

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM EM CAMADA ESTACIONÁRIA DELGADA DO  
MILHO (*Zea mays*) NA QUALIDADE DO GRÃO E VISCOSIDADE DO AMIDO**

**EXTRAÍDO**

**POR**

**DANIELA LOBO KAZINCZI**

*Baruer*

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação  
Mestrado defendida por Daniela Lobo Kazinczi e aprovada  
pela Comissão Julgadora em 22 de agosto de 1996. Campinas  
08 de novembro de 1996.

*MS*  
Presidente da Banca

**Campinas-SP  
Agosto-1996**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM EM CAMADA ESTACIONÁRIA DELGADA DO  
MILHO (*Zea mays*) NA QUALIDADE DO GRÃO E VISCOSIDADE DO AMIDO  
EXTRAÍDO**

**POR**

**DANIELA LOBO KAZINCZI**

**Orientador:  
Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>.MARIA REGINA SARTORI**

**Dissertação apresentada como cumprimento parcial dos requisitos para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia Agrícola: área de concentração Pré-  
Processamento de Produtos Agropecuários.**

**Campinas-SP  
Agosto-1996**



|              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| UNIDADE      | BC                                  |
| N.º CHAMADA: |                                     |
| T/unicamp    |                                     |
| K189i        |                                     |
| V            | Ex.                                 |
| TOMBO B3/    | 31858                               |
| PROC         | 281/97                              |
| C            | <input type="checkbox"/>            |
| D            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PREÇO        | R\$ 11,00                           |
| DATA         | 18/10/97                            |
| N.º CPD      |                                     |

CM-00101836-1

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

K189i Kazinczi, Daniela Lobo  
Influência da secagem em camada estacionária delgada do milho (*Zea mays*) na qualidade do grão e viscosidade do amido extraído / Daniela Lobo Kazinczi.--Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: Maria Regina Sartori.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Milho - Secagem. 2. Milho - Qualidade. 3. Milho - Viscosidade. I. Sartori, Maria Regina. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

## DEDICATÓRIA

À Deus ofereço, porque em todos os momentos tive a certeza de que Ele estava comigo me preenchendo com sua paz e energia.

Aos meus pais Ferenc e Sirene e ao meu irmão Peter dedico, pela força e amor durante os momentos difíceis.

Aos meus amigos, que nesta caminhada sempre estiveram presentes torcendo e vibrando comigo.

“O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem, mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir.”

Albert Einstein

## **AGRADECIMENTOS**

À Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>ª</sup>. Maria Regina Sartori, pela orientação, apoio e incentivo durante o curso de mestrado.

Aos professores, Yoon Kil Chang e João Domingos Biagi, pela colaboração e orientação durante a realização dos trabalhos.

À Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>ª</sup>. Cecília Collares pela ajuda e amizade durante estes anos todos.

À Refinações de Milho Brasil pelo apoio técnico e financeiro.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

À Cristina de Paula R. S.Magno pelo apoio e dedicação em tornar este trabalho o melhor possível.

Aos técnicos de laboratório da FEAGRI, Célia, Dagoberto e Maria Rosália por serem prestativos e estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos pesquisadores, funcionários e técnicos do Instituto de Tecnologia de Alimentos ITAL, em especial ao Carlos Arruda, Márcio Costa e Marcos Alves que muito contribuíram para que este trabalho fosse avante.

Aos companheiros da pós-graduação Denise Gomes, Luís Otávio e Maria Aparecida que nesta batalha sempre estiveram presentes com palavras de incentivo.

Aos amigos Alex André, Cíntia, Salma e Salvador que sempre estiveram comigo nos momentos mais difíceis, fica aqui o meu muito obrigado.

Ao amigo José Augusto Cardia por estar com as portas de sua casa abertas possibilitando a conclusão deste trabalho.

Aos primos Melchiades, Rosana e Rosane pela força e ajuda no decorrer deste trabalho.

À minha tia Elda pelas orações e carinho.

Aos amigos da Associação Voppus Stella Maris pelas orientações espirituais que muito contribuem para que eu seja uma pessoa melhor a cada dia.

À todos os amigos, colegas e funcionários que se dedicaram direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

|                                                   | Página |
|---------------------------------------------------|--------|
| PÁGINA DE ROSTO                                   | i      |
| DEDICATÓRIA                                       | ii     |
| AGRADECIMENTOS                                    | iii    |
| SUMÁRIO                                           | v      |
| LISTA DE TABELAS                                  | viii   |
| LISTA DE FIGURAS                                  | x      |
| RESUMO                                            | xii    |
| SUMMARY                                           | xiii   |
| 1.INTRODUÇÃO                                      | 1      |
| 2.OBJETIVOS                                       | 4      |
| 3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA                           | 5      |
| 3.1.Origem e classificação do milho               | 5      |
| 3.2.Estrutura e composição do grão do milho       | 9      |
| 3.3.Produção anual e consumo do milho no Brasil   | 15     |
| 3.4.Processo de secagem                           | 18     |
| 3.4.1.Princípios de secagem                       | 18     |
| 3.4.2.Efeito da secagem sobre a proteína do milho | 20     |
| 3.4.3.Efeito da secagem no “Stress cracks”        | 25     |
| 3.4.4.Moagem via-úmida                            | 35     |





|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.7.5. Propriedades viscoamilográficas                                           | 61 |
| 4.1.7.6. Análise estatística                                                       | 65 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES                                                         | 66 |
| 5.1 Composição centesimal da matéria-prima                                         | 66 |
| 5.2. Condições ambientais e resultados experimentais durante o teste<br>de secagem | 67 |
| 5.3. Curvas de secagem                                                             | 72 |
| 5.4. Turbidez                                                                      | 74 |
| 5.5. Índice de quebra                                                              | 79 |
| 5.6. Colorimétrico                                                                 | 83 |
| 5.7. Composição centesimal do amido de milho                                       | 85 |
| 5.8. Propriedades viscoamilográficas                                               | 86 |
| 6. CONCLUSÕES                                                                      | 92 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                                      | 94 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                 | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabela 1. Composição química do milho em suas diferentes partes                                 | 13     |
| Tabela 2. Composição química dos componentes do milho                                           | 14     |
| Tabela 3. Quanto se consome de milho no Brasil, por segmento,<br>1992-93                        | 16     |
| Tabela 4. Oferta e demanda de milho no Brasil, 1984-93                                          | 17     |
| Tabela 5. Distribuição das proteínas do milho entre as diferentes<br>partes do grão             | 25     |
| Tabela 6. Resultados da composição centesimal da matéria-prima                                  | 66     |
| Tabela 7. Dados obtidos nos testes de secagem                                                   | 70     |
| Tabela 8. Condições ambientais médias durante o período de<br>secagem                           | 71     |
| Tabela 9. Resultados do teste de turbidez                                                       | 77     |
| Tabela 10. Análise estatística do teste de turbidez                                             | 77     |
| Tabela 11. Relação dos valores de transmitância com diferentes<br>temperaturas do ar de secagem | 78     |
| Tabela 12. Resultados do índice de quebra                                                       | 82     |
| Tabela 13. Análise estatística do índice de quebra                                              | 82     |
| Tabela 14. Resultados do teste colorimétrico                                                    | 84     |
| Tabela 15. Análise estatística do teste colorimétrico                                           | 84     |

Tabela 16. Resultados da composição centesimal do amido de milho

85

Tabela 17. Resultados das propriedades viscoamilográficas do  
amido de milho

88

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                         | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. Corte esquemático de um grão de milho                                                                         | 10     |
| Figura 2. Esquema do secador                                                                                            | 50     |
| Figura 3. Caixa para observação das fissuras dos grãos                                                                  | 57     |
| Figura 4. Esquema de extração e separação dos componentes do grão de milho                                              | 59     |
| Figura 5. Equipamentos de laboratório para processo de separação de amido e de glútem do milho                          | 60     |
| Figura 6. Viscoamilograma com indicação dos principais parâmetros de viscosidade                                        | 64     |
| Figura 7. Curvas de secagem para os tratamentos com 25,4% de umidade inicial e temperaturas de secagem de 60, 70 e 80°C | 73     |
| Figura 8. Curvas de secagem para os tratamentos com 22,5% de umidade inicial e temperaturas de secagem de 60, 70 e 80°C | 73     |
| Figura 9. Curvas de secagem para os tratamentos com 18,0% de umidade inicial e temperaturas de secagem de 60, 70 e 80°C | 74     |

Figura 10. Curvas viscoamilográficas do amido de milho, referentes  
às diferentes temperaturas de secagem com umidade  
inicial de 25,4%

89

Figura 11. Curvas viscoamilográficas do amido de milho, referentes  
às diferentes temperaturas de secagem com umidade  
inicial de 22,5%

90

Figura 12. Curvas viscoamilográficas do amido de milho, referentes  
às diferentes temperaturas de secagem com umidade  
inicial de 18,0%

91

## RESUMO

A qualidade da matéria prima, de acordo com seu uso final, é um aspecto fundamental. Este trabalho teve por finalidade a avaliação da qualidade do milho variedade Cargill-C125 destinado à moagem por via-úmida após secagem em camada fixa à diferentes temperaturas e umidades iniciais, através da avaliação das proteínas não desnaturadas (teste de turbidez), índice de quebra, quantificação do grau de stress (teste colorimétrico) e propriedades viscoamilográficas do amido de milho. Os tratamentos utilizados foram: 3 níveis de temperatura medidos no interior do grão (60, 70 e 80°C), 1 fluxo de ar (21m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>), 1 altura de camada (8cm) e três umidades iniciais da matéria-prima (25,4; 22,5 e 18,0%). As umidades iniciais de 22,5 e 18,0%, foram obtidas pela secagem ao sol, a partir da umidade de 25,4%. Os resultados indicaram que, do ponto de vista de desnaturação proteica, o pior tratamento foi o de 25,4% de umidade inicial submetido à secagem a 80°C (25,4%/80°C), tendo os melhores resultados sido obtidos a 18,0%/60°C e 18,0%/70°C. Os tratamentos não diferiram significativamente quanto ao índice de quebra. O método desenvolvido de caixa com luz fria e tampo de vidro possibilitou uma boa visualização das fissuras. Na quantificação do grau de stress através do teste colorimétrico a única diferença significativa observada foi entre os tratamentos 25,4%/60°C e 25,4%/80°C. As propriedades viscoamilográficas do amido de milho não diferiram significativamente entre os diferentes tratamentos. A influência das diferentes temperaturas de secagem empregadas foi melhor detectada pelo teste de proteínas não desnaturadas.

## SUMMARY

Grain quality according to end use is a fundamental aspect. The objective of this work was the evaluation of corn quality for wet milling, after drying in a fixed layer at different temperatures and initial moisture contents, through evaluation of non denaturated protein (turbidity test), stress cracking, degree of stress cracking (colorimetric test) and viscoamilographic properties of starch. Treatments were: 3 temperature levels, measured in the interior of the grain (60, 70 and 80°C), 1 air flow (21m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>), 1 thickness of layer and 3 initial moisture contents (25,4; 22,5 and 18,0%). Initial moisture contents of 22,5 and 18,0% were obtained by sun drying, starting from 25,4%. Results indicated that, from the point of view of protein denaturation, the worse treatment was 25,4% initial moisture content, submitted to drying at 80°C (25,4%/80°C), best results being obtained at 18%/60°C and 18%/70°C. Treatments did not differ significantly as far as stress cracking was concerned. The method developed of a box with cold light covered by glass, allowed a good observation of fissures. In the quantification of the degree of stress through the colorimetric test the only significative difference observed was between the treatments 25,4%/60°C and 25,4%/80°C. Viscoamilografic properties of corn starch did not differ significantly among different treatments. The influence of different drying temperature was better detected by the test of denaturated proteins.

## 1.INTRODUÇÃO

Nas condições climáticas dominantes em nosso país, o teor de umidade dos grãos por ocasião da colheita é, via de regra, superior àquele adequado para estocagem. A secagem natural é um processo lento, sujeito a variações climáticas e inadequado para grandes quantidades de produto.

A secagem artificial é apresentada, desta forma, como um processo mecânico necessário para remover a umidade até o nível conveniente, com a responsabilidade de não alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos grãos. Para que isso ocorra é preciso que a mesma seja conduzida cuidadosamente, observando as peculiaridades de cada espécie e o destino do grão a ser seco, pois, para cada caso existe uma umidade final e temperatura de secagem específica. Colher os grãos com maior teor de umidade, geralmente favorece a colheita e determina um percentual menor de perdas WEBER (1995).

A secagem mal conduzida, por outro lado, em vez de garantir a manutenção ou preservação da qualidade do grão, pode ser prejudicial, podendo inutilizá-lo totalmente.

O grão de milho submetido a altas temperaturas, durante a secagem apresenta rachaduras com conseqüente aumento da quebra nas operações de manuseio,



descoloração, maior dificuldade no processamento, baixa extração de amido, de óleo e baixa quantidade de proteínas BAKKER-ARKEMA (1993) e CHRISTENSEN (1974).

Segundo LASSERAN apud WEBER (1995), a umidade média de colheita de milho na França é de 25%, chegando a 40%, que é considerada muito elevada. Em certas regiões do Brasil, estamos nos aproximando de valores médios em torno de 30%.

Um produto com alto teor de umidade possui maior quantidade de água livre, a qual, funciona como verdadeiro dissolvente. Quanto mais alta a temperatura, tanto maior será o poder dissolvente. Pela evaporação da água os dissolvidos solúveis em água vão se acumulando na periferia dos grãos. É evidente que um produto que sofreu este fenômeno, em grande escala, estará alterado ao final da secagem PUZZI (1986).

Algumas considerações devem ser feitas em relação aos danos causados aos grãos, devido a aplicação de altas temperaturas de secagem. Em especial, o milho, grão em estudo neste trabalho, e matéria-prima para a obtenção dos produtos como farinha de milho, fubá, farelo, óleo e amido.

O amido de milho é, dos subprodutos, aquele que possui maior capacidade de absorção pelo mercado, dada sua múltipla utilização intermediária PUZZI (1986).

Segundo KINOSHITA (1994), a indústria de extração de amido tem tido problemas durante o processo de moagem via-úmida devido a presença de material

gelatinizado retido em peneiras. Existe suspeita de que o problema esteja sendo causado, pela utilização de altas temperaturas de secagem. Para a indústria moageira seria altamente desejável o desenvolvimento de um método simples, prático, que permitisse aos compradores detectar milho seco com temperaturas demasiadamente altas.

O presente trabalho teve por objetivo verificar a qualidade do milho submetido a secagem artificial com diferentes temperaturas e umidades iniciais, destinado à moagem via-úmida. Podendo desta forma, fornecer indicações sobre a influência da temperatura de secagem sobre a qualidade do milho. Os parâmetros utilizados foram a viscosidade do amido, a solubilidade da proteína, o índice de quebra e quantificação do grau de stress sofrido pelo grão.

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo geral**

-Avaliar a qualidade do milho submetido à secagem artificial, destinado à moagem via-úmida, através da viscosidade do amido recuperado, da solubilidade da proteína, índice de quebra e quantificação do grau de stress sofrido pelo grão.

### **2.2.Objetivos específicos.**

- Avaliar a influência de diferentes temperaturas de secagem e umidades iniciais na viscosidade do amido, na solubilidade da proteína, índice de quebra e quantificação do grau de stress ocorrido devido a estes tratamentos.

- Selecionar e/ou desenvolver um método rápido, simples e eficiente que permita detectar lotes de milho secos a temperaturas altas.

- Determinar a melhor condição de secagem em função dos tratamentos a serem empregados.

### **3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1.Origem e classificação do milho**

O milho é uma planta anual, robusta, monocotiledônea, utilizada preferencialmente como fonte alimentar, pertencente a família das gramíneas, à tribo Maydeae, ao gênero *Zea*, sendo cientificamente designada pela espécie como *Zea mays*.

Segundo alguns arqueólogos, o milho é originário do continente americano. Contudo, a exatidão dos seus ancestrais e de sua região de origem, ainda é bastante controvertida entre a maioria dos pesquisadores. A maioria, acredita ser tal gramínea oriunda do México e da região onde se encontra atualmente assentado o Estado do Novo México ao sul dos Estados Unidos FANCELLI e LIMA (1982).

Na verdade, o grão de milho, é um fruto do tipo cariopse, característico das gramíneas e portador de uma única semente.

Os grãos de milho podem diferenciar-se significativamente quanto a cor, podendo ser branco, amarelo, laranja, vermelho, roxo e marrom. As diferenças de cor podem ser atribuídas a diferenças genéticas no pericarpo, aleurona, germe e endosperma. O pericarpo pode ser incolor, laranja, vermelho cereja, vermelho, vermelho escuro, marrom ou variegado. A camada de aleurona pode ser incolor, vermelha, roxa avermelhada, roxa

ou marrom; o germe pode ser incolor, amarelo, vermelho alaranjado ou roxo; o endosperma pode também ser incolor, amarelo, laranja ou vermelho alaranjado. De todos somente o milho amarelo ou branco dentado tem se expandido comercialmente WATSON (1987).

É uma espécie bastante variável quanto a suas características, conhecendo-se desde variedades que atingem sua maturidade em pouco mais de dois meses, até outras que exigem períodos maiores que um ano para completar seu ciclo. A variedade de cores de seus grãos, bem como o efeito multicolor de espigas de algumas de suas variedades mais pitorescas tem feito com que sejam freqüentemente utilizadas como adornos por alguns povos da América. Quanto ao tamanho e forma, seus grãos podem apresentar minúsculas dimensões (milho pinto) até tamanhos avantajados (milho cuzco), assumindo os mais diferentes aspectos morfológicos FANCELLI e LIMA (1982).

Esta extrema variabilidade de caracteres apresentada pelo milho, produto de ação de fatores genéticos peculiares a algumas variedades, impõe a necessidade da subdivisão da espécie em sete subgrupos genéticos distintos portadores de características similares quanto a estrutura e forma dos grãos. Assim, temos:

#### Grupo Indurata:

Neste grupo são encontradas variedades portadoras de grãos duros, arredondados, com endosperma córneo envolvendo completamente o endosperma farináceo. As variedades dentro desse grupo são comumente designadas por milho duro.

#### Grupo Indentata:

As variedades presentes nesse grupo são comumente denominadas de milho mole, sendo caracterizadas pela presença de uma depressão na parte superior de seus grãos. Nestas variedades o endosperma córneo encontra-se disposto lateralmente envolvendo parcialmente o endosperma farináceo localizado na região central do grão.

#### Grupo Amilácea:

Neste grupo são listadas variedades apresentando grãos arredondados, opacos e extremamente macios, de particular valor industrial, devido a sua facilidade de trituração. Estas variedades são caracterizadas principalmente pela escassez de endosperma córneo em sua constituição, bem como pela sua extrema suscetibilidade ao ataque de insetos e microorganismos, resultando consequentemente em baixo índice de conservação.

#### Grupo Everta

As variedades presentes neste grupo, são caracterizadas pela ocorrência de grãos extremamente duros, pequenos e frequentemente ponteados, apresentando predominantemente em sua constituição o endosperma córneo. O milho everta, em função da dureza de seus grãos, permite o aumento de pressão interna dos mesmos quando submetidos a aquecimento, o que acarreta súbita expansão do amido macio, responsável pela inversão do grão, resultando no produto final denominado pipoca.

