

**Renata Capanema Mussolini**

**Caracterização físico-química e rendimento da  
moagem úmida de quatro híbridos  
de milho**

São José do Rio Preto – SP

2009

**Renata Capanema Mussolini**

# Caracterização físico-química e rendimento da moagem úmida de quatro híbridos de milho

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Ciência e Tecnologia de Alimentos junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

**Orientador:** Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho

São José do Rio Preto – SP

2009

Mussolini, Renata Capanema.

Caracterização físico-química e rendimento da moagem úmida de quatro híbridos de milho / Renata Capanema Mussolini. - São José do Rio Preto : [s.n.], 2009.

58 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: José Francisco Lopes Filho  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Milho - Moagem úmida. 3. Milho - Maceração. 4. Milho - Caracterização. I. Lopes Filho, José Francisco. II. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU - 664.25

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE  
Campus de São José do Rio Preto - UNESP

**Renata Capanema Mussolini**

# Caracterização físico-química e rendimento da moagem úmida de quatro híbridos de milho

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Ciência e Tecnologia de Alimentos junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

## BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho  
Universidade Estadual Paulista – UNESP  
São José do Rio Preto – SP

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Silene Bruder Silveira Sarmiento  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”  
ESALQ - USP  
Piracicaba-SP

Elizeu Trabuco  
Universidade Estadual Paulista – UNESP  
São José do Rio Preto – SP

São José do Rio Preto, 19 de fevereiro de 2009

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço aos meus pais, irmãos e André Fernando pelo apoio que sempre recebi; ao meu querido orientador José Francisco, pela paciência e lições que me fizeram enxergar muito além do que pensava que era capaz; às alunas de graduação Tayana Martins e Fabiana Guarnieri pelo auxílio na caracterização físico-química do milho e a Beatriz Mariani pelas análises de proteína residual no amido; aos técnicos João Jesuíno e Newton, por toda ajuda que me forneceram no laboratório durante as moagens; à FAPESP pelo auxílio pesquisa concedido em 2006; à Aildson Pereira Duarte pelo fornecimento das amostras e apoio; aos amigos que fiz ao longo deste tempo, que me apoiaram e caminharam ao meu lado e, logicamente, agradeço a Deus, criador de tudo, pela oportunidade de conhecer pessoas tão maravilhosas que só acrescentaram novos conhecimentos e experiências em minha vida. Todas as pessoas que conheci estarão guardadas pra sempre, com muito amor e carinho, dentro do meu coração.

## RESUMO

Na moagem úmida obtêm-se frações do milho relativamente puras: germe, amido, fibra e glúten. A etapa mais importante do processo é a maceração, que consiste da imersão dos grãos em solução de ácido lático e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), à temperatura e pH controlados. As concentrações de ácido lático adicionado ou produzido durante a maceração e SO<sub>2</sub> adicionado, pH e temperatura da solução de maceração afetam diretamente o rendimento da moagem e podem ser variados e combinados para melhores resultados. Além das condições do processo, o tipo de grão e suas características físico-químicas influenciam no rendimento e qualidade dos subprodutos da moagem. Um problema comum no Brasil é o pré-julgamento dos grãos pela aparência, muitas vezes realizado sem critérios técnicos, causando a rejeição indevida do produto pelas indústrias moageiras. O objetivo desta pesquisa foi caracterizar físico-quimicamente, quatro híbridos e estudar a influência do tipo de grão nos rendimentos dos subprodutos da moagem úmida. Duas concentrações de ácido lático na solução de maceração também foram testadas: 0,55 e 1,00 %. Os híbridos de milho foram desenvolvidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e produzidos na região Sudoeste do estado de São Paulo. Os híbridos foram: Dow2b587 (aparência “dentada” ou “mole”), Somma (aparência vítrea, dura) e A2555 e 30F98, ambos com dureza aparentemente intermediária. As propriedades físicas analisadas foram o tamanho dos grãos, esfericidade, diâmetro geométrico, massa de cem grãos, porosidade, porcentagem de grãos boiantes e peso volumétrico. Por meio de análises de composição centesimal, determinou-se a constituição química dos grãos. Testes de moagem úmida foram realizados para cada tipo de milho, os quais foram macerados em duas concentrações de ácido lático. As características apresentaram-se dentro de valores esperados. Diferenciaram-se estatisticamente entre os grãos a porcentagem de grãos boiantes (2,33 à 24,67 %), peso volumétrico (814 à 850 g.L<sup>-1</sup>), massa de cem grãos (33 à 37 g), umidade (11,86 à 12,20 %), proteínas (8,21 à 9,06 %), lipídios (3,00 à 4,77 %) e cinzas (1,07 à 1,26 %). Verificou-se que não houve boa relação entre os rendimentos da moagem úmida com as características físico-químicas dos grãos. Assim, um julgamento preliminar baseado apenas na aparência pode ocasionar rejeição de um grão com elevado potencial produtivo. A maior concentração do ácido lático (1,00 %) na solução de maceração facilitou os procedimentos de moagem, principalmente na recuperação do germe. Porém não foram observadas diferenças significativas (a 5 % de probabilidade) nos rendimentos de amido e nos subprodutos para os dois níveis de ácido utilizados.

## ABSTRACT

In corn wet milling it is obtained grain fractions relatively pure: germ, starch, fiber, and gluten. Steeping is the most important step of the process which consists in soaking the kernels in sulfurous acid solution at controlled temperature and pH. The concentrations of lactic acid produced during steeping and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) added, as well, as pH and temperature, affect the milling yields and can be changed and combined to reach better results. Besides process conditions, grain type and its physico-chemical characteristics also influence milling products yields and quality. A common problem in Brazil is the pre-judgment of the grains by their aspect, sometimes without technical criterions, causing the rejection of the product by milling industries. The objective of this work was to characterize physically and chemically four new corn hybrids and to study the influence of each grain type in the products yields of the wet milling. Two lactic acid concentrations in the steeping solution were also tested: 0.5 and 1.0%. The corn hybrids were developed by Agronomic Institute of Campinas (IAC) and produced in the northwest region of São Paulo state. The hybrids were the Dow2b587 (dented and soft appearance), the Somma (vitreous and hard appearance), A2555 and 30F98, both with intermediate hardness appearance. The physical properties determined were grain size, sphericity, geometric diameter, 100 grains mass, porosity, percentage of floating kernels, and volumetric weigh. Through centesimal composition analyses it was determined the chemical constitution of the corns. Wet milling tests were performed for each hybrid steeped in two lactic acid concentrations solutions. All characteristics of the grains presented similar values to the literature. Some results were statistically different among hybrids, i.e., percentage of floating kernels (2.33 to 24.67 %), volumetric weigh (814 to 850 g.L<sup>-1</sup>), 100 grains mass (33 à 37 g), moisture content (11.86 to 12.20 %), protein (8.21 to 9.06 %), lipids (3.00 to 4.77 %) and ash (1.07 to 1.26 %). There were no relationships of wet milling yields with the physic-chemical characteristics of the corns. Thus, a previous judgment based only in the aspect of the grains can induce a rejection of a product with a high industrial potential. The higher lactic acid concentration (1.0%) in the steeping solution made all milling procedures easier, mainly in the germ separation step. However, there were no statistics differences (5% probability level) among milling products yields between the two acid concentrations.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 11 |
| 2 OBJETIVOS.....   | 13 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                               | 14 |
| 3.1 O milho e suas características.....                    | 14 |
| 3.2 Estrutura e características dos grãos.....             | 16 |
| 3.3 Industrialização do milho.....                         | 17 |
| 3.3.1 Processo de moagem úmida.....                        | 18 |
| 3.3.1.1 Função do ácido láctico e do SO <sub>2</sub> ..... | 20 |
| 3.4 Qualidade dos grãos para a indústria.....              | 25 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....                                 | 28 |
| 4.1 Matéria-prima.....                                     | 28 |
| 4.1.1 Preparação das amostras.....                         | 29 |
| 4.2 Caracterização física dos grãos.....                   | 29 |
| 4.2.1 Tamanho dos grãos.....                               | 29 |
| 4.2.2 Diâmetro geométrico.....                             | 30 |
| 4.2.3 Massa de cem grãos.....                              | 30 |
| 4.2.4 Esfericidade.....                                    | 30 |
| 4.2.5 Porosidade.....                                      | 31 |
| 4.2.6 Grãos boiantes.....                                  | 31 |
| 4.2.7 Peso volumétrico.....                                | 32 |
| 4.3 Composição centesimal do grão.....                     | 32 |
| 4.4 Moagem úmida dos grãos.....                            | 33 |

|  |    |
|--|----|
| 4.4.1 Umidade.....   | 33 |
| 4.4.2 Maceração.....   | 34 |
| 4.4.3 Recuperação do germe.....                              | 35 |
| 4.4.4 Segunda moagem.....                                    | 36 |
| 4.4.5 Recuperação da fibra.....                              | 37 |
| 4.4.6 Separação amido-proteína.....                          | 37 |
| 4.4.7 Recuperação da proteína.....                           | 38 |
| 4.4.8 Determinação de sólidos solúveis.....                  | 39 |
| 4.4.9 Análise do teor protéico residual do amido obtido..... | 39 |
| 4.5 Delineamento experimental e análise de resultados.....   | 39 |
| <br>   |    |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                | 41 |
| 5.1 Caracterização física dos grãos.....                     | 41 |
| 5.2 Composição centesimal dos grãos de milho.....            | 44 |
| 5.3 Moagem úmida dos grãos de milho.....                     | 46 |
| 5.4 Análise do teor protéico residual do amido.....          | 50 |
| <br>   |    |
| 6 CONCLUSÕES.....  | 52 |
| <br>   |    |
| 7 BIBLIOGRAFIA.....  | 53 |

## LISTA DE FIGURAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| FIGURA 1 -  | Seção transversal de um grão de milho.....                                    | 15 |
| FIGURA 2 -  | Tipos de milho.....   | 16 |
| FIGURA 3 -  | Fluxograma do processo de moagem úmida de milho industrial por via úmida..... | 19 |
| FIGURA 4 -  | Híbridos de milho usados para as moagens.....                                 | 28 |
| FIGURA 5 -  | Eixos A, B e C medidos nos grãos de milho.....                                | 30 |
| FIGURA 6 -  | Fluxograma da moagem úmida do milho.....                                      | 34 |
| FIGURA 7 -  | Sistema de maceração dos grãos de milho.....                                  | 35 |
| FIGURA 8 -  | Blender utilizado para primeira moagem.....                                   | 35 |
| FIGURA 9 -  | Recuperação do germe.....   | 36 |
| FIGURA 10 - | Moinho de discos (segunda moagem).....  | 36 |
| FIGURA 11 - | Peneira vibratória e fibra recuperada.....                                    | 37 |
| FIGURA 12 - | Etapa de recuperação do amido.....  | 38 |
| FIGURA 13 - | Recuperação da proteína.....  | 38 |
| FIGURA 14 - | Distribuição da esfericidade dos quatro híbridos de milho.....                | 42 |
| FIGURA 15 - | Distribuição do diâmetro dos quatro híbridos de milho.....                    | 42 |
| FIGURA 16 - | Peso volumétrico em função da porcentagem de grãos boiantes.....              | 43 |

## LISTA DE TABELAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| TABELA 1 - | Comparação entre os dados de rendimento da indústria com os de laboratório e escala piloto..... | 24 |
| TABELA 2 - | Delineamento experimental das moagens úmidas.....   | 39 |
| TABELA 3 - | Características físicas dos grãos dos quatro híbridos de milho.....                             | 41 |
| TABELA 4 - | Composição centesimal dos grãos de milho.....   | 45 |
| TABELA 5 - | Rendimentos dos subprodutos recuperados nas moagens úmidas dos quatro híbridos de milho.....    | 46 |
| TABELA 6 - | Porcentagens de proteína nos amidos obtidos.....  | 51 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| EQUAÇÃO 1 - Cálculo do diâmetro geométrico.....        | 30 |
| EQUAÇÃO 2 - Cálculo da esfericidade.....               | 31 |
| EQUAÇÃO 3 - Cálculo da porosidade.....                 | 31 |
| EQUAÇÃO 4 - Cálculo do rendimento dos subprodutos..... | 33 |
| EQUAÇÃO 5 - Cálculo do rendimento total da moagem..... | 33 |

## 1INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo. É um produto agrícola de largo consumo, na alimentação humana e animal, sendo também matéria-prima, de fácil manipulação e conservação para um expressivo complexo industrial. Por ser um cereal altamente energético, é muito utilizado como componente principal de rações e demais alimentos. Traz em sua composição vitaminas A e do complexo B, proteínas, gorduras, carboidratos, cálcio, ferro, fósforo, amido e fibras. Possui inúmeras aplicações: a planta inteira serve de alimentação para os animais; os grãos, além disto, são empregados para fabricar vários produtos, alguns de obtenção mais simples (fubá, canjica e farinha) e outros que exigem manufatura mais complexa, como o amido, a dextrina e a glicose. O que diferencia a obtenção destes produtos são os métodos de industrialização, que podem ser pela moagem a seco ou úmida. Além destes processos, o milho também é utilizado para a produção de álcool. O aumento no preço no petróleo e as preocupações com o meio ambiente têm levado o mundo a buscar alternativas, e o álcool desponta como principal promessa.

Na moagem seca, o milho limpo é diretamente degerminado e separado em endosperma e germe. A redução do endosperma em diferentes tamanhos produz diversos tipos de produtos. Os principais são o fubá comum, canjica, fubá mimoso, quirera e farelos para ração.

A moagem úmida é responsável pela obtenção de amido e subprodutos como o germe, fibra e proteína (glúten). Tais subprodutos são de grande importância. O amido, produto principal, é utilizado em diferentes aplicações como na indústria têxtil, de mineração, de processamento de couros, de papelaria, de filmes fotográficos, de produtos de limpeza, plásticos, pneus, tintas, fogos de artifício, adesivos, além da indústria alimentícia, onde é empregado principalmente para melhorar as propriedades de textura, emulsificação e solubilidade de alimentos industrializados.

O germe é destinado à fabricação de óleo de milho que possui uma composição favorável em termos de ácidos graxos essenciais, sendo considerado de alta qualidade. Já a fibra e a proteína ainda são, principalmente, utilizadas para a produção de ração. Entretanto, há estudos visando o melhor aproveitamento destes subprodutos.

A principal etapa da moagem úmida é a maceração, pois envolve transformações químicas e bioquímicas, que irão facilitar a separação dos subprodutos. Nesta etapa o grão é imerso em solução com temperatura, tempo e concentrações de ácido láctico e  $\text{SO}_2$  controladas. Todos estes fatores possuem grande importância no processo, sendo que o ácido

lático e o  $\text{SO}_2$  têm como função amaciar o grão e auxiliar na liberação do amido das redes de proteínas, respectivamente. A temperatura de  $52^\circ\text{C}$  e o baixo pH são ideais para facilitar a hidratação e o amaciamento do grão, ajudando assim na separação de seus componentes.

