



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO ALIMENTAR E NUTRIÇÃO

---

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

TESE DE DOUTORADO

**“AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE DEZ  
GENÓTIPOS DE TRIGO DURO (*Triticum durum* L.)  
SELECIONADOS NO BRASIL SOB CONDIÇÕES DE  
IRRIGAÇÃO”**

***Márcia de Lourdes Pereira de Francischi***

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Márcia de Lourdes Pereira de Francischi, aprovada pela Comissão Julgadora em 13 de março de 2000.

***Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco***

**ORIENTADOR**

Campinas, 13 de março de 2000.

**Campinas - SP**

**2000**

Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco  
Presidente da Banca



*Márcia de Lourdes Pereira de Francischi*

**“AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE DEZ  
GENÓTIPOS DE TRIGO DURO (*Triticum durum* L.)  
SELECIONADOS NO BRASIL SOB CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO”**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos  
da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Nutrição

**ORIENTADOR:** *Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco*

**CAMPINAS**

**2000**

12/04/00



DAUE B c  
 CHAMADA: UNICAMP  
 847 a  
 Ex.  
 NO BC/ 40782  
 PC 278/00  
 D ☒  
 CO \$99,00  
 A 30/03/00  
 CPD

CM-00138996-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
 BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

Z11a

Francischi, Márcia de Lourdes Pereira de  
 Avaliação físico-química e reológica de dez genótipos de  
 trigo duro (*Triticum durum* L.) selecionados no Brasil sob  
 condições de irrigação / Márcia de Lourdes Pereira de  
 Francischi. – Campinas, SP: [s.n.], 2000.

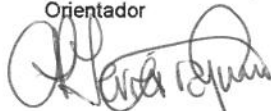
Orientador: César Francisco Ciacco.  
 Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.  
 Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Trigo. 2.Massas alimentícias. 3.Eletroforese. I.Ciacco,  
 César Francisco. II.Universidade Estadual de Campinas.  
 Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

## BANCA EXAMINADORA



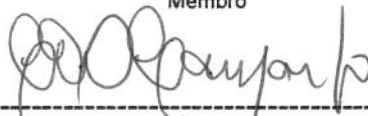
**Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco**  
Universidade Estadual de Campinas  
Orientador



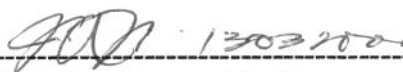
**Prof. Dr. Carlos Raimundo Ferreira Grosso**  
Universidade Estadual de Campinas  
Membro



**Profa. Dra. Telma Teixeira Franco**  
Universidade Estadual de Campinas  
Membro



**Dr. Carlos Eduardo de Oliveira Camargo**  
Instituto Agronômico de Campinas  
Membro



**Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán**  
Universidade Estadual de Campinas  
Membro

**Profa. Dra. Joicelem Mastrodi Salgado**  
Universidade de São Paulo / ESALQ  
Membro

**Profa. Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackix**  
Universidade Estadual de Campinas  
Membro

Campinas, São Paulo  
2000

*Ao único **DEUS** vivo e verdadeiro,  
o meu Amado **ADONAI** (SENHOR), **EL SHADAI** (DEUS TODO  
**PODEROSO**), **JEová TZEVAOT** (O SENHOR DOS EXÉRCITOS)*

**Consagro**

*“Uns confiam em carros e outros em cavalos, mas nós faremos menção do nome do Senhor nosso Deus” (Salmo 20:7).*

*“Posso todas as coisas em Cristo que me fortalece” (Filipenses 4:13).*

*“... mas a nossa capacidade vem de Deus” (II Coríntios 3:5)*

Aos meus queridos pais **José e Nair** que nunca deixaram de me incentivar, de orar e de acreditar que o sonho se tornaria realidade;

Ao meu amado esposo e companheiro de todos os momentos **José Luís** e às nossas benções **Gustavo e Giovanna** pelo amor, compreensão e apoio incondicionais

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

- A **DEUS**, que através do seu Espírito Santo de sabedoria e revelação, têm dirigido todo o meu viver e sem o qual eu nada poderia fazer;
- Ao estimado Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco, pela boa vontade, dedicação e atenção na orientação científica do trabalho, sem a qual não seria possível a realização desta pesquisa;
- À querida Alaíde, pela dedicação e carinho com que tem cuidado do Gustavo e da Giovanna e das nossas coisas;
- À Profa. Dra. Celina Raquel de Oliveira Camargo cuja experiência e colaboração durante o desenvolvimento desta pesquisa foram preciosas;
- Ao Dr. Carlos Eduardo de Oliveira Camargo, do Instituto Agrônomo de Campinas, pela concessão da matéria-prima para a realização da presente pesquisa;
- Ao Prof. Dr. Décio Barbin, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela orientação e revisão na análise estatística dos dados;
- Ao Prof. Dr. Carlos R. F. Grosso, do Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição, que acompanhou todas as mudanças que aconteceram, pela amizade e apoio;
- À Profa. Dra. Telma T. Franco, da Faculdade de Engenharia Química (FEQ – UNICAMP) pela amizade, interesse e ajuda nas análises de eletroforese em gel;
- À Profa. Dra. Flávia Maria Netto, do Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição, pela autorização do uso do Laboratório de Bioquímica Nutricional e à Liana A C. Dawood -técnica nível superior, pela amizade e grande ajuda na eletroforese em gel;
- Ao Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán, do Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição, Laboratório de Fontes Protéicas, pela concessão do uso do aparelho de eletroforese capilar, e ao colega Luís Abecia Soria pelo auxílio nas análises;
- Ao pesquisador Adilson Sartoratto do Laboratório de Instrumentação do CPQBA – UNICAMP, pela análise densitométrica do gel e também ao pesquisador Alexandre;
- À pesquisadora Márcia Paisano Soler do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, pela oportunidade oferecida e permissão de realização de algumas análises;
- Ao pessoal do ITAL: Sílvia R. S. Biondi, Marco Antonio Vilela e Arthur Leme da Silva pela amizade e ajuda;
- À pesquisadora Ana Maria Zanatta do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, da EMBRAPA (Passo Fundo), pelas sugestões na realização da eletroforese em gel de gliadinas;
- À Ana Lourdes Neve Gandara, técnica em alimentos – supervisora dos laboratórios de apoio do Departamento de Tecnologia de Alimentos, pelo auxílio nas análises de determinação de cor;
- À Elena, Sr. José, Sr. Nilo, Kelly Regina e Maria Carolina do Laboratório de Cereais do Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela amizade, paciência e ajuda durante a realização dos trabalhos;

- Às estagiárias Celisa e Ariana e à Débora, aluna de iniciação científica, pelo valioso auxílio prestado;
- À Martha Zavariz de Miranda, Antonio Carlos, Míriam S. Mellado e Eliana M. Guarienti, pela amizade e colaboração técnicas;
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro;
- A todos os funcionários da FEA – UNICAMP e da Biblioteca da FEA – UNICAMP, pelo interesse em ajudar;
- A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que a presente pesquisa fosse realizada