#### Grupo Tunicata:

Neste grupo são encontradas as mais primitivas variedades conhecidas, as quais comumente são denominadas de milho vestido. Seus grãos são envolvidos individualmente pela palha, o que provavelmente um dia constitui-se em importante mecanismo de disseminação e perpetuação da espécie. As características peculiares dessas variedades são controladas por um fator dominante Tu.

#### Grupo Ceracea:

Os grãos característicos desse grupo de variedades apresentam predominantemente em sua constituição um amido com alto teor de amilopectina, conferindo ao produto um aspecto ceráceo, sendo por isso comumente conhecido como milho-cera. Seu diferente tipo de amido, colore-se de vermelho pela reação de iodo, ao contrário do amido comum que pela mesma reação adquire coloração azulada. As características desse grupo são controladas por um fator genético recessivo ("waxy"):wx.

#### Grupo Sacarata:

As variedades listadas neste grupo são conhecidas por milho doce, em virtude de predominância de açúcar (sacarose) em seus grãos, que quando secos assumem aspecto vítreo, translúcido e enrugado. Tais variedades são extremamente susceptíveis ao ataque de insetos e principalmente microorganismos em função de sua composição, que também torna obrigatória a sua utilização imediatamente após a colheita FANCELLI e LIMA (1982).

A utilização adequada dos diferentes tipos de milho deve ser baseada no seu teor de amido, proteína, óleo, cinzas e fibras HALL (1971) e WATSON (1967).

### 3.2. Estrutura e composição do grão do milho

O grão de milho é constituído de quatro partes principais (figura 1):

- o pericarpo ou invólucro celulósico exterior;
- germe ou embrião;
- o endosperma, composto de amido duro ou córneo e de amido mole ou farináceo;
- o funículo, ou resto de tecido de ligação entre o grão e a espiga, sob o qual aparece o hilo (ou ponto preto).



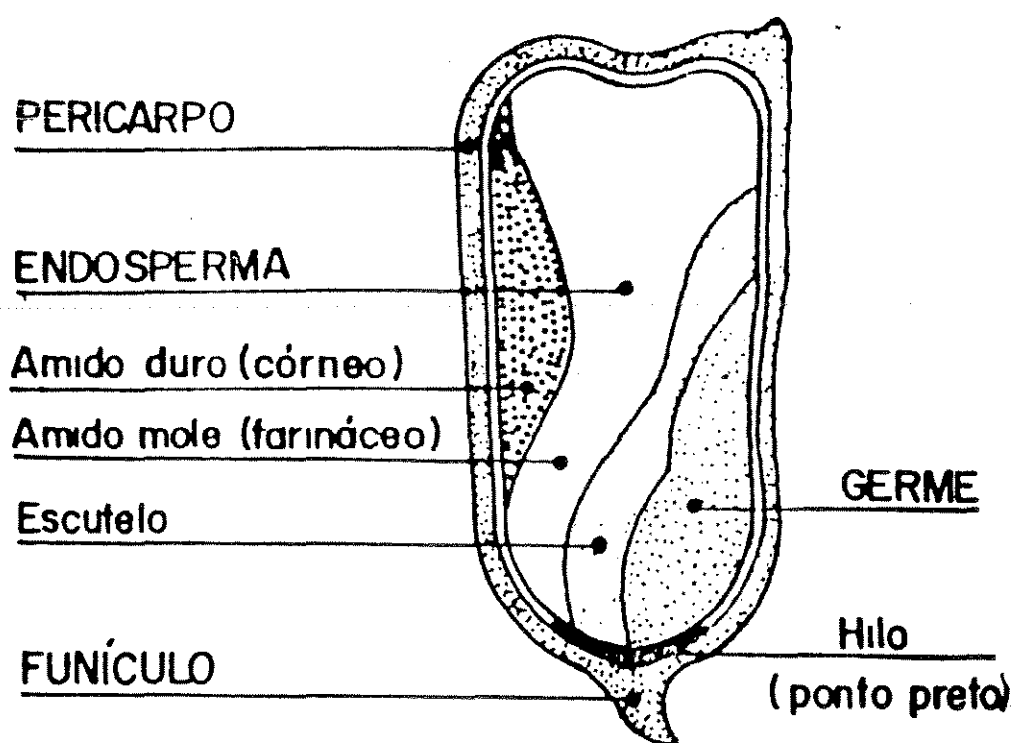


Figura 1. Corte esquemático de um grão de milho LASSERAN (1978).

Basicamente, o grão é constituído de pericarpo, endosperma e embrião. O pericarpo é a película externa que reveste o fruto, originário da parede do ovário, sendo responsável por aproximadamente 5% do peso total do grão.

A composição química média dessas frações, para milho maduro, é apresentada na tabela 1 ( porcentagem atribuída à substância seca de cada fração). O amido é concentrado no endosperma, enquanto que os outros constituintes (açúcares livres, proteínas, lipídeos e cinzas), é concentrado no embrião. Todavia, uma fração não negligenciável de proteínas do endosperma é encontrada concentrada na camada de aleurona sob o pericarpo. Por ocasião da secagem, essas proteínas, são particularmente expostas ao choque térmico. As proteínas são os mais termossensíveis dos constituintes dos grãos e podem, em caso de tratamento severo, ser desnaturadas ou danificadas LASSERAN (1978).

Segundo WOLFRON e KADHEN (1965) a composição química do milho é variável, alternando-se com o regime cultural, variedade e com a própria estrutura da semente. Este autor relata que o germe contém 10,0-12,5% de açúcar e 17,3-20,0% das proteínas existentes no grão, sendo que o endosperma contém 83,9-88,9% de amido.

Segundo FANCELLI e LIMA (1982) o milho debulhado, limpo, ventilado, em condições de seguir para o armazenamento, apresenta composição variável, em função de fatores como cultivar, condições de cultivo e grau de secagem. A tabela 2 ilustra

dados de composição médios, máximos e mínimos que não são absolutos; outros limites podem ocorrer.

Tabela 1. Composição química do milho em suas diferentes partes.

| P.G. | Porc.<br>Pond. | Amido | Aç.L. | Prot. | Lip. | Cin. | C.B. |
|------|----------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| End. | 82,3           | 86,4  | 0,6   | 9,4   | 0,8  | 0,3  | -    |
| Ger. | 11,5           | 8,2   | 10,8  | 18,8  | 34,5 | 10,1 | -    |
| Per. | 5,3            | 7,3   | 0,3   | 3,7   | 1,0  | 0,8  | -    |
| Fun. | 0,8            | 5,3   | 1,6   | 9,1   | 3,8  | 1,6  | -    |
| G.I. | 100,0          | 71,5  | 2,0   | 10,3  | 4,8  | 1,4  | 2,2  |

Fonte: LASSERAN, (1978).

P.G.-parte do grão; End.-endosperma; Ger.-germen; Per.-pericarpo; Fun.-funículo; G.I.-grão inteiro; Porc. Pond.-porcentagem ponderada (%); Aç. L.-açúcares livres (%); Prot.-proteínas (%); Lip.-lipídeos (%); Cin.-cinzas (%); C.B.-celulose bruta (%)

Tabela 2. Composição química dos componentes do milho.

| Componentes                 | composição | em     | g/100g |
|-----------------------------|------------|--------|--------|
|                             | Média      | Máxima | Mínima |
| Umidade                     | 11,70      | 16,09  | 9,16   |
| Extrativos não nitrogenados | 65,27      | 70,57  | 59,03  |
| Matéria graxa               | 5,83       | 9,20   | 3,11   |
| Proteína bruta              | 9,78       | 15,12  | 5,82   |
| Matéria celulósica          | 4,70       | 8,50   | 1,58   |
| Cinzas                      | 2,69       | 4,09   | 1,33   |

Fonte: FANCELLI e LIMA (1982).

Os extrativos não nitrogenados encerram amidos e outros componentes solúveis em água. Os milhos doces podem apresentar de 5 a 19% de açúcares nessa fração.

### 3.3. Produção anual e consumo do milho no Brasil

O milho, em função de sua composição e valor nutritivo, é considerado um dos mais importantes cereais cultivados no mundo, sendo suplantado apenas pelo trigo e arroz. O mesmo é contituído ainda de excelente matéria-prima, a qual impulsiona diversos complexos industriais FANCELLI e LIMA (1982). A tabela 3 mostra a multiplicidade de aplicações do milho nos anos de 1993-4.

A produção de milho representada na tabela 4 tem evoluído a cada ano em decorrência de sua crescente importância como fonte alimentar. Não só a área cultivada, bem como seu rendimento, têm aumentado significativamente nas últimas três décadas, principalmente em função do aprimoramento das técnicas culturais empregadas, maior disponibilidade de insumos modernos de produção e utilização efetiva de sementes híbridas FANCELLI e LIMA (1982).

Tabela 3. Quanto se consome de milho no Brasil, por segmento, 1992-93\*.

| Segmento               | Quantidade (1000 t) |
|------------------------|---------------------|
| Consumo comercial      | 20443,5             |
| Aves                   | 9815,6              |
| Suínos                 | 4994,6              |
| Moagem                 | 3784,0              |
| Sementes               | 221,5               |
| Outros .....           | 1627,8              |
| Consumo rural e perdas | 9056,5              |
| Consumo total          | 29500,0             |

Fonte: CFP, Informativo 25. Jornal Agrocerees - Janeiro (1994)

Obs. Item "Outros" refere-se ao consumo de outros animais e sementes.

Tabela 4. Oferta e demanda de milho no Brasil, 1984-93,(1000t).

| Ano  | Estoque inicial | Produção | Imp.   | Exp.  | Consumo | Estoque final |
|------|-----------------|----------|--------|-------|---------|---------------|
| 1984 | 823,5           | 21177,5  | 253,6  | 178,2 | 19955,4 | 2121,0        |
| 1985 | 2121,0          | 21173,9  | 262,1  | 0,0   | 22957,0 | 600,0         |
| 1986 | 600,0           | 20264,1  | 2423,6 | 0,0   | 21687,6 | 1600,1        |
| 1987 | 1600,1          | 26758,3  | 871,2  | 0,0   | 26350,2 | 2879,4        |
| 1988 | 2879,4          | 25223,6  | 15,0   | 0,0   | 25320,0 | 2798,0        |
| 1989 | 2798,0          | 26266,8  | 154,9  | 0,0   | 26140,0 | 3079,7        |
| 1990 | 3079,7          | 22257,4  | 700,0  | 0,0   | 24800,0 | 1237,1        |
| 1991 | 1237,1          | 24041,4  | 832,2  | 0,0   | 25288,0 | 822,7         |
| 1992 | 822,7           | 30770,8  | 340,0  | 0,0   | 28500,0 | 3433,5        |
| 1993 | 3433,5          | 28819,9  | 980,0  | 0,0   | 30000,0 | 3233,4        |

Fonte: Levantamento Conab, julho (1993).

Imp.-importação, Exp.-exportação



### 3.4. Processo de secagem

#### 3.4.1. Princípios de secagem

Secagem é um processo simultâneo de transferência de calor e massa, utilizado principalmente para diminuir a atividade de água a um nível suficiente, controlando o desenvolvimento de microorganismos, durante o período de estocagem previsto.

O princípio básico da secagem mecânica está na capacidade de secagem do ar ambiente aquecido que é forçado entre os grãos. A pressão do vapor da água existente nos grãos é aumentada pelo aquecimento do produto, facilitando, assim a saída da umidade. Parte do calor do ar secante proporciona um aumento da temperatura do produto (calor sensível) e parte fornece o calor necessário para a vaporização da água contida nos grãos (calor latente). O teor de umidade dos grãos diminui com a diminuição da UR do ar secante, segundo o equilíbrio higroscópico PUZZI (1986) e LASSERAN (1978).

Em um estudo sobre o efeito de parâmetros de secagem do milho em camadas finas (temperatura, fluxo de ar, umidade inicial do produto e umidade relativa do ar) sob condições experimentais de temperatura variando de 27 a 116°C e umidade inicial de 26 a 29%, foi concluído que a temperatura de secagem é o parâmetro que exerce maior influência sobre a taxa de secagem LI e MOREY (1984).

A secagem de materiais biológicos pode compreender dois períodos distintos: período de taxa constante e período de taxa decrescente DONZELES (1982) e SATHLER (1979). Materiais com elevado teor de umidade ou com água depositada em sua superfície são secos a uma taxa constante até que o produto atinja o teor de umidade crítico, quando então tem início o período de taxa decrescente. Esse período caracteriza a fase em que a taxa de difusão de umidade no interior do produto passa a ser insuficiente para repor a umidade na superfície. Para grãos de produtos agrícolas, o período de interesse é o de taxa decrescente BROOKER *et al.* (1974) e HALL (1958).

Num processo de secagem de camada fixa, o ar de secagem é movido de baixo para cima. A permutação de umidade, do grão para o ar, é realizada numa profundidade finita (camada) ou zona da massa de grãos. No começo da secagem a zona existe na parte inferior da camada. Conforme a secagem se processa a zona caminha para cima, passando através de toda massa de grãos. Dessa forma a massa inteira é seca entrando em equilíbrio com o ar de secagem. Os grãos situados abaixo da zona de secagem terão, essencialmente, atingido a umidade de equilíbrio com o ar de entrada. Os grãos acima da zona não começaram a ser secos e ainda tem o teor de umidade inicial. O ar passando através dos grãos que estão acima da zona de secagem estão em equilíbrio com a umidade inicial do grão. Na passagem através da zona de secagem, o ar retira umidade dos grãos pela evaporação causando o resfriamento pelo processo de evaporação. Dois gradientes existem através da zona de secagem: (1) gradiente de umidade; e (2) gradiente de temperatura. Se a camada de grãos é pouco profunda e/ou a velocidade do ar é alta, a

zona de secagem pode ser estendida completamente através da camada BROOKER *et al* (1974).

Um estudo realizado por DALBELLO (1995), mostrou que temperaturas de 40, 45 e 60°C e fluxo de ar de secagem de 12,5; 18,0 e 25m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>, para altura de camada de 0,5m não foram significativos em relação a variável gradiente de umidade na secagem em camada fixa do amendoim.

#### 3.4.2.Efeito da secagem sobre a proteína do milho

O grão de milho destinado a moagem via úmida, contudo, deveria ser seco a temperaturas não excedendo 54°C. O choque térmico provocado por altas temperaturas pode causar a desnaturação das proteínas, fazendo com que as mesmas tenham um inchamento menor durante a maceração, tendendo assim a segurar o amido mais tenazmente do que o grão não seco ou seco a baixas temperaturas. Caso contrário, se for seco a temperaturas acima de 54°C, o germe assume um aspecto emborrachado e tende a afundar ( o processo de separação do germe depende de sua flutuação). Além disso o amido tende a reter um alto conteúdo de óleo KENT (1975) e LASSERAN (1973). Aminoácidos e bases nitrogenadas podem ser absorvidas pelo amido, tornando a purificação difícil, diminuindo a qualidade do produto RADLEY (1952). Também, devido a altas temperaturas de secagem, a separação da proteína do amido é mais difícil FREEMAN (1972) apud GUNASEKARAN *et al* (1985).

Segundo FANCELLI e LIMA (1982), quando a secagem do milho é processada em altas temperaturas, acima de 60°C, o endosperma dos grãos sofre alterações químicas. Essas alterações não afetam o produto como alimento, porém reduzem a taxa de extração de amido e proteínas. Contudo, segundo MUJUMBAR e BEKE (1993), a qualidade do milho para moagem úmida não seria afetada a temperaturas abaixo de 70°C.

Para estudar minuciosamente os danos térmicos em grãos, há necessidade de se conhecer a temperatura interna do grão. Dados de temperatura no centro do grão, juntamente com estudos adicionais sobre danos nos grãos durante a secagem bem como os parâmetros como a condutividade térmica, o calor específico, o calor de vaporização da água dentro do grão, os coeficientes de difusão líquida e de vapor e as equações de isothermas, são essenciais para o desenvolvimento de modelos teóricos que conduzam à otimização da operação de secagem FORTES *et al* (1982).

BAKKER-ARKEMA *et al.* (1977) apud SILVA *et al* (1980), mostraram que entre outros fatores, um secador contra-corrente a alta temperatura propicia maior uniformidade e melhor qualidade do grão que os secadores de fluxos cruzados. Neste ponto, é enfatizado que o fator mais importante para a redução da qualidade do produto é a temperatura do grão e não a temperatura do ar.

Um certo número de métodos têm sido desenvolvidos para a detecção de danos, com relação às propriedades de moagem-úmida causados pela secagem artificial do

milho a elevadas temperaturas. Em geral estes métodos têm limitações, tais como: são demorados e/ou dão resultados que variam muito de acordo com o cultivar e a colheita WIGHT (1981).

Um estudo feito por LASSERAN (1973), mostra os resultados do teste de turbidez; o princípio do teste consiste na medida do índice de absorbância pela média das proteínas não desnaturadas, solúveis em água e proteínas termosensíveis, previamente precipitadas em um banho de água em ebulição. A absorbância é medida pela fração de calor sensível das proteínas não desnaturadas. Milho seco com teor de umidade inicial de 32% até 16-17%, apresentou absorbância de 0,25; 0,11; 0,07; 0,03; 0,03 à temperaturas do ar de secagem de 70, 80, 90, 100, 110°C.

Numa escala de 0 a 100% de transmitância da luz, a classificação entre 40-60% é considerada de excelente qualidade para a moagem úmida do grão, com 70-75% podendo ser marginalmente aceitável BAKKER-ARKEMA (1993).

Segundo WIGHT (1981), a eletroforese do extrato de albumina para as seguintes condições de secagem: (1) 30°C; (2) 100°C; (3) 80°C; 40% UR; (4) 60°C; 40% UR mostraram que as condições de secagem (2) e (3) sofreram parcial ou completa insolubilização das proteínas, mas somente a amostra que foi seca a 100°C mostrou uma apreciável queda no teor de amido na moagem úmida WIGHT (1981).

Segundo Mc GUIRE e EARLE (1958) os teores de proteína extraída do milho por água, solução salina e solução alcalina decrescem linearmente com temperaturas do ar de secagem entre 49 e 93°C. Os mesmos autores indicaram ausência de declínio na solubilidade da zeína a 95°C.

LASSERAN (1973) usando o teste de turbidez para determinar as proteínas solúveis em água indicou que aquecimento acima de 95°C causou uma queda marcante na extração de zeína; acima de 160°C, pouca zeína foi extraída.

WALL *et al* (1975) estabeleceu que a indução de calor diminui as proteínas solúveis em soluções salinas resultando em 2 fatores: a) mudanças na conformação da proteína e b) formação intermolecular de pontes dissulfídicas.

As proteínas do milho são compostas por uma mistura de vários tipos distintos de proteínas: globulinas solúveis em soluções salinas, prolaminas e zeínas solúveis em soluções alcoólicas e glutelinas solúveis em soluções alcalinas. Essas proteínas estão distribuídas diferentemente entre o germe e o endosperma. A tabela 5 mostra esta distribuição WHISTLER e PASCHALL (1967).

As proteínas do milho podem ser fracionadas em albumina (7%), globulina (10%), prolamina ou zeína (39%) e glutelina (35%) WALL *et al* (1975).

Albumina, globulina e glutelina estão em maior quantidade no germen, enquanto que a zeína está concentrada no endosperma WALL e PAULIS (1978).

O teste utilizado para avaliação do efeito da secagem, detectou apenas as proteínas solúveis em soluções salinas que não foram desnaturadas, ou seja, as globulinas.

