: impurezas (impurezas, matérias estranhas e fragmentos de grãos < 4,76mm), (%).

9. Percentual de desconto de grãos avariados sobre o produto úmido:

$$AV = MPU * \left(\frac{\%AV}{100} \right)$$

Em que:

AV : desconto de grãos avariados sobre o produto úmido (kg ha⁻¹);

%AV : grãos avariados (avariados, ardidos, chochos) (%).

10. Percentual de desconto de umidade sobre o produto úmido:

$$UM = (MPU - IM - AV) * \left(\frac{TDU}{100} \right)$$

Em que:

UM : desconto de umidade sobre o produto úmido (kg ha⁻¹);

TDU : tarifa progressiva de desconto de umidade (%).

11. Massa de produto seco, com umidade de 14%:

$$MPS = MPU - UM$$

Em que:

MPS : massa de produto seco, com umidade de 14,0% (kg ha⁻¹).

12. Custo de secagem sobre o produto úmido:

$$CS = \left(\frac{MPU}{60} \right) * TS$$

Em que:

CS : custo de secagem sobre o produto úmido (R\$ ha⁻¹);

TS : tarifa de secagem (R\$ saca⁻¹).

13. Custo adicional de secagem sobre o produto úmido:

$$AS = \left[\frac{\left(\frac{100 - UC}{100 - 14} \right) * (MPU * 0,03)}{60} \right] * PC$$

Em que:

AS : custo adicional de secagem sobre o produto úmido entregue com umidade superior ao limite máximo estabelecido (R\$ ha⁻¹);

PC : preço de comercialização do produto, com umidade de 14,0% (R\$ $saca^{-1}$).

14. Custo de processamento do produto úmido:

$$CP = CS + AS$$

Em que:

CP : custo de processamento do produto (limpeza e secagem) (R\$ ha^{-1}).

15. Renda bruta da comercialização do produto seco, com umidade de 14,0%:

$$RB = \left(\frac{MPS}{60} \right) * PC$$

Em que:

RB : renda bruta da comercialização do produto seco, com umidade de 14,0% (R\$ ha^{-1}).

16. Renda líquida da comercialização do produto seco:

$$RL = RB - CP$$

Em que:

RL : renda líquida da comercialização do produto seco após desconto do custo de processamento (R\$ ha^{-1}).

17. Variação percentual da renda líquida:

$$V_{RL} = \left[\left(\frac{RL}{RL_{máx}} \right) * 100 \right] - 100$$

Em que:

V_{RL} : variação percentual da renda líquida (%);

$RL_{máx}$: renda líquida máxima, em cada híbrido de milho (R\$ ha^{-1}).