Sabe-se que há influência de inúmeros fatores nos rendimentos finais dos subprodutos. Muitos estão relacionados com o processo, principalmente na etapa de maceração (tempo de maceração, temperatura, quantidade de ácido utilizado, etc.) e outros ao tipo, tamanho e composição do grão de milho. Por exemplo, quanto maior a hidratação do grão, menor é o tempo de maceração, quanto maior a dureza do endosperma maior é a dificuldade de hidratação e de quebra mecânica do grão. No entanto, ainda se tratando do tipo de grão, existem também fatores de influência não comprovados como, por exemplo, sua aparência, que pode estar limitando a comercialização e industrialização, fazendo com que indústrias rejeitem um produto de qualidade acreditando não ter rendimento adequado.

Inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de aperfeiçoar o processo, sempre visando a otimização e obtenção de melhor rendimento e qualidade do amido, germe, glúten e fibra. A maioria delas envolve variações na etapa de maceração. No entanto, poucas pesquisas são realizadas para caracterização físico-química de diferentes tipos de milho e avaliação da influência destas características nos rendimentos de subprodutos da moagem úmida.

O enfoque deste trabalho foi verificar a influência da aparência, características físicas e químicas dos grãos de milho nos rendimentos de amido e subprodutos da moagem úmida. Para isto, foram utilizados quatro híbridos de milho que foram avaliados quanto às características físicas e composição centesimal. Os rendimentos de amido e dos subprodutos obtidos através da moagem úmida convencional dos quatro tipos de grãos foram determinados e analisados considerando essas características físico-químicas. Estudou-se também a influência da concentração do ácido lático adicionado à solução de maceração nos rendimentos em amido e subprodutos (0,55 % e 1,00 %). Análises de proteína foram realizadas em todos os amidos obtidos nas moagens para verificar a pureza dos mesmos e eficiência do processo.

## 2 OBJETIVOS

- Determinar as características físicas (tamanho, esfericidade, diâmetro geométrico, porosidade, porcentagem de grãos boiastes, peso volumétrico e massa de cem grãos) e químicas (composição centesimal) de grãos de quatro híbridos de milho.
- Verificar a influência das características físico-químicas no rendimento de amido e subprodutos da moagem úmida dos híbridos.
- Verificar a influência da adição de diferentes concentrações de ácido láctico no rendimento de amido e subprodutos dos híbridos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O milho e suas características

Originário da América, o milho espalhou-se por outras regiões após o descobrimento, através de Cristóvão Colombo, que levou as primeiras sementes à Europa, e dos portugueses, que as levaram para a Ásia. Já no Brasil, seu cultivo é mais antigo. Os índios, principalmente os guaranis o tinham como principal alimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA..., 2006).

Atualmente, o cultivo do milho é o segundo maior no mundo, localizando-se entre o trigo (primeiro) e o arroz (terceiro). É cultivado em mais de 140 milhões de hectares, com uma produção anual superior a 580 milhões de toneladas (FOOD AND AGRICULTURE..., 2006). O Brasil é o terceiro maior produtor, inferior somente aos Estados Unidos e China, com uma produção média de 42 milhões de toneladas em uma área plantada de aproximadamente 12 milhões de hectares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA..., 2006).

O milho (*Zea mays*) pertence à família das gramíneas. A planta é constituída por uma haste cilíndrica ereta, de 1 à 4 metros de altura, formada por colmos e nós, apresentando inflorescências masculinas (flecha) e femininas (espiga). Os colmos não são ocos e terminam com o pendão (ou flecha), sendo também intermeados pelos nós (estruturas compactas), os quais dão origem, quando situados abaixo do solo, ao sistema radicular e aos perfilhos e, quando se localizam acima do solo, esporões (raízes adventícias), folhas e inflorescências. Nas flores femininas (bonecas) encontram-se os estilo-estigmas, também denominados cabelo ou barba, que recebendo o pólen ficam fertilizados para a formação dos frutos (grãos de milho). O desenvolvimento do grão se completa com cerca de 50 dias após a fertilização (LIMA, 1976; GOODMAN; SMITH, 1986).

De acordo com Benson e Pearce (1994), as espigas desenvolvem-se contendo de 300 a 1000 sementes, arranjadas em fileiras ao longo do sabugo, e a semente desenvolvida (Figura 1) é composta de quatro partes principais: 0,8 % correspondente ao pedúnculo, 5 % ao pericarpo (epiderme, mesocarpo, células transversais, células tubulares, cobertura da semente e aleurona), 11% de germe (plúmula e raiz primária) e 82 % de endosperma (endosperma córneo, endosperma farináceo, células com grânulos de amido, paredes celulares e escutelo) (WATSON, 1984). O pedúnculo ou ponta do grão é a parte remanescente do tecido que conecta o grão ao sabugo e permite uma rápida absorção de umidade (GOODMAN; SMITH, 1986).

O tamanho do germe varia em função da posição do grão na espiga sendo que, os grãos do meio da espiga possuem germes maiores e, conseqüentemente, maior quantidade de óleo que os grãos localizados nas extremidades das espigas. Além de óleo, o germe armazena nutrientes e hormônios, que são mobilizados por enzimas elaboradas nos estágios iniciais da germinação. Todas as células do germe são potencialmente ativas metabolicamente, quando hidratadas (JACKSON; SHANDERA, 1995).

O pericarpo ou casca, rico em fibras, é a cobertura lisa e densa da semente, derivada da parede do ovário, que pode ser incolor, vermelho, marrom, laranja ou variado (GOODMAN; SMITH, 1986).

Além das vantagens nutritivas, o milho apresenta inúmeras formas de aplicações para o aproveitamento na alimentação humana. Pode ser consumido diretamente ou como componente para a fabricação de balas, biscoitos, pães, chocolates, geléias, sorvetes, maionese e até cerveja. Cultivado em todo país, é a matéria prima principal de vários pratos culinários como cuscuz, polenta, angu, bolos, canjicas, mingaus, cremes, entre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA..., 2006). Por possuir elevada porcentagem de amido, este cereal é largamente utilizado para a produção de amido puro, sendo a moagem úmida seu principal processo de produção (BRANDEMARTE, 2002).

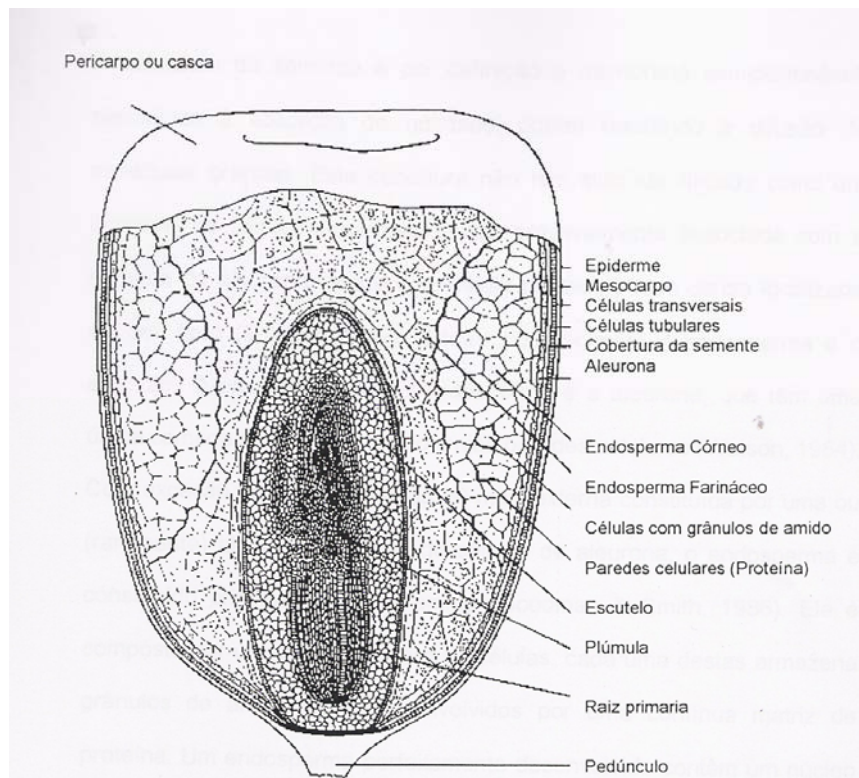


Figura 1: Seção transversal de um grão de milho (HOSENEY, 1994).

### 3.2 Estrutura e características dos grãos

O grão de milho possui aproximadamente 70 à 73% de amido, 9 à 10% de proteínas, 4 à 5% de óleo, 1 à 2 % de cinzas, 2% de açúcares e 9 à 10% de fibras (JACKSON; SHANDERA, 1995). Em função de sua composição química e valor nutritivo, o milho se destaca como um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos em todo o mundo, seja na alimentação humana ou animal (NUSSIO, 1990).

Baseadas nas características do grão existem classes ou tipos de milho. Os tipos mais importantes são: dentado, duro, farináceo e pipoca (PAES, 2006), que são apresentados na Figura 2. A principal diferença entre os tipos é a forma e o tamanho dos grãos, definidos pela estrutura do endosperma e o tamanho do germe. Milhos duros diferem dos farináceos e dentados na relação de endosperma vítreo/endosperma farináceo. Nos milhos dentados, o endosperma farináceo se concentra na região central do grão entre a ponta e o extremo superior. Nas laterais dessa faixa e no verso do grão está localizado o endosperma vítreo. No entanto, durante a secagem do grão ocorre o encolhimento do endosperma, que se concentra na parte superior do grão, o que o caracteriza como dentado.

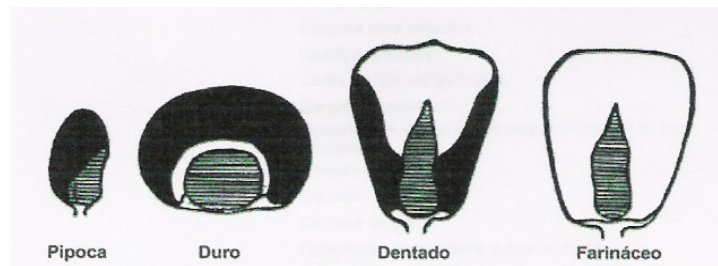


Figura 2: Tipos de milho (PAES, 2006)

O milho duro possui um volume contínuo de endosperma vítreo, que resulta em grãos lisos e mais arredondados, com uma aparência dura e vítrea. Nos grãos do tipo farináceo existe a mesma indentação do milho dentado, porém o endosperma é completamente farináceo, resultando em uma aparência opaca. Os grãos de milho-pipoca possuem o pericarpo mais espesso, com o endosperma predominantemente vítreo, porém possuem menor tamanho e formato mais arredondado (PAES, 2006).

O endosperma é constituído por grânulos de amido envolvidos por uma matriz protéica. A compactação é o fator mais importante da microestrutura relacionada à dureza dos grãos de milho, ou seja, quando os grãos são muito compactos tendem a ser duros, com altos

valores de proteína e, no entanto, baixos valores de amido. A dureza de um grão possui dois significados: O primeiro é com relação a composição física do grão relacionada à textura do endosperma, que varia de vítrea até farinácea devido aos diferentes arranjos dos grânulos de amido. O segundo é com relação a força requerida para quebrar o grão (susceptibilidade à quebra) (DUARTE, 2007).

Pesquisadores têm realizado estudos para avaliação das principais propriedades físicas dos produtos agrícolas, demonstrando a sua aplicação prática em projetos de máquina, estruturas e processos industriais. No caso do milho esta avaliação também é importante para determinar e estabelecer condições ideais de processo para a moagem úmida. FOX *et al* (1992) estudaram as relações da composição e propriedades físicas dos grãos na moagem úmida. Observaram que grãos com maior porcentagem de carboidratos não resultaram necessariamente em maior rendimento de amido. Grãos com menor porcentagem de proteína e maior peso volumétrico apresentaram melhor rendimento de amido, enquanto os grãos com maior porcentagem de proteína e endosperma compacto resultaram maior teor protéico residual no amido obtido. Teixeira *et. al.* (2003) determinaram as propriedades físicas do milho aplicadas à máquinas de limpeza. As dimensões médias dos grãos foram 11,05; 8,54 e 4,48 mm para comprimento, largura e espessura, respectivamente e a esfericidade foi 0,68. Com o objetivo de estudar a existência de correlação entre a algumas propriedades físicas e químicas, Duarte *et al.* (2008) determinaram o peso volumétrico, a porcentagem de grãos boiotes e a massa de cem grãos de 39 híbridos de milho, sendo que os valores variaram de 759 à 828 g.L<sup>-1</sup>; 6 à 44 %, e 23,90 à 37,60 g, respectivamente. Ruffato *et al.* (1999) estudando o processo de secagem de grãos de milho, determinaram a porosidade dos grãos, que variou de 37,63 à 43,76 %. Silva Junior *et al.* (2003), com o objetivo de estudar o efeito da forma do grão no desempenho de frangos de corte, determinaram o diâmetro geométrico do grão de milho. A média do diâmetro geométrico foi 0,65 cm.

### 3.3 Industrialização do milho

Os grãos de milho podem ser industrializados por duas vias: **moagem úmida** e **moagem seca**, gerando diversos subprodutos. Aqueles obtidos pelo processo de moagem úmida apresentam maior valor agregado do que os obtidos por moagem a seco, sendo adotado em grande parte das indústrias de milho.

Os principais subprodutos obtidos pela moagem a seco são: fubá comum, canjica, fubá de canjica ou mimoso, quirera e farelos para ração.

Neste processo, após limpeza e secagem, o milho é degerminado e moído, podendo assim ser classificado (tamanho das partículas) para a obtenção de produtos finais ou extrusado para a obtenção de farinhas pré-cozidas. Pode ainda sofrer diretamente um pré-cozimento (sem ser moído) para a produção de flocos de milho pré-cozidos. Já o germe passa por processo de extração para produção de óleo e farelo.

A moagem úmida do milho é o processo que tem como objetivo a obtenção de amido e outros subprodutos como germe, proteína e fibra (RAMIREZ *et al.*, 2008). No início, por volta de 1880, a indústria de moagem de milho descartava a fibra, germe e proteína do milho. Estas indústrias se tornaram mais rentáveis quando descobriram o valor destes subprodutos na alimentação animal e extração de óleo. Estas extrações e aproveitamento destes subprodutos não apenas reduziram o custo de extração do amido como também reduziram suas perdas e melhoraram sua qualidade (RAMIREZ *et al.*, 2008). Atualmente, as indústrias denominam seus subprodutos: amido, “corn glúten meal” (“CGM”), “corn gluten feed” (“CGF”) e germe (BLANCHARD, 1992).

“Corn glúten meal” (“CGM”) é a parte protéica extraída no processo. Possui baixo teor de fibras e alto teor protéico (60%). É destinada para ração de bovinos e suínos como fonte de proteínas, energia, vitaminas e minerais. Já o “corn glúten feed” é a mistura da fibra com a água de maceração concentrada, que é utilizada como fonte de fibras, energia e proteína nas rações de animais. Possui 60 % de fibra e 20 % de proteína (WHITE; JOHNSON, 2003).