Tabela 5. Distribuição das proteínas do milho entre as diferentes partes do grão.

| Partes do grão | Proteínas |       |           |            |
|----------------|-----------|-------|-----------|------------|
|                | Globulina | Zeína | Glutelina | Insolúveis |
| Grão inteiro   | 25        | 48    | 25        | 2          |
| Germe          | 37        | 5     | 51        | 7          |
| Endosperma     | 20        | 52    | 17        | 11         |
| Pericarpo      | -         | -     | -         | -          |

Fonte: WATSON (1967)

### 3.4.3. Efeito da secagem no “Stress Cracks”

O “Stress Cracks” (SC) são fissuras finas que ocorrem no endosperma do grão de milho. Quando manuseado e transportado, os grãos com SC quebram mais rapidamente, causando uma redução no valor comercial do grão. A avaliação da presença de grãos SC em um lote poderia ser útil na avaliação de sua qualidade. Tal índice de qualidade poderia ser útil na orientação, não somente do valor do uso final do produto mas também do método de secagem usado e as conveniências dos subseqüentes procedimentos de manuseio GUNASEKARAN *et al* (1985). Segundo BAKKER-ARKEMA (1993) stress cracks causam um aumento na quebra durante o manuseio.



Secagem imprópria, e o sistema de manuseio poderiam ser desenvolvidos para reduzir a incidência de grãos SC. Se o número de amostras for muito grande, este processo levará um tempo longo e conseqüentemente haverá uma diminuição da precisão devido a fadiga do olho humano. Existe uma certa necessidade de se definir um método rápido e acurado para a avaliação do SC GUNASEKARAN *et al* (1985).

BALASTREIRE *et al* (1982), através de microscopia óptica observaram que as rachaduras reduzem quando se aproximavam da superfície do grão. Baseado nesta conclusão, que o SC começa no centro do grão e se propaga para o lado externo, foi observado também que houve uma propagação do SC através das células e ao redor dos grânulos de amido, porém de acordo com SCHULTZE e MASTERS (1962), a ruptura do endosperma ocorre através das paredes e não entre as paredes das células adjacentes.

O pericarpo, é composto por 4 camadas, onde, as camadas mais externas como a epiderme e o mesocarpo, são rigorosamente aderidas, longas e fibrosas, com células sem espaços intercelulares, características estas que proporcionam uma certa resistência à quebra MAC MASTERS (1962). O stress devido a temperatura e umidade, são geralmente não suficientes para romper o pericarpo, com isso SC ocorre internamente.

O endosperma do grão de milho tem duas regiões distintas, o endosperma córneo e o farináceo. O endosperma córneo é duro e translúcido enquanto que o farináceo é mole e relativamente opaco. As células do endosperma córneo têm paredes celulares mais finas e uma matriz proteica mais compacta. Os grânulos de amido dentro das

celulas do endosperma farináceo são grandes e livremente organizados em contraste com os pequenos e apertados grânulos das células do endosperma córneo WOLF *et al* (1952). Devido a compactação da matriz proteica, mais força é requerida para quebrar as paredes das células do endosperma córneo comparado com o endosperma farináceo MAC MASTERS (1962). Portanto, o endosperma córneo é mais resistente ao SC.

Em geral, a formação do SC é associada à secagem rápida do grão à altas temperaturas do ar de secagem. A primeira indicação do SC, é uma simples rachadura que se estende da extremidade em direção a coroa do grão e visível do lado oposto ao germen do grão. O aumento do SC dá ao grão uma má aparência THOMPSON e FOSTER (1963) apud GUNASEKARAN *et al* (1985).

O estudo microscópico da estrutura do grão de milho contribui para o entendimento da formação e propagação do SC do grão.

O stress cracking do milho é causado pela excessiva compressão ou tensão ocorrida durante ou após a secagem, resfriamento ou reidratação. O gradiente de umidade e temperatura no grão causa expansão e contração em diferentes locais no material não homogeneizado viscoelástico do grão. Isto conduz a um complexo estado de stress dentro do grão, resultando em rompimento do material se o máximo stress do grão for excedido BROOKER *et al* (1992).

KUNZE e CHOUDHURY (1972), trabalhando com arroz, indicou que a perda de umidade resulta em compressão na superfície e tensão na porção central do grão. Quando a pressão de compressão na superfície do grão excede a força de tensão do seu interior os grãos se rompem. O gradiente de umidade declina depois da secagem, a umidade da porção central do grão difunde para a superfície causando na mesma uma expansão, enquanto que a porção interna é contraída.

Durante a secagem do milho a altas temperaturas, rachaduras são originadas no endosperma córneo e farináceo no centro do grão devido a excessiva compressão e força de tensão BAKKER-ARKEMA (1993).

Segundo WHITE *et al* (1982), milho de pipoca seco com temperaturas do ar de secagem de 27, 38 e 49°C até umidade final de 13% com umidade relativa UR em torno de 60% apresentaram pouco SC. Ao passo que, mais de 80% dos grãos desenvolveram SC quando seco a temperaturas do ar de 38 e 49°C com UR de 20%. Para 49°C de temperatura do ar de secagem e UR à 72% não ocorreram rachaduras nos grãos.

Segundo MARSANS (1987) o grau e intensidade das fissuras são ainda, diretamente proporcionais ao conteúdo de umidade final alcançado pelo grão.

Um estudo feito por THOMPSON e FOSTER (1963), mostra o efeito da redução de umidade a 71°C no desenvolvimento do stress-crack do milho, onde, as

reduções de umidade de 22-18, 22-16 e 22-14% apresentaram um teor de stress crack múltiplos de 5,0; 86,8 e 100% respectivamente.

THOMPSON e FOSTER (1963), notaram que a secagem rápida, expressa em perda de umidade em porcentagem de pontos por hora, é o fator mais significante no desenvolvimento do SC.

Segundo WESTERMAN *et al* (1973), a temperatura do ar de secagem que varia de 37,8 a 71,1°, com umidade relativa (UR) de 50% reduzem o SC. THOMPSON e FOSTER (1963), descobriram que aproximadamente 95% dos grãos de milho secos com 60 e 115,6°C de ar de secagem, apresentaram um SC 2 a 3 vezes menos resistente a quebra do que aquele que foi seco com ar não aquecido.

THOMPSON e FOSTER (1963) apud GUNASEKARAN *et al* (1985) relataram que milho seco com 30% de umidade inicial teve 33% de grãos com SC múltiplo, enquanto que se secos com 20% de umidade inicial tinham somente 23% de SC múltiplo. Também, a temperatura do ar de secagem de 60, 87 e 115°C resultaram em SC de 20, 30 e 34% respectivamente.

Pesquisadores trabalhando com arroz, observaram que as fissuras dos grãos não se desenvolveram necessariamente durante a secagem SHARMA *et al* (1979).

Segundo KUNZE e CHOUDHURY (1972), o gradiente de umidade intra-grão criado durante o período de secagem acarreta fissuras nos grãos, proporcionando um dano potencial posterior.

EKSTROM *et al* (1966) reportaram que SC provavelmente não é causado exclusivamente pelo gradiente de temperatura do grão; mas que o gradiente de umidade causa stress, ou a combinação da umidade e stress térmico são os que mais induzem a SC. Em um simples modelo estudado de grão de milho, foi observado que se não houver gradiente de umidade, uma diferença de temperatura em torno de 97°C deve existir entre o centro e a superfície do grão, para a rachadura ocorrer apenas pelo efeito da temperatura.

Segundo MUJUMBAR e BEKE (1993) a temperatura do grão varia conforme o volume e umidade do grão, com isto a temperatura do ar de secagem pode significar diferentes temperaturas do grão provocando uma maior ou menor fragilidade do mesmo.

Quatro variedades de milho colhidos e debulhados manualmente, secos com temperatura do ar de secagem de 60°C com umidade inicial em torno de 25,0% até 14,0% de umidade final, foram estudados e não apresentaram diferenças na extensão do SC e no teor de grãos com SC na amostra GUNASEKARAN *et al* (1985).

Durante a moagem úmida, grãos com SC e grãos quebrados embebem mais rapidamente e perdem parte do seu amido na água de maceração.

Alta porcentagem de grãos de milho com SC, causam baixa germinação. Também, o grão SC tem uma redução de seu valor comercial, ficando também susceptível ao ataque de insetos e microbiológico THOMPSON e FOSTER (1963).

HAMMERLE (1972), concluiu que a relação entre tempo, temperatura e umidade poderia ser adequadamente selecionada para prevenir o SC.

A qualidade do grão é um termo relativo, desde que, o mesmo depende do uso final do grão. De fato é o comprador que deveria especificar as características de qualidade do grão, ou as características de qualidade que o produto pode ser distribuído a mínimos custos. Diferentes compradores e usuários de grãos requerem diferentes propriedades de qualidade.

O comércio considera as seguintes propriedades na determinação de qualidade do grão: (1) teor de umidade, (2) teste de peso, (3) grãos quebrados, (4) materiais estranhos e impurezas, (5) danos pelo calor (descoloração), (6) outros danos, (7) susceptibilidade à quebra, (8) características de moagem úmida e seca, (9) conteúdo de proteína, (10) conteúdo de óleo, (11) valor alimentar, (12) viabilidade, (13) presença de insetos, (14) contagem microbiológica, (15) tipo de grão, (16) produção do ano. É importante realçar que nenhum comprador considera todas as 15 propriedades listadas acima. Para compradores de sementes a viabilidade é importante, para ração animal o valor nutritivo, e para a moagem úmida as características de moagem BAKKER ARKEMA (1993).

Cada tipo de secagem afeta os atributos de qualidade do milho diferentemente. Por outro lado, cada sistema de secagem pode ser operado a temperaturas suficientemente baixas o qual eliminam totalmente os danos nos grãos BAKKER-ARKEMA (1993).

A colheita, transporte e processo de secagem freqüentemente causam danos físicos aos grãos na forma de rachaduras no interior e exterior dos grãos. Isto pode ser notado para milho, arroz e soja. Danos exteriores são causados durante a colheita mecânica, onde a mesma consiste em danos ao pericarpo dos grãos, e às vezes resulta em grãos lascados e quebrados. Este tipo de dano pode ser reduzido pelo próprio ajustamento mecânico e colheita a altos teores de umidade. Por exemplo, milho colhido a 22 ou 23% de umidade com uma colheitadeira bem ajustada limita os danos externos dos grãos BROOKER *et al* (1992).

Os danos mecânicos dos grãos podem ser visíveis através do tratamento dos grãos com uma solução de 0,1% de Fast green FCF POMERANZ *et al* (1986).

O teste colorimétrico é considerado um método preciso para descrever a danos causados nos grãos após a colheita, manuseio e comercialização CHOWDHURY e BUCHELE (1976).

CHOWDHURY e BUCHELE (1976) propuseram um índice de danos baseado na severidade dos danos indicados pela teste Fast green. O teste visual do Fast green torna-se quantitativo se o Fast green absorvido é extraído do dano do grão com a

recuperação da solução de tinta, e a concentração da tinta extraída é determinada com um espectrofotômetro.

O teste quantitativo de fast green é neste momento o mais utilizado para quantificação de danos exteriores dos grãos BROOKER *et al* (1992).

Não está claro porquê altas temperaturas de secagem são permitidas na moagem seca do milho, e não na moagem úmida. Um estudo profundo conclui que milho pode tolerar curtos tempos à temperaturas de 65-85°C (dependendo do teor de umidade ) sem afetar a qualidade BROOKER *et al* (1992).

Na injúria exterior do pericarpo causada pela colheita, os grãos freqüentemente são fisicamente danificados internamente durante o subsequente processo de secagem a altas temperaturas. Durante a secagem rápida do milho, stress cracks podem originar no endosperma córneo ou farináceo no centro dos grãos e uma propagação radial externa à camada de aleurona ao longo da fronteira com os grânulos de amido GUNASEKARAN *et al* (1985) e BAKKER-ARKEMA (1993).

Durante altas temperaturas de secagem do milho, a longos períodos ou mesmo pequenos períodos, podem ocorrer rachaduras no endosperma córneo e farináceo devido à excessiva compressão ou tensão da rachadura. O grau de quebra de um lote de milho, pode ser medido através de uma amostra de 50 grãos (ou 100 grãos) onde, estes podem



ser divididos em 3 categorias: zero, uma e rachaduras múltiplas BAKKER-ARKEMA (1993).

Para uma dada velocidade do cilindro trilhador da colhedora, os danos aumentam com o decréscimo do teor de umidade. Os danos mecânicos, que dão origem à produção de grãos partidos e trincados ocorrem, inicialmente, durante a colheita. Em seguida, as quebras podem ser provocadas por transportadores mal ajustados durante o manuseio (limpeza, secagem) e carregamento nos silos elevados PUZZI (1986).

O stress cracks do milho não pode ser visto na superfície dos grãos e prevalecem mais no endosperma farináceo do que no endosperma córneo BROOKER *et al* (1992). O mesmo pode ser detectado pela observação de cada grão individualmente THOMPSON e FOSTER (1963).

O stress cracks pode ser visto através de uma fonte de luz a 150W, usada no interior de uma caixa com uma pequena abertura coberta por um vidro. O grão é segurado do lado do germe por cima da luz THOMPSON e FOSTER (1963). Outros métodos podem ser utilizados para a observação do SC como o raio x e pela técnica do microscópio scanning electron WATSON e RAMSTAD (1987).

Sobre circunstâncias normais em torno de 75% destes danos ocorrem durante altas temperaturas no processo de secagem, se a secagem for conduzida indevidamente BAKKER-ARKEMA (1993).

Os testes comerciais clássicos não são suficientes para avaliar as propriedades de moagem úmida, e têm que ser extendidos para testes físico-químicos LASSERAN (1973).

#### 3.4.4. Moagem via-úmida.

Na França a moagem via-úmida, é o processamento industrial mais importante. Essas indústrias selecionam seu milho de acordo com a qualidade da moagem úmida. A moagem-úmida pode ser afetada por um largo número de fatores começando pela germinação ao processo de fabricação, mas o uso de altas temperaturas no processo de secagem é considerado o fator chave. A maior parte da produção é colhida entre 25-40% de umidade e é seco artificialmente até o padrão de 14%, que corresponde à estandarização bioquímica do produto. Esta operação é conduzida essencialmente por cerealistas os quais procuram conseguir o maior rendimento, conservando a qualidade para a moagem úmida. A qualidade da moagem úmida tem se tornado uma preocupação real para os construtores de secadores COURTOIS *et al* (1991).

A moagem do milho, ou seja, a separação química e física dos seus componentes, pode ser feita por via úmida ou seca e resulta em produtos e sub-produtos que são usados diretamente como alimento, como ingredientes na indústria alimentícia ou para ração animal. A separação precisa dos componentes, tanto na moagem úmida como seca requer milho de alta qualidade BAKKER ARKEMA (1993).

O amido de milho, como produto da moagem úmida, é o produto mais importante de uso direto, ou como matéria-prima básica para a preparação de um número muito grande de produtos, além do uso na alimentação humana, o amido é utilizado na fabricação de papel e papelão, na indústria alimentícia (espessante), na indústria farmacêutica (excipiente para comprimidos), etc FANCELLI e LIMA (1982).

Antes da moagem úmida do milho, este é amaciado através de um processo denominado maceração. Esta, facilita a separação da casca, germe e fibra. O processo de maceração envolve um fluxo constante em contra corrente de uma solução aquosa contendo anidrido sulfuroso; a utilização do ácido sulfuroso na água de maceração rompe as ligações SS na matrix proteica (glutelina), facilitando a separação amido/proteína; evita também o desenvolvimento de microorganismos que em meio aquoso reage com a água produzindo íons bissulfito, estes são responsáveis pelo amolecimento do milho e inibição de microorganismos putrefativos. O tempo de maceração é normalmente de 30 a 50 horas, à temperaturas de 48 a 50°C CIACCO e CRUZ (1982), KENT (1975) e COX *et al* (1944).

O método de extrair e purificar o amido depende do material em estudo, CIACCO e CRUZ (1982) e D'APPOLONIA (1972).

O amido de milho, assim como de outros grãos, não se separa com a mesma facilidade que a fécula de mandioca, porque no endosperma há um elevado teor de

proteína, que age como um cimento, o que não ocorre nas raízes e tubérculos, FANCELLI e LIMA (1982).

Segundo BROOKER *et al* (1992) o germe é processado para a remoção de óleo, e o amido é purificado até conter menos do que 0,3% de proteína.

Milho quebrado deve ser removido dos lotes por peneiração antes do processamento, devido ao fato do mesmo interferir no fluxo médio da água de maceração através do milho, causando problemas de gelificação durante a evaporação da água de maceração WATSON e RAMSTAD (1987).

Para facilitar a separação dos componentes e otimizar o rendimento do produto no processo de moagem via-úmida, altos níveis de grãos quebrados, materiais estranhos, susceptibilidade à quebra e danos pelo calor não são aceitáveis. Altas temperaturas de secagem causam stress crackings, dificultando a recuperação conveniente do endosperma (amido da moagem úmida) e danificando a estrutura da proteína. A indústria moageira considera a susceptibilidade à quebra e o índice de stress cracks importantes nos atributos de qualidade do milho, em adição ao óleo e conteúdo de amido WATSON e RAMSTAD (1987).

Para eliminar os danos causados pelo calor no produto bruto, algumas indústrias de moagem via-úmida agora conduzem o chamado teste de turbidez. Dentro de 15

minutos o grau do dano causado pelo calor resultante da secagem excessivamente rápida pode ser determinado pelo “turbidity test”. BAKKER ARKEMA (1993).

### 3.4.5. Estrutura do grânulo e uso do amido de milho em indústria

O conhecimento do amido e, de suas aplicações no preparo de alimentos e em lavanderia é anterior à história escrita. O termo “amylum”, de origem greco-latina, significa material farináceo obtido através da moagem de tubérculos ou de outra fonte vegetal. No Brasil existem os termos fécula e amido, tecnicamente são iguais porém, possuem nomes diversificados para indicar se o material é proveniente de partes subterrâneas ou aéreas das plantas, respectivamente. Assim, as féculas, termo usado comercialmente, seriam obtidas da mandioca, batata, cará, araruta, etc, enquanto que os amidos seriam obtidos do arroz, milho, sorgo, trigo, etc CIACCO e CRUZ (1982).

Economicamente o amido tem um papel de destaque devido à multiplicidade de suas aplicações na indústria. Alguns exemplos de amidos alimentícios podem ser citados como: biscoitos, melhoradores de farinhas, pães, pós para pudins, fermento em pó, macarrão, produtos farmacêuticos, balas de goma. Amidos industriais: papel, papelão ondulado, adesivos, fitas gomadas, briquetes de carvão, engomagem de tecidos, beneficiamento de minérios. Dextrinas: adesivos, tubos e tubetes, barricas de fibra, lixas, abrasivos, sacos de papel multifolhados, estampagem de tecidos, cartonagem, beneficiamento de minérios. Pré-gelatinizados: fundição de peças de metal. Adesivos: rotulagem de garrafas, rotulagem de latas, sacos, tubos e tubetes, fechamento de caixas

de papelão, colagem de papel, madeira e tecidos. Ingredientes proteicos: rações para bovinos, suínos, aves e cães CIACCO e CRUZ (1982).

O amido é constituído quimicamente por alfa-D-glicopirranose onde, esta se polimeriza através de ligações de alfa-D-1→4 e alfa-D-1→6. Esta polimerização dá origem a duas frações básicas do amido: amilose e amilopectina, WOLFRON e KHADEM (1965). Além da amilose e amilopectina, o grânulo de amido é constituído de compostos nitrogenados, lipídeos e minerais que apesar de estarem presentes em baixa concentração, podem ter influência marcante nas propriedades do amido CIACCO e CRUZ (1982).