# SUMÁRIO

|                                                                                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS.....                                                              | xi   |
| LISTA DE TABELAS.....                                                              | xii  |
| RESUMO.....                                                                        | xiii |
| ABSTRACT.....                                                                      | xv   |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                 | 1    |
| 2. Revisão Bibliográfica.....                                                      | 4    |
| 2.1. O GRÃO DE TRIGO DURO.....                                                     | 4    |
| 2.1.1. Origem, morfologia e classificação.....                                     | 4    |
| 2.1.2. Cultivo e produção .....                                                    | 5    |
| 2.1.3. Características gerais .....                                                | 6    |
| 2.1.4. Características físicas de qualidade .....                                  | 7    |
| 2.1.4.1. Peso hectolitro (PH).....                                                 | 7    |
| 2.1.4.2. Dureza .....                                                              | 8    |
| 2.1.4.3. Vitreosidade .....                                                        | 10   |
| 2.2. PROCESSO DE MOAGEM DO TRIGO DURO ( <i>TRITICUM DURUM</i> L) .....             | 11   |
| 2.2.1. Objetivos, etapas e produtos .....                                          | 11   |
| 2.2.2. Requisitos de qualidade da semolina .....                                   | 14   |
| 2.2.2.1. Fatores que afetam o desenvolvimento da massa e a qualidade da pasta..... | 15   |
| 2.2.2.2. Fatores associados a qualidade de cocção da pasta .....                   | 20   |
| 2.3. PROCESSO DE PRODUÇÃO DA PASTA .....                                           | 27   |
| 2.3.1. Aspectos históricos .....                                                   | 27   |
| 2.3.2. Etapas do processo .....                                                    | 29   |
| 2.3.2.1. Mistura .....                                                             | 30   |
| 2.3.2.2. Amassamento e extrusão .....                                              | 31   |
| 2.3.2.3. Secagem convencional .....                                                | 33   |
| 2.3.2.4. Secagem a altas temperaturas .....                                        | 36   |
| 2.3.3. Avaliação da qualidade da pasta .....                                       | 46   |
| 2.3.3.1. Cor e aparência .....                                                     | 47   |
| 2.3.3.2. Qualidade de cocção .....                                                 | 48   |
| 2.3.3.3. Relação entre qualidade de cocção da pasta e seus componentes .....       | 50   |
| 2.4 ELETROFORESE DE GLIADINAS.....                                                 | 56   |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                       | 62   |
| 3.1. MATERIAIS .....                                                               | 62   |
| 3.1.1. Matéria- prima .....                                                        | 62   |
| 3.1.2. Reagentes .....                                                             | 62   |
| 3.1.3. Equipamentos .....                                                          | 63   |
| 3.2. MÉTODOS .....                                                                 | 64   |
| 3.2.1. Caracterização físico-química do grão .....                                 | 64   |
| 3.2.1.1. Peso hectolitro (kg/hl) .....                                             | 64   |
| 3.2.1.2. Dureza .....                                                              | 64   |
| 3.2.1.3. Vitreosidade .....                                                        | 65   |
| 3.2.1.4. Teste de Sedimentação com Dodecil Sulfato de Sódio (SDS)....              | 65   |
| 3.2.2. Composição centesimal do grão .....                                         | 66   |

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.2.1. Umidade .....                                                                   | 66        |
| 3.2.2.2. Proteína .....                                                                  | 66        |
| 3.2.2.3. Cinzas .....                                                                    | 66        |
| 3.2.2.4. Lipídios .....                                                                  | 66        |
| 3.2.2.5. Carboidratos .....                                                              | 67        |
| 3.2.3. Moagem .....                                                                      | 67        |
| 3.2.3.1. Condicionamento .....                                                           | 67        |
| 3.2.3.2. Moagem dos grãos .....                                                          | 67        |
| 3.2.4. Caracterização físico-química da semolina .....                                   | 69        |
| 3.2.4.1. Granulometria .....                                                             | 69        |
| 3.2.4.2. Composição química .....                                                        | 69        |
| 3.2.5. Caracterização tecnológica da semolina.....                                       | 69        |
| 3.2.5.1. Glúten úmido e seco.....                                                        | 69        |
| 3.2.5.2. Índice de glúten.....                                                           | 70        |
| 3.2.5.3. Cor.....                                                                        | 70        |
| 3.2.5.4. Propriedades de resistência à extensão e de extensibilidade .....               | 71        |
| 3.2.5.5. Atividade diastática .....                                                      | 73        |
| 3.2.5.6. Contagem de pontos pretos e de partículas de farelo .....                       | 73        |
| 3.2.5.7. Características da pasta de amido .....                                         | 74        |
| 3.2.6..... Eletroforese de gliadinas.....                                                | 75        |
| 3.2.6.1. Eletroforese de gliadinas em gel de poliacrilamida em sistema tampão ácido..... | 75        |
| 3.2.6.2. Eletroforese Capilar.....                                                       | 81        |
| 3.2.7. Avaliação da qualidade das pastas.....                                            | 82        |
| 3.2.7.1. Processamento do espaguete .....                                                | 82        |
| 3.2.7.2. Caracterização tecnológica .....                                                | 84        |
| 3.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS.....                                                            | 88        |
| 3.3.1. Análise de variância. ....                                                        | 88        |
| 3.3.2. Teste de tukey. ....                                                              | 88        |
| 3.3.3. Correlação.....                                                                   | 88        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                                    | <b>89</b> |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO GRÃO.....                                          | 89        |
| 4.1.1. Peso hectolitro (kg/hl) .....                                                     | 90        |
| 4.1.2. Dureza .....                                                                      | 91        |
| 4.1.3. Vitreosidade.....                                                                 | 92        |
| 4.1.4. Teste de sedimentação.....                                                        | 92        |
| 4.2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO GRÃO.....                                                  | 95        |
| 4.2.1. Umidade.....                                                                      | 96        |
| 4.2.2. Proteínas.....                                                                    | 96        |
| 4.2.3. Cinzas.....                                                                       | 98        |
| 4.2.4. Lipídios.....                                                                     | 99        |
| 4.3. MOAGEM.....                                                                         | 99        |
| 4.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DA SEMOLINA.....                                      | 103       |
| 4.4.1. Granulometria.....                                                                | 103       |
| 4.4.2. Composição química .....                                                          | 105       |
| 4.4.2.1. Umidade.....                                                                    | 107       |
| 4.4.2.2. Proteínas.....                                                                  | 107       |
| 4.4.2.3. Cinzas .....                                                                    | 108       |
| 4.5. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA SEMOLINA.....                                         | 109       |
| 4.5.1. Glúten úmido e seco.....                                                          | 109       |
| 4.5.2. Índice de glúten.....                                                             | 112       |
| 4.5.3. Cor.....                                                                          | 112       |
| 4.5.4. Propriedades de resistência à extensão e de extensibilidade .....                 | 116       |
| 4.5.4.1. Avaliação pelo alveógrafo.....                                                  | 116       |