### 3.3.1 Processo da moagem úmida

O fluxograma simplificado da moagem úmida industrial é apresentado na Figura 3. Neste processo, os grãos passam, primeiramente, pela etapa de limpeza, para a retirada de impurezas que podem contaminar os subprodutos obtidos e dos grãos quebrados, que podem permitir a transferência do amido do grão para a água de maceração. Após a limpeza, seis etapas são destacadas: maceração, primeira moagem, recuperação do germe, segunda moagem, recuperação da fibra e separação amido-proteína (MANZONI, 2000).

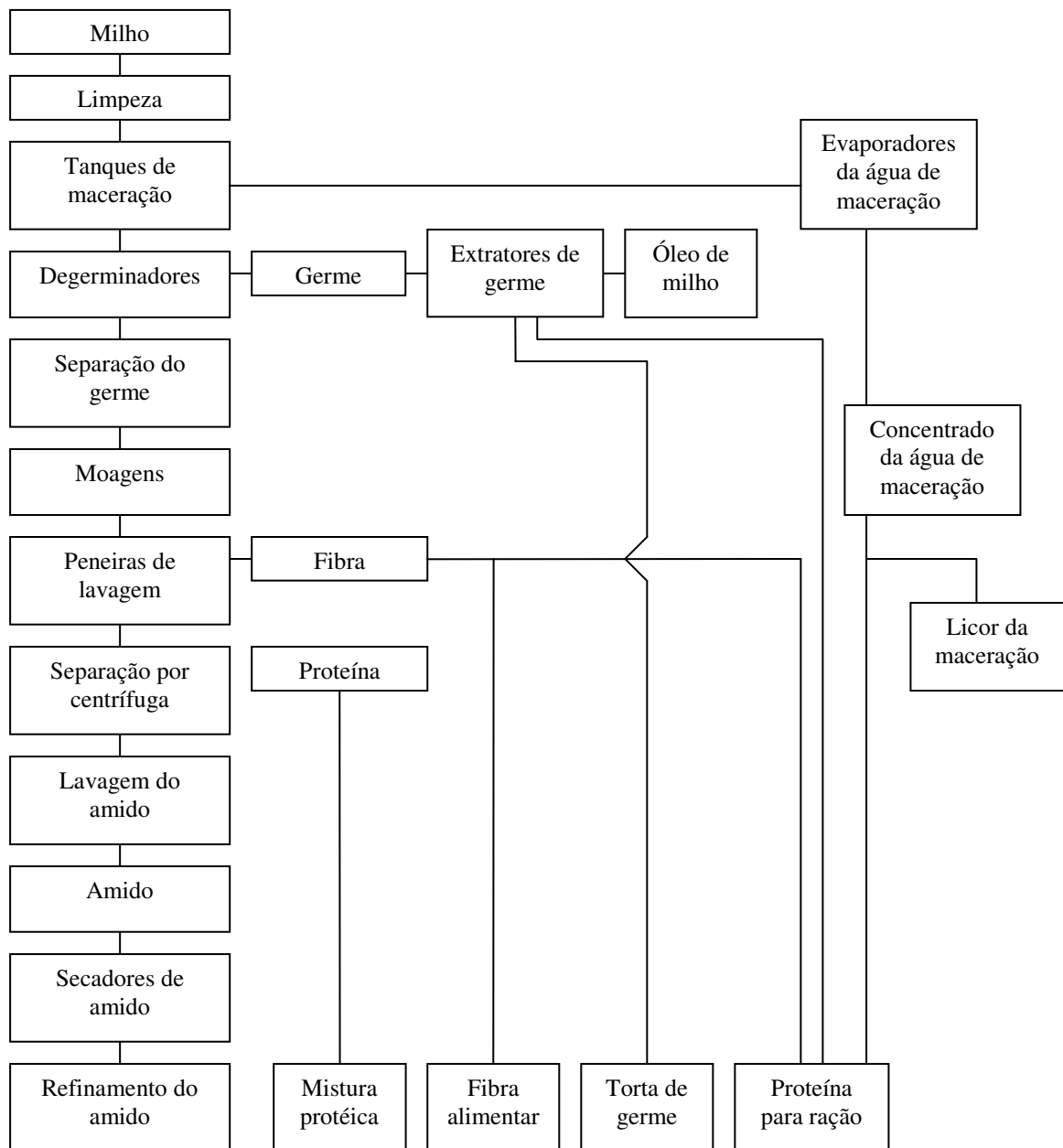


Figura 3: Fluxograma do processo de moagem de milho industrial por via úmida (LOPES FILHO, 1997).

Devido a sua importância, a **maceração** é considerada o coração do processo da moagem úmida. Se não for adequada, as etapas seguintes serão dificultadas e o processo resultará em um aumento da porcentagem de proteína no amido e perda de parte do amido nos demais subprodutos (CABRALES, 2006).

A maceração consiste na imersão dos grãos em uma solução que contém  $\text{SO}_2$  e ácido láctico. Durante esta etapa ocorre a transferência da solução para o interior dos grãos

produzindo mudanças nas propriedades físicas, químicas e bioquímicas, hidratando e amaciando o grão e solubilizando os sólidos solúveis do germe. O amaciamento é essencial para a minimização de danos no germe durante sua recuperação. Além disso, substâncias solúveis presentes no germe são liberadas diminuindo sua densidade, o que facilita sua recuperação. Assim, melhora a separação dos componentes, a qualidade e quantidade do amido e as características dos subprodutos (RAUSCH; BELYEA, 2006).

Na indústria, a maceração ocorre em uma bateria de 6 a 20 tanques (com capacidades que variam de 50 à 330 toneladas cada), conectados em série através de tubulações e bombas. A água de maceração passa por trocadores de calor para seu aquecimento a 48-52°C. O SO<sub>2</sub> gasoso é bombeado na água de maceração e o ácido lático é produzido através da fermentação de açúcares por bactérias *Lactobacillus sp*, presentes no milho (YANG *et al.*, 2005).

Em uma bateria de operação a maceração ocorre em contracorrente, ou seja, os grãos com maior tempo de maceração estão em contato com a solução de maceração mais recentemente introduzida no sistema. Esta água contém pequenas quantidades de sólidos solúveis e elevado teor de SO<sub>2</sub> (MANZONI, 2000). Já o milho mais novo do sistema recebe a solução de maceração que já passou por todos os outros tanques, portanto, a concentração química desta solução aumenta continuamente conforme sua circulação no sistema (do milho mais “velho” para o milho mais “novo”), pois os carboidratos e proteínas sulfuradas desnaturadas migram do grão para a solução.

### 3.3.1.1 Função do ácido lático e SO<sub>2</sub>

A presença do ácido lático na solução de maceração, além de amaciar a parede celular, também aumenta a solubilidade da proteína do milho, inibe o crescimento de microrganismos indesejáveis e produz condições favoráveis para a separação dos componentes da semente (ROUSHDI *et al.*, 1981).

A combinação de temperatura e pH em que o processo ocorre permite o crescimento dos *Lactobacillus sp*. (nas primeiras 8 horas), que produzem ácido lático por meio da conversão de açúcares provenientes do grão, mantendo assim o pH em torno de 4,0. Estas condições promovem a difusão da água e do ácido para o interior do germe e endosperma, amaciando a semente e favorecendo a separação dos componentes (MANZONI, 2000). A importância do pH foi comprovada por Cabrales *et al.* (2006), que verificaram que os rendimentos de amido decresceram em pH acima de 4,0 e por Haros *et al.* (2004), que verificaram que a presença de ácido lático e SO<sub>2</sub> na água de maceração aumentou

consideravelmente o rendimento de amido, quando comparado à maceração realizada apenas com SO<sub>2</sub>.

De acordo com Blanchard (1992), a presença do ácido láctico também afeta a forma da proteína proveniente do grão, encontrada na água de maceração. Se a concentração do ácido na água enviada para o evaporador não é suficiente, as proteínas estarão em tal forma, que serão facilmente desnaturadas pelo calor. Elas sofrerão coagulação, formando uma pasta dentro do evaporador, que será dificilmente removida.

Dentre as quatro principais proteínas do milho (albumina, zeína, globulina e glutelina), a glutelina está presente em maior quantidade na matriz protéica do endosperma e é altamente ligada por pontes dissulfeto, formando uma cadeia que envolve grânulos de amido (ECKHOFF, 1989). O SO<sub>2</sub> que penetra nos grãos é o responsável pela “quebra” destas matrizes de proteína no endosperma devido ao rompimento de suas pontes dissulfeto (S-S) (YANG *et al.*, 2005). O SO<sub>2</sub> foi inicialmente adicionado à maceração como um agente antimicrobiano para controlar microrganismos putrefativos, mas tornou-se indispensável para a obtenção de bons rendimentos de amido (COX *et al.*, 1944). Além da ruptura da estrutura protéica, o SO<sub>2</sub> ativa proteases (provenientes do germe) que aumentam a eficiência da liberação do amido (ECKHOFF; TSO, 1991).

Após a maceração, o grão é enviado para a **primeira moagem**. Estes moinhos realizam uma moagem grossa, ou seja, rompem a semente amaciada, liberando os germes, sem esmagá-los. Em seguida, o material moído, contendo germes, fibras, amido e proteína, é encaminhado para a etapa de **recuperação do germe** (degerminação). O material passa por um conjunto de hidrociclones centrífugos (152 mm de diâmetro e 914 mm de comprimento), onde o germe é separado dos demais componentes. Esta separação ocorre devido a diferença de densidade do germe e demais componentes, pois como o germe perde sólidos durante a maceração, torna-se menos denso (RAUSCH; BELYEA, 2006). Muitas vezes a massa degerminada é novamente moída para liberação dos germes que restaram e enviada para nova recuperação dos germes.

O germe, que possui em média 48% de óleo, é utilizado para a extração de óleo, o componente mais valioso do grão de milho, que ocorre por meio de uso de solvente. Após a extração, a torta ou farelo de germe é utilizado para produção de rações animais (RAMIREZ *et al.*, 2008).

A **segunda moagem** tem como objetivo reduzir o tamanho das partículas do grão, obtendo-se a liberação de todo amido e proteína que estejam agregados à parte fibrosa. Para a

**recuperação da fibra** o material passa através de uma série de peneiras, alimentadas por pressão, onde a fibra fica retida.

O “leite” de amido e proteína, que passa através da peneira durante a recuperação da fibra, é enviado para uma centrífuga de alta rotação para a **separação amido-proteína**. Devido à diferença de densidade, o amido, mais pesado, é separado da proteína.

O amido é purificado através de hidrociclones de 10 mm de diâmetro e 16 mm de comprimento. O sistema para a limpeza consiste de algumas centenas de hidrociclones paralelos em compartimentos separados. O número de hidrociclones a serem usados depende do grau de pureza desejado para o amido. Aumentando-se o número, diminui-se o teor de proteína no amido (máximo de aceitação: 0,3 %). O amido é seco em secadores ou permanecem em suspensão para servir de matéria-prima para amidos modificados, xaropes de glicose ou na produção de etanol (MANZONI, 2000).

O amido, considerado o produto primário da moagem úmida, possui diversas aplicações como na indústria têxtil e de papel (BRANDEMART, 2004), mas é principalmente utilizado como aditivo alimentício (melhora as propriedades de textura dos alimentos) e na conversão em xaropes e etanol (RAMIREZ *et al.*, 2008).

Os subprodutos incluem o óleo de milho e os produtos destinados a rações de animais, tais como o glúten de milho (“corn glúten meal”), farelo do glúten de milho (“corn glúten feed”), farelo de germe de milho e licor de maceração. Este licor, (usualmente vendido na base de 50% de sólidos) é rico em vitaminas, (principalmente do complexo B) e, além de ser usado para fabricação de rações de animais, também é aplicado na fabricação de antibióticos, produtos farmacêuticos, leveduras e fermentos (MANZONI, 2000).

Estudos vem sendo realizados na água de maceração com o objetivo de verificar a presença de ácido fítico, muito utilizado na indústria alimentícia por sua capacidade antioxidante e seqüestrante de ferro, cobre e outros cátions metálicos, dando assim maior estabilidade aos alimentos contendo gorduras e óleos e removendo metais de bebidas alcoólicas, em uma larga faixa de pH (1 a 12) (VASCONCELLOS, 2007).

A moagem úmida realizada em laboratório e planta-piloto tem apresentado 3 tipos diferentes de maceração: batelada estática, batelada com recirculação e contracorrente. Na batelada estática o milho e a solução são colocados no mesmo recipiente, sem agitação, com temperatura controlada em um banho-termostático. A batelada com recirculação é realizada por meio de bombeamento contínuo da solução de maceração nos grãos de milho, aquecida por banho-termostático. O sistema em contracorrente tem o objetivo de simular o processo comercial, mas requer constante monitoramento e um mínimo de três dias para alcançar a

estabilidade. Neste sistema o milho “novo” entra em contato com baixas concentrações de  $\text{SO}_2$  e com o progresso da maceração, a concentração aumenta (MANZONI, 2000).

Na maioria dos processos de moagem úmida realizados em laboratório ou planta-piloto a recuperação do germe é realizada manualmente, utilizando-se peneiras. A fibra é recuperada em peneira vibratória e a separação amido-proteína é realizada em mesas de amido, que consistem de canaletas inclinadas ( $2^\circ$ ). O “leite” de amido e proteína é bombeado para a canaleta e escoar até a outra extremidade. Devido a diferença de densidade, o amido decanta enquanto a proteína escoar até a extremidade oposta, onde é recuperada. Em seguida, o caldo protéico é filtrado a vácuo e a proteína recuperada (MANZONI, 2000).

A vazão do “leite” de amido e proteína bombeado para a mesa de amido assim como sua inclinação foram determinadas através de estudos como o de Singh, S. e Eckhoff (1996), que observaram que o aumento da inclinação diminui o rendimento de amido e a redução da inclinação, faz com que o amido apresente grande contaminação de proteína.

Singh, N. e Eckhoff (1996) analisaram os vários procedimentos utilizados em escala de laboratório, escala piloto e industrial, assim como seus rendimentos em amido, germe, fibra, proteína e sólidos (Tabela 1). Concluíram que, embora hajam diferenças significativas entre alguns procedimentos, a maior parte pode resultar em rendimentos de amido e de outros componentes comparáveis aos valores obtidos por processos industriais. Tais diferenças estariam relacionadas à falta de padronização de procedimentos de moagem tais como: marca e modelo dos equipamentos, quantidade de água utilizada em cada passo da moagem, temperatura de maceração, concentração de ácido láctico e  $\text{SO}_2$  na água de maceração, sólidos da água de maceração, tamanho das telas utilizadas para recuperação de germes, velocidade de escoamento na mesa de amido, entre outros. Segundo os autores, são detalhes de grande importância que deveriam ser relatados por qualquer procedimento de moagem.

Entre os vários procedimentos de moagem úmida em laboratório reportados na literatura, os descritos por Watson (1984), Anderson (1963) e Eckhoff *et al.* (1993), têm sido usados extensivamente. Os resultados de moagem obtidos por estes procedimentos são comparáveis aos dos processos industriais.