Segundo BOBBIO e BOBBIO (1992) o amido constitui a mais importante reserva de nutrição de todas as plantas superiores ocorrendo principalmente em sementes, tubérculos, rizomas e bulbos. Ocorre também em algas e, pelo fato de ser facilmente hidrolizado e digerido é um dos elementos mais importantes da nutrição humana. Normalmente está presente na forma de grãos birrefringentes, cuja aparência varia de acordo com a origem. Suspensões de amido em água, por aquecimento formam géis e no processo de gelificação a birrefringência desaparece. O grânulo de amido absorve até 5% do seu peso quando em contato com a água à temperatura ambiente e 35% em amidos danificados. O grânulo de amido normalmente gelatiniza na presença de água numa faixa de temperatura entre 62-72°C BOBBIO e BOBBIO (1989) e CIACCO e CRUZ (1982).

O amido de milho apresenta menor poder de inchamento e de gelatinização, produzindo pastas com viscosidade menor e mais estáveis do que a mandioca, batata ou milho ceroso, este tipo de amido é preferido como espessante em alimentos enlatados, pois a viscosidade da pasta de amido pode ser mantida durante a esterilização CIACCO e CRUZ (1982).

Retrogradação é o termo dado às transformações que ocorrem durante o resfriamento de pastas de amido gelatinizado. Esta é responsável pelo encolhimento, sinerese e endurecimento de géis ou resistência mecânica de amido conservados por determinado período, principalmente à temperatura de refrigeração CIACCO e CRUZ (1982).

Estes efeitos são mais evidenciados quando o gel é congelado e descongelado várias vezes. Em alimentos como pães, molhos, pudins, etc, a ocorrência da retrogradação é indesejável e deve ser evitada CIACCO e CRUZ (1982).

O aumento da firmeza em pães durante o armazenamento é atribuído quase que exclusivamente à retrogradação do amido. Em pastas ou géis é comum o aparecimento, devido à retrogradação de uma película superficial que compromete a qualidade do produto. Em molhos, a insolubilização do amido pela retrogradação causa uma separação de fases indesejável. A insolubilização do amido durante a secagem de farinhas pré-gelatinizadas ou de arroz malequizado, também são exemplos dos efeitos prejudiciais da retrogradação. A ocorrência benéfica da retrogradação pode ser observada na

superfície de batatas antes da fritura, onde a mesma diminui a absorção de óleo conferindo uma textura agradável ao produto. Em papéis de parede, onde é necessário a formação de um filme insolúvel, a retrogradação é desejável CIACCO e CRUZ (1982).

A resistência mecânica é uma característica importante para pastas submetidas a agitação, ou que são bombeadas de uma etapa para outra do processamento CIACCO e CRUZ (1982).

#### 3.4.6. Características reológicas e influência da secagem no amido do milho

Reologia pode ser definida como o estudo da deformação da matéria ou, ainda, o estudo da mobilidade dos fluidos. A reologia dos fluidos é estudada principalmente através da medida da viscosidade BOBBIO e BOBBIO (1992).

A medida de viscosidade é a medida da resistência ao movimento (deformação) das várias camadas ideais paralelas de um fluido, movendo-se linearmente com um gradiente de velocidade uniforme, de separação dessas camadas, quando sob a ação de uma tensão (força) deformante BOBBIO e BOBBIO (1992).

A perda de birrefringência é marcada pelo início da temperatura de gelatinização. A temperatura da pasta contrariamente à temperatura de gelatinização, só ocorre após um inchamento inicial e, usualmente neste estágio, os grânulos já perderam toda a birrefringência CIACCO e CRUZ (1982).



Quando grânulos de amido são suspensos em água e a temperatura é aumentada gradualmente, nada acontece até que seja atingida uma determinada temperatura, mais exatamente um intervalo de temperatura, que é chamado temperatura de gelatinização e esta temperatura não deve ser confundida com temperatura de pasta que é a temperatura onde a viscosidade começa a crescer CIACCO e CRUZ (1982). A temperatura de gelatinização é específica para amidos de diferentes origens, as ligações de hidrogênio mais fracas entre as cadeias de amilose e amilopectina são rompidas e os grânulos de amido, nessas regiões começam a entumescer e formar soluções viscosas. O entumescimento dos grãos e, portanto, o aumento de viscosidade das soluções está relacionado com a quantidade de água presente sendo que a 120°C todos os grânulos de amido estarão dissolvidos BOBBIO e BOBBIO (1989).

Um estudo realizado por SRIVASTAVA *et al* (1970), mostra que amido de manga possui um alto pico de viscosidade, porém, no período de 1 hora a mesma decresce para 120 Unidades Viscoamilográficas (U.V). Em contraste, a pasta de amido de milho quando cozida à 95°C por 1 hora, mostra uma queda desprezível na viscosidade máxima; num cozimento uniforme prolongado, como em outros amidos de cereais, mostram uma alta estabilidade. Pastas de amido de manga e milho mostraram uma retrogradação pronunciada sobre o cozimento. A característica mais importante da dispersão granular do amido é a viscosidade.

A secagem à 80°C, não influenciou as características tecnológicas do milho. A Temperatura de 140°C causa um dano importante na qualidade do milho para moagem úmida ocorrendo uma queda no teor de amido recuperado LASSERAN (1973).

Um estudo das características reológicas do amido de milho feito por VOJNOVICH *et al* (1975) indicou um efeito definido da temperatura de secagem no amido resultante. Milho seco a 48,9°C, independentemente da umidade de colheita, teve características de viscosidade similares à testemunha cuja secagem foi efetuada ao ar ambiente. A viscosidade máxima do amido de milho com teores de umidade de 32, 25 e 20% secos a esta temperatura foram distribuídas entre 435 a 460 U.V. quando comparado a 460 U.V. para a testemunha. Foi observado que milho seco com temperaturas de 48,9; 82,2 e 148,9°C apresentaram um gradual decréscimo na viscosidade máxima; o decréscimo mais acentuado foi observado em amidos de milho colhido com 32% de umidade para as temperaturas de 82,2 e 148,9°C. A viscosidade da pasta fria dos amidos exibiu tendências similares à viscosidade máxima.

Secagem de milho acima da temperatura de gelatinização do amido tem sido desaconselhado por moageiros da indústria de moagem úmida por muitos anos. Danos dos grãos de milho no colheitadeira-debulhadeira aparentemente afetaram a viscosidade da pasta, particularmente a viscosidade da pasta fria (50°C), o qual houve uma diferença de 100 B.U. mais baixo, do que o milho com baixos danos. VOJNOVICH *et al* (1975).

Altas temperaturas de secagem são prejudiciais ao grão destinado à moagem via úmida WATSON e HIRATA (1962).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Matéria-prima

#### 4.1.1. Caracterização

O milho (*Zea mays*) variedade Cargill-C125, peneira 22, utilizado neste trabalho foi proveniente do município de Maracá, SP. O produto foi colhido mecanicamente e ao chegar na unidade experimental foi embalado em sacos de polietileno e armazenado em câmara fria à 0°C, até o início do experimento. Foram utilizados 57,8Kg de milho, sendo, 3,2Kg para cada tratamento realizado.

Foi determinado o peso específico aparente do produto para fins de cálculo da massa de grãos que seria utilizada em cada tratamento (0,73g/cm<sup>3</sup>).

#### 4.1.2. Preparo.

O teor de umidade inicial do produto, após a colheita, foi determinado de acordo com o método AACC (1969). O teor de umidade inicial foi de 25,4%.

O milho foi limpo manualmente, após a colheita, com auxílio de peneiras, onde foram retiradas as impurezas e materiais estranhos. Grãos quebrados, rachados ou trincados devido à colheita mecânica, não foram removidos.

O produto com umidade inicial de 25,4% foi dividido em três, sendo dois deles secos ao sol até atingirem teores de umidade de 22,5% e 18,0%, totalizando três lotes com umidades de 25,4; 22,5 e 18,0%. O controle de umidade durante a secagem ao sol foi feito através do determinador rápido de umidade MOTONCO. A matéria-prima foi embalada em sacos de polietileno e armazenada em câmara fria ( $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ) até a realização da secagem artificial.

As amostras destinadas às análises laboratoriais, com umidades de 25,4; 22,5; 18,0%, foram armazenadas a  $-20^{\circ}\text{C}$  para que não sofressem alterações na qualidade.

#### 4.1.3. Composição centesimal da matéria-prima.

##### -Umidade.

Foi determinada de acordo com as normas analíticas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

##### -Proteína bruta.

Foi determinado de acordo com método o método 46-12 da AACC (1990).

-Lipídeos totais.

Foi determinado de acordo com método AOCS (1990).

-Cinzas.

Foi determinado de acordo com método A.O.A.C. (1990).

-Fibras.

Foi determinado de acordo com método de Scharrer & Kurschner, DIEMAIR (1963).

-Amido.

Foi determinado de acordo com método de Ewers modificado por Hardorn e Doewelaar, DIEMAIR (1963).

#### 4.1.4.Tratamentos

Os tratamentos empregados foram os seguintes:

- Testemunhas - 25,4% (pós-colheita), 22,4% (após secagem ao sol) e 18,0% (após secagem ao sol).

- Temperatura 60°C com teores de umidade inicial de secagem de 25,4; 22,5 e 18,0%.

- Temperatura 70°C com teores de umidade inicial de 25,4; 22,5 e 18,0%.

- Temperatura 80°C com teores de umidade inicial de 25,4; 22,5 e 18,0%.

- Uma altura de camada - 0,08m.

- Um fluxo de ar. -  $21\text{m}^3/\text{min.m}^2$

Todos os tratamentos foram secos artificialmente até umidade final em torno de 13,0%. A tabela 7 mostra as umidades finais de secagem para cada tratamento.

Segundo DALBELLO (1995), fluxos de ar de 12,5; 18,0 e  $25,0\text{m}^3/\text{min.m}^2$ , para altura de camada de 0,5m não foram significativos em relação a variável gradiente de umidade na secagem em camada fixa do amendoim.

#### 4.1.5. Secagem

A secagem artificial foi realizada no laboratório de secagem do Departamento de Pré-processamento de Produtos Agropecuários, da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, no período de 20 de setembro a 14 de outubro 1995.

Os resultados experimentais do processo de secagem, estão na tabela 7 e as condições ambientais médias durante o período de secagem, estão indicados na tabela 8.

Testes preliminares mostraram as melhores temperaturas do ar de entrada, para que a temperatura do grão fosse mantida na temperatura desejada. Apesar disso, em determinados momentos foi necessário diminuir a temperatura do ar de entrada para que a temperatura interna do grão não ultrapassasse a temperatura desejada.

#### 4.1.5.1. Secador Experimental

Foi utilizado um secador de camada fixa, construído por GUALBERTO (1990), com capacidade estática de  $0,25\text{m}^3$  (figura 2). O secador era composto de três colunas de secagem, com um sistema de cinco bandejas removíveis dispostas em cada coluna.

Entre as cinco bandejas eram dispostos espaços de 23 cm para a colocação do produto.

Foi utilizada apenas a coluna do meio e as saídas de ar nas colunas laterais foram vedadas. A primeira câmara foi utilizada para a secagem do produto.

Foi utilizado um ventilador centrífugo, com pás voltadas para trás, motor de 1HP de potência e rotação 3400 rpm. A circulação do ar foi feita por dutos de madeira e o aquecimento realizado com cinco resistências elétricas sendo, três de 1000W cada e duas de 3480W cada.

Uma camada delgada foi utilizada com a finalidade de se obter uniformidade na temperatura da massa e minimizar o gradiente de umidade.



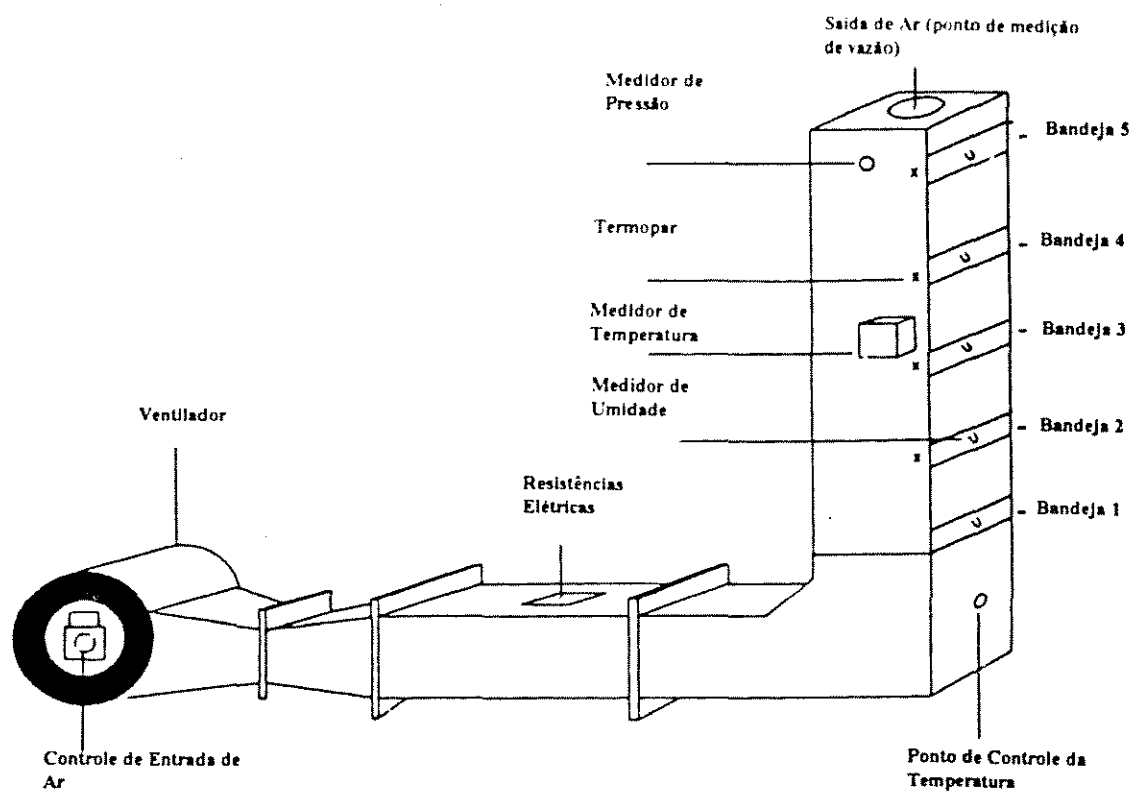


Figura 2. Esquema do secador. GUALBERTO (1990).

4.1.5.2. Controle de temperatura do ar de secagem, temperatura interna do grão e temperatura do ar ambiente.

A temperatura do ar de secagem foi monitorada por meio de dois termopares: um no plenum (entrada de ar quente no secador) e o outro imediatamente abaixo da segunda bandeja, conforme indicado na figura 2.

Três termopares (cobre/constantan tipo T, fio 32), fixados no interior do grão com cola a base de silicone. Foram posicionados à meia altura no interior da camada de grãos de 5cm, distanciados horizontalmente.

O controle das condições ambientais foi realizada através de um termohigrógrafo colocado próximo à entrada de ar do ventilador.

#### 4.1.5.3. Calibração dos termopares

Os termopares da entrada de ar do secador e abaixo da segunda bandeja, foram calibrados através do aquecimento da água a partir de temperatura de 25°C. As leituras foram feitas simultaneamente com um termômetro e um marcador digital de temperatura. Foram tomadas as temperaturas a cada 5°C. O termopar cobre/constantan Tipo T foi calibrado com banho de óleo Polystat (Cole Parmer). Foram lidas as temperaturas de 60, 65, 70, 75, 80 e 85°C. Após o óleo atingir estas temperaturas as mesmas permaneciam constantes e eram lidas.

A partir dos dados coletados, foram feitas as curvas de calibração.

#### 4.1.5.4. Controle da velocidade e do fluxo de ar

A velocidade de saída do ar de secagem foi medida com um anemômetro digital com precisão de  $\pm 2\%$ . O anemômetro foi acoplado na saída de ar do secador, num orifício circular com o mesmo diâmetro do anemômetro (10cm).

A velocidade do ar de secagem empregada foi de 2m/s e a área da coluna do secador foi de 0,0576.

O fluxo de ar foi controlado através de um dispositivo de madeira tipo guilhotina, colocado na entrada de ar do ventilador.

#### 4.1.5.5. Intervalos de leitura.

Para os teores de umidade de 25,4 e 22,5% à 60, 70 e 80°C o intervalo de leitura foi de 25 minutos. Para 18% à 60 e 70°C o intervalo foi de 15 minutos, à 80°C foi de 10 minutos.

Atingida a umidade desejada, as resistências foram desligadas e realizado o resfriamento do produto, até que a diferença entre a temperatura da massa de grãos e a temperatura ambiente não fosse superior à 5°C. O tempo de resfriamento pode ser

observado na tabela 7. O resfriamento teve início na penúltima leitura e a última leitura correspondeu ao milho já resfriado, como está representado nos gráficos 7, 8 e 9.

#### 4.1.6. Secagem artificial da matéria-prima.

Os três lotes de milho com umidades iniciais de 25,4; 22,5 e 18,0% foram secos artificialmente até atingir a umidade final aproximada de 13,0%.

O peso final do produto desejado para secagem artificial foi obtido pela seguinte fórmula:

$$Pf = Pi \frac{100 - Ui}{100 - Uf} \text{ onde:}$$

$Pf$  = Peso final do produto (Kg);

$Pi$  = Peso inicial do produto (Kg);

$Ui$  = Umidade inicial do produto (%);

$Uf$  = Umidade final do produto(%).

O milho foi seco em camada estática. O controle de umidade foi realizado pela segunda bandeja onde a mesma foi preenchida com uma altura de camada de 3cm. O espaço entre a bandeja 1 e 2 foi preenchido com uma altura de camada de 5 cm, totalizando uma altura de camada de 8cm. As pesagens foram feitas por uma balança

semi-analítica digital, modelo 2000L com capacidade de 2000g e precisão de 0,01g. A primeira bandeja foi retirada para que não houvesse interferência na temperatura do ar de secagem.

A temperatura do ar de secagem foi controlada de forma a obter a temperatura do grão desejada (60, 70 e 80°C). Foi registrada também, a temperatura de bulbo seco e bulbo úmido na saída de ar do secador.

Após a secagem artificial o milho foi embalado em sacos de polietileno e armazenado em câmara fria ( $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ) até a realização das análises laboratoriais.

#### 4.1.7. Testes.

##### 4.1.7.1. Turbidez

Este teste mede, através de um espectrofotômetro, as proteínas solúveis em soluções salinas que não foram desnaturadas devido a aplicação de altas temperaturas de secagem.

O teste foi efetuado de acordo com LE BRAS e BEAUX (1984), modificado. As modificações foram as seguintes:

Uma amostra de 100g de milho foi moída em moinho Tecnal. O milho foi moído durante 8 minutos, com intervalos de dois minutos para o resfriamento da amostra. A

farinha de milho foi colocada no Produtest sobre um tamis de 35 mesh para a obtenção da granulometria desejada. Cinco gramas de milho moído foram colocados num erlenmeyer. Em seguida, foi agitado em shaker com rotação de 150 rpm durante 6 minutos.

Para uso prático os resultados são expressos em unidades de transmitância (%T), onde:

- 0%T (absorbância= $+\infty$ ) é a melhor.
- 100%T (absorbância=0) é a pior.