|                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.5.4.2. Resistência à extensão e extensibilidade do glúten .....                       | 118        |
| 4.5.5. Atividade diastática.....                                                        | 121        |
| 4.5.6. Contagem de pontos pretos e de partículas de farelos .....                       | 123        |
| 4.5.7. Características da pasta .....                                                   | 125        |
| 4.6... . ELETROFORESE DE GLIADINAS.....                                                 | 128        |
| 4.6.1. Eletroforese de gliadinas .em gel de poliacrilamida em sistema tampão ácido..... | 128        |
| 4.6.2. Eletroforese Capilar .....                                                       | 145        |
| 4.7. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS PASTAS.....                                             | 145        |
| 4.7.1. Análise do teor de umidade.....                                                  | 145        |
| 4.7.2. Determinação de cor.....                                                         | 147        |
| 4.7.3. Qualidade de cocção.....                                                         | 151        |
| 4.7.4. Determinação de textura.....                                                     | 156        |
| <b>5. CONCLUSÕES .....</b>                                                              | <b>161</b> |
| <b>6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                | <b>165</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                   |                                                                                                               |     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b>  | Esquema de proteínas de trigo duro que têm alguma incidência sobre as propriedades tecnológicas da pasta..... | 56  |
| <b>Figura 2.</b>  | Etapas envolvidas na eletroforese de gliadinas.....                                                           | 59  |
| <b>Figura 3.</b>  | Fluxograma de moagem e purificação.....                                                                       | 68  |
| <b>Figura 4.</b>  | Analizador de textura TA.XT <sub>2</sub> com o probe SMS/KIEFFER DOUGH & GLUTEN EXTENSIBILITY RIG.....        | 72  |
| <b>Figura 5.</b>  | Eletroforese em gel A-PAGE das gliadinas das amostras (1-11) em comparação com o trigo Marquis (padrão).....  | 128 |
| <b>Figura 6.</b>  | Gráfico comparativo dos valores de “L” com o perfil eletroforético.....                                       | 132 |
| <b>Figura 7a.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do trigo Marquis (padrão).....                | 133 |
| <b>Figura 7b.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 6.....                            | 134 |
| <b>Figura 7c.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 8.....                            | 135 |
| <b>Figura 7d.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 4.....                            | 136 |
| <b>Figura 7e.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 7.....                            | 137 |
| <b>Figura 7f.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 2.....                            | 138 |
| <b>Figura 7g.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 1.....                            | 139 |
| <b>Figura 7h.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 11 (CWAD).....                    | 140 |
| <b>Figura 7i.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 10.....                           | 141 |
| <b>Figura 7j.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 3.....                            | 142 |
| <b>Figura 7k.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 9.....                            | 143 |
| <b>Figura 7l.</b> | Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 5.....                            | 144 |

## LISTA DE TABELAS

|                   |                                                                                                       |     |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabela 01.</b> | Classes de qualidade de glúten propostas para amostras de farinhas de grão inteiro e de semolina..... | 25  |
| <b>Tabela 02.</b> | Regimes de secagem usados na preparação da pasta .....                                                | 37  |
| <b>Tabela 03.</b> | Efeito da temperatura na atividade enzimática.....                                                    | 42  |
| <b>Tabela 04.</b> | Perfil utilizado para determinação dos parâmetros de viscosidade.....                                 | 74  |
| <b>Tabela 05.</b> | Soluções para o preparo do gel com as respectivas quantidades.....                                    | 78  |
| <b>Tabela 06.</b> | Diagrama de secagem dos espaguetes.....                                                               | 83  |
| <b>Tabela 07.</b> | Análises físico-químicas dos genótipos.....                                                           | 89  |
| <b>Tabela 08.</b> | Composição centesimal dos grãos.....                                                                  | 95  |
| <b>Tabela 09.</b> | Rendimento da moagem.....                                                                             | 101 |
| <b>Tabela 10.</b> | Distribuição do tamanho de partículas das semolinas.....                                              | 104 |
| <b>Tabela 11.</b> | Teores de umidade, proteína e cinzas da semolina.....                                                 | 106 |
| <b>Tabela 12.</b> | Teores de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten.....                                           | 111 |
| <b>Tabela 13.</b> | Médias dos dados experimentais de cor.....                                                            | 114 |
| <b>Tabela 14.</b> | Parâmetros alveográficos.....                                                                         | 116 |
| <b>Tabela 15.</b> | Parâmetros do analisador de texturas TA.XT <sub>2</sub> .....                                         | 119 |
| <b>Tabela 16.</b> | Valores de Números de Queda.....                                                                      | 122 |
| <b>Tabela 17.</b> | Dados da contagem do número de pontos pretos e partículas de farelo.....                              | 124 |
| <b>Tabela 18.</b> | Dados das características de pasta.....                                                               | 126 |
| <b>Tabela 19.</b> | Dados da umidade dos espaguetes.....                                                                  | 146 |
| <b>Tabela 20.</b> | Médias dos dados experimentais de cor dos espaguetes.....                                             | 149 |
| <b>Tabela 21.</b> | Características de cocção dos espaguetes.....                                                         | 153 |
| <b>Tabela 22.</b> | Parâmetros da determinação de textura dos espaguetes através de teste de compressão.....              | 157 |
| <b>Tabela 23.</b> | Parâmetros da determinação de textura dos espaguetes através de teste de tensão.....                  | 159 |

## TESE DE DOUTORADO

Autora: *Marcia de Lourdes Pereira de Francischi*

Título: **Avaliação físico-química e reológica de dez genótipos de trigo duro (*Triticum durum* L.) selecionados no Brasil sob condições de irrigação**

Orientador: *Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco*

Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição – FEA – UNICAMP

### RESUMO

O trigo duro (*Triticum durum* L.) tem sido usado na maioria dos países como a matéria-prima adequada para a elaboração de pastas alimentícias pois confere ao produto propriedades reológicas adequadas para o processo de extrusão e quando são submetidos ao cozimento, apresentam boas características de elasticidade, sendo resistentes à desintegração e à pegajosidade, retendo a textura firme.

Essa característica do trigo duro, entretanto, está subordinada às condições de cultivo e fatores genéticos.

Este trabalho teve como objetivo investigar as características tecnológicas de dez genótipos de trigo duro resultantes de germoplasmas provenientes do CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo), México, introduzidos no Brasil pelo Instituto Agrônomo de Campinas (I.A.C.). Esses genótipos foram cultivados, sob irrigação por aspersão, em solos corrigidos com calagem. Os dez genótipos foram avaliados em comparação com uma amostra comercial de trigo duro canadense (CWAD).