Tabela 1: Comparação entre dados de rendimento da indústria com os de laboratório e escala piloto.

|                               | Frações da moagem (%) |       |                    |       |                       | Recuperação <sup>c</sup> | Proteína no amido (%) | Tempo de maceração (h) |
|-------------------------------|-----------------------|-------|--------------------|-------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
|                               | Solúveis <sup>a</sup> | Germe | Fibra              | Amido | Proteína <sup>b</sup> |                          |                       |                        |
| <b>Industriais</b>            |                       |       |                    |       |                       |                          |                       |                        |
| Knight (1969)                 | 6,80                  | 8,00  | 9,70               | 68,50 | 6,00                  | 99,00                    | 0,30                  | 36-50                  |
| Bier et al. (1974)            | 6,50                  | 7,80  | 11,20              | 68,00 | 6,50                  | 100,00                   | Na                    | Na                     |
| Anderson & Watson (1982)      | 7,50                  | 7,50  | 11,50              | 67,50 | 5,80                  | 99,80                    | 0,35                  | Na                     |
| May (1987)                    | 7,00                  | 7,90  | 13,00              | 66,00 | 5,70                  | 99,60                    | 0,30-0,35             | 22-50                  |
| Blanchard (1992)              | 6,50                  | 7,50  | 12,00              | 68,00 | 5,60                  | 99,60                    | 0,30-0,35             | 30-50                  |
| <b>Escala piloto</b>          |                       |       |                    |       |                       |                          |                       |                        |
| Rubens (1990)                 | 5,10                  | 10,50 | 21,8               | 58,80 | 7,60                  | 103,80                   | 0,63                  | Na                     |
| <b>Laboratório</b>            |                       |       |                    |       |                       |                          |                       |                        |
| <b>B. E.</b>                  |                       |       |                    |       |                       |                          |                       |                        |
| Steinke & Johnson (1991)      | 7,20                  | 6,60  | 19,20              | 58,40 | 8,90                  | 100,30                   | 0,56                  | 48,00                  |
| Eckhoff et al. (1996)         | 6,80                  | 5,20  | 10,20              | 67,30 | 8,80                  | 96,30                    | Na                    | 24,00                  |
| <b>B. E. R. I</b>             |                       |       |                    |       |                       |                          |                       |                        |
| Shandera et al. (1995)        | 5,20                  | 7,40  | 10,90              | 63,40 | 13,00                 | 99,90                    | 0,33                  | 40,00                  |
| <b>B. R</b>                   |                       |       |                    |       |                       |                          |                       |                        |
| Anderson (1963)               | 7,10                  | Na    | 18,70 <sup>e</sup> | 65,40 | 8,10                  | 99,30                    | 0,54                  | 48,00                  |
| Watson (1984)                 | 7,60                  | 7,30  | 9,50               | 63,70 | 11,30                 | 99,40                    | 0,30                  | 48,00                  |
| Eckhoff & Tso (1991a)         | 6,20                  | 6,00  | 8,80               | 67,30 | 9,80                  | 96,10                    | 0,32                  | 48,00                  |
| Eckhoff <i>et al.</i> (1993b) | 7,00                  | 7,00  | 9,90               | 64,80 | 9,90                  | 98,60                    | 0,32                  | 36,00                  |
| Singh & Eckhoff (1995a)       | 3,40                  | 6,60  | 11,20              | 62,60 | 15,40                 | 99,20                    | 0,64                  | 24,00                  |
| <b>Contracorrente</b>         |                       |       |                    |       |                       |                          |                       |                        |
| Watson <i>et al.</i> (1951)   | 7,50                  | 7,20  | 8,40               | 62,80 | 11,50                 | 97,40                    | 0,36                  | Na                     |
| Steinke <i>et al.</i> (1991)  | 7,70                  | 6,70  | 10,70              | 64,90 | 10,00                 | 100,00                   | 0,42                  | 48,00                  |
| Yaptenco (1993)               | 7,00                  | 5,80  | 9,10               | 65,90 | 9,50                  | 97,30                    | Na                    | 36,00                  |

<sup>a</sup> - Soma da água de maceração, filtrado do glúten e frações de água de outros processos.

<sup>b</sup> - Soma da fração de proteína e proteína contida na água do processo; onde aplicável;

<sup>c</sup> - Soma de toda fração da moagem

Na - não avaliado

<sup>e</sup> - incluído fração de germe.

B. E.- Batelada estático.

B. E. R. I -Batelada estático com recirculação.

B. R- Batelada com recirculação.

Fonte: SINGH, N; ECKHOFF (1996).

### 3.4 Qualidade dos grãos de milho para a indústria

A qualidade do grão de milho para a indústria de moagem úmida é fundamental tanto para o processo quanto para a qualidade dos produtos obtidos. Há fatores inerentes ao próprio grão como a textura, tamanho e cor e também fatores resultantes das condições climáticas do local do cultivo, dos processos de produção e colheita e procedimentos pós-colheita. Os fatores inerentes ao milho são os que mais afetam a qualidade final dos subprodutos da moagem úmida. Problemas comuns são os grãos ardidados (deteriorado ou em processo de deterioração), amido gelatinizado (que ocorre quando o milho é submetido à secagem sob temperaturas acima de 80 °C, dificultando a separação amido/fibra e amido/proteína), grãos quebrados e impurezas (FERNANDES, 1998).

Wang e Eckhoff (2000) mostraram que o teor de sólidos e proteína na água de maceração aumentou linearmente com o aumento da quantidade de grãos quebrados. De acordo com Eckhoff *et al.* (1993), na moagem de grãos quebrados também ocorre uma maior exposição do endosperma ao SO<sub>2</sub>, o que resulta em uma diminuição da viscosidade aparente do amido produzido por estes grãos quando comparados aos de grãos inteiros. Por isto, em muitas plantas industriais, grãos quebrados são macerados separadamente dos inteiros e o amido produzido é utilizado para a produção de xaropes.

Segundo Duarte (2007), um problema comum no Brasil é que, embora existam variações na composição química do grão de milho, os critérios utilizados para a classificação são embasados nas características físicas e de aparência dos grãos. Para as indústrias, a aparência de grão “mole” (farináceo) é sinônimo de grão quebradiço e menor rendimento no processo, pois devido a maior suscetibilidade à quebra, perde seu rendimento ao longo do processo. Isto torna os grãos com aparência “dura” e vítrea (maior dureza e densidade) preferidos e os de aparência “mole”, rejeitados. No entanto, esta avaliação não é adequada para determinar a qualidade do milho fazendo que sejam rejeitados cultivares de elevado potencial produtivo por apresentarem falsa aparência de grãos “moles”.

Uma avaliação correta de dureza do grão deveria ser realizada pelo “*Wisconsin Breakage tester*”, que é um equipamento que determina a suscetibilidade à quebra através do impacto dos grãos contra uma superfície abrasiva devido a força centrífuga. A dureza do endosperma ou densidade dos grãos também pode ser avaliada indiretamente pelo peso hectolitro, em que se determina a massa de 100 litros de grãos, ou ainda pela técnica dos grãos boiantes, onde os grãos são colocados em uma solução de nitrato de sódio e assim pode-se estimar a relação entre os tipos de endosperma farináceo (grãos que bóiam, menos densos) e

duros (grãos que afundam, mais densos) (DUARTE, 2007). Além da avaliação da dureza, é importante avaliar o quanto esta influenciará no rendimento de subprodutos do grão. Cada grão tem suas características físicas e nutricionais particulares e, conseqüentemente, poderá fornecer rendimentos diferentes, que não devem ser generalizados. Como exemplo, um estudo de Mbuvi e Eckhoff (2002) mostrou que a diferença no rendimento de amido da moagem de um tipo de grão inteiro e a moagem do mesmo grão depois de múltiplas quebras, foi de 0,8 %, ou seja, muito menor do que a esperada.

A maioria dos milhos comerciais produzidos nacionalmente é do tipo duro ou “flint” (PAES, 2006). Porém, tem-se atualmente no mercado híbridos com aparência mole ou dentada de grande potencial produtivo, que merecem ter seus rendimentos de subprodutos avaliados para que não sejam julgados precipitadamente. Esta avaliação deve ser realizada através de simulações de moagens úmidas, as quais apresentarão os rendimentos de cada subproduto para cada tipo de grão. No entanto não existem muitas pesquisas para caracterizar e relacionar adequadamente a qualidade física, nutricional e rendimento industrial do milho produzido no Brasil (DUARTE, 2007).

Apesar de todos os estudos (redução de tempo, diferentes tipos e concentrações de ácidos e sais de sulfito, análise das propriedades do amido, etc.), é importante entender que muitos não podem ser generalizados, uma vez que diferentes variedades de grãos surgem a cada dia no mercado, e estes podem se comportar de maneira diferente em determinada condição de processo, pois possuem características físico-químicas particulares.

Na maceração, por exemplo, é fundamental que o germe seja suficientemente hidratado para evitar danificações que diminuam o seu rendimento e sua qualidade. O binômio tempo-temperatura deve proporcionar a melhor hidratação possível, de forma a facilitar a sua extração e a difusão dos componentes da solução para o interior dos grãos. A caracterização dos diferentes tipos de grãos é essencial para a otimização deste binômio, resultando em diminuição do custo, ou para que não influencie nos rendimentos e qualidade dos subprodutos.

Os grãos mais duros apresentam-se compactos e têm maior resistência à hidratação e difusão dos componentes, já os grãos moles de endosperma farináceo hidratam-se mais facilmente, permitindo maior difusão dos solutos da solução. Há também diferenças entre as composições de cada tipo de grão, que podem influenciar na separação e rendimento dos seus componentes. Assim, pressupõe-se que as condições de maceração, moagem e tipo de grão interferem nos rendimentos e qualidade dos subprodutos obtidos.

Muitos estudos foram realizados para avaliar a influência das características do grão no rendimento de subprodutos: relação do teor de umidade dos grãos no tempo de maceração e rendimento de subprodutos (YANG; ECKHOFF, 2000), efeito da maturidade do grão no rendimento de subprodutos (JENNINGS *et al.*, 2002), efeito do tempo de armazenamento do milho (SINGH, V. *et al.*, 1998); efeito de quebras no grão de milho (MBUVI; ECKHOFF, 2002); relação da composição aproximada do grão e suas propriedades físicas nas características da moagem úmida de milho (FOX *et al.*, 1992).

As principais variáveis do processo de moagem incluem o tipo de grão, temperatura de secagem, temperatura de maceração, tempo e concentrações de ácido láctico e SO<sub>2</sub> na solução (STEIKE; JOHNSON, 1991). Considerando essas variáveis e a grande disponibilidade de diferentes tipos de milho no mercado, tornam-se necessárias investigações de novas técnicas para diferentes híbridos de milho e novas condições de processo. Deste modo, este trabalho teve o objetivo de caracterizar físico-quimicamente quatro híbridos de milho e verificar a influência do tipo de grão e da concentração de ácido láctico (0,55 e 1,00 %) no processo de moagem úmida dos diferentes híbridos fornecidos pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) nas regiões de Cruzália e Pedrinhas Paulista, estado de São Paulo.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Matéria-prima

Foram utilizados quatro híbridos de milho da safra 2006/2007, produzidos nas cidades de Cruzália e Pedrinhas Paulista, estado de São Paulo, fornecidos pelo Instituto Agrônômico de Campinas (IAC). Após colhidos e debulhados manualmente, os grãos foram limpos em peneira, onde também foram separados os grãos quebrados e as maiores impurezas. Devido a elevada umidade, foram secos em secador protótipo de convecção forçada com temperatura de 45°C até atingir umidade abaixo de 14% b.u.

Os híbridos fornecidos pelo IAC foram: 2B587, A2555, 30F98 e Somma. Segundo o Instituto, o híbrido 2B587 apresentou melhor produtividade agrícola se comparando com os demais híbridos (de 15 a 30 % maior que a média dos demais híbridos, dependendo da cidade de origem).

A Figura 4 mostra a diferença na aparência dos híbridos.



Figura 4: Híbridos de milho usados para as moagens

Observando a aparência dos grãos na Figura 4, temos que o híbrido Somma (aparência mais dura e vítrea) seria considerado o melhor grão, ou seja, de maior rendimento para as indústrias. A seguir estariam os híbridos A2555 e 30F98, considerados grãos com rendimentos intermediários e, por fim, o híbrido 2B587, com rendimento inferior aos demais (aparência farinácea e mole). Porém, de acordo com DUARTE (2007), este pré-julgamento

não corresponde à realidade. A rejeição do 2B587 para o processo industrial poderia resultar em grandes prejuízos, uma vez que foi o híbrido que apresentou maior produtividade agrícola. Por isso, são necessários testes experimentais para verificar a influência da aparência física do grão no rendimento do processamento industrial.

#### 4.1.1 Preparação das amostras

Após limpeza e secagem, as amostras foram separadas e armazenadas em câmara fria (aproximadamente 5°C) até a data dos testes experimentais, pois de acordo com SINGH *et al.* (1998), o armazenamento à temperatura ambiente diminui os rendimentos de subprodutos.

## 4.2 Caracterização física dos grãos

Foram avaliadas as principais propriedades físicas para caracterização dos grãos: tamanho, esfericidade, diâmetro geométrico, massa de cem grãos, porosidade, porcentagem de grãos boiastes e peso volumétrico. O conhecimento dessas propriedades é de fundamental importância em projetos de engenharia envolvendo dimensionamento de equipamentos para colheita, manuseio, armazenamento, secagem e aeração e de processos industriais (BENEDETTI, 1987).

#### 4.2.1. Tamanho dos grãos

O tamanho dos grãos foi determinado medindo-se as dimensões do comprimento (A), da largura (B) e da espessura (C) de cada grão, como mostra a Figura 5. Com o emprego de um paquímetro, com resolução de 0,02mm, mediram-se as três dimensões de 200 grãos de uma amostra para cada híbrido. A partir da média de cada dimensão, determinou-se o intervalo de previsão  $IP = X \pm t.s$ , onde X é a média e t.s o desvio padrão.

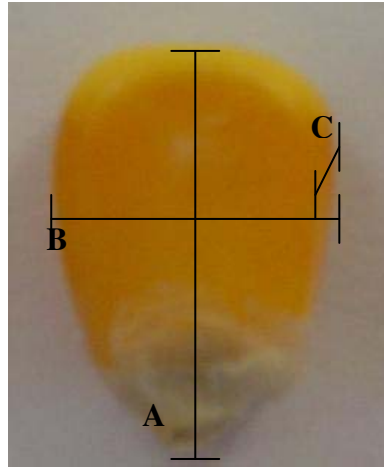


Figura 5: Eixos A, B e C medidos nos grãos de milho.

#### 4.2.2 Diâmetro geométrico

O diâmetro geométrico foi determinado através da Equação (1):

$$D = (A.B.C)^{1/3} \quad \text{Eq (1)}$$

Em que:

D = diâmetro geométrico, cm;

A = eixo maior, cm;

B = eixo médio, cm; e

C = eixo menor, cm.

#### 4.2.3 Massa de cem grãos

Com o emprego de uma balança analítica, foram determinadas as massas de 100 grãos de cada tipo de milho.