A precisão do teste é em torno de 5%.

Foram realizadas duas determinações para cada tratamento. Esta avaliação foi feita também, para o milho com 25,4 de umidade pós colheita e com 22,5 e 18,0% pós secagem ao sol.

#### 4.1.7.2. Índice de Quebra (IQ)

Pesquisadores da Universidade de Illinois citado por BAKKER-ARKEMA, F.W. (1993), recomendaram a seguinte equação para o cálculo do IQ:

$$IQ = 1x(\%zero) + 3x(\%um) + 5x(\%múltiplo)$$

- %zero - nenhuma fissura.
- %um - uma fissura.

- %múltiplo - mais de uma fissura.

Para a observação das fissuras dos grãos foi utilizado o método de THOMPSON e FOSTER (1963), modificado da seguinte forma:

Foi contruída uma caixa de madeira de dimensões de 28,0 x 9,5 x 9,0cm com tampo de vidro; contendo uma luz fria de 7W em seu interior como mostra a figura 3.

Para o exame do stress cracks os grãos foram colocados sobre o tampo de vidro.

Foram realizadas três determinações para cada tratamento. O IQ foi avaliado também, no milho com 25,4% de umidade inicial pós colheita, para verificar as rachaduras presentes anteriores ao processo de secagem.

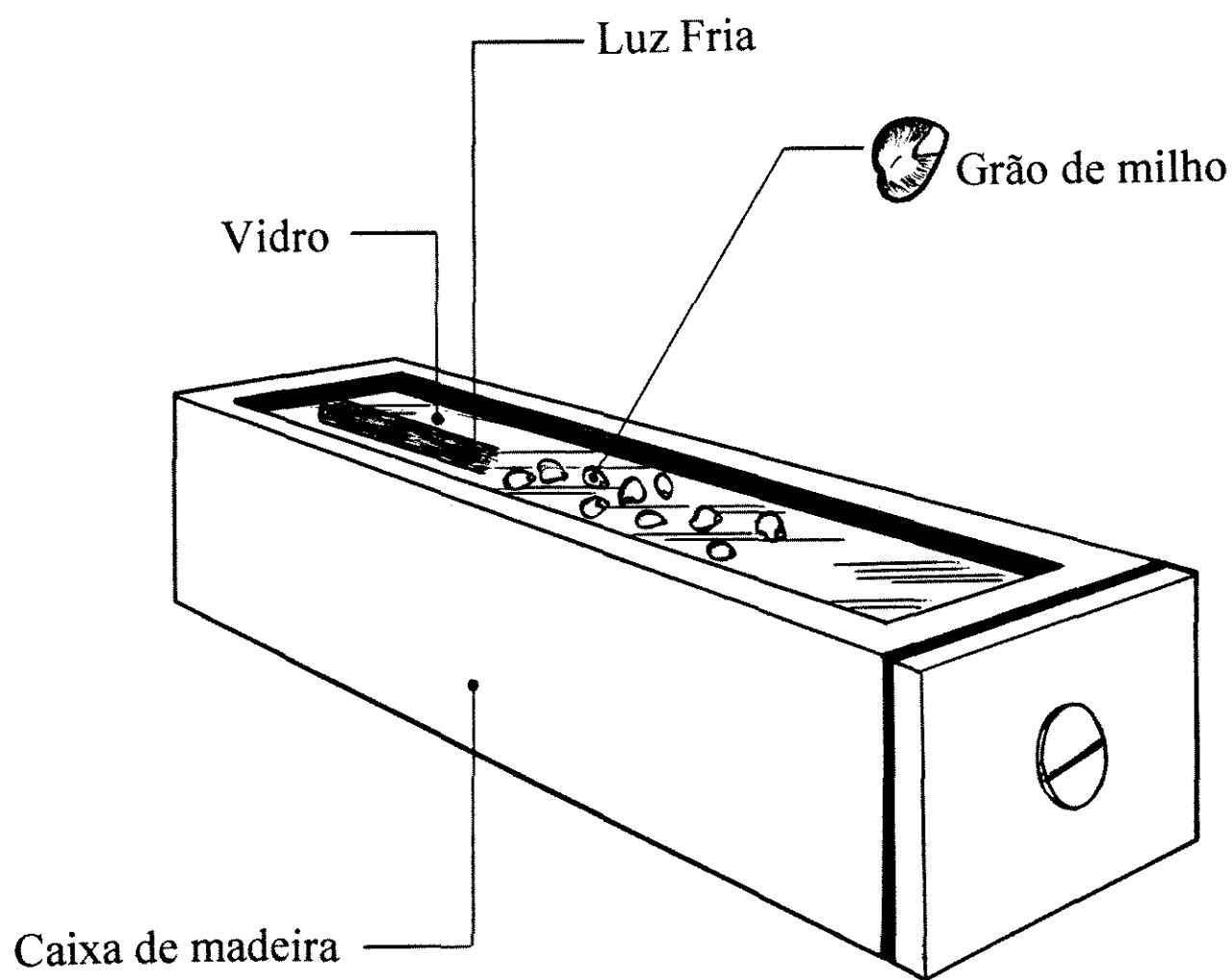


Figura 3. Caixa para observação das fissuras dos grãos.



#### 4.1.7.3. Colorimétrico

Foi realizado conforme método descrito por CHOWDHURY e BUCHELE (1976).

Segundo este método amostras de 25g foram colocadas em 0,1% de Fast Green FCF por 10 minutos e lavadas posteriormente em água corrente por trinta segundos, para eliminação do corante superficial.

Em seguida, as amostras foram colocadas em 200ml de NaOH 0,01N por uma hora, agitadas por um minuto e deixadas em repouso por mais 15 minutos.

A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro, com comprimento de onda de 610nm.

Este teste foi realizado para o milho com 25,4% de umidade inicial após a colheita, com 22,5 e 18,0% após secagem ao sol e para todos os tratamentos. O objetivo deste teste foi quantificar o grau de stress sofrido pelo grão.

#### 4.1.7.4. Extração de amido.

A extração do amido foi realizada segundo VITTI et al. (1982) e SARTORI e VITTI (1991), vide fluxograma abaixo (figura 4). Foram realizadas três repetições onde

estas foram misturadas (pool) e determinada sua viscosidade. A separação amido/glútem foi efetuada por uma calha de decantação, representada na figura 5.

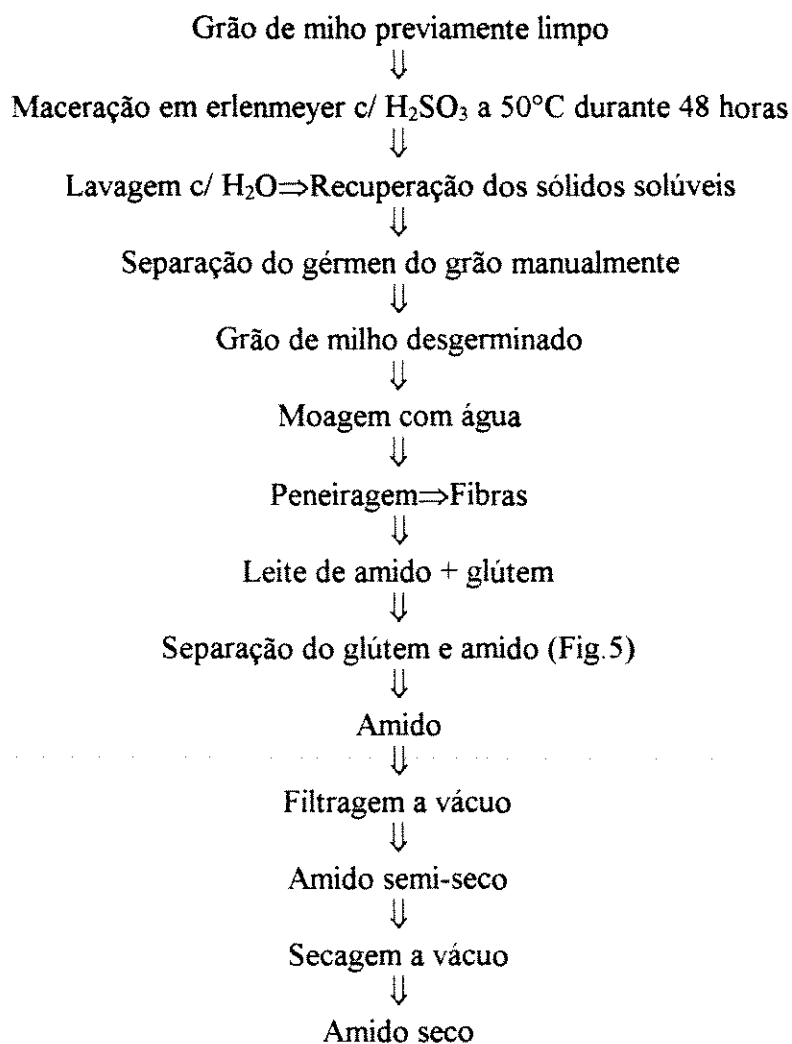
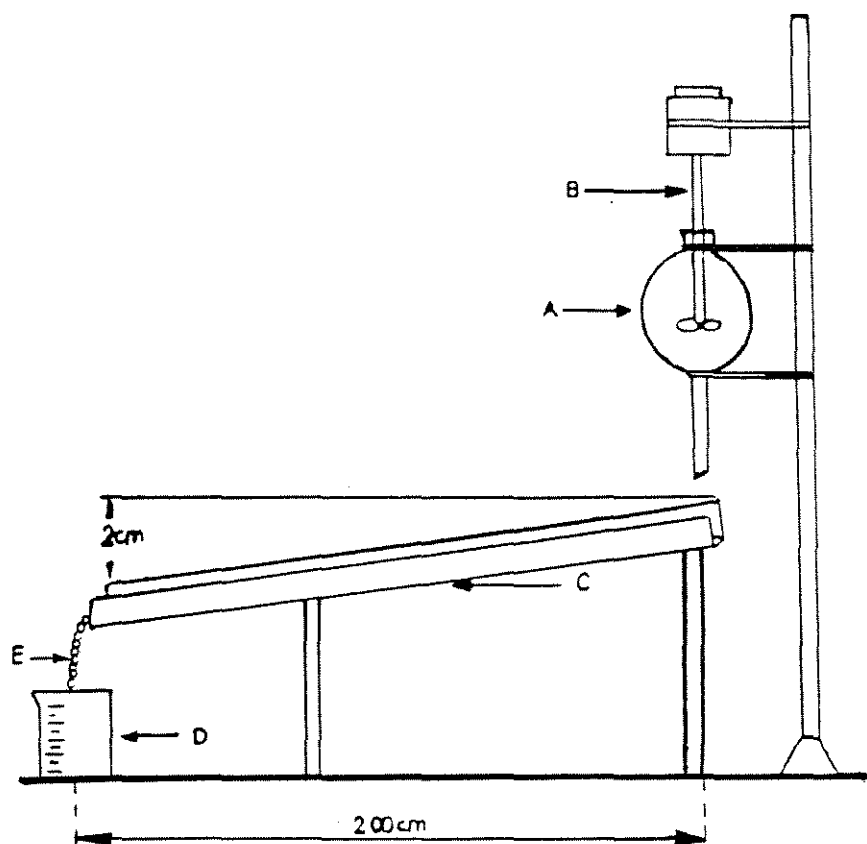


Figura 4. Esquema de extração e separação dos componentes do grão de milho VITTI et al. (1982) e SARTORI e VITTI (1991).



- A - funil de vidro;
- B - agitador para manter em suspensão amido e glúten;
- C - calha de decantação do amido;
- D - erlenmeyer para receber o glúten separado;
- E - corrente para recuperação do glúten.

Figura 5. Equipamentos de laboratório para processo de separação de amido e de glúten do milho VITTI et al. (1982).

#### 4.1.7.4.1.Composição centesimal do amido de milho extraído.

##### -Umidade.

Foi determinada de acordo com as normas analíticas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

##### -Proteína bruta.

Foi determinado de acordo com método da AACC (1990), método 46-12.

##### -Lipídeos totais.

Foi determinado de acordo com método AOCS (1990).

##### -Cinzas.

Foi determinado de acordo com método A.O.A.C. (1990).

##### -Fibras.

Foi determinado de acordo com método de Scharrer & Kurschner, DIEMAIR (1963).

#### 4.1.7.5.Propriedades viscoamilográficas

As propriedades da pasta do amido de milho foram determinadas com Viscoamilógrafo Brabender, conforme método citado por MAZURS et al., utilizando uma suspensão de amido a 7% (b.s.), com cabeçote de sensibilidade de 350cm.g.f.

O viscoamilógrafo é um viscosímetro de torção, consistindo de uma camisa aquecida por resistências elétricas onde é acoplado um copo cilíndrico de aço inoxidável com capacidade para 500ml, contendo a suspensão de amido para aquecimento a uma taxa constante que resulta no aumento da temperatura em 1,5°C/min PIZZINATO e MAGNO (1995).

A partir das curvas viscoamilográficas obtidas foram determinados os seguintes parâmetros:

- VISCOSIDADE MÁXIMA: valor máximo da viscosidade da pasta obtido no pico da curva e expresso em Unidades Viscoamilográficas (U.V.).
- VISCOSIDADE MÍNIMA À TEMPERATURA CONSTANTE DE 95°C: menor valor de viscosidade obtido no ponto mais baixo da curva durante o período de temperatura constante (95°C) e expressa em U.V.
- VISCOSIDADE À 50°C NO CICLO DE RESFRIAMENTO: valor de viscosidade obtido à 50°C no ciclo de resfriamento e expressa em U.V.
- TEMPERATURA DA PASTA: temperatura em °C, calculada com base no funcionamento do viscoamilógrafo (1,5°C/min.), correspondente ao ponto onde a curva começa a subir.

- **TEMPERATURA DA VISCOSIDADE MÁXIMA:** temperatura em °C correspondente ao ponto mais alto da curva viscoamilográfica, calculada com base no funcionamento do viscoamiloógrafo (1,5°C/min.).

A viscosidade foi determinada para o milho pós colheita com 25,4% de umidade inicial, para o milho seco ao sol (22,5 e 18,0%) e para todos os tratamentos.

A figura 6 mostra um exemplo de viscoamilograma com os principais parâmetros.

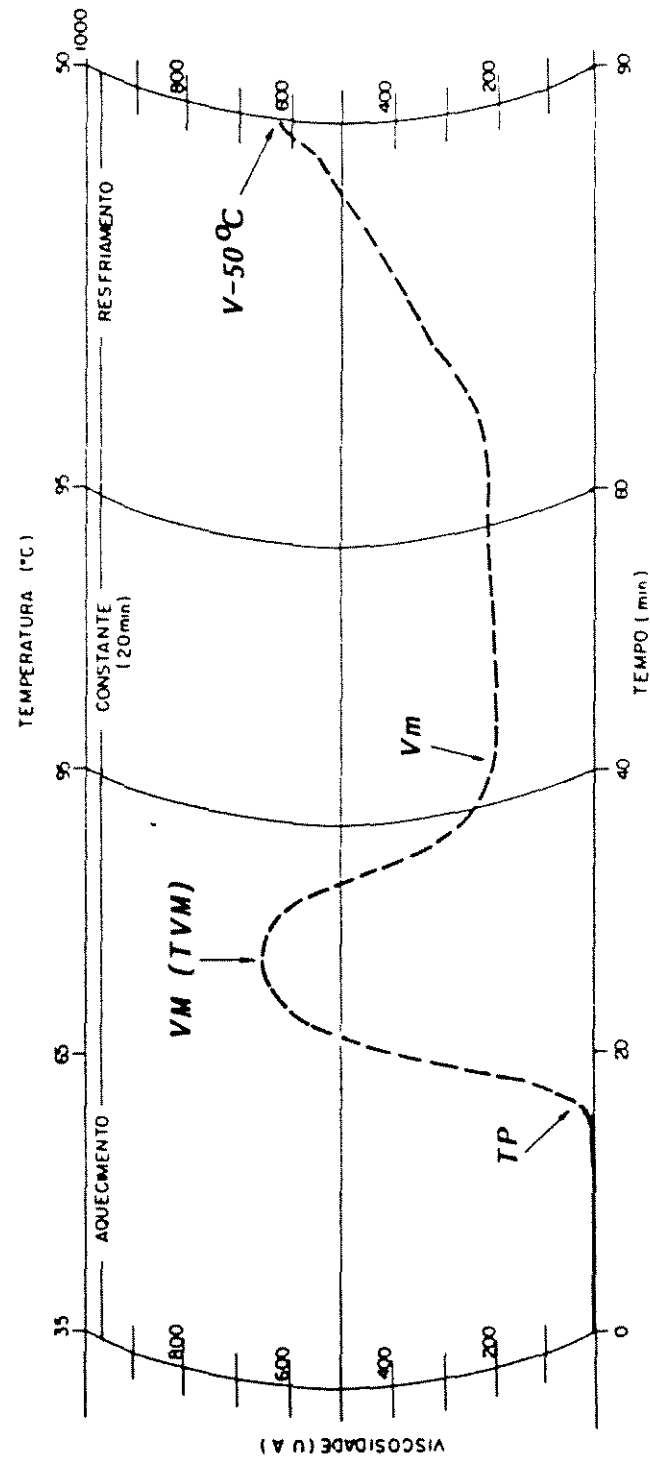


Figura 6. Viscoamilograma com indicação dos principais parâmetros de viscosidade: **TP** - temperatura da pasta; **VM** - viscosidade máxima; **TVM** - temperatura da viscosidade máxima; **V<sub>m</sub>** - viscosidade mínima; **V-50°C** - viscosidade a 50°C no resfriamento PIZZINATO e MAGNO (1995).

#### 4.1.7.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi estabelecido um delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial com testemunha. Para a comparação das médias, foi utilizado o teste de tukey ao nível de significância 5%. Foi utilizado o pacote estatístico SANEST.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Composição centesimal da matéria-prima

A porcentagem de amido extraída da matéria-prima indicada na tabela 6, está ligeiramente acima do citado por LASSERAN (1978).

O teor de proteína (tabela 6) está dentro do teor médio citado por FANCELLI e LIMA (1982), contudo LASSERAN (1978) apresentou um teor de proteína em torno de 10% mais alto do que da matéria-prima. A variação dos teores de proteína pode estar provavelmente relacionada com o regime cultural, variedade e com a estrutura da semente segundo WHISTLER e PASCHALL (1967).

Tabela 6. Resultados da composição centesimal da matéria-prima

| Determinações       | Resultados |
|---------------------|------------|
| Umidade (%)         | 16,95      |
| Cinzas (%)          | 1,30       |
| Proteína (%)        | 9,26       |
| Lipídeos totais (%) | 3,52       |
| Fibras (%)          | 1,63       |
| Amido (%)           | 77,52      |

## 5.2. Condições ambientais e resultados experimentais durante o teste de secagem

A umidade relativa média do ar de secagem representada na tabela 7, foi obtida através da carta psicrométrica. Foram utilizadas a temperatura e a umidade relativa média ambiental e a temperatura do ar de secagem.

O tempo de secagem apresentado (tabela 7), foi diretamente proporcional à umidade e inversamente proporcional ao aumento de temperatura.

Foi considerado o teor de umidade final aquele atingido pelos grãos após o resfriamento (tabela 7).

A temperatura atingida no interior dos grãos ( $T_{ga}$ ) apresentada na tabela 7, foi obtida a partir da média das temperaturas dos três termopares e das médias das temperaturas atingidas nos grãos ao longo do período de secagem, a fase de aquecimento e resfriamento não foi somada às médias. Uma tolerância de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  foi considerada para a temperatura desejada.