Em uma primeira abordagem, realizou-se a caracterização físico-química dos grãos através da determinação de peso hectolitro (kg/hL), dureza (kgm), vitreosidade e testes de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SDS). Além disso determinou-se a composição centesimal aproximada. Os resultados obtidos mostraram que para o peso hectolitro todos os genótipos superaram o valor de 80 kg/hL, considerado mínimo para a classificação dos grãos de trigo duro canadense como grau nº 1; que a amostra comercial de trigo duro canadense (CWAD) obteve o menor valor para a dureza, enquanto que os genótipos 1, 2, 4, 7, 8 e 9 se destacaram; para a vitreosidade todos os genótipos apresentaram resultados acima de 75%, com exceção do 11 (CWAD); para os testes de sedimentação os genótipos 4 e 7 apresentaram os menores volumes de sedimento, tanto pela metodologia AXFORD et al., (1978) quanto pela metodologia proposta pela A.A.C.C. (1995). Em relação à composição centesimal, os resultados mostraram que os maiores valores para proteínas foram os dos genótipos 7 (14,64%) e 8 (14,50%), enquanto que o 11 (CWAD) foi o menor (12,56%). O conteúdo de cinzas (1,43% a 1,88%) e o de lipídios (3,24 a 4,04%) foram semelhantes aos dados da literatura para trigos duros.

A moagem, após o condicionamento dos grãos à 17,5% de umidade, apresentou taxas de extração em semolina que variaram entre 37,75 (genótipo 6) e 47,66% (genótipo 11- CWAD), e a extração total variou de 42,74 a 54,98% para os mesmos genótipos. Os resultados da granulometria revelaram que cerca de 90% das frações, independentes do genótipo, apresentaram tamanhos de partículas entre 180 e 250  $\mu$ m. O teor de proteínas das semolinas variou entre 9,29% (genótipo 2) e 11,49% (genótipo 8) enquanto que o conteúdo de cinzas ficou entre 0,60 a 0,87%.

A caracterização tecnológica das semolinas, através dos testes de índice de glúten, mostrou que o genótipo 10 alcançou resultado correspondente ao gluten de qualidade excelente; que o parâmetro de resistência à extensão (P) no alveógrafo para os genótipos 3, 8 e 10 ultrapassaram os limites do aparelho e que, para a extensibilidade, os genótipos 4 e 7 apresentaram os menores valores; os parâmetros P e W apresentaram correlação com os resultados do índice de glúten; que as propriedades de resistência a extensão e extensibilidade do glúten no analisador de textura apresentaram correlação com esses parâmetros determinados no alveógrafo; que os dados obtidos para o número de queda sugeriram uma baixa atividade de  $\gamma$ -amilase; que as características de pasta do amido no R.V.A. apresentaram um perfil gráfico semelhante e típico de semolinas, enquanto que a análise de cor apresentou resultados compatíveis com os da literatura.

Os perfis eletroforéticos em gel de poliacrilamida em sistema tampão ácido-pH 3,1 mostraram evidências da fração  $\gamma$ -42 e ausência da  $\gamma$ -45 nos genótipos 4 e 7.

Todos os resultados da avaliação da qualidade de cocção dos espaguetes permitiriam classificá-los como produtos de qualidade, embora diferenciadas entre si, com os genótipos 1 e 10 apresentando os melhores e piores resultados, respectivamente.

De uma maneira geral, os resultados mostraram que os genótipos com evidência da fração  $\gamma$ -42 e ausência da  $\gamma$ -45, tiveram relação com glúten de baixa qualidade, confirmando a base genética das características reológicas do glúten.

**Palavras – chave:** trigo duro, semolina, espagete, caracterização, gliadinas, eletroforese.

## DOCTORAL THESIS

Author: *Márcia de Lourdes Pereira de Francischi*

Title: **Rheological and physical-chemical evaluation of ten durum wheat genotypes (*Triticum durum* L) selected in Brazil under irrigation.**

Supervisor: *Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco*

Department of Food Planning and Nutrition – School of Food Engineering  
State University of Campinas- UNICAMP

### ABSTRACT

Durum wheat (*Triticum durum* L) has been used in most countries as the best raw material for pasta production due to its suitable rheological properties for extrusion. Pasta from durum wheat when submitted to cooking also shows good characteristics of elasticity being resistant to disintegration and stickiness, while keeping firm texture.

However, this characteristic of durum wheat is dependent on agronomic practices and genetic factors.

The purpose of this study was to investigate the technological characteristics of ten Brazilian durum wheats genotypes, imported from CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo), México, and propagated in Brazil by the Agronomic Institute of Campinas. These genotypes were cultivated, under sprinkler irrigation, in acid-corrected soils. The ten genotypes were evaluated in relation to a commercial sample of Canadian wheat amber durum (CWAD).

As a first approach, a physical-chemical evaluation of the grain was made by the determination of its density (kg/hL), hardness (kgm), vitreousness and sedimentation tests with sodium dodecylsulfate (SDS). The chemical compositions were also determined. Results showed that all genotypes exceeded the density value of 80 kg/hL, considered as a minimum for grade nº 1 according to the Canadian system of durum wheat; that the commercial sample of Canadian wheat amber durum (CWAD) got the lowest value for hardness, while genotypes 1, 2, 4, 7, 8 e 9 had the highest hardness values; all genotypes reached results above 75% for vitreousness, except for sample 11 (CWAD); genotypes 4 and 7 showed the lowest sediment volume either by the AXFORD et al. (1978) methodology or by the methodology proposed by A.A.C.C. (1995). In relation to the chemical composition, the results showed that the highest values for proteins were found for genotypes 7 (14,64) and 8 (14,50%), while 11 (CWAD) had the lowest content (12,56%). The ash (1,43 to 1,88%) and lipids (3,24 to 4,04%) contents were similar to those found in the literature.

Extraction rates of semolina varied from 37,75 (genotype 6) to 47,66% (genotype 11 – CWAD), and the total extraction varied from 42,74 to 54,98% for the same genotypes. The results of particle size distribution revealed that about 90% of the fractions, independent from the genotypes, presented particle sizes between 180 and 250 µm. The protein contents from the semolinas varied between 9,29 (genotype 2) and 11,49% (genotype 8), while ash content remained between 0,60 and 0,87%.

The technological characterization of semolina, by the gluten index test, showed that genotype 10 could be considered of excellent quality; that the parameter resistance to extension (P) in the alveograph for the genotypes 3, 8 and 10 exceeded the limits of the alveograph and for the extensibility the genotypes 4 and 7 had the lowest values. Parameters P and W showed correlation with the results of the gluten index. The gluten properties of resistance to extension and extensibility in the texture analyzer showed correlation with these same parameters obtained in the alveograph. Results found for the falling number suggested a low  $\alpha$ -amylase activity. The starch pasta characteristics in the rapid visco analyzer (R.V.A.) demonstrated similar graph profile of typical semolina, while the color determination presented results compatible with those of the literature.