#### 4.2.4 Esfericidade

Mohsenin (1970) definiu a esfericidade como sendo a razão do diâmetro de uma esfera, com o mesmo volume do objeto, pelo diâmetro da menor esfera circunscrita. Assim, a esfericidade foi calculada, baseando-se na média geométrica dos três eixos perpendiculares ao corpo em relação ao maior eixo, conforme a Equação (2):

$$\phi = D/A \quad \text{Eq (2)}$$

onde:

$\phi$  = esfericidade, adimensional;

D = diâmetro geométrico, m.

A = eixo maior, m;

#### 4.2.5 Porosidade

A porosidade é a relação entre o volume intersticial e o volume aparente (BENEDETTI, 1987), ou seja, determina a porcentagem do volume total de uma massa de grãos que é ocupada pelo ar (espaço intergranular). Uma massa de cereais apresenta espaço intergranular de 40 à 45 % do volume ocupado pelos grãos. Ela exerce influência considerável na queda de pressão (resistência oferecida à passagem de ar que atravessa uma massa de grãos) e, portanto, no cálculo dos ventiladores dos sistemas de secagem e aeração e na potência de seus motores. A porosidade também influencia a absorção da solução de maceração, uma vez que o espaço intergranular será ocupado pela solução. Foi determinada a partir da Equação (3):

$$P = (\rho_a / \rho_r) \times 100 \quad \text{Eq (3)}$$

em que:

P = porosidade; %

$\rho_a$  = densidade aparente, g/mL;

$\rho_r$  = densidade real, g/mL.

#### 4.2.6 Grãos boiantes

Esta análise foi realizada no IAC de acordo com o método descrito por Peplinski *et al.* (1989), onde os grãos são colocados em uma solução de nitrato de sódio com densidade ajustada para 31,3 ° Baumé, a uma temperatura de aproximadamente 15,55 - 21,11 °C, simulando uma gravidade específica de 1,276 (aproximadamente 175 g de nitrato de sódio para 250 mL de água). Assim pode-se estimar a relação entre os tipos de endosperma farináceo (grãos que bóiam, menos densos) e duros (grãos que afundam, mais densos).

#### 4.2.7 Peso volumétrico

Também realizada no IAC, esta análise determinou o peso (em gramas) de 1 litro de cada tipo de grão.

### 4.3 Composição centesimal dos grãos

Foram determinados para cada tipo de grão o teor de umidade, fibra, cinzas, proteína e lipídios. O teor de carboidrato foi calculado a partir da diferença do total da composição (100 %) e da soma das porcentagens dos demais componentes determinados.

Umidade: Feita em estufa, sem ventilação forçada de ar segundo o método do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), que estabelece o tempo e temperatura na estufa para diversos tipos de produtos. Para o milho esse binômio é de 103°C durante 72 horas (HANAN *et al.* 1985).

Proteínas: Determinou-se o nitrogênio total pelo método Kjeldhal, conforme método nº 46-12 da AACCC (AMERICAN ASSOCIATION...,1995). A proteína foi calculada multiplicando-se a porcentagem de nitrogênio total pelo fator 6,25.

Cinzas: Segundo o método nº 08-01 da AACCC (1995), mediante calcinação em mufla a 550°C.

Lipídios: Conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985), utilizando extrator Soxhlet com éter de petróleo como solvente (método 4.10).

Fibras: Realizada após a digestão da amostra desengordurada com solução ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e básica (NaOH) seguida de filtração (MERTENS, 1992). A fibra corresponde ao resíduo final após a filtração.

Carboidratos: Por diferença das porcentagens, ou seja, subtraindo-se de 100 % a soma dos valores obtidos nas determinações dos demais componentes.

#### 4.4 Moagem úmida dos grãos

Foi realizada pelo método de maceração convencional segundo as orientações de Eckhoff *et al.* (1993), conforme as etapas descritas a partir do item 4.4.2.

Após as moagens foram calculados os rendimentos (em base seca) das frações de germe, amido, fibra e glúten e a porcentagem de sólidos solúveis presentes na água de maceração e filtrado do glúten, através da Equação 4.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Peso seco do subproduto}}{\text{PS amostra inicial de grão}} \times 100 \quad \text{Eq (4)}$$

O rendimento total da moagem foi calculado através da Equação 5.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{PS subprodutos} + \text{PS Sólidos solúveis}}{\text{PS amostra inicial de grão}} \times 100 \quad \text{Eq (5)}$$

em que:

PS = Peso seco

As moagens com rendimentos inferiores à 98 % foram desprezadas e realizadas novamente. A Figura 6 apresenta o fluxograma do processo.

##### 4.4.1 Umidade

As porcentagens de umidade inicial do milho e de cada subproduto (depois da moagem) foram determinadas para a realização de balanços de massa (base seca) no cálculo dos rendimentos dos subprodutos. Para os subprodutos foi utilizado o método da AACC 44-15a. (1995).

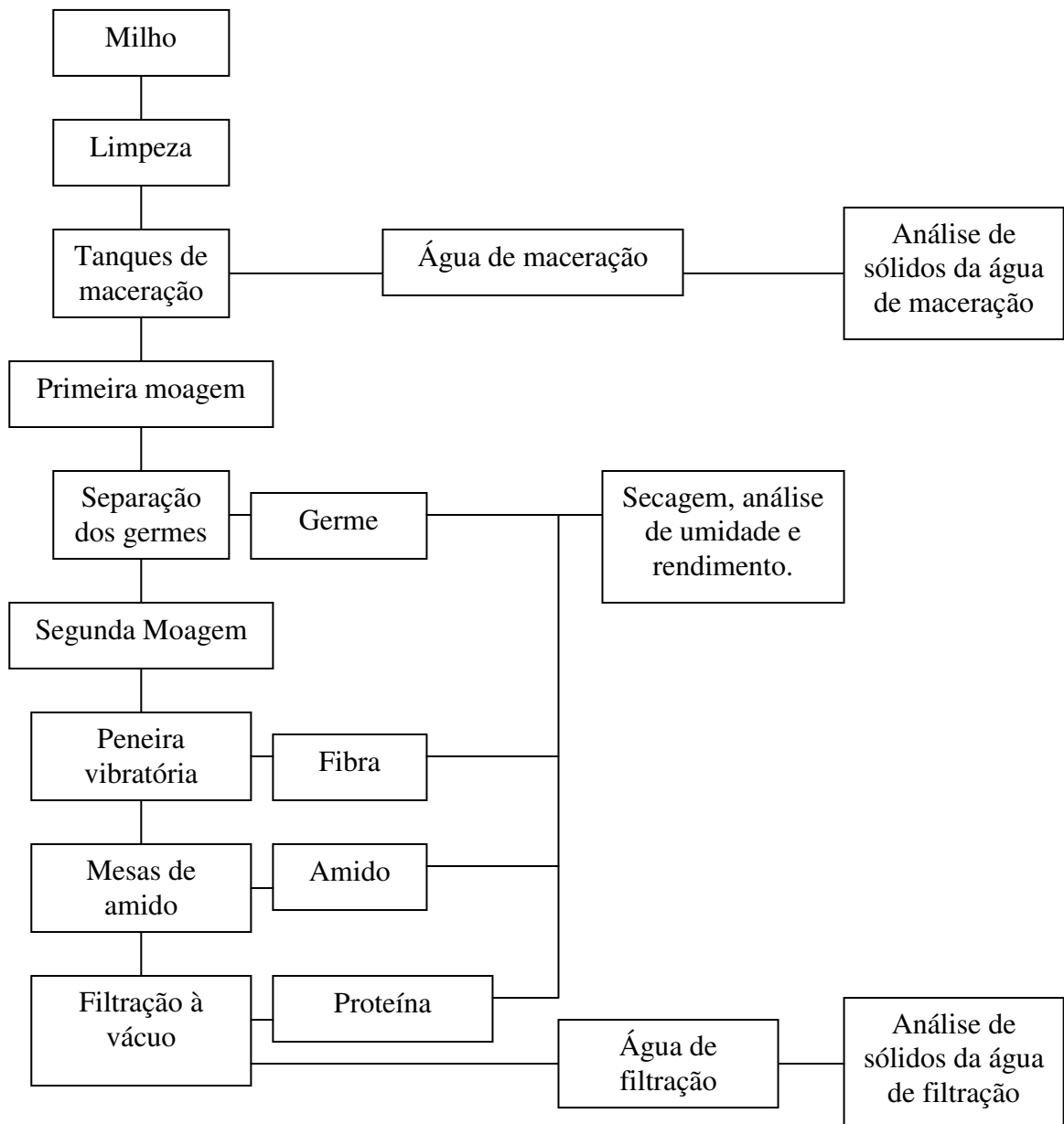


Figura 6: Fluxograma da moagem úmida de milho

#### 4.4.2 Maceração:

O milho foi macerado por 36 horas, sob circulação forçada (300 mL/s) da solução de maceração contendo água destilada (0,933 L), ácido láctico (5,15 ou 9,33 mL para 0,55 ou 1,00 % de ácido, respectivamente) e 2,75 g de metabissulfito de sódio, para liberação de 0,20 % de SO<sub>2</sub>. A temperatura foi mantida à 50-55°C. Os controles da temperatura e da velocidade de circulação foram realizados através de um banho termostático e bombas peristálticas (Figura 7). Ao final, separou-se a água de maceração para a determinação de sólidos solúveis.



Figura 7: Sistema de maceração dos grãos de milho

#### 4.4.3 Recuperação do germe

A amostra foi triturada em um “blender” (Figura 8) na proporção de uma porção de grão macerado para um porção de água destilada (primeira moagem). Em seguida, o conteúdo foi transferido para um recipiente. Devido à diferença de densidade, o germe, que é menos denso, foi recuperado com o auxílio de pequenas telas de mesh nº 14 e 16 (Figura 9), enxaguado para retirar amido e fibras agregados e, em seguida, seco em estufa a 49 °C por 12 horas. Após a determinação de umidade foram pesados para o cálculo do rendimento. O tempo de separação foi mantido em torno de 50 minutos para padronização e comparação.



Figura 8: Blender utilizado para a primeira moagem



Figura 9: Recuperação do germe.

#### 4.4.4 Segunda moagem

A massa restante, sem o germe, foi enviada ao moinho de discos (Figura 10) para a redução das partículas e obtenção de uma pasta fina e homogênea, que permaneceu em repouso para decantação dos sólidos.



Figura 10: Moinho de discos (segunda moagem)

#### 4.4.5 Recuperação da fibra

Os sólidos decantados e o sobrenadante foram peneirados em peneira vibratória com malha de 325 mesh (Figura 11) para a separação da fibra, que foi seca a 49°C por 12 horas em estufa. Após a determinação da umidade, a fibra foi pesada para cálculo do rendimento. A solução que passou pela peneira foi recolhida em outro recipiente para recuperação do amido e glúten.



Figura 11: Peneira vibratória e fibra recuperada.

#### 4.4.6 Separação amido-proteína

Após deixar a solução em repouso e separar parte do sobrenadante, a densidade da solução foi medida com o aerômetro de Baumé e ajustada para 6° Bé (0,104 g/mL), ideal para a separação. Este ajuste da densidade foi realizado corrigindo a solução adicionando-se parte do sobrenadante separado previamente.

A separação amido-proteína foi realizada em mesas de amido constituídas de canaletas de alumínio em forma de “U” com aproximadamente 8,0 centímetros de largura, 6,0 metros de comprimento e inclinação de 2°. Estes valores foram determinados através de estudos para a melhor decantação do amido e menor contaminação protéica do mesmo (SINGH; ECKHOFF, 1996). Nestas condições, sob densidade adequada e vazão adequada de bombeamento, o amido fica retido na mesa e a proteína, com menor densidade, escoar até a outra extremidade da canaleta, onde é recuperada.

A solução, mantida sob agitação, foi bombeada para a mesa com velocidade de 300 mL/minuto e o restante do sobrenadante separado para correção da densidade foi bombeado

em seguida. O amido, mais denso, decantou na canaleta, enquanto a proteína foi recolhida em outro recipiente no final da calha. Esta etapa é mostrada na Figura 12.

Após 24 horas, o amido foi retirado da canaleta com espátulas e pincéis, seco a 49°C por 12 horas em estufa e pesado para cálculo do rendimento.



Figura 12: Etapa de recuperação do amido.

#### 4.4.7 Recuperação da proteína

Foi feita por filtração à vácuo, como mostra a Figura 13. A proteína retida no papel de filtro (previamente pesado) foi seca a 49°C por 12 h e, em seguida, a umidade foi obtida para o cálculo do rendimento. A análise de sólidos solúveis foi realizada na água do filtrado.



Figura 13: Recuperação da proteína.

#### 4.4.8 Determinação de sólidos solúveis

Ao término da maceração dos grãos e filtração do glúten, a solução drenada foi usada para determinação da quantidade de sólidos solúveis presentes. Três sub-amostras de 50 mL do líquido foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 49°C por 12 horas. Após esse período, foram colocadas em estufa a 103°C por 5 horas. O material restante foi pesado para determinação da quantidade de sólidos solúveis para todo o volume de solução.

#### 4.4.9 Análise do teor protéico residual do amido obtido

Para verificação da pureza dos amidos obtidos nas moagens de cada um dos híbridos (eficiência da separação do amido e da proteína), estes foram submetidos à análise de proteína de acordo com o método nº 46-12 descrito na AACCC (1995).

### 4.5 Delineamento experimental e análise dos resultados

Para a condução deste estudo foi utilizado um delineamento fatorial de 4x2, correspondendo a 4 híbridos de milho e dois níveis de ácido láctico, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Delineamento experimental das moagens úmidas

| Híbrido | Ácido Láctico | Repetições |   |
|---------|---------------|------------|---|
|         |               | 1          | 2 |
| H1      | 0,55%         | -          | - |
|         | 1,00%         | -          | - |
| H2      | 0,55%         | -          | - |
|         | 1,00%         | -          | - |
| H3      | 0,55%         | -          | - |
|         | 1,00%         | -          | - |
| H4      | 0,55%         | -          | - |
|         | 1,00%         | -          | - |

As médias das características físicas (dimensões, esfericidade, diâmetro geométrico, massa de cem grãos, porosidade, % de grãos boiantes) e químicas (porcentagens de umidade, carboidrato, proteínas, lipídios, cinzas e fibras) foram determinadas assim como os rendimentos em amido, proteína, fibra, germe e sólidos. Esses resultados foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste de Tukey a um nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa computacional ESTAT (BANZATTO; KRONKA, 1995).