Temperatura do ar de secagem foi de 60, 70 e  $80^{\circ}\text{C}$ , tendo sido controlada para que a temperatura interna do grão não ultrapassasse temperaturas médias em torno de 60, 70 e  $80^{\circ}\text{C}$ .

Os tratamentos 25,4/60/1; 25,4/60/2; 25,4/70/1; 25,4/70/2 apresentaram diferentes umidades finais de secagem apesar do tempo de secagem ter sido o mesmo, isto pode ser explicado provavelmente por existir uma certa desuniformidade de umidade na massa de grãos.

Os grãos com umidades iniciais mais elevadas permaneceram um maior tempo expostos às temperaturas de 60, 70 e 80°C.

A UR do ar de secagem foi influenciada sensivelmente pela UR média do ar ambiente, conforme foi observado na tabela 8. Uma diminuição da UR do ar de secagem para todos os tratamentos pode ser observada (tabela 7), devido ao aumento da temperatura do ar de secagem. A elevação da temperatura do ar ambiente faz com que haja uma diminuição da UR do ar de secagem, isto não foi observado para os tratamentos 25,4/60/1, 25,4/60/2, 25,4/70/1, 25,4/70/2, 22,5/60/1 e 22,5/60/2. Os tratamentos 22,5/80/1 e 22,5/80/2 apresentaram uma diferença entre a repetição 1 e 2 de 3,5°C na temperatura do ar ambiente, porém a diferença na UR do ar de secagem foi de 0,1; novos testes devem ser realizados para que este fato seja confirmado.

A utilização de altas temperaturas do ar de secagem com conseqüente diminuição da UR do ar de secagem, não possibilitou que as condições ambientais durante o período de secagem tivessem influência sobre os resultados.

Os parâmetros de maior influência sobre os resultados foram a temperatura do ar de secagem e o período de exposição estando de acordo com LI e MOREY (1984), que observou que a temperatura do ar de secagem é o parâmetro que exerce maior influência sobre a taxa de secagem. O período de exposição dos grãos às temperaturas aplicadas, influenciou decisivamente os resultados.

Tabela 7. Dados obtidos nos testes de secagem.

| Nº | Tratamentos<br>UI/T <sub>g</sub> /Rep | UF    | Tempo | T <sub>resf</sub> | UR    | T <sub>ga</sub> |
|----|---------------------------------------|-------|-------|-------------------|-------|-----------------|
| 1  | 25,4/60/1                             | 13,48 | 4:10  | 25                | 9,00  | 59,2            |
| 2  | 25,4/60/2                             | 12,81 | 4:10  | 25                | 10,00 | 58,2            |
| 3  | 25,4/70/1                             | 13,12 | 3:20  | 25                | 6,70  | 68,6            |
| 4  | 25,4/70/2                             | 11,89 | 3:20  | 25                | 5,90  | 68,4            |
| 5  | 25,4/80/1                             | 11,99 | 2:25  | 20                | 3,50  | 80,5            |
| 6  | 25,4/80/2                             | 11,67 | 2:30  | 25                | 3,40  | 80,1            |
| 7  | 22,5/60/1                             | 13,26 | 2:55  | 25                | 8,00  | 59,2            |
| 8  | 22,5/60/2                             | 13,46 | 2:55  | 25                | 7,90  | 58,6            |
| 9  | 22,5/70/1                             | 13,06 | 2:30  | 25                | 5,40  | 68,7            |
| 10 | 22,5/70/2                             | 12,62 | 2:20  | 20                | 6,20  | 69,1            |
| 11 | 22,5/80/1                             | 13,29 | 1:40  | 25                | 3,60  | 78,6            |
| 12 | 22,5/80/2                             | 12,56 | 1:45  | 30                | 3,70  | 79,2            |
| 13 | 18,0/60/1                             | 13,19 | 1:15  | 15                | 10,00 | 59,4            |
| 14 | 18,0/60/2                             | 13,28 | 1:15  | 15                | 11,50 | 61,1            |
| 15 | 18,0/70/1                             | 13,15 | 1:00  | 15                | 3,70  | 69,2            |
| 16 | 18,0/70/2                             | 13,32 | 0:55  | 10                | 5,00  | 68,5            |
| 17 | 18,0/80/1                             | 13,29 | 0:47  | 7                 | 5,00  | 78,9            |
| 18 | 18,0/80/2                             | 13,10 | 0:50  | 10                | 6,10  | 78,2            |

Rep-repetições, UI-umidade inicial (%), UF-umidade final (%), T<sub>g</sub>-temperatura interna dos grãos desejada (°C), T<sub>ga</sub>-média das temperaturas atingidas no interior dos grãos, UR-umidade relativa média do ar de secagem (%), T<sub>resf</sub>-tempo de resfriamento

Tabela 8. Condições ambientais médias durante o período de secagem.

| Testes  | repetições | Umidade relativa do ar (°C) |       |        | Temperatura do ar (°C) |       |        |
|---------|------------|-----------------------------|-------|--------|------------------------|-------|--------|
|         |            | Mínima                      | Média | Máxima | Mínima                 | Média | Máxima |
| 25,4/60 | 1          | 41,0                        | 45,3  | 50,0   | 25,0                   | 26,7  | 28,0   |
|         | 2          | 36,0                        | 52,3  | 66,0   | 27,0                   | 29,3  | 32,0   |
| 25,4/70 | 1          | 64,0                        | 70,0  | 76,0   | 22,0                   | 23,7  | 26,0   |
|         | 2          | 64,0                        | 68,7  | 74,0   | 20,0                   | 22,0  | 24,0   |
| 25,4/80 | 1          | 68,0                        | 69,0  | 70,0   | 18,0                   | 18,5  | 19,0   |
|         | 2          | 65,0                        | 67,3  | 70,0   | 18,0                   | 19,0  | 20,0   |
| 22,5/60 | 1          | 38,0                        | 40,0  | 44,0   | 27,0                   | 28,7  | 30,0   |
|         | 2          | 32,0                        | 40,0  | 46,0   | 26,0                   | 27,3  | 29,0   |
| 22,5/70 | 1          | 44,0                        | 50,0  | 56,0   | 24,0                   | 26,0  | 28,0   |
|         | 2          | 64,0                        | 69,7  | 78,0   | 21,0                   | 22,7  | 24,0   |
| 22,5/80 | 1          | 40,0                        | 41,3  | 43,0   | 29,0                   | 29,5  | 30,0   |
|         | 2          | 45,0                        | 53,0  | 60,0   | 24,0                   | 26,0  | 28,0   |
| 18/60   | 1          | 60,0                        | 60,0  | 60,0   | 26,0                   | 26,0  | 26,0   |
|         | 2          | 66,0                        | 69,3  | 72,0   | 24,0                   | 24,5  | 25,0   |
| 18/70   | 1          | 32,0                        | 32,5  | 33,0   | 26,0                   | 26,3  | 26,5   |
|         | 2          | 46,0                        | 49,3  | 52,0   | 22,0                   | 24,7  | 27,0   |
| 18/80   | 1          | 54,0                        | 55,0  | 56,0   | 29,0                   | 29,5  | 30,0   |
|         | 2          | 80,0                        | 81,0  | 82,0   | 26,0                   | 27,0  | 28,0   |

Trat.-tratamentos, Rep.-repetições, U.I.-umidade inicial (%), T.-temperatura, U.R.-umidade relativa.

### 5.3. Curvas de secagem.

As curvas de secagem para os tratamentos de 18,0% e temperaturas de secagem de 60, 70 e 80°C como mostra a figura 9, apresentaram um comportamento semelhante durante a secagem. Pode se dizer, que para a umidade inicial de 18,0% a velocidade de secagem foi bastante próxima para as três temperaturas no intervalo de 18,0 a 14,0%.

Foi observado uma elevação da umidade durante a secagem dos tratamentos 18,0% à 60 e 70°C como mostra a figura 9, este fato provavelmente ser atribuído ao descontrole da balança analítica durante a pesagem.

Para todas as diferentes umidades iniciais, os períodos de secagem diminuem com a elevação da temperatura de secagem.

As curvas de secagem apresentadas nas figuras 7, 8 e 9, mostraram que para todos os tratamentos o processo de perda de umidade teve início imediatamente após o acionamento do ventilador caracterizando o período de taxa decrescente.

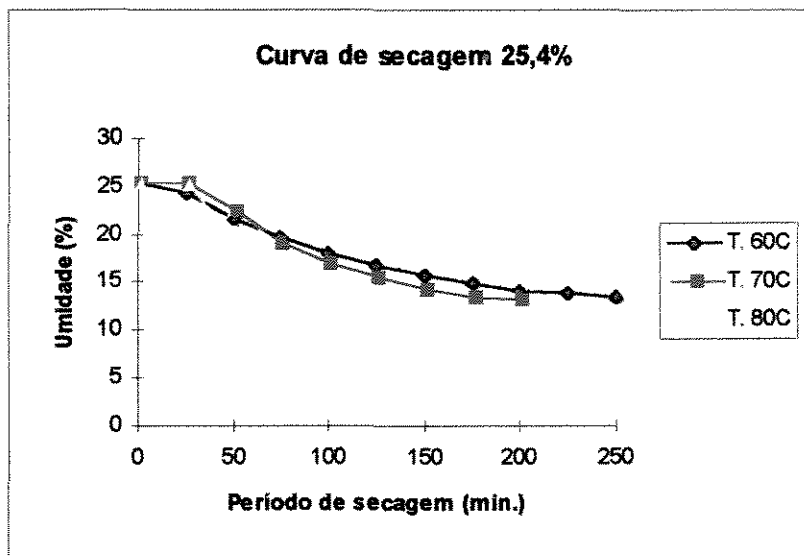


Figura 7. Curvas de secagem para os tratamentos com 25,4% de umidade inicial e temperaturas de secagem de 60 (T.60C), 70 (T.70C) e 80°C (T.80C).

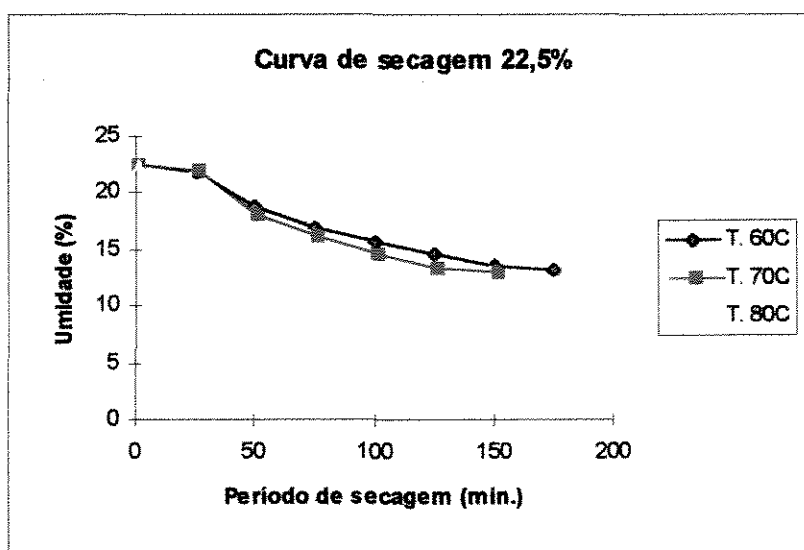


Figura 8. Curvas de secagem para os tratamentos com 22,5% de umidade inicial e temperaturas de secagem de 60, 70 e 80°C.



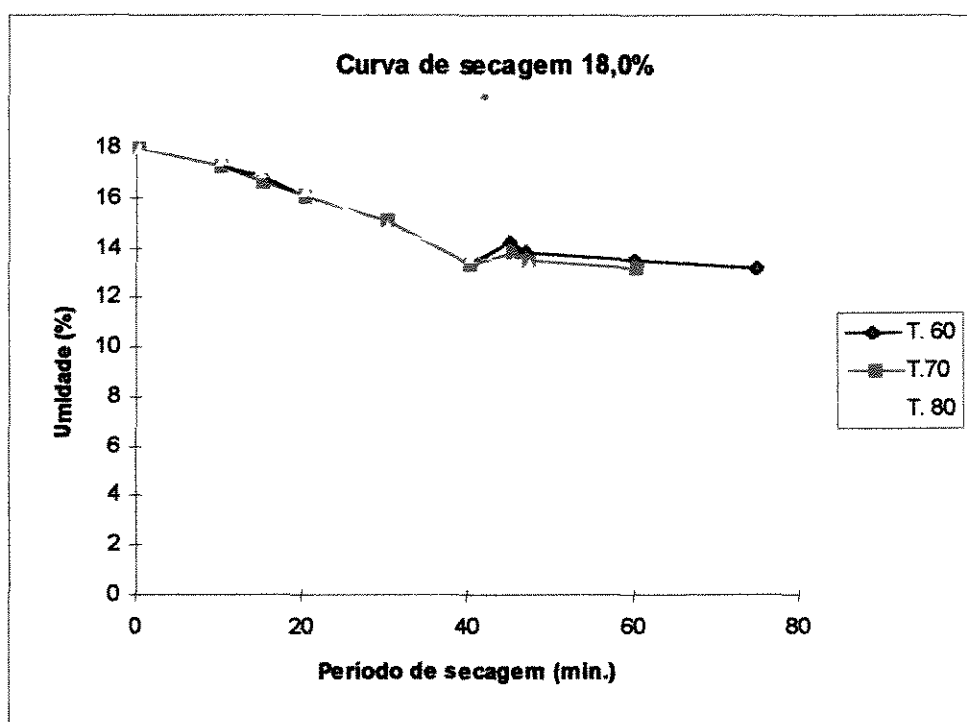


Figura 9. Curvas de secagem para os tratamentos com 18,0% de umidade inicial e temperaturas de secagem de 60, 70 e 80°C.

#### 5.4. Turbidez.

Os resultados do teste de turbidez para o milho pós colheita (25,4%) e secagem ao sol (22,5 e 18,0%) foram de 3,40; 3,15 e 3,30 respectivamente. Os outros resultados estão representados na tabela 9.

De acordo com a tabela 9 maiores alterações na proteína, foram observadas no tratamento a 80°C, seguido das temperaturas de 70, 60°C e testemunha.

A análise estatística representada na tabela 10, indica que os valores médios de transmitância obtidos diferiram significativamente para as três temperaturas de secagem e para as duas umidades iniciais de 25,4 e 22,5% , com excessão do tratamento 18,0%/60°C, onde este não diferiu significativamente do tratamento 18,0%/70°C e testemunha.

Os tratamentos 25,4%/60°C e 22,5%/60°C não diferiram significativamente da testemunha.

O milho com teor de umidade inicial de 18,0%, apresentou menor teor de proteína desnaturada durante a secagem. Através da análise estatística foi observado que é indiferente secar milho a 60 ou 70°C na umidade inicial de 18,0%, porém o tempo de secagem é maior para 60°C.

Do ponto de vista de desnaturação proteica o pior tratamento neste caso foi o 25,4%/80°C, onde o grão ficou um tempo maior exposto à alta temperatura. Os melhores tratamentos foram 18,0%/60°C e 18,0%/70°C.

Os valores de transmitância foram diretamente proporcionais às proteínas solúveis em soluções salinas, que foram desnaturadas.

Quanto maior a transmitância menos proteínas foram precipitadas, ou seja, mais proteínas estão aderidas ao amido.

As variações ocorridas na transmitância estão relacionadas com as proteínas solúveis em soluções salinas, que não foram desnaturadas devido a aplicação de altas temperaturas de secagem como cita LE BRAS e BEAUX (1994). Uma explicação adicional é que altas temperaturas de secagem provocaram mudanças na proteína, e um inchamento menor durante a maceração, tendendo assim a segurar o amido mais tenazmente do que o grão não seco ou seco a baixas temperaturas KENT (1975).

Os resultados obtidos estão de acordo com Mc GUIRE e EARLE (1958), o qual observou que os teores de proteína extraída do milho por solução salina decrescem linearmente, com temperaturas do ar de secagem de 49 a 93°C.

Dentro da classificação citada por BAKKER-ARKEMA (1993), os resultados obtidos neste estudo são considerados de excelente qualidade para moagem úmida, contudo eles estão abaixo dos padrões colocados por este autor. Esta classificação não está de acordo com LE BRAS e BEAUX (1984), onde o mesmo cita que numa escala de 15 a 40% (tabela 11) o valor amidonário é apenas satisfatório.

Segundo LE BRAS e BEAUX (1984), valores de transmitância entre 15 e 40% correspondem a milho seco artificialmente à temperaturas inferiores à 90°C, estando de acordo com as temperaturas empregadas neste trabalho.

TABELA 9. Resultados do teste de turbidez para as testemunhas, temperaturas de 60, 70 e 80°C medidas no interior do grão e umidades iniciais de 25,4; 22,5 e 18,0%

| Umidade (%) | Temperatura (°C) |       |       |
|-------------|------------------|-------|-------|
|             | 60               | 70    | 80    |
| 25,4        |                  |       |       |
| 1ª secagem  | 4,30             | 15,03 | 31,00 |
| 2ª secagem  | 5,02             | 12,45 | 34,35 |
| Testemunha  | 3,40             |       |       |
| 22,5        |                  |       |       |
| 1ª secagem  | 5,75             | 12,40 | 21,85 |
| 2ª secagem  | 3,55             | 10,75 | 33,20 |
| Testemunha  | 3,15             |       |       |
| 18,0        |                  |       |       |
| 1ª secagem  | 3,65             | 7,50  | 20,70 |
| 2ª secagem  | 2,65             | 8,00  | 26,60 |
| Testemunha  | 3,40             |       |       |

TABELA 10. Análise estatística do teste de turbidez.

| Trat. | M.Aj. | ns 5% | Trat. | M.Aj. | ns 5% | Trat. | M.Aj. | ns 5% |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 32,67 | a     | 5     | 27,67 | a     | 9     | 23,65 | a     |
| 2     | 13,89 | b     | 6     | 11,57 | b     | 10    | 7,75  | b     |
| 3     | 4,65  | c     | 7     | 4,64  | c     | 11    | 3,30  | b     |
| 4     | 3,40  | c     | 8     | 3,15  | c     | 12    | 3,15  | b     |

Trat.-tratamentos; 1-25,4%/80°C, 2-25,4%/70°C, 3-25,4%/60°C, 4-testemunha com umidade inicial de 25,4% pós colheita, 22,5%/80°C, 6-22,5%/70°C, 7-22,5%/60°C, 8-testemunha com umidade inicial de 22,5% após secagem ao sol, 9-18,0%/80°C, 10-18,0%/70°C, 11-testemunha com umidade inicial de 18,0% após secagem ao sol, 12-18,0%/60°C, M.Aj.-médias ajustadas, ns 5%-nível de significância 5%.

Letras diferentes diferem entre si ao nível de significância 5%.

Foi aplicado o teste de tukey.

Tabela 11 Relação dos valores de transmitância com diferentes temperaturas do ar de secagem.

| Transmitância | Classes                                                                     | Valor amidoário |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 0 a 15%       | Classe 1<br>Milho seco naturalmente peneirado<br>ou seco por tipo semeadura | Muito bom       |
| 15 a 40%      | Classe 2<br>Milho seco artificialmente à<br>temperatura inferior a 90°C     | Satisfatório    |
| 40 a 70%      | Classe 3<br>Milho seco artificialmente à<br>temperatura entre 90 e 100°C    | Passável        |
| > 70%         | Classe 4<br>Milho seco de maneira brutal à<br>temperatura > 100°C           | Péssimo         |

De acordo com LASSERAN (1978) a presença de proteínas sob o pericarpo é particularmente sensível à desnaturação pelo tratamento a altas temperaturas.