The electrophoretic profiles of gliadins in polyacrylamide gel in acid buffer system (pH 3.1) showed evidence of fraction  $\gamma$ -42 and absence of fraction  $\gamma$ -45 in the genotypes 4 and 7.

The spaghetti cooking tests showed that all genotypes were of good quality although exhibiting some differences among them, with genotypes 1 and 10 showing the best and worst results, respectively.

The results showed that the genotypes with evidence of fraction  $\gamma$ -42 and absence of fraction  $\gamma$ -45 was related to low quality gluteins, confirming the genetic basis of gluten rheological characteristics.

**Key words:** durum wheat, semolina, spaghetti, characterization, gliadins, electrophoresis.

# 1. INTRODUÇÃO

O trigo duro (*Triticum durum* L.) tem sido usado na maioria dos países como a matéria-prima adequada para a elaboração de pastas alimentícias pois confere ao produto final características de qualidade superiores em relação às obtidas com o uso do trigo comum (*Triticum aestivum* L.).

A produção brasileira de pastas foi estimada em 1.000.000 de toneladas para o ano de 1998, o que representa um crescimento de 15% em relação ao ano de 1997. Dados de consumo de pastas no Brasil registram um consumo “per capita” de 5,4 kg/ano, enquanto que nos E.U.A. e na Itália esses valores são de 10,0 kg/ano e 28 kg/ano, respectivamente, conforme dados da Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA,1999). Apesar do baixo consumo em relação a outros países, o Brasil apresenta uma grande perspectiva de crescimento neste setor nos anos futuros. Segundo a <sup>1</sup>ABIMA a perspectiva para o ano de 1999 é de que os investimentos em tecnologia, aumento de produção e desenvolvimento de novos produtos e marketing sejam de R\$ 35 milhões.

O consumo dos produtos de pasta através do mundo, provavelmente se deve à sua formulação simples, facilidade de preparo, vida de prateleira prolongada, grande versatilidade e baixo custo em relação a outros alimentos (DICK & MATSUO, 1988).

Apesar das características específicas dos trigos duros de produzir pastas com excelente qualidade, o seu cultivo representa apenas 8% da área total cultivada com trigo no mundo, o que corresponde aproximadamente a 21 milhões de hectares (FAO, 1985). Entre as razões para o baixo índice de cultivo estão sua pobre característica panificável, relacionada com a ausência do genoma D, onde estão localizados os fatores genéticos responsáveis pela qualidade de panificação, segundo FERNANDES (1992), apud CAMARGO et al. (1995a). Outros fatores relacionados ao menor cultivo referem-se a baixa resistência ao frio e a invernos rigorosos e a baixa produtividade das variedades disponíveis,

---

<sup>1</sup> ABIMA = Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias, 15 de fevereiro de 1999



o que, segundo BOZZINI (1988) é devido também ao menor esforço das pesquisas de melhoramento feitas para esta cultura.

Pesquisadores do CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo) localizado no México vêm conduzindo um programa de melhoramento de trigo duro com o objetivo de suprir os países em desenvolvimento com germoplasmas com alto potencial de produção, resistência à doenças, boa adaptação, e qualidade nutritiva e tecnológica (ABDALLA et al., 1992 apud CAMARGO et al., 1995b).

O interesse pela pesquisa com a cultura do trigo duro (*Triticum durum* L.) no Brasil ocorreu em 1984 quando o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) iniciou a introdução e a adaptação de germoplasma proveniente do CIMMYT. Porém, como os genótipos de trigo duro são muito sensíveis a solos ácidos, não tolerando o alumínio ( $Al^{3+}$ ) presente na maioria dos solos brasileiros, foi necessário corrigir a camada arável do solo (0 - 30 cm) com calagem. A irrigação dessas plantas de trigo duro fez com que suas raízes permanecessem nessa camada corrigida, contendo água e nutrientes necessários para a sua sobrevivência. Sem a irrigação, as raízes ultrapassariam essa camada e o alumínio ( $Al^{3+}$ ) do subsolo queimaria o meristema apical das raízes impedindo o seu desenvolvimento.

Após vários ensaios em diferentes regiões paulistas foi realizada a seleção de genótipos de trigo duro, considerando-se principalmente a produtividade, resistência à doenças, e outras características agrônomicas relevantes com o objetivo de avaliar e selecionar os melhores quanto à qualidade tecnológica para a indústria de pastas (CAMARGO et al., 1995b).

A implantação do trigo duro como cultura no Brasil envolve a solução de dois desafios, tais como a sensibilidade de todos os genótipos ao alumínio ( $Al^{3+}$ ) presente nos solos brasileiros; e, a ausência de dormência nos grãos, iniciando a germinação dos mesmos na espiga após a maturação quando ocorrer a incidência de chuva. Trabalhos visando a obtenção de genótipos de trigo duro com dormência e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  estão sendo realizados no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), através da irradiação com raios gama, visando a obtenção de mutantes, e, através de hibridações com trigos comuns



visando transferir os genes responsáveis pela tolerância ao alumínio presentes nesses trigos para o trigo duro, respectivamente.

As pastas feitas de semolina de trigo duro têm propriedades reológicas adequadas para o processo de extrusão usado no processamento, e quando são submetidas ao cozimento, apresentam boas características de elasticidade, sendo resistentes a desintegração e à pegajosidade, retendo a textura firme (DEXTER & MATSUO, 1980; KOVACS et al., 1995). Alguns trabalhos têm mostrado que a composição do glúten é o principal fator que determina essas características de qualidade das pastas (DU CROS, 1987; FEILLET et al. 1989; KOVACS et al. 1993; KOVACS et al. 1995).

Tendo em vista que a semolina do trigo duro é única em seus atributos para produção de pasta de qualidade, e que o consumo desse produto no Brasil é bastante popular, a presente pesquisa teve por objetivos:

- Avaliar amostras de 10 genótipos de trigo duro (*Triticum durum* L.) selecionados por critérios agrônômicos em ensaios preliminares realizados no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), quanto às suas características físico-químicas e reológicas, em comparação com uma amostra comercial de trigo duro (*Triticum durum* L.) canadense considerada como padrão;
- Extrair a fração protéica contendo gliadinas (dos glútenos dos genótipos estudados) e caracterizá-las através de técnicas de eletroforese em gel de poliacrilamida em tampão ácido (A-PAGE, pH 3,1), e, de eletroforese capilar;
- Verificar a qualidade das pastas elaboradas com as semolinas dos genótipos estudados em comparação com a pasta elaborada com semolina de trigo duro canadense padrão.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O grão de trigo duro (*Triticum durum* L.)