Realizou-se também comparações entre os resultados obtidos, estudando possíveis relações entre as características físicas e químicas nos rendimentos de subprodutos dos grãos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização física dos grãos

Os resultados das medidas de comprimento (A), largura (B) e espessura (C), esfericidade, diâmetro geométrico ( $\emptyset$ ), porosidade, porcentagem de grãos boiantes, peso volumétrico e massa de cem grãos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Características físicas dos grãos dos quatro híbridos de milho.

| Característica física                         | Híbridos                  |                           |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|   | 2B587                     | A2555                     | 30F98                     | Somma                     |
| <b>A (cm)</b>                                 | 1,30 ± 0,06 <sup>A</sup>  | 1,22 ± 0,09 <sup>A</sup>  | 1,29 ± 0,07 <sup>A</sup>  | 1,15 ± 0,08 <sup>A</sup>  |
| <b>B (cm)</b>                                 | 0,84 ± 0,07 <sup>A</sup>  | 0,79 ± 0,07 <sup>A</sup>  | 0,85 ± 0,07 <sup>A</sup>  | 0,81 ± 0,07 <sup>A</sup>  |
| <b>C (cm)</b>                                 | 0,40 ± 0,04 <sup>A</sup>  | 0,42 ± 0,07 <sup>A</sup>  | 0,41 ± 0,04 <sup>A</sup>  | 0,44 ± 0,04 <sup>A</sup>  |
| <b>Esfericidade</b>                           | 0,59 ± 0,03 <sup>A</sup>  | 0,61 ± 0,06 <sup>A</sup>  | 0,60 ± 0,03 <sup>A</sup>  | 0,64 ± 0,04 <sup>A</sup>  |
| <b><math>\emptyset</math> geométrico (cm)</b> | 0,76 ± 0,03 <sup>A</sup>  | 0,73 ± 0,04 <sup>A</sup>  | 0,77 ± 0,03 <sup>A</sup>  | 0,74 ± 0,03 <sup>A</sup>  |
| <b>Porosidade (%)</b>                         | 45,05 ± 1,36 <sup>A</sup> | 44,72 ± 1,24 <sup>A</sup> | 45,44 ± 1,24 <sup>A</sup> | 45,59 ± 2,18 <sup>A</sup> |
| <b>Grãos boiantes (%)</b>                     | 24,67 <sup>A</sup>        | 2,33 <sup>C</sup>         | 13,50 <sup>B</sup>        | 3,50 <sup>C</sup>         |
| <b>Peso volumétrico (g. L<sup>-1</sup>)</b>   | 818 <sup>C</sup>          | 833 <sup>B</sup>          | 814 <sup>C</sup>          | 850 <sup>A</sup>          |
| <b>Massa de cem grãos (g)</b>                 | 35 ± 0,01 <sup>B</sup>    | 33 ± 0,01 <sup>C</sup>    | 37 ± 0,01 <sup>A</sup>    | 35 ± 0,00 <sup>B</sup>    |

<sup>A,B,C</sup> – Médias seguidas de mesma letra, em cada linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Observa-se na Tabela 3 que os quatro híbridos não apresentaram diferenças estatísticas em suas dimensões médias (A, B e C), apesar da diferença de suas aparências. Os resultados para tamanho de grãos possibilitam a escolha das dimensões dos furos de peneiras para máquinas de limpeza, baseada na média do intervalo de previsão (95%) da dimensão do

comprimento. Considerando que, em peneiras de furos redondos, o grão de milho é separado em função de sua largura, deve-se adotar essa dimensão como referência. Neste caso, a média do intervalo de previsão (95%) do comprimento, a ser adotado, não pode ser menor que a dimensão média da largura.

A esfericidade e o diâmetro geométrico médios também não foram diferentes entre os híbridos e as Figuras 14 e 15 mostram suas distribuições, respectivamente. Os histogramas indicam que os quatro híbridos apresentaram distribuições normais, com a grande maioria da população de 200 grãos analisados dentro dos valores médios ou próximo deles.

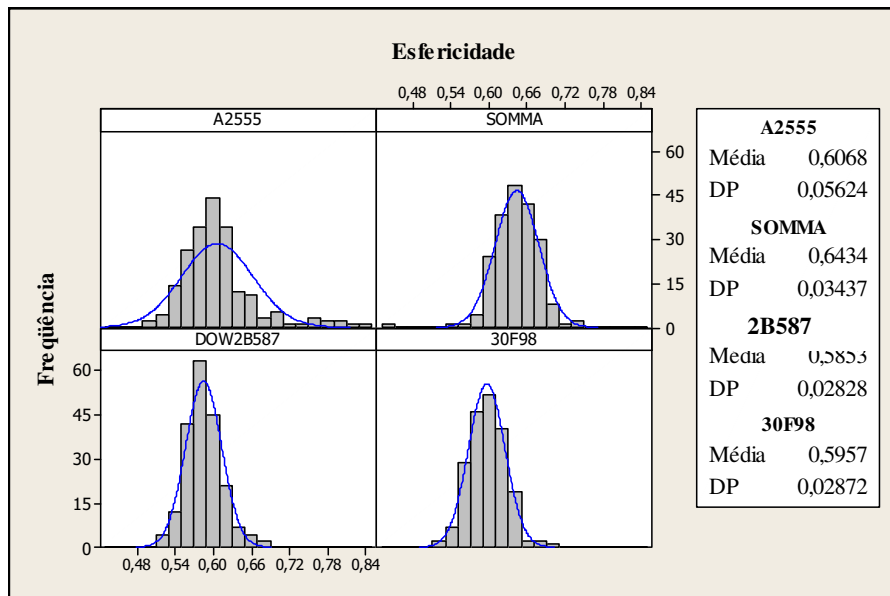


Figura 14: Distribuição da esfericidade dos quatro híbridos de milho.

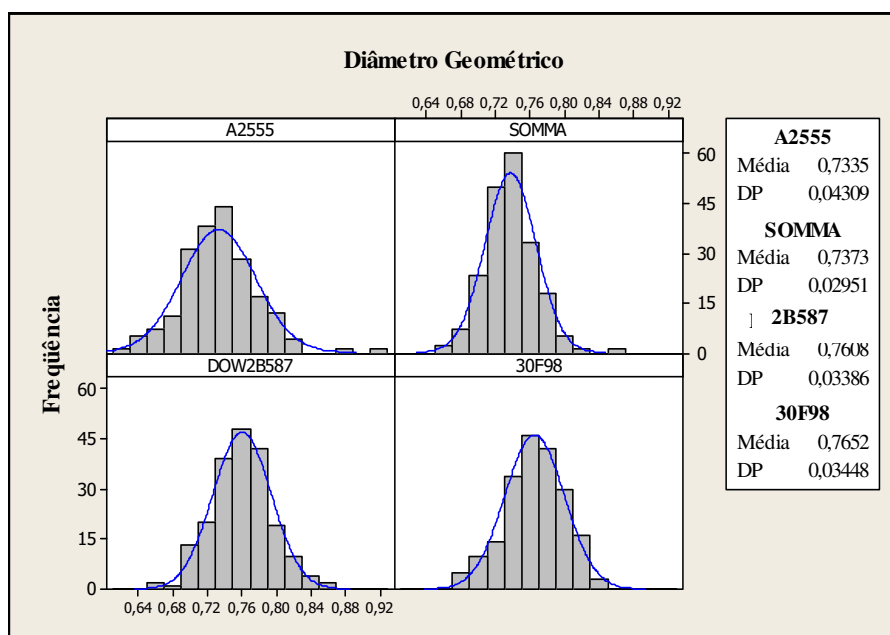


Figura 15: Distribuição do diâmetro geométrico dos quatro híbridos de milho.

O comportamento observado nas Figuras 14 e 15 é semelhante à maioria dos produtos agrícolas como observado por Afonso Júnior *et al.* (2000) e os valores estão dentro do esperado. O híbrido A2555 apresentou distribuição mais ampla para ambos os casos.

Os valores médios de porosidade, que mede o “espaço vazio” numa massa de grãos, não apresentaram diferença entre os híbridos, o que poderia influenciar diretamente o peso volumétrico dos grãos (AFONSO JÚNIOR *et al.*, 2000).

Quanto ao peso volumétrico, massa de cem grãos e porcentagem de grãos boiantes, a análise de variância mostrou que houve diferença significativa entre os valores obtidos, para os quatro híbridos. Como os híbridos não apresentaram diferenças estatísticas em suas dimensões, esfericidade, diâmetro geométrico e porosidade, o esperado é que um maior valor de massa ou peso volumétrico, ou um menor valor de porcentagem de grãos boiantes, indiquem um maior conteúdo de sólidos no grão (grãos com endosperma mais compacto). Para as indústrias esta característica é importante, pois indica grande potencial produtivo: maior conteúdo de sólidos (maior rendimento) e menor suscetibilidade à quebra (menores perdas durante a colheita, transporte e processo).

A Figura 16 apresenta a relação do peso volumétrico com a porcentagem de grãos boiantes de cada híbrido.

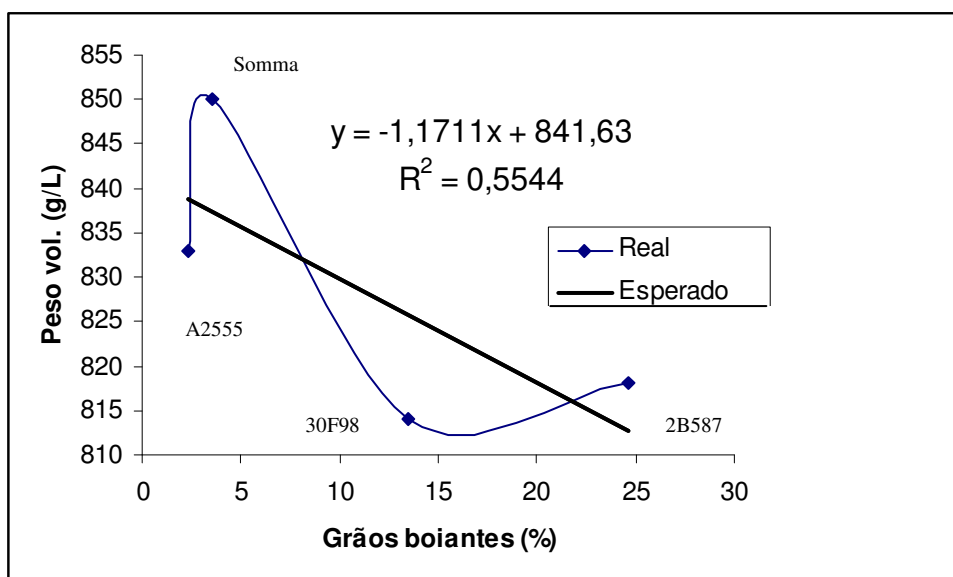


Figura 16: Peso volumétrico em função da porcentagem de grãos boiantes

De acordo com a teoria, um grão de aparência vítrea deveria apresentar maior peso volumétrico e menor teor de grãos boiantes. No entanto, estas características não se relacionaram assim como verificado por Duarte *et al.* (2008), o que permite corroborar a conclusão de que a avaliação da aparência de um grão não é um método eficiente para prever a densidade dos grãos e seu potencial industrial. Os dados da Figura 16, comprova a inexistência da relação entre estas características físicas através de um baixo coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,55$ ). O esperado para a figura seria a reta decrescente apresentada no gráfico. O híbrido Somma, de aparência mais vítrea foi o que apresentou maior peso volumétrico e menor valor de boiantes, o que está de acordo com a teoria. Porém, o híbrido 2B587, de aparência dentada, apesar de ter apresentado o maior valor de grãos boiantes, apresentou peso volumétrico similar ao 30F98, que possui aparência mais vítrea que este. A variação pode ser explicada pelas diferenças dos tratamentos culturais e insumos agrícolas aplicados durante o cultivo dos híbridos. Além disso, a composição química dos grãos influencia diretamente os valores de grãos boiantes e peso volumétrico.

Observando-se os valores de massa de 100 grãos de cada híbrido na Tabela 3, percebe-se que não há relação com seu peso volumétrico. Isto pode ter ocorrido porque os pesos volumétricos dos híbridos foram determinados no IAC, antes de terem suas amostras submetidas aos procedimentos de preparo e secagem. Pode-se observar que o híbrido Somma, que apresentou maior peso volumétrico, foi o que aparentemente perdeu mais peso após a secagem, se igualando à massa do híbrido 2B587, que havia apresentado menor peso volumétrico. Isto indica que o híbrido Somma possui provavelmente maior teor de umidade.

A partir destes resultados tem-se que um grão pode apresentar maior peso volumétrico que outro, porém, não se pode dizer que isto indica maior teor de sólidos e, conseqüentemente, maior rendimento e menor suscetibilidade à quebra, pois parte deste peso pode corresponder à umidade contida na composição química do grão.

## **5.2 Composição centesimal dos grãos de milho**

As composições dos quatro híbridos são apresentadas na Tabela 4, e podem explicar as diferenças entre as características físicas discutidas anteriormente.

Tabela 4: Composição centesimal dos grãos de milho.

| Composição<br>(%)  | Híbridos                   |                           |                           |                           |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                    | 2B587                      | A2555                     | 30F98                     | Somma                     |
| <b>Umidade</b>     | 10,80 ± 0,27 <sup>BC</sup> | 10,61 ± 0,29 <sup>C</sup> | 11,86 ± 0,65 <sup>B</sup> | 12,20 ± 0,32 <sup>A</sup> |
| <b>Carboidrato</b> | 74,41 ± 1,53 <sup>A</sup>  | 73,38 ± 1,57 <sup>A</sup> | 73,50 ± 2,21 <sup>A</sup> | 74,38 ± 0,75 <sup>A</sup> |
| <b>Proteínas</b>   | 9,06 ± 0,08 <sup>A</sup>   | 8,71 ± 0,18 <sup>B</sup>  | 8,67 ± 0,11 <sup>B</sup>  | 8,21 ± 0,14 <sup>C</sup>  |
| <b>Lipídios</b>    | 3,23 ± 0,12 <sup>B</sup>   | 4,77 ± 0,29 <sup>A</sup>  | 3,00 ± 0,94 <sup>B</sup>  | 3,77 ± 0,11 <sup>AB</sup> |
| <b>Cinzas</b>      | 1,26 ± 0,05 <sup>A</sup>   | 1,14 ± 0,02 <sup>B</sup>  | 1,07 ± 0,02 <sup>B</sup>  | 1,08 ± 0,02 <sup>B</sup>  |
| <b>Fibras</b>      | 1,25 ± 1,01 <sup>A</sup>   | 1,40 ± 0,79 <sup>A</sup>  | 1,89 ± 0,49 <sup>A</sup>  | 1,36 ± 0,16 <sup>A</sup>  |

<sup>A,B,C</sup> – Médias seguidas de mesma letra, em cada linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

De acordo com a Tabela 4, o híbrido 2B587 apresentou o maior teor protéico (9,06 %), seguido do A2555 e 30F98 (8,71 e 8,67 %) e, por fim, o híbrido Somma, com menor teor (8,21 %). Um maior teor de proteína era esperado para o híbrido Somma, devido à sua aparência mais vítrea e maior peso volumétrico, decorrente de um endosperma aparentemente mais compacto. No entanto, esta análise visual não confirmou esta relação.

O maior teor protéico do híbrido 2B587 foi observado na prática, durante a separação amido-proteína na mesa de amido, pois tornou a etapa mais difícil devido à rápida decantação das proteínas e dificuldade de lavagem do amido. Isto demonstra que um grão com maior peso volumétrico ou aparência mais vítrea não representa necessariamente um grão mais duro, com alto teor de sólidos. De acordo com Pereira (2006), a vitreosidade e a dureza são comumente utilizadas para se referir à textura do grão, no entanto, não designam a mesma propriedade. A vitreosidade está relacionada com a aparência enquanto a dureza refere-se a uma propriedade física, e não se relacionam necessariamente.