Os resultados obtidos também estão de acordo com VOJNOVICH *et al* (1975), onde o mesmo cita que altas temperaturas de secagem afetam a solubilidade de certas proteínas.

A solubilidade da proteína e outras propriedades associadas com a proteína tem também sido estudadas. Essas incluem mudanças na albumina, globulina Mc GUIRE e EARLE (1958) e na solubilidade da zeína FRENCH e KINGSOLVER (1964) em farinha

de milho, com aumento da temperatura de secagem. Contudo, diferentes variedades podem limitar o proveito de tal método WIGHT (1979) citado por WIGHT (1981).

#### 5.5. Índice de quebra.

O IQ do milho após colheita foi de 1,68. Os resultados obtidos após tratamentos estão indicados na tabela 12.

A análise estatística para índice de quebra apresentada na tabela 13, não indicou diferença significativa entre os tratamentos e todos os tratamentos foram significativamente diferentes da testemunha. Segundo BAKKER-ARKEMA (1993) ele varia em torno de 2,0 para milho seco em silo e 5,0 para milho seco rapidamente. Os resultados obtidos a partir dos tratamentos empregados, corresponderam àqueles do milho seco rapidamente. A testemunha apresentou um resultado semelhante ao milho seco em silo, provavelmente o IQ foi influenciado por rachaduras causadas pela debulha. De acordo com BROOKER *et al* (1992) e PUZZI (1986), é possível a influência de danos causados pela colheita, haja visto que a colheita foi realizada mecanicamente, este tipo de dano pode ser reduzido pelo ajustamento mecânico e colheita a altos teores de umidade BROOKER *et al* (1992).

As condições de secagem usadas neste trabalho, tiveram como objetivo a minimização do gradiente de umidade e temperatura na camada de grãos, procurando

assim, analisar apenas o efeito das diferentes temperaturas atingidas pelo grão e umidades iniciais.

Segundo WHITE *et al* (1982) e WESTERMAN *et al* (1993) a ocorrência e severidade do SC está relacionada com a temperatura do ar de secagem e umidade relativa, com isto, a baixa umidade relativa do ar de secagem indicada na tabela 6, contribuiu para o alto IQ causado nos tratamentos aplicados nos grãos.

Alguns fatores podem ter influenciado neste resultado, tais como:

a) Segundo THOMPSON e FOSTER (1963) apud GUNASEKARAN *et al* (1985) a secagem rápida é o fator mais significativo no desenvolvimento do SC. A pequena altura da camada de grãos fez com que o tempo de secagem (tabela 7) fosse curto, provavelmente contribuindo para o aumento do IQ. Rachaduras também podem ocorrer em longos períodos de secagem de acordo com BAKKER-ARKEMA (1993).

b) Segundo EKSTROM *et al* (1966), o SC provavelmente não é causado exclusivamente pelo gradiente de temperatura, o gradiente de umidade intra grão também causa SC; as condições de trabalho não possibilitaram a minimização do gradiente de umidade intra grão, contribuindo para o aumento do IQ. Este mesmo autor cita que uma diferença de temperatura em torno de 97°C deve existir entre o centro e a superfície do grão, para a rachadura ocorrer apenas pelo efeito da temperatura. Devido à secagem rápida é possível que tenha havido um gradiente de umidade intra grão, o que

faz supor que quanto ao gradiente de umidade interno não houve diferença significativa para os diferentes tratamentos.

Segundo THOMPSON e FOSTER (1963) apud GUNASEKARAN *et al* (1985), quanto maior a umidade inicial do grão maior será a formação de SC. No presente trabalho não foi observada nenhuma diferença significativa no IQ entre os tratamentos com diferentes teores de umidade inicial, não estando de acordo com este autor.

Segundo MUJUMBAR e BEKE (1993), a fragilidade do grão de milho, pode ser caracterizada em função do teor de umidade e temperatura do grão. Nas faixas de temperatura e umidade empregadas neste trabalho não foram observadas diferenças significativas.



Tabela 12. Resultados do índice de quebra

| Umidade (%) | Temperatura (°C) |      |      |
|-------------|------------------|------|------|
| 25,4        | 60               | 70   | 80°C |
| 1ª secagem  | 4,98             | 4,98 | 5,0  |
| 2ª secagem  | 4,97             | 4,98 | 5,0  |
| 22,5        | 60°C             | 70°C | 80°C |
| 1ª secagem  | 5,0              | 5,0  | 5,0  |
| 2ª secagem  | 5,0              | 5,0  | 5,0  |
| 18,0        | 60°C             | 70°C | 80°C |
| 1ª secagem  | 4,91             | 4,94 | 5,0  |
| 2ª secagem  | 4,96             | 4,97 | 5,0  |

Tabela 13. Análise estatística do índice de quebra

| Trat. | M.Aj. | ns<br>5% | Trat. | M.Aj | ns<br>5% | Trat. | M.Aj | ns<br>5% |
|-------|-------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|
| 1     | 5,00  | a        | 5     | 5,00 | a        | 8     | 5,00 | a        |
| 2     | 4,98  | a        | 6     | 5,00 | a        | 9     | 4,93 | a        |
| 3     | 4,98  | a        | 7     | 5,00 | a        | 10    | 4,91 | a        |
| 4     | 1,68  | b        | 4     | 1,68 | b        | 4     | 1,68 | b        |

Trat.-tratamentos; 1-25,4%/80°C, 2-25,4%/70°C, 3-25,4%/60°C, 4-testemunha, 5-22,5%/60°C, 6-22,5%/70°C, 7-22,5%/80°C, 8-18,0%/80°C, 9-18,0%/70°C, 10-18,0%/60°C, M.Aj-médias ajustadas, ns 5%-nível de significância 5%

Letras diferentes diferem entre si ao nível de significância 5%.

### 5.6. Colorimétrico.

O resultado para o milho pós colheita (25,4%) foi de 0,0577. Os outros resultados estão representados na tabela 14.

De acordo com BROOKER *et al* (1992), o teste quantitativo de fast green é o mais utilizado para a quantificação de danos exteriores dos grãos.

Para a umidade inicial de 25,4%, a temperatura de 60°C diferiu significativamente da temperatura de 80°C e, a temperatura de 80°C não diferiu da testemunha como pode ser observado na tabela 15. A temperatura de 70°C foi significativamente igual à temperatura de 80°C.

Uma possível explicação para este fato é o menor tempo de exposição à alta temperatura.

Para os teores de 22,5 e 18,0% não houve diferença significativa entre as diferentes temperaturas empregadas e a testemunha (tabela 15).

No presente estudo, os tratamentos empregados não apresentaram diferenças que pudessem ser detectadas por este teste.

Tabela 14. Resultados do teste colorimétrico.

| Umidade (%) | Temperatura (°C) |        |        |
|-------------|------------------|--------|--------|
|             | 60°C             | 70°C   | 80°C   |
| 25,4%       |                  |        |        |
| 1ª secagem  | 0,1006           | 0,0911 | 0,0614 |
| 2ª secagem  | 0,0883           | 0,0841 | 0,0791 |
| 22,5%       |                  |        |        |
| 1ª secagem  | 0,0687           | 0,0762 | 0,0756 |
| 2ª secagem  | 0,0813           | 0,0601 | 0,0588 |
| 18,0%       |                  |        |        |
| 1ª secagem  | 0,0752           | 0,0743 | 0,0521 |
| 2ª secagem  | 0,0737           | 0,0674 | 0,0795 |

Tabela 15. Análise estatística do teste colorimétrico.

| Trat | M.Aj | ns 5% | Trat. | M.Aj | ns 5% | Trat | M.Aj | ns 5% |
|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|
| 1    | 0,09 | a     | 5     | 0,07 | a     | 8    | 0,07 | a     |
| 2    | 0,08 | ab    | 6     | 0,06 | a     | 9    | 0,07 | a     |
| 3    | 0,07 | bc    | 7     | 0,06 | a     | 10   | 0,06 | a     |
| 4    | 0,05 | c     | 4     | 0,05 | a     | 4    | 0,05 | a     |

Trat.-tratamentos; 1-25,4%/60°C, 2-25,4%/70°C, 3-25,4%/80°C, 4-testemunha, 5-22,5%/60°C, 6-22,5%/70°C, 7-22,5%/80°C, 8-18,0%/60°C, 9-18,0%/70°C, 10-18,0%/80°C, M.Aj-médias ajustadas, ns 5%-nível de significância 5%

Letras diferentes diferem entre si ao nível de significância 5%.

### 5.7. Composição centesimal do amido de milho extraído.

De acordo com a tabela 16 foi observado que a porcentagem de proteína do amido de milho extraído, apresentou um valor ligeiramente superior ao citado por BROOKER *et al* (1992).

Aminoácidos e bases nitrogenadas podem ser absorvidos pelo amido, tornando assim a purificação difícil RADLEY (1952). O amido deve ser purificado até conter 0,3% de proteína BROOKER *et al* (1992). Isto indica que provavelmente o amido possa estar envolvido com as bases nitrogenadas, aumentando assim o teor de proteína encontrada na presente pesquisa.

Tabela 16. Resultados da composição centesimal do amido de milho.

| Determinações           | Amostras |       |
|-------------------------|----------|-------|
|                         | A        | B     |
| Umidade (%)             | 11,14    | 24,76 |
| Cinzas (%)              | 0,08     | 0,11  |
| Proteína (N x 6,25) (%) | 0,53     | 0,52  |
| Lípidios totais (%)     | 0,16     | 0,21  |
| Fibras (%)              | 0,07     | 0,08  |
| Amido (%)               | 88,12    | 74,55 |

A = Amostra submetida à secagem com umidade inicial de 25,4% e temperatura de 60°C.

B = Amostra submetida à secagem com umidade inicial de 25,4% e temperatura de 80°C.

### 5.8. Propriedades viscoamilográficas do amido do milho

Em todos os tratamentos foi observado (tabela 17) a não pré-gelatinização do amido de milho durante às diferentes temperaturas de secagem. Isto pode ser visualizado nas figuras 10, 11 e 12, já que em todos os tratamentos o amido teve viscosidade inicial a zero U.V. Este resultado nos permite concluir que a detecção de material gelatinizado durante a extração de amido, não foi proveniente da aplicação de altas temperaturas de secagem como suspeitava KINOSHITA (1994).

Os resultados apresentados na tabela 17, mostraram um aumento no parâmetro de viscosidade máxima com a elevação de temperatura, nas umidades iniciais de 25,4 e 18,0% e um acréscimo na viscosidade à 50°C nas umidades de 25,4 e 22,5% e 18%, também devido ao acréscimo de temperatura. Contudo, através da análise estatística, foi verificado que a secagem à 60, 70, e 80°C independente do teor inicial de umidade não influenciou as características viscoamilográficas do amido de milho, o que está de acordo com LASSERAN (1973), que relatou que a secagem a 80°C não influenciou as características tecnológicas do amido. VOJNOVICH *et al* (1975), contudo, observou um gradual decréscimo na viscosidade máxima e à 50°C em amidos com temperatura de secagem aumentada, este fato não foi observado no presente estudo.

Grãos de milho secos à 60, 70 e 80°C, independente da umidade de colheita tiveram características de estatisticamente iguais às do controle. Resultados similares para a temperatura de 48,9°C, foram observados por VOJNOVICH *et al* (1975).

Nas curvas viscoamilográficas do amido submetido ao cozimento à 95°C durante 20 minutos, como mostram as figuras 10, 11 e 12, foi observado, para todos os tratamentos e testemunhas, uma pequena queda na viscosidade da pasta tendo como consequência a perda parcial da resistência mecânica do amido de milho. Estes resultados estão de acordo com SRIVASTAVA *et al* (1970) que observou durante o cozimento do amido de milho à temperatura constante de 95°C/hora uma pequena queda na viscosidade.

Tabela 17. Resultados das propriedades viscoamilográficas do amido de milho.

| Tratamentos | T.P. (°C) | T.V.M<br>(°C) | V.M.<br>(U.V.) | V.m.<br>(U.V.) | V. 50°C<br>(U.V.) |
|-------------|-----------|---------------|----------------|----------------|-------------------|
| A           | 81,00     | 96,00         | 580,00         | 500,00         | 1120,00           |
| Um(%) T(°C) |           |               |                |                |                   |
| 25,4 60     | 80,25     | 94,50         | 590,00         | 470,00         | 1015,00           |
| 25,4 70     | 79,50     | 94,25         | 620,00         | 515,00         | 1140,00           |
| 25,4 80     | 79,50     | 94,50         | 680,00         | 550,00         | 1260,00           |
| B           | 81,00     | 94,50         | 550,00         | 460,00         | 1070,00           |
| Um(%) T(°C) |           |               |                |                |                   |
| 22,4 60     | 80,25     | 94,50         | 680,00         | 590,00         | 1270,00           |
| 22,4 70     | 81,00     | 95,50         | 660,00         | 600,00         | 1320,00           |
| 22,4 80     | 80,25     | 93,75         | 680,00         | 620,00         | 1370,00           |
| C           | 81,00     | 96,00         | 570,00         | 450,00         | 1010,00           |
| Um(%) T(°C) |           |               |                |                |                   |
| 18,0 60     | 80,25     | 95,50         | 650,00         | 560,00         | 1235,00           |
| 18,0 70     | 79,50     | 94,50         | 625,00         | 545,00         | 1195,00           |
| 18,0 80     | 78,75     | 93,75         | 800,00         | 630,00         | 1350,00           |

Um(%)-umidade inicial, T(°C)-temperatura

A-testemunha 25,4% pós colheita; B-testemunha 22,4% seco ao sol, C-testemunha 18,0% seco ao sol.

T.P.-temperatura da pasta, T.V.M.-temperatura da viscosidade máxima, V.M.-viscosidade máxima, V.m.-viscosidade mínima, V. 50°C-viscosidade a 50°C, U.V.-unidades viscoamilográficas

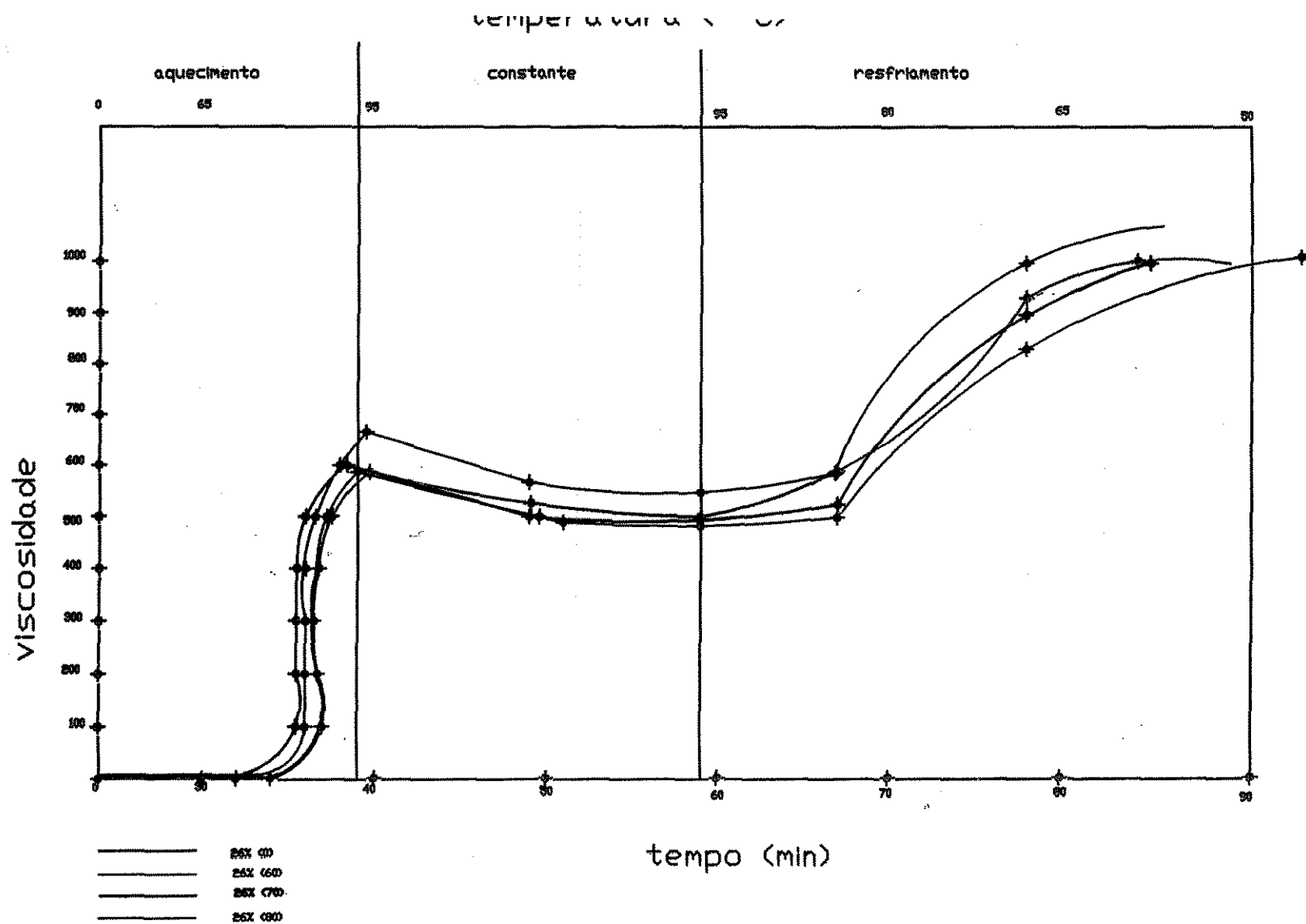


Figura 10. Curvas viscoamilográficas do amido de milho, referentes às diferentes temperaturas de secagem com umidade inicial de 25,4%. O Tratamento (0) - testemunha.