#### 2.1.1. Origem, morfologia e classificação

A origem precisa do trigo duro parece incerta, porém, acredita-se que ele tenha sido originado no Oriente Médio, onde ainda é produzido e consumido em quantidades substanciais. Na América do Norte, onde se encontram os maiores exportadores de trigo duro, o seu cultivo é relativamente recente, começando por volta de 1900 nos EUA e em 1916 no Canadá (DICK & MATSUO, 1988).

O trigo duro, como todos os trigos pertencentes ao gênero *Triticum*, é uma monocotiledônea da família *Gramineae*, que inclui os cereais. O fruto do trigo duro é uma cariopse grande (grão), geralmente com um grande endosperma muito duro e translúcido e um embrião achatado localizado no ápice da semente (BOZZINI, 1988). Botanicamente, os trigos são classificados em 3 grupos, de acordo com o número de cromossomas presentes: diplóides, tetraplóides e hexaplóides. Os trigos diplóides são aqueles com duas séries de sete cromossomas (= 14 cromossomas); os trigos tetraplóides apresentam quatro séries de sete cromossomas (= 28 cromossomas) que são classificadas em dois genomas (A e B), contendo 7 pares de cromossomas cada; sendo que o trigo duro (*Triticum durum* L.) é o membro mais importante deste grupo. Os trigos mais comuns, incluindo os trigos para panificação são hexaplóides, com seis séries de sete cromossomas (= 42 cromossomas) classificadas em três genomas: A, B e D (cada genoma é representado por sete pares de cromossomas). Os fatores genéticos responsáveis pela qualidade de panificação estão localizados nos cromossomas do genoma D e, como o trigo duro, também chamado de trigo para macarrão (ou pasta) tem somente os genomas A e B, este não apresenta qualidade panificável (DICK & MATSUO, 1988; CAMARGO et al. 1995b).

Além da classificação baseada na vitreosidade e cor, o trigo duro pode ser classificado de acordo com as características de conteúdo e qualidade de glúten; tendência a branqueamento; densidade e conteúdo de umidade, proporção endosperma/invólucro, friabilidade do endosperma e facilidade de separação do invólucro segundo

MOLDOVEANU (1974), HAUZE & SCOTTI (1974), FEILLET & ABECASSIS (1976), apud ANTOGNELLI (1980).

### 2.1.2. Cultivo e Produção

As variedades de trigo duro são melhor adaptadas às áreas de baixa precipitação pluvial do que as de trigo para panificação (*Triticum aestivum* L.) e como resultado, o cultivo do trigo duro está espalhado nas zonas semi-áridas ao redor do mundo (IRVINE, 1978; HANSON et al., 1982, apud CAMARGO et al., 1995a). Devido à essa tendência de serem cultivados em climas semi-áridos, a produção média do trigo duro, em relação aos trigos panificáveis têm sido menor, sendo sua produção anual média na década 1975-1984 somente 5,1% da produção de trigo comum panificável. Porém, se o cultivo de trigo duro for realizado sob irrigação, as modernas variedades produzem tão bem quanto as melhores variedades de trigo para panificação (DICK & MATSUO, 1988; HANSON et. al., 1982 apud CAMARGO et al., 1995a).

Um novo ímpeto ao cultivo do trigo duro nos anos recentes têm sido o desenvolvimento de uma indústria especializada orientada para a produção de produtos especiais tais como cuscuz, semolina, pasta; tanto para consumo interno, como para exportação (principalmente EUA, Canadá e Argentina). O seu cultivo é também realizado em vários países de todos os continentes. Na Europa, sua cultura ocorre principalmente no Sul sendo o produtor mais importante a Itália, onde o trigo duro é usado para elaboração de pasta. Na Ásia, a Turquia se destaca, sendo responsável por mais da metade da produção, seguida pela Síria, onde o trigo duro é normalmente usado para elaboração de pães, que podem ou não ser levedados. Na Oceania, somente a Austrália cultiva trigo duro para exportação. Na África, o Marrocos e a Argélia se destacam sendo que o Norte do continente utiliza o trigo duro para produzir cuscuz enquanto que na Etiópia (Sul), ele é usado para produzir injera (uma espécie de pizza fermentada). Na América do Norte, o trigo duro é cultivado no Canadá e no Norte dos EUA tendo como produtores os estados de Minnesota, Dakota do Sul, Montana, Sul da Califórnia e Arizona (trigo duro do deserto), sendo em grande parte uma cultura de exportação. Na América Central e do Sul, a

Argentina partilha a maior produção de trigo duro (240.000 hectares) conforme BOZZINI (1988).

No Brasil existem três variedades de trigo duro desenvolvidas pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) denominadas IAC 1001 = GUIL “S”, IAC 1002 = “GRAAL”, IAC 1003 = GALLARETA “S”, que apresentam ciclo vegetativo entre intermediário a tardio, com 121 a 135 dias ou mais, altura baixa, baixa tolerância ao alumínio livre no solo, boa produtividade sob condições de irrigação e susceptibilidade à doenças causadas por *Helminthosporium* sp. (INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS- IAC, 1996).

A primeira safra de trigo duro brasileiro foi colhida na região de Barretos, Estado de São Paulo e comercializada em setembro de 1996. O rendimento foi de 3,5 t/ha para a variedade IAC 1003 e 3,2 t/ha para a variedade IAC 1002, cultivadas sob irrigação (CASTRO, 1996).

Apesar do cultivo do trigo duro representar apenas 8% da área total cultivada com trigo no mundo (FAO, 1985), esforços de melhoramento, conduzidos por alguns centros de pesquisa (CIMMYT: Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo - México; I CARDA: Internacional Centre for Agricultural Research in the Dry Areas; e outros) certamente contribuirão para uma substancial melhora da produção de trigo duro, de acordo com BOZZINI (1988).

### **2.1.3. Características gerais**

As características do trigo duro podem variar, dependendo do genótipo e ambiente nos quais são cultivados, porém, apresentam certas propriedades que os distinguem de outras classes de trigos. A grande maioria das variedades de trigo duro são de cor âmbar, têm um endosperma córneo, duro e translúcido e são os trigos mais duros conhecidos (IRVINE, 1978).

Uma das características mais peculiares do trigo duro, a qual o distingue de quase todas as variedades de trigo, é o seu elevado conteúdo de pigmentos carotenóides, que incluem caroteno e as xantofilas (YOUNGS, 1988). O endosperma do trigo duro contém cerca de duas vezes a concentração de pigmentos carotenóides amarelos presentes no

endosperma de trigos para pães, o que têm distinguido produtos de pasta feitos com trigo duro daqueles feitos com outros tipos de trigo. Além disso, o trigo duro geralmente apresenta grãos maiores, o peso de mil grãos é maior, e o seu endosperma tende a apresentar maior teor em cinzas (25 - 50% maior) quando comparado com o trigo comum com as mesmas proporções de extração (IRVINE, 1978).