O híbrido 2B587 apresentou menor teor de umidade (10,80 %), o qual não se diferenciou estatisticamente dos híbridos A2555 (10,61 %) e 30F98 (11,86 %). Apresentou também maior teor de cinzas (1,25 %).

O híbrido Somma apresentou o maior teor de umidade (12,20 ± 0,32 %), confirmando a explicação anterior de que seu maior peso volumétrico é devido a sua umidade. Também apresentou maior teor de lipídios (3,77 %). O teor de fibras e carboidratos não se diferenciaram estatisticamente entre os híbridos.

Pelos resultados da composição centesimal pode-se, em princípio, estimar que os rendimentos das moagens sejam similares. Entretanto, em função das diferenças das características físicas, a performance da moagem de cada milho pode ser influenciada.

### 5.3 Moagem úmida dos grãos de milho

Os rendimentos da moagem úmida dos quatro tipos de milho são apresentados na Tabela 5. Embora grande parte dos resultados não tenham apresentado diferença estatística, verifica-se certa influência das características físicas e químicas dos grãos.

Tabela 5: Rendimentos de amido e subprodutos recuperados nas moagens úmidas dos quatro híbridos de milho

| Híbrido | % Ácido láctico |                    | Rendimento (%)     |                    |                    |                   | Sólidos na Água dos processos (%) |                    | Rendimento total (%) |
|---------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------|
|         | 0,55            | 7,27 <sup>C</sup>  | 12,12 <sup>A</sup> | 61,90 <sup>A</sup> | 10,46 <sup>A</sup> | 4,84 <sup>A</sup> | 2,70 <sup>A</sup>                 |                    |                      |
|         |                 |                    |                    |                    |                    |                   |                                   | Germe              |                      |
| 2B587   | 1,00            | 7,70 <sup>BC</sup> | 12,00 <sup>A</sup> | 62,15 <sup>A</sup> | 9,76 <sup>A</sup>  | 5,67 <sup>A</sup> | 2,59 <sup>A</sup>                 | 99,87 <sup>A</sup> |                      |
|         | 0,55            | 8,26 <sup>AB</sup> | 10,11 <sup>A</sup> | 61,90 <sup>A</sup> | 10,71 <sup>A</sup> | 5,24 <sup>A</sup> | 1,85 <sup>A</sup>                 | 98,07 <sup>A</sup> |                      |
| 30F98   | 1,00            | 7,91 <sup>BC</sup> | 9,87 <sup>A</sup>  | 62,80 <sup>A</sup> | 9,26 <sup>A</sup>  | 6,06 <sup>A</sup> | 2,21 <sup>A</sup>                 | 98,11 <sup>A</sup> |                      |
|         | 0,55            | 7,79 <sup>BC</sup> | 12,18 <sup>A</sup> | 62,79 <sup>A</sup> | 9,75 <sup>A</sup>  | 5,04 <sup>A</sup> | 2,40 <sup>A</sup>                 | 99,95 <sup>A</sup> |                      |
| Somma   | 1,00            | 7,97 <sup>BC</sup> | 9,80 <sup>A</sup>  | 63,82 <sup>A</sup> | 10,61 <sup>A</sup> | 5,46 <sup>A</sup> | 2,33 <sup>A</sup>                 | 99,99 <sup>A</sup> |                      |
|         | 0,55            | 8,59 <sup>A</sup>  | 12,04 <sup>A</sup> | 61,76 <sup>A</sup> | 10,58 <sup>A</sup> | 4,79 <sup>A</sup> | 2,20 <sup>A</sup>                 | 99,96 <sup>A</sup> |                      |
| A2555   | 1,00            | 8,39 <sup>B</sup>  | 9,46 <sup>A</sup>  | 62,98 <sup>A</sup> | 10,24 <sup>A</sup> | 6,23 <sup>A</sup> | 2,43 <sup>A</sup>                 | 99,73 <sup>A</sup> |                      |

A, B, C – Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Observa-se na Tabela 5 que o híbrido A2555 e o 30F98 foram os que proporcionaram melhores rendimentos de germe (em média 8,59 e 8,26 %, respectivamente). O A2555 também foi o híbrido que apresentou maior teor de lipídios em sua composição centesimal ( $4,77 \pm 0,29$  %) quando comparado aos demais híbridos na Tabela 4. O maior teor de lipídios e/ou maior tamanho do germe desses grãos, facilitou a recuperação e estes se apresentaram maiores e inteiros, com menor dano físico devido à primeira moagem. O menor dano físico indica que a etapa de maceração foi adequada para estes dois híbridos, pois foi suficiente para amaciar o

grão e proporcionar melhor separação dos componentes. Rausch *et al.* (1999) também observaram uma maior facilidade de recuperação de germes nos híbridos com maior teor de lipídios. Observaram também que, além do maior rendimento em germe, tais germes apresentavam maior teor de óleo quando comparado aos germes de um grão comum.

O híbrido 2B578, que possui característica de endosperma compacto (maior teor protéico na composição centesimal), apresentou germes de menor tamanho que quebraram com facilidade em todos os testes de moagens, o que dificultou sua recuperação, proporcionando baixos rendimentos (em média 7,49 %). Isto está de acordo com os estudos de Duarte *et al.* (2008), em que híbridos com maior produtividade geram menor rendimento em óleo. Esta dificuldade de recuperação não pode ser relacionada ao menor teor de lipídios ( $3,23 \pm 0,12$  %) de sua composição centesimal quando comparado aos demais híbridos na Tabela 4, pois o 30F98 possui teor de lipídios semelhante ( $3,00 \pm 0,94$  %) e nem por isso sua recuperação de germe foi dificultada. Portanto, a maior dificuldade de recuperação e quebra dos germes do híbrido 2B587 pode estar relacionada com outras características como a menor difusão da água de maceração para o interior do grão. Assim, o grão não atingiu maciez suficiente para evitar os danos no germe. Entre os fatores que podem ter dificultado a difusão está o alto teor protéico, responsável pela maior compactação do endosperma.

Os rendimentos em fibra não se diferenciaram entre os híbridos. No entanto, a grande danificação e dificuldade de recuperação do germe do híbrido 2B587, provavelmente fizeram com que pequenos pedaços de germe fossem recuperados juntamente com a fração de fibra (peneira mais fina), assim, o rendimento de fibras do híbrido 2B587 pode ter sido influenciado por este fato. De acordo com Lopes Filho (1999), quando a maceração não é suficiente em termos de tempo e quantidade de  $\text{SO}_2$  e ácido láctico, a fração de fibra é maior, pois parte do amido e mesmo da porção protéica ficam agregados a ela. Assim, quanto maior a quebra das redes de proteína, cujo principal responsável é o  $\text{SO}_2$ , aliado a maior facilidade de lavagem da fibra, onde o ácido láctico tem papel importante, menor será a “contaminação” da fração de fibra e, conseqüentemente, menor seu rendimento final, que é desejado na produção de amido de milho. Pode-se observar na Tabela 5 que embora os rendimentos de fibra não tenham se diferenciado estatisticamente, foram numericamente maiores para o 2B587, considerando que o teor de fibra de sua composição foi numericamente menor que os demais híbridos. Vignaux *et al.* (2006) e Shandera *et al.* (1995) também observaram este comportamento, onde grãos com alto teor protéico dificultaram a recuperação de amido, o qual ficou agregado na parte protéica e na fibra. Isto foi observado na prática devido à maior

dificuldade na lavagem da fibra do híbrido 2B587. Em todas suas moagens, este híbrido proporcionou fibras com aspecto gelatinoso, devido principalmente a presença de amido.

Os rendimentos de proteína apresentados na Tabela 5 (em média 10,12 %) estão compatíveis com outros estudos (SINGH; ECKHOFF, 1996; MANZONI, 2000) e não foram diferentes entre si. No entanto, as porcentagens de proteínas dos híbridos recuperadas nas moagens são maiores que as porcentagens de proteína de suas composições apresentadas na Tabela 4, ou seja, os grãos tiveram seus rendimentos aumentados devido a contaminações por outras frações. O híbrido Somma, por exemplo, que apresentou menor teor de proteínas em sua composição ( $8,21 \pm 0,14$  %) na Tabela 4, apresentou rendimento protéico na moagem estatisticamente igual aos demais grãos (9,75 %) (Tabela 5), ou seja, teve seu rendimento protéico aumentado ou “contaminado” por outra fração. Alguns fatores podem ter influenciado no aumento deste rendimento como a “contaminação” por amido devido a alguma falha do processo como desregulagem da inclinação da canaleta ou na vazão da bomba. O mesmo ocorreu para o híbrido A2555 e 30F98.

Considerando que ocorreu uma “contaminação” para todos os híbridos, o híbrido 2B587 deveria ter apresentado também maior recuperação da fração protéica, uma vez que apresentou maior teor protéico em sua composição apresentada na Tabela 4 ( $9,06 \pm 0,08$  %). Isto indica que o híbrido 2B587 proporcionou menores rendimentos de proteína, possivelmente por ser prejudicado pela falta de amaciamento devido a dificuldade de penetração da solução de maceração em seu interior. Por não estarem amaciados corretamente, os germes dos grãos foram quebrados na primeira moagem, o que liberou alto teor de óleo na solução. O óleo liberado possui menor densidade que a água, facilitando a decantação das proteínas juntamente com o amido na canaleta, prejudicando sua recuperação. Fox *et al.* (1992) também observaram que os grãos com maior porcentagem de proteínas apresentaram alto teor de proteína residual no amido obtido, devido a maior dificuldade de separação amido-proteína. Esta dificuldade de escoamento das proteínas na mesa de amido foi observada na prática, pois as proteínas do híbrido 2B587 decantavam ao longo de todo o percurso da canaleta, dificultando a lavagem do amido e prejudicando seu rendimento.

Os rendimentos de amido também não foram estatisticamente diferentes entre os híbridos e estão compatíveis a outros estudos da literatura (média de 62,50 %). Esse rendimento significa uma recuperação em torno de 86% de todo o amido dos grãos levando-se em conta os dados da Tabela 4. Esses valores são compatíveis com outros estudos conforme apresentado na Tabela 1.

Apesar de não se diferenciarem estatisticamente, verificou-se uma tendência de menor rendimento para o híbrido 2B587, comprovando o fato de que os grãos com endosperma mais compacto tendem a apresentar menor rendimento devido às perdas nas demais frações, principalmente de fibra. Apenas o híbrido A2555 apresentou menor rendimento de amido que o 2B587, o que pode ser explicado por seu maior teor de lipídios, que reduz a porcentagem de carboidrato. Rausch *et al.* (1999), também obtiveram menores rendimentos de amido para híbridos com maiores teores de óleo. Provavelmente em função do maior tamanho dos germes destes grãos.

Como pôde ser observado neste estudo, as características físicas e químicas não influenciaram os rendimentos de subprodutos para os quatro híbridos de milho nas condições de moagem estabelecidas. Porém, verificou-se a tendência de algumas influências, as quais poderão ser exploradas e analisadas com maior clareza em outros estudos com novos níveis de ácido láctico.

As observações do presente estudo confirmam a teoria de Duarte (2007) de que não é ideal julgar a qualidade de processamento de um grão por análises preliminares (como a análise de peso volumétrico, aparência ou tamanho do grão), afinal, outros fatores podem influenciar os rendimentos da moagem úmida, como por exemplo, a sua composição química.

Para otimizar a moagem úmida do milho deve-se entender os mecanismos de absorção de água, SO<sub>2</sub> e ácido láctico pelos grãos de milho durante a maceração (LOPES FILHO *et al.*, 2006). Vários estudos foram realizados neste sentido incluindo a determinação do efeito do SO<sub>2</sub> e do ácido láctico nas taxas de hidratação e a variação de volume e massa dos grãos durante a maceração (ROUSHDI *et al.*, 1981; HAROS *et al.*, 1995; VERMA; PRASAD, 1999). No entanto, é essencial o estudo e a caracterização, ou seja, o entendimento da influência das características físico-químicas de diferentes híbridos para ajustes no processo de moagem como aumento do tempo da maceração e/ou aumento da concentração de SO<sub>2</sub> e/ou ácido láctico e/ou temperatura para a melhor extração dos componentes de um determinado grão.

Influência do ácido láctico: A maior concentração de ácido láctico favorece a penetração da solução de maceração no interior do grão, aumentando a eficiência da atuação do SO<sub>2</sub> no rompimento das cadeias protéicas. A separação dos componentes é facilitada melhorando a recuperação dos subprodutos. Os valores da Tabela 5 indicam, em média, uma tendência de melhores rendimentos para a concentração de 1,00 % de ácido. Entretanto, os resultados não foram estaticamente diferentes para os dois níveis (Tabela 5). Um rendimento

total de 98-99 % é comum no procedimento de moagem úmida, não sendo aceitável, de acordo com Du *et al.* (1996), recuperação abaixo de 97 %. Os resultados deste estudo estão dentro do esperado.

Foi observado também um aumento na porcentagem de sólidos solúveis da solução de maceração com 1,00 % de ácido láctico. Wang (1944) e Lopes-Filho (1997) também reportaram maiores quantidades de sólidos solúveis. Além disso, a maior facilidade de recuperação dos componentes, principalmente a recuperação do germe, foi constatada na prática em todas as moagens com 1,00 % de ácido láctico.

Apesar de também não terem se diferenciado estatisticamente, verificou-se uma tendência de menor rendimento de fibras com o aumento do ácido láctico, o que significa que parte da fibra recuperada na moagem com 0,55 % de ácido pode ser amido residual. Como a hidratação do grão foi mais eficiente, houve melhor separação dos componentes e o amido foi recuperado mais facilmente (LOPES FILHO, 1999).

De acordo com a análise estatística não há vantagem na utilização de 1,00 % do ácido em comparação com 0,55 % para os híbridos estudados. Níveis maiores poderão ser testados para confirmação destes resultados. Singh *et al.* (1997) trabalhando com 18 híbridos comerciais em três níveis de ácido láctico, determinaram que o nível ótimo de concentração deste ácido para a recuperação do amido ficou entre 0,55 e 1,67 %. Seus estudos mostraram que abaixo de 0,55 % e acima de 1,67 % os rendimentos de amido decrescem. Roushdi *et al.* (1981) verificaram também que não somente o excesso de SO<sub>2</sub> prejudica a ação do ácido láctico, como o contrário também é verdadeiro. O excesso de ácido láctico diminui o rendimento de amido e aumenta a porcentagem residual de proteína do mesmo, pela possível interação com o SO<sub>2</sub> prejudicando sua ação. Não se tem conhecimento da ação do ácido no complexo amido-proteína (SHANDERA *et al.*, 1995).