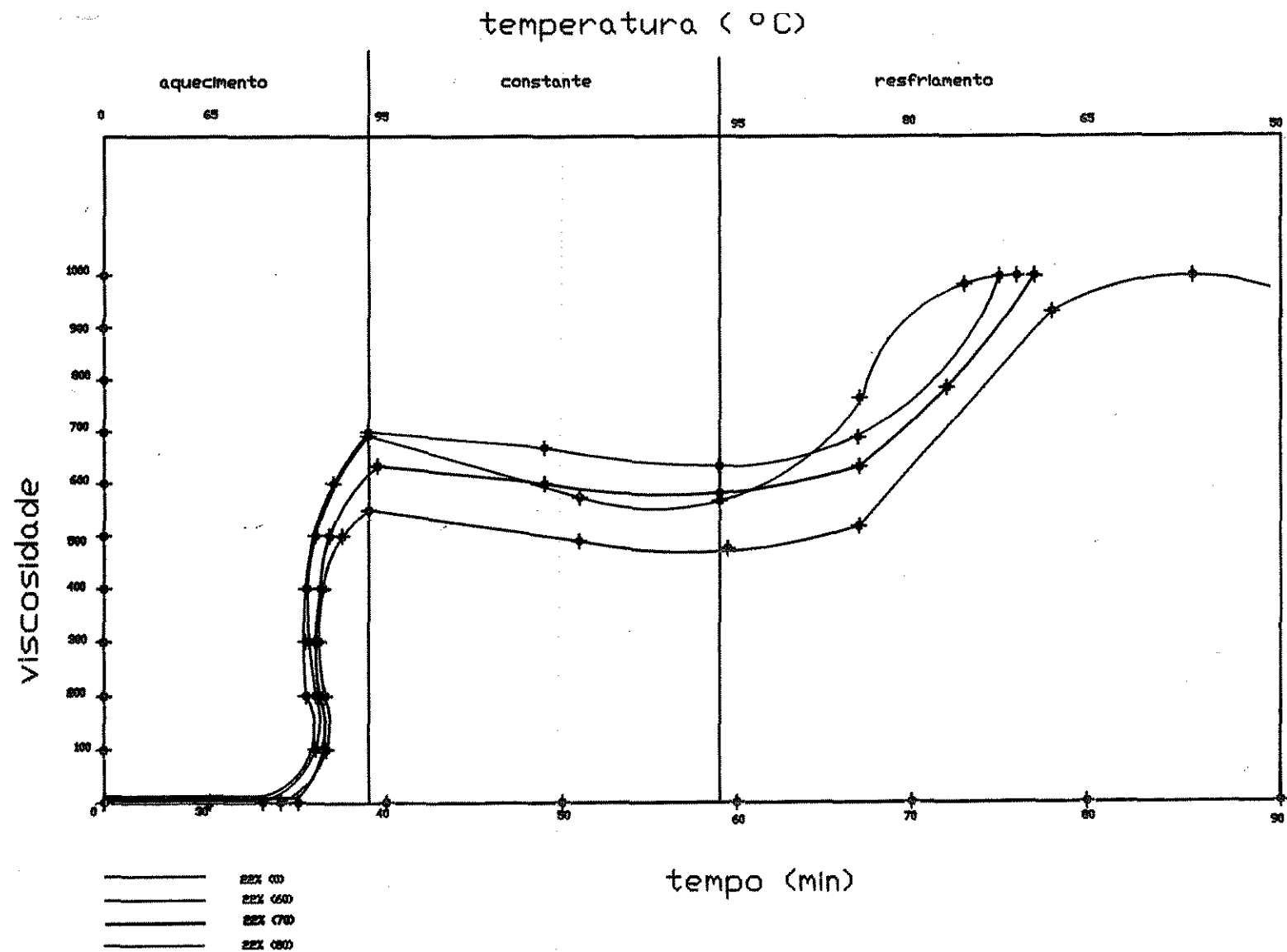


Figura 11. Curvas viscoamilográficas do amido de milho, referentes às diferentes temperaturas de secagem com umidade inicial de 22,5%. O Tratamento (0) - testemunha.

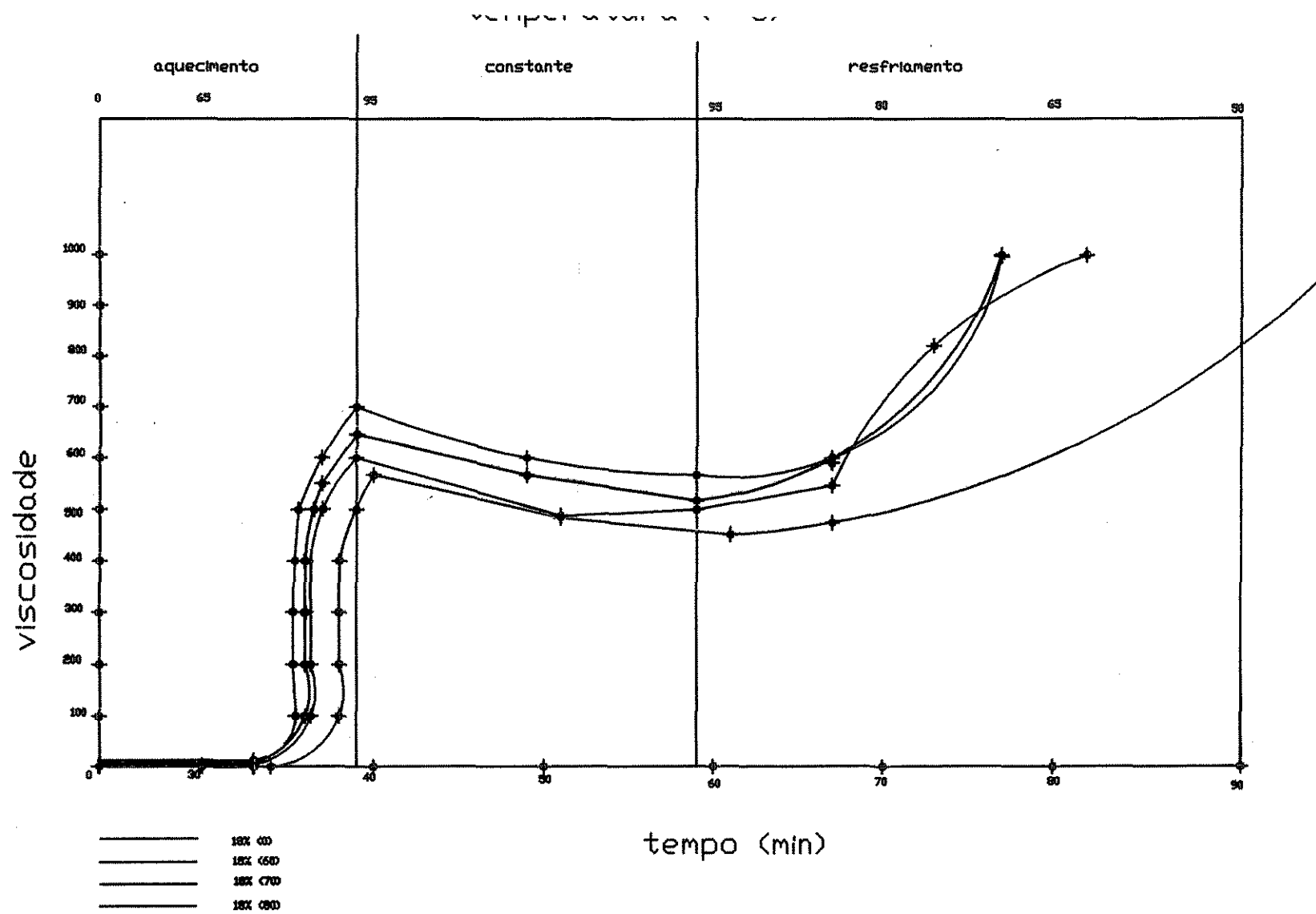


Figura 12. Curvas viscoamilográficas do amido de milho, referente às diferentes temperaturas de secagem com umidade inicial de 18,0%. O Tratamento (0) - testemunha.

## **6.CONCLUSÕES**

- A variedade de milho estudada mostrou que proteínas solúveis em soluções salinas foram desnaturadas devido ao aumento de temperatura de secagem, particularmente no caso de umidades iniciais mais elevadas.

- A secagem artificial provocou um aumento significativo no IQ. O fato do mesmo não ter diferido para diferentes temperaturas, pode provavelmente ser atribuído à baixa umidade relativa do ar de secagem, à fina camada e à mudança brusca de temperatura em todos os tratamentos.

- O método da caixa com tampo de vidro e luz fria, mostrou eficiência e facilidade na visualização de fissuras.

- O grão de milho com umidades iniciais entre 25,4 e 18,0% quando submetidos às temperaturas entre 60 e 80°C respectivamente, e por períodos de exposição utilizados neste trabalho, provavelmente terão como subproduto amido de milho com as mesmas propriedades viscoamilográficas e conseqüentemente a mesma aplicação industrial.

- O fato de não ter havido uma diferença significativa para os testes índice de quebra e viscosidade do amido faz com que a melhor condição de secagem fique na

dependência do menor tempo de secagem, ou seja, tratamentos com umidades iniciais mais baixas e temperaturas mais elevadas.

- As diferenças ocorridas na desnaturação proteica devido aos diferentes tratamentos, não foram suficientes para influenciar a viscosidade do amido.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 7.ed. St. Paul, AACC, 1969 V. 1 and 2.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 8.ed. St Paul, AACC, 1990 V. 2.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil chemists Society**. ed. by Firestone D. 4 ed. Champaign, AOAC, 1990 V. 1 e 2.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists**. ed. by William Horwitz. 12 ed. Washington, AOAC, 1975. 109p.

BAKKER ARKEMA,F.W. Grain quality and management of grain quality standards. In: **FAO TECHNICAL SYMPOSIUM ON GRAIN DRYING AND STORAGE IN LATIN AMERICA**, Porto Alegre, R.S., Brasil. October, 1993. 7p.

BALASTREIRE,L.A.; HERUM, F.L. e BLAISDELL,J.L. Fracture of corn endosperm in bending. Part II: Fracture analysis by fractography and optical microscopy. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.25, n.4, p. 1062-1065, 1982.

BOBBIO,F.O. e BOBBIO,P.A. **Introdução à química do processamento de alimentos**. São Paulo, 1989. 223p.

BOBBIO,F.O. e BOBBIO,P.A. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo, 1992. 151p.

BROOKER,D.B.; BAKKER-ARKEMA,F.W. e HALL C.W. **Drying and storage of grains and oil seeds**, New York, 1992. 450p.

BROOKER,D.B.; BAKKER-ARKEMA,F.W. e HALL C.W. **Drying cereal grains**, New York, 1974. 263p.

CFP. Comissão de financiamento da produção. Informativo 25. In **Jornal Agrocere**. Jan. 1994.

CHOWDHURY,M.H. e BUCHELE,W.F. Colorimetric determination of grain damage. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.19, n.2, p. 807-8, 811, 1976.

- CHOWDHURY, M.H. e BUCHELE, W.F. Development of a numerical index for critical evaluation of numerical damage of corn. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, MI, v.19, n.3, p. 428-432, ano 1976.
- CHRISTENSEN, M.C. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, 1974. 549p.
- CIACCO, C.F. e CRUZ, R. **Fabricação do amido de milho e sua utilização**. São Paulo, Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. v.7, 151p. (Série Tecnologia Agroindustrial).
- COURTOIS, F.; LEBERT, A.; DUQUENOY, A.; LASSERAN, J.C. e BIMBENET, J.J. Modelling of drying in order to improve processing quality of maize. **Drying Technology**, v.9, n.4, p. 927-945, 1991.
- COX, M.J.; MAC MASTERS, M.M. e HILBERT, G.E. Effect of sulphurous acid steep in corn wet milling. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.21, n.6, p. 447-465, 1944.
- D'APPOLONIA, B.L. Effect of bread ingredients on starch-gelatinization properties as measured by the amylograph. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.49, n.5, p. 532-543, 1972.
- DALBELLO, O. **Eficiência do processo de secagem do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e milho de pipoca (*Zea mays* L.)**. Campinas: UNICAMP, 1995. 111p. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola, 1995.
- DIEMAIR, W. **Laboratoriumsbuch fur lebensmittelchemiker**. 8 aufl. Drisdén: verlag Von Theodor Steinkopff, 1963.
- DONZELES, S.M.L. **Curvas de quebra e de secagem de milho em camadas finas na faixa de temperatura de 45 a 150°C**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1982. 43p. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola, 1982.
- EKSTRON, G.A.; LILJEDAHN, J.B. e PEART, R.M. Thermal expansion and tensile properties of corn kernels and their relation ship to cracking during drying. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.9, n.4, p. 556-561, 1966.
- FANCELLI, A.L. e LIMA, U.A. **Milho: Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo, Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. v.5, 112p. (Série tecnologia Agroindutrial).
- FORTES, M., FILHO, J.B.P., e OKOS, M.R. Estudo de secagem de duas variedades de milho em camadas finas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v.7, n.1, p. 27-32, 1982.

- FRENCH,R.C. e KINGSOLVER,C.H. The effect of excessive heat during artificial drying of corn on reducing sugar content and diastatic activity. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.41, n.2, p. 47, 1964.
- FREY,K.J. The interrelationships of proteins and amino acids in corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.28, n.2, p. 123-133, 1951.
- GUALBERTO,J.A.G. **Efeitos de parâmetros de secagem na qualidade de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) previamente aerado**. Campinas: UNICAMP, 1990. 29 p. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola, 1990.
- GUNASEKARAN,S.; DESHPANDE,S.S.; PAULSEN,M.R. e SHOVE G.C. Size characterization of stress cracks in corn kernels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.28, n.5, p. 1668-1672, 1985.
- HALL,C.H. e RODRIGUEZ-ARIAS,J.H. Applications of Newton's equation to moisture removal from shelled corn at 40-140°F. **Journal of Agricultural Engeneering Research**, Londres, v.3, n.4, p. 275-280, 1958.
- HALL,D.W. **Manipulacion y Almacenamiento de Granos Alimenticios en las Zonas Tropicales e Subtropicales**. Roma, 1971. 400p.
- HAMMERLE,J.R. Theoretical analysis of failure in a viscoelastaic slab subjected to temperature and moisture gradients. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.15, n.5, p. 960-965, 1972.
- KENT,N.L. **Technology of Cereals**. New York - 2<sup>a</sup> ed.-Cap. 15 p. 277-297, 1975. 306p.
- KINOSHITA,K. Comunicação verbal. Refinações de Milho Brasil (RMB), São Paulo. 1994.
- KUNZE,O.R. e CHOUDHURY,M.S.U. Moisture adsorption related to the tensile strength of rise. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.49, n.6, p. 684-696, 1972.
- LASSERAN,J.C. Incidences of drying and storing conditions of corn (maize) on its quality for starch industry. **Starch Stärke**, France, v.25, n.8, p. 257-262, 1973.
- LASSERAN,J.C. **Princípios Gerais de Secagem**. Tradução de CELARO, J.C.; LOURDES, L.H.R.S.; CELARO, M.S. Impresa Universitária. **Revista brasileira de armazenamento**, Viçosa, v.3, n.3, p. 17-46, 1978. Tradução de: *Principes Généraux du Séchage*.

LE BRAS e BEAUX, Y. Appréciation de la valeur d'utilisation du maïs en amidonnerie. In: Godon B. et Loisel W. **Guide Pratique d'Analyse dans les Industries des Céréales**, Lavoisier, Paris, France, 1984.

LI, H. e MOREY, R. V. Thin-layer drying of yellow dent corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.27, n.2, p. 581-5, 1984.

MAC MASTERS, M. M. Important aspects of kernel structure. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.5, n.2, p. 247-249, 1962.

MARSANS, G. J. **Manejo y conservación de granos**. Editorial Hemisfério Sur S. A. Buenos Aires-Argentina. 1ª ed., 1987. 266p.

Mc GUIRE, T. A. e EARLE, F. R. Changes in the solubility of corn protein resulting from the artificial drying of high-moisture corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.35, n.3, p. 179-188, 1958.

MUJUMBAR, A. S. e BEKE, J. Influence of drying conditions on the fragility of corn kernels. **Drying Technology**, v.11, n.3, p. 603-614, 1993.

PIZZINATO, A. e MAGNO, C. P. R. S. **Avaliação e controle de qualidade da farinha de trigo**. Instituto de Tecnologia de Alimentos, ITAL. Centro de Pesquisa e Tecnologia de Cereais. Campinas, Outubro, 1995. 67p.

POMERANZ, Y.; CZUCHAJOWSKA, Z. e LAI, F. S. Comparison of methods for determination of hardness and breakage susceptibility of commercialy dried corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.63, n.1, p. 39-43, 1986.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas-SP, 603p. 1986.

RADLEY, J. A. The manufacture of maize starch. **Food Manufacture**, New York, v.26, n.11, p. 429-488, 1951.

RADLEY, J. A. The manufacture of maize starch. **Food Manufacture**, New York, v.27, n.1, p. 20-22, 1952.

SANEST. **Sistema de Análise Estatística**. Elio Paulo Zonta e Amauri Almeida Machado (Autores), ESALQ-USP.

SARTORI, M. R. e VITTI, P. Influência do Armazenamento Hermético do Milho com Teor de Umidade Moderadamente Elevado Sobre Suas Características de Moagem por Via Úmida. **Coletânea do ITAL**, Campinas, v.21, n.1, p. 100-106, 1991.



- SATHLER, M.G.B. **Secagem de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas finas, a baixas temperaturas e seus efeitos na germinação das sementes.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1979. 39 p. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola, 1979.
- SCHULTZE, W.E. e MAC MASTERS, M.M. Breakage of endosperm cell walls in flour milling. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.39, n.2, p. 204-209, 1962.
- SHARMA, A.D.; TOLLEY e KUNZE, O.R. **A two component drying model related to the fissuring in rough rice.** St. Joseph, MI: ASAE, 1979. Paper n. 79-3550.
- SILVA, J.S.; FREITAS, S.C.; CARVALHO, G.R. e HARA, T. Redução da viabilidade de sementes de milho considerando tempo e temperatura de secagem. **Revista brasileira de armazenamento**, Viçosa, MG, v.5, n.2, p.5-13, 1980.
- SRIVASTAVA, H.C.; HARSHE, S.N.; GHARIA, M.M. e MUDIA, G.P. Physicochemical studies on some starches. **Die Stärke**, v.22, n.5, p.162-166, 1970.
- VITTI, P.; FUKUDA, S.Y.; LEITÃO, R.F.F. e PIZZINATO, A. Avaliação das características tecnológicas de cultivares de milho. **Boletim do ITAL**, v.19, n.2, p.195-203, 1982.
- VOJNOVICH, C., ANDERSON, R.A. e GRIFFIN, E.L.Jr. Wet-milling properties of corn after field shelling and artificial drying. **Cereal Foods Word**, v.20, n.7, p. 333-335, 1975.
- WALL, J.S. e PAULIS, J.W. Corn and sorghum grain proteins in advances. **Cereal Science and technology**. Pomeranz Y., Ed. Am. Assoc. of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, v.2, p. 135-207, 1978.
- WALL, J.S., JAMES, G. e DONALDSON, G.L. Corn proteins, chemical and physical changes during drying of grain. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.52, n.6, p.779, 1975.
- WATSON, S.A. e HIRATA, Y. Some wet-milling properties of artificially dried corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.39, n.2, p. 35, 1962.
- WATSON, S.A., RAMSTAD, P.E. **Corn: chemistry and Technology**. St Paul, Minnesota, 1987. 605p.
- WEBER, E.A. **Armazenagem Agrícola**. Porto Alegre, 1995. 400p.
- WESTERMAN, P.W. Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.16, n.6, p. 1136-1139, 1973.
- WHISTLER, R.L., PASCHALL, E.F. **Starch: Chemistry and Technology**. New York, Academic Press, 1967. V.1, 579p.

- WHISTLER,R.L., PASCHALL,E.F. **Starch: Chemistry and Technology**. New York, Academic Press, 1967. V.2, 733p.
- WHITE,G.M.; ROSS,I.J. & PONELEIT,C.G. Influence of drying parameters on the expansion volume of popcorn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.25, n.5, p. 1272-1276, 1980.
- WHITE,G.M.; ROSS,I.J. & PONELEIT,C.G. Stress crack development in popcorn as influenced by drying and rehydration processes. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.25, n.3, p. 768-773, 1982.
- WIGHT,A.W. Change in properties of some maize cultivars associated with artificial drying at elevated temperatures II. Protein solubility and other properties in relation to milling quality. **Stärch Starke**, Pretória, v.33, n.5, p. 165-168, 1981.
- WOLF,M.J.; BUZAN,C.L.; MAC MASTERS,M.M. & RIST,C.E. Structure of the mature corn kernel III. Microscopic structure of the endosperm of dent corn. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.29, n.5, p. 349-361, 1952.