Acredita-se que os trigos duros como uma classe de trigo, contenham mais proteína que os outros trigos, o que pode ser o resultado das condições semi-áridas de cultivo, ocasionando baixa produtividade com elevado teor de proteína, (IRVINE, 1978). Esse teor pode variar de 9 a 18% segundo FEILLET (1988). Em relação à qualidade protéica, o glúten do trigo duro têm características diferentes daquelas do trigo para pão, e, quando se adiciona água à semolina ou farinha, a massa resultante não é tão dura ou elástica como a massa feita com trigo para panificação. Uma massa de trigo duro pode ser extrusada através de um pequeno buraco à uma menor pressão do que a massa feita de trigo comum, segundo HOSKINS (1970) .

Alguns estudos citados por LINTAS (1988) indicam que o amido do trigo duro geralmente apresenta temperaturas de gelatinização ligeiramente menores que o de outras classes de trigo, o que pode estar relacionado com a estrutura do seu grânulo de amido, sugerida como sendo menos compacta (mais translúcida). Com isso, os solventes podem penetrar mais facilmente do que em outros amidos de trigos.

#### **2.1.4. Características Físicas de Qualidade**

##### **2.1.4.1. Peso Hectolitro (P.H.):**

O peso hectolitro pode também ser denominado de peso específico ou densidade aparente. É uma medida da densidade do trigo (peso dos grãos por unidade de volume), geralmente expressa em quilogramas por hectolitro (kg/hL), segundo HEILMAN & WILSON (1988); RASPER (1991); MANDARINO (1993).

É o critério de qualidade de grãos mais simples e mais amplamente usado, de acordo com POMERANZ (1987). Apesar de ser um índice muito antigo, ainda é utilizado como medida nos contratos comerciais de compra e venda de trigo na Europa e América

Latina, sendo adotado inclusive pela Comunidade Econômica Européia (CEE) segundo MANDARINO (1993).

Grãos de trigo vítreos, limpos e sadios, com baixo teor de umidade, tendem a apresentar valores de P.H. mais altos. Em geral, o P.H. está diretamente relacionado com a produção de semolina, embora, muitos fatores possam influenciar a relação entre teste de peso e rendimento em moagem (HEILMAN & WILSON, 1988; RASPER, 1991). Usualmente o rendimento na moagem será mais elevado quanto maior for o P.H. da amostra (MANDARINO, 1993).

Problemas que podem danificar os grãos, tais como geadas, germinação e imaturidade, tendem a reduzir o tamanho dos grãos e o seu P.H., conforme HEILMAN & WILSON (1988).

Na determinação do peso hectolitro, estão associadas várias características do grão como a forma, a textura do tegumento, o tamanho, o peso e as características extrínsecas ao material, como a presença de palha, de terra e de outras matérias estranhas (GUARIENTI, 1996).

O formato dos grãos, o conteúdo de umidade, o encharcamento dos grãos e subsequente secagem, e mesmo o manuseio influenciam o teste de peso, pois podem modificar o modo como os grãos se acomodam no recipiente (POMERANZ, 1987).

#### **2.1.4.2. Dureza:**

A dureza pode ser definida como a dificuldade de penetrar ou de separar em fragmentos; ou também, como a quantidade de trabalho requerido para a moagem do grão. É uma característica comumente usada na classificação e comercialização do trigo, sendo útil principalmente na diferenciação entre trigos “soft” (moles) e “hard” (duros) em programas de melhoramento genético, de acordo com POMERANZ (1987); POMERANZ & WILLIAMS (1990).

Os principais fatores envolvidos na dureza do trigo são a dureza física dos seus principais componentes, o amido e a proteína; a força de sua interação dentro da célula, e a interação das células individuais para produzir a estrutura total do grão. Diferenças na



dureza podem ser explicadas pelas diferenças na continuidade da matriz protéica, e a força com a qual essa matriz prende fisicamente os grânulos de amido, dificultando assim a sua separação, o que é característico de trigos “hard” (duros). Essa matriz protéica funciona como a matéria de ligação dentro das células maduras do endosperma. Uma estrutura de matriz descontínua permitiria o fácil desprendimento dos grânulos de amido, como ocorre com os trigos “soft”(moles) (POMERANZ, 1987; POMERANZ & WILLIAMS, 1990).

A dureza de grãos é primariamente determinada geneticamente, que irá influenciar a compactação dos componentes do endosperma celular. Porém, também é afetada por fatores ambientais, como o solo (níveis de nitrogênio e de fósforo), a capacidade de retenção de água, a época de cultivo e pelo conteúdo protéico (GUARIENTI, 1996).

A relação da dureza do trigo e conteúdo proteico têm sido estudada por muitos investigadores, com vários resultados, porém conflitantes, segundo POMERANZ (1987).

GREENWELL & SCHOFIELD (1986) apud POMERANZ & WILLIAMS (1990) estudaram a presença de uma proteína de baixo peso molecular (15 kDA) na superfície dos grânulos de amido do trigo, que parecia estar associada com a maciez do endosperma. Segundo os pesquisadores, essa proteína tem uma propriedade “não pegajosa”, que reduz a adesão entre o grânulo de amido e a matriz protéica do endosperma. Essa proteína de peso molecular 15 kDA estava totalmente ausente dos trigos duros.

Recentemente, MALOUF et al. (1992) realizaram um estudo que apoiou essa hipótese. Concluíram que essa proteína de peso molecular 15 kDA, associada com grânulos de amido de trigos “soft” (moles) têm uma influência dominante na textura do endosperma de trigo.

A dureza do grão tem influência na moagem, geralmente refletida no consumo de energia elétrica pois, quanto mais duro o trigo, maior pressão é necessária nos cilindros e maior o consumo. No entanto, a farinha produzida poderá ser facilmente separada do farelo, obtendo-se também partículas de farinha mais pesadas, ocupando menor espaço nas embalagens.

O trigo mole por sua vez, produz partículas de farinha mais leves, dificultando os processos de peneiragem e de embalagem. No acondicionamento, os trigos moles absorvem água em

velocidade superior à dos trigos duros, devido à estrutura mais aberta das camadas da casca e do endosperma, podendo durar 15 a 18 horas. Nessa fase, os trigos duros podem permanecer por até 48 horas para o acondicionamento.

Geralmente os trigos duros originam farinhas com alto poder de absorção de água (desejável para panificação) e com teor de proteína superior ao do trigo mole (GUARIENTI, 1996).

Além de influenciar o consumo de energia e o condicionamento dos grãos, a dureza irá influir diretamente na quantidade de grânulos de amido danificados mecanicamente durante a moagem em semolina. A porcentagem de grânulos de amido danificados para a farinha de trigo duro está na faixa de 6 - 8%, em comparação com 3 - 4% para a farinha de trigo comum, conforme HOSKINS (1970).

Amido danificado é definido segundo AUTRAN (1993) como sendo aqueles grânulos de amido que durante a moagem são quebrados ou partidos, ou, perdem a sua birrefringência. Tais grânulos são susceptíveis à enzima  $\alpha$  - amilase, enquanto que o amido não danificado não o é. O nível do dano varia com a severidade da moagem e com a dureza do trigo. Consequentemente, o amido do trigo duro estaria mais susceptível ao ataque das enzimas amilolíticas durante o processo de secagem da massa, o que levaria ao aumento no amido solubilizado na água de cocção, afetando a qualidade do produto final.

O método de escolha para medir a dureza depende da disponibilidade do equipamento, e das classes ou tipos de trigo a serem estudados. Existem vários métodos de determinação da dureza, que podem ser baseados no trabalho requerido para a moagem, no tamanho da partícula de trigo moído, e, na reflectância de infravermelho próxima do trigo moído, de acordo com POMERANZ (1987).

Porém, segundo vários trabalhos citados por MILLER et al. (1982) não há um método objetivo reconhecido e comumente empregado para a determinação da dureza.

#### **2.1.4.3. Vitreosidade:**

A vitreosidade é provavelmente causada pela ligação de todos os constituintes do grão, principalmente por pontes de hidrogênio, de tal modo que as características ópticas, incluindo o índice de refração do grão inteiro difere daquele dos constituintes individuais, de forma que o grão permite a passagem da luz, fazendo-o parecer translúcido. A



vitreosidade não está sob o controle genético e é fortemente influenciada por fatores ambientais, tais como a disponibilidade de nitrogênio e água, e temperaturas elevadas durante a maturação do grão.

Portanto, qualquer variedade de trigo, sob condições de disponibilidade alta de nitrogênio e elevada temperatura durante a fase de maturação, desenvolverá grãos vítreos (POMERANZ & WILLIAMS, 1990).

A produção de semolina é uma importante característica de qualidade que é afetada pelo tamanho dos grãos e vitreosidade. Os genótipos de trigos duros diferem na sua habilidade de produzir grãos vítreos. Essa característica está relacionada ao conteúdo de proteínas e é altamente influenciada pelo meio ambiente. Em geral, quanto maior o conteúdo protéico, maior a vitreosidade e a produção de semolina, segundo JOPPA & WILLIAMS (1988).

De acordo com os padrões oficiais para grãos dos EUA, o trigo duro (*Triticum durum* L.) é dividido em três sub-classes: - *Hard Amber Durum Wheat* - que deve conter 75% ou mais de grãos vítreos de coloração âmbar; - *Amber Durum Wheat* - deve conter 60% ou mais, porém menos que 75% de grãos vítreos de coloração âmbar; - *Durum Wheat* - que contém menos que 60% de grãos vítreos de coloração âmbar. Os pertencentes à classe *Hard Amber Durum Wheat* são preferidos devido ao seu maior potencial em produção de semolina (DONNELLY, 1991).

## **2.2. Processo de Moagem do Trigo duro (*Triticum durum* L.):**

### **2.2.1. Objetivos, etapas e produtos:**

A operação de moagem de trigo tem por finalidades a separação do endosperma do grão, das porções externas, constituídas pela casca e gérmen; a trituração e a pulverização do endosperma em partículas de granulometria variável segundo GUARIENTI (1996).

A moagem do trigo duro em semolina é feita com o objetivo de produzir frações granulares de semolina altamente purificada, com o mínimo de produção de farinha (POMERANZ, 1987; DONNELLY, 1991).

Dentre os trigos duros disponíveis para a produção de semolina, a melhor qualidade será encontrada em trigos de elevada graduação, com grãos largos de tamanho uniforme e de caráter vítreo (maior rendimento em semolina), livre de impurezas e de outros tipos de trigo, com elevado teor em proteínas tendo características de glúten de médio a forte, com alta concentração de pigmentos amarelos e baixa concentração de lipoxidase, que é a enzima que destrói o pigmento amarelo durante o processamento (IRVINE, 1978; JOPPA & WILLIAMS, 1988).

A moagem do trigo duro em semolina envolve quatro etapas básicas que incluem limpeza dos grãos, condicionamento, moagem e extensiva purificação. O trigo é limpo para remover materiais estranhos, grãos quebrados ou enrugados que em quantidades excessivas podem comprometer a qualidade do produto final. O objetivo principal do condicionamento é preparar o trigo a fim de que o farelo e o endosperma possam ser eficientemente separados, e, condicionar o endosperma a fim de que ele possa ser reduzido para produzir a máxima quantidade de semolina e a mínima quantidade de farinha. Esse condicionamento é feito a um conteúdo de umidade de 16,5% (DONNELLY, 1991) ou 17,5% (BOYACIOGLU et al., 1991). O processo de moagem do trigo duro é um procedimento complexo de repetitivas operações de moagem e peneiragem. O trigo condicionado é moído em uma série de rolos de quebra corrugados de diferentes espaçamentos entre os mesmos, e o objetivo é abrir e raspar os grãos para o desprendimento do endosperma do farelo. Segundo POMERANZ (1987) o sistema de quebra é extenso para permitir uma moagem mais gradual do que na moagem em farinha.

Um segundo conjunto de rolos denominados de rolos de redução com corrugações mais finas é usado para moagem das frações ao tamanho apropriado. Esse sistema de redução é mais curto porque o produto primário é removido e aperfeiçoado na condição granular. Várias peneiras vibratórias são usadas entre as etapas de moagem para permitir uma redução mais eficiente do endosperma a um tamanho granular, com uma quantidade mínima de farinha produzida. As etapas finais da moagem envolvem a purificação da semolina para remover tanto quanto possível as pequenas partículas de farelo e farinha. O peneiramento separa os flocos de farelo e a farinha da semolina, enquanto que a purificação com ar separa pneumáticamente a farinha remanescente e pequenas partículas de farelo da

semolina. Uma boa moagem comercial deve produzir 60 - 64% de semolina e 8 - 12% de farinha de trigo duro de boa graduação (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981; POMERANZ, 1987; DONNELLY, 1991).

Os três principais produtos da moagem do trigo duro são a semolina, grânulos de trigo duro e a farinha de trigo duro que são preferidos pelos fabricantes de pasta embora farinhas de trigos comuns sejam usadas, porém em menor quantidade nos EUA.

A semolina, nos EUA, é definida como um produto granular resultante da moagem do endosperma do trigo duro (*Hard Amber Durum Wheat*) que contém menos que 3% de farinha, determinada pela peneiragem através de peneira nº 100 americana, com abertura de 0,14 mm. Deve passar através de