#### **5.4 Análise do teor protéico residual dos amidos**

As médias dos resultados obtidos da análise do residual protéico dos amidos são apresentadas na Tabela 6. Os teores de proteína nos amidos não se diferenciaram estatisticamente entre os quatro híbridos e nem entre as moagens com diferentes níveis de ácido láctico. No entanto, há uma tendência de redução da porcentagem de proteína residual no amido quando o grão foi macerado com 1,00 % de ácido láctico. Isto pode ser devido a uma maior hidratação do grão e, conseqüentemente, maior ação do SO<sub>2</sub> no rompimento das cadeias protéicas efetivando a separação amido-proteína. O híbrido 2B587 comprova este fato, pois

teve o amido com maior contaminação residual de proteína, devido a sua maior dureza e conseqüente menor hidratação e menor ação do SO<sub>2</sub> no rompimento das cadeias de proteínas.

Tabela 6: Porcentagens de proteína nos amidos obtidos

| Híbrido     | % de ácido | % de proteína no amido |
|-------------|------------|------------------------|
| 2B587       | 0,55       | 0,80 <sup>A</sup>      |
|             | 1,00       | 0,68 <sup>A</sup>      |
| A2555       | 0,55       | 0,71 <sup>A</sup>      |
|             | 1,00       | 0,69 <sup>A</sup>      |
| Somma       | 0,55       | 0,71 <sup>A</sup>      |
|             | 1,00       | 0,60 <sup>A</sup>      |
| 30F98       | 0,55       | 0,59 <sup>A</sup>      |
|             | 1,00       | 0,51 <sup>A</sup>      |
| Média Total |            | 0,66                   |

A, B, C – Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Para as indústrias, níveis de 0,35 a 0,50 % de proteína residual no amido são aceitáveis (ECKHOFF *et al.*, 1993). De acordo com Singh *et al.* (1997), embora a indústria de moagem úmida tenha por objetivo obter um amido com residual de 0,30 % de proteína, valores de até 0,50 % são aceitáveis para híbridos dentados. Assim sendo, a maioria dos resultados do teor protéico no amido dos estudos comparados na Tabela 1, se enquadram nos padrões industriais. Apenas algumas pesquisas ficaram fora dos padrões, como por exemplo, a de Singh e Eckhoff (1995) (citado na Tabela 1), que utilizaram a maceração por batelada com recirculação e mesas de amido, apresentando 0,64 % de proteína residual. Os resultados do presente estudo (Tabela 6) apresentaram média de 0,66 %, valor também inaceitável para a indústria. No entanto, segundo Eckhoff *et al.* (1993), altos níveis de proteína residual são esperados quando mesas de amido e separação manual de fibras são efetuadas. Nas indústrias os amidos passam por uma etapa de lavagem para remoção da proteína adicional. Diferenças de resultados de proteína residual no amido também podem ser verificadas no mesmo tipo de processo (maceração por batelada com recirculação e utilizando mesas de amido para separação amido-proteína) (Tabela 1), pois também dependem dos métodos empregados, equipamentos e tipo de grão envolvido. Neste estudo, todas as moagens foram realizadas pelo mesmo processo e mesmos equipamentos, o que permitiu as comparações entre os resultados considerando que as mesmas deficiências ocorreram em todos os testes de moagens.

## 6 CONCLUSÕES

- Os híbridos diferenciaram-se estatisticamente quanto à porcentagem de grãos boiantes, peso volumétrico, massa de cem grãos, umidade, proteínas, lipídios e cinzas.
- As diferenças de aparência e das características físico-químicas dos quatro híbridos de milho analisados não influenciaram os rendimentos de amido, proteína, germe e fibra, obtidos na moagem úmida.
- As características físicas de um grão não devem ser analisadas isoladamente para prever sua qualidade industrial. Um grão com maior peso volumétrico não indica necessariamente maior teor de sólidos e maior rendimento em amido. Parte de seu peso pode corresponder à sua umidade ou outra fração (germe, fibra, proteína), e isto só será verificado após análise da composição centesimal.
- O aumento da concentração de ácido láctico na água de maceração (0,55 para 1,00 %) não influenciou os rendimentos de subprodutos dos híbridos. Porém, observou-se uma tendência de melhoria dos rendimentos de amido, aumento da concentração de sólidos solúveis na água de maceração e redução do rendimento de fibra. Isto comprova que a maior concentração de ácido láctico pode melhorar a hidratação e a separação das frações.

## 7 BIBLIOGRAFIA

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; ANDRADE, E. T. Análise da variação das propriedades físicas e contração volumétrica dos grãos de milheto (*Pennisetum glaucum*) durante o processo de dessecção. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 15-21, 2000.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**, 9<sup>th</sup> ed. St. Paul, 1995, v. 2.

ANDERSON, R. A. Wet milling properties of grains: bench-scale study. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 8, p. 190-195, 1963.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS MOAGEIRAS DE MILHO. **Estatísticas**. Disponível em: < <http://www.abimilho.com.br>>. Acesso em: 15 fev. 2006.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. D. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995.

BENEDETTI, B. C. Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos. 125 f. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola) - Universidade estadual de Campinas, Campinas, 1987.

BENSON, G. O.; PEARCE, R. B. Corn perspective and culture. In: WATSON, S. A.; RAMSTAD, P. E. **Corn: chemistry and technology**. 3. ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, cap. 1, p. 1-29, 1994.

BLANCHARD, P. H. **Technology of corn wet milling and associated processes**. Elsevier, New York: 1992.

BRANDEMART, E. A. **Efeito das condições do processo de maceração dinâmica e moagem intermitente sobre as propriedades físico-químicas do amido de milho**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2002.

BRANDEMART, E. A.; FRANCO, C. M. L.; LOPES-FILHO, J. F. Physicochemical properties of maize starch obtained from intermittent milling and dynamic steeping (IMDS) under various steeping conditions. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 81, n. 3, p. 369-376, 2004.

CABRALES, L.; NIU, Y. X.; BURIK, P.; ECKHOFF, S. R. Effect of laboratory batch steeping pH on starch yield and pasting properties of selected corn hybrids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n. 1, p. 22-24, 2006.

COX, M. J., MACMASTERS, M. M., HILBERT, G. E. Effects of the sulfurous acid steep in corn wet milling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 21, p. 447-465, 1944.

DU, L.; LI, B.; LOPES FILHO, J. F.; DANIELS, C. R.; ECKHOFF, S. R. Effect of selected organic and inorganic acids on corn wet milling yields. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 73, p. 96 – 98, 1996.

DUARTE, A. P. A aparência engana. **Revista Cultivar**, p. 10-12, mar. de 2007.

DUARTE, A. P.; CARVALHO, C. R. L.; CAVICHIOLI, J. C. Densidade, teor de óleo e produtividade de grãos em híbridos de milho. *Bragantia*, Campinas, v. 17, n. 3, p.759 – 767, 2008.

ECKHOFF, S.R. Corn wet milling manual. In: A E. **Staley Manufacturing Company**. Decatur, 1989.

ECKHOFF, S.R.; JAYASENA, W.V.; SPILLMAN, C.K. Wet milling of mize grits. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, n. 3, p. 257-9, 1993.

ECKHOFF, S. R.; TSO, C.C. Wet milling of corn using gaseous SO<sub>2</sub> addition before steeping and the effect of lactic on steeping. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, p.248-251, 1991.

FERNANDES, V. G. **Co-produtos de comercialização do milho**. Mogi Guaçu, 1998. Mimeografado.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Zea mays L**. Disponível em [www.fao.org](http://www.fao.org). Acesso em 6 ago.2006.

FOX, S. R.; JOHNSON, L. A.; HURBURGH, C. R.; DORSEY-REDDING, C.; BAILEY, T. B. Relations of grain proximate composition and physical properties to wet milling characteristics of maize. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, n. 2, p. 191-197, 1992.

GOODMAN, M. M., SMITH, J. S. C. Botânica. In: PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. [s.l.]: Fundação Cargill, 1986, cap 2, p. 32-70.

HANAN, R.; PURCHWITE, M.; ROSENRETER, E. (Eds). **ASAE standards**, St. Joseph, 1985.

HAROS, M.; VIOLLAZ, P. E.; SUAREZ, C. Effect of temperature and SO<sub>2</sub> on the rates of water absorption of three maize hybrids. **Journal of food engineering**, Great Britain, v. 25, p. 473 – 482, 1995.

HAROS, M.; PEREZ, O. E.; ROSELL, C. M. Effect of steeping corn with lactic acid on starch properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 81, n. 1, p. 10 – 14, 2004.

HOSENEY, R. C. **Structure of cereals**. In: Principles of cereal:science and technology. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, p. 12, 1994.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 3. ed. São Paulo, 1985. v.1.

JACKSON, D. S.; SHANDERA, D. L. Jr. Corn wet milling: Separation chemistry and technology. **Advances in Food and Nutrition Research**, Lincoln, v. 38, p. 271-300, 1995.

JENNINGS, S. D.; MYERS, D. J.; JOHNSON, L. A.; POLLAK, L. M. Effects of maturity on grain quality and wet-milling properties of two selected corn hybrids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul. v. 79, p. 697-702, 2002.

SILVA JÚNIOR, V. L.; COTTA, J. T. B.; OLIVEIRA, A. I. G. Efeito das formas de apresentação do milho e do uso de pedrisco na ração sobre o desempenho de frangos de corte. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1165 – 1171, set/out, 2003.

LIMA, G. A. Botânica da espécie: descrição. In: **Cultura do Milho**. Fortaleza: UFCE, 1976, cap. 1, p. 21-24.

LOPES FILHO, J. F.; BURIK, P.; TUMBLESON, M.E.; ECKHOFF, S. R. Intermittent milling and dynamic steeping process for corn starch recovery. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, n°5, p. 633-638, 1997.

LOPES FILHO, J. F. Avaliação da maceração dinâmica do milho após um curto período de hidratação e subsequente quebra do pericarpo do grão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 322-325, 1999.

LOPES FILHO, J. F.; RAMOS, A. P.; ROMERO, J. T. Difusividade da água, dióxido de enxofre e ácido láctico em grãos de milho durante a maceração para o processo de moagem úmida. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 257 – 263, 2006.

MANZONI, M. S. J. **Influência da temperatura, níveis de dióxido de enxofre e ácido láctico durante maceração dinâmica e moagem intermitente para obtenção de subprodutos do milho**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2000.

MBUVI, S.; ECKHOFF, S. R. Effect of stress cracks on corn wet milling yields. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 5, p. 695-696, 2002.

MERTENS, D. R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES. Anais...SBZ - ESAL, 188., MG, 1992.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science, 1970, p. 742.

NUSSIO, L. G. **Milho**. A cultura do milho e sorgo para a produção de silagem, Piracicaba: USP, ESALQ, p. 58-86, 1990.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Circular Técnica n. 75**. Sete Lagoas, dezembro, Embrapa, 2006, p. 1-6.

PEPLINSKI, A. J.; PAULSEN, M. R.; ANDERSON, R. A.; KWOLEK, W. F. Physical, chemical, and dry-milling characteristics of corn hybrids from various genotypes. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n. 2, p. 117 – 120, 1989.

PEREIRA, R. C. Relação entre características bioquímicas e estruturais e a textura do grão de milho. 54 f. Tese (doutorado em agronomia) - Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, 2006.

RAMIREZ, E. C.; JOHNSTON, D. B.; MCALOON, A. J.; YEE, W.; SINGH, V. Engineering process and cost model for a conventional corn wet milling facility. **Industrial Crops and Products**, v. 27, p. 91-97, 2008.

RAUSCH, K. D.; FOX, E. J.; ECKHOFF, S. R. Wet milling characteristics of high oil corn hybrids. **Starch-Staerk**, v. 51, n. 11 -12, p. 411 – 415, 1999.

RAUSCH, K. D.; BELYEA, R. L. The future of coproducts from corn processing. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. vol. 128, n. 1, p. 47-86, 2006.

ROUSHDI, M.; GHALI, Y.; HASSANEAN, A. Factors improving steeping process of corn grains, part III. Conditions favoring lactic acid formation during corn stepping and its effect. **Starch-Starke**, v. 33, p.49-52, 1981.

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.

SHANDERA, D. L.; PARKHURST, A. M.; JACKSON, D. S. Interactions of sulfur dioxide, lactic acid and temperature during simulated corn wet milling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, p. 371-378, 1995.

SINGH, N.; ECKHOFF, S.R. Wet milling of corn: a review of laboratory – scale and pilot plant- scale procedures. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 73, p.659-67, 1996.

SINGH, S. K.; ECKHOFF, S. R. Effect of pump rate table slope on starch recovery for a 100-g laboratory wet-milling procedure. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 73, n. 1, p. 51-53, 1996.

SINGH, V.; HAKEN, A. E.; DOWD, M. K.; NIU, Y. X.; ZOU, S. H.; ECKHOFF, S. R. Hybrid dependent effect of lactic acid on starches yields. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, p. 249 – 253, 1997.

SINGH, V.; HAKEN, A. E.; NIU, Y. X.; ZOU, S. H.; ECKHOFF, S. R. Wet-milling characteristics of selected yellow dent corn hybrids as influenced by storage conditions. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 75, n. 2, p. 235 – 240, 1998.

STEINKE, J.; JOHNSON, L. Steeping maize in the presence of multiple enzymes. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, p. 7 – 17, 1991.

TEIXEIRA, M. M.; MARTYN, P. J.; HARA, T.; CUNHA, J. P. A. R. Propriedades físicas e aerodinâmicas aplicadas ao projeto de máquinas de limpeza para grãos de milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 11, n. 1-4, dez/jan, 2003.

VASCONCELLOS, A. **A importância do Ácido fítico**: (Relatório semestral para bolsa de apoio acadêmico e extensão). Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Universidade Estadual, São José do Rio Preto, 2007.

VERMA, R. C.; PRASAD, S. Kinetics of absorption of water by maize grains. **Journal of food engineering**, v. 39, p. 395 – 400, 1999.

VIGNAUX, N.; FOX, S. R.; JOHNSON, L. A. A 100-g laboratory wet milling procedure for maize and comparison with larger scale laboratory procedures. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 83, n 5, p. 482-490, 2006.

WANG, D. Effect of broken and pericarp damaged corn on water absorption and steepwater characteristics. Dissertação de mestrado em engenharia agrícola - Universidade de Illinois, Illinois, 1944.

WANG, D.; ECKHOFF, S. R. Effect of broken corn levels on water absorption and steepwater characteristics. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 77, n. 5, p. 525-528, 2000.

WATSON, S. A. corn and sorghum starches: production. In: **“Starch: Chemistry and Tecnology”** (R. L. WHISTLER, J. M. BEMILLER, and E. F. PASCHALL, Ed.), p. 417-467. Academic Press, Orlando, 1984.

WHITE, P. J.; JOHNSON, L. A. **Corn: chemistry and technology**, 2, American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, 2003, p. 467-468.

YANG, P. ECKHOFF, S. R. Reducing steeping time by adding lactic acid during countercurrent steeping of corn with different initial moisture contents. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 77, n. 5, p. 529-534, 2000.

YANG, P.; HAKEN, A. E.; NIU, Y.; CHANEY, S. R.; HICKS, K. B.; ECKHOFF, S. R.; TUMBLESON, M. E.; SINGH, V. Effect of steeping with sulfite salts and adjunct acids on corn wet milling yields and starch properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 82, n. 4, p. 420-424, 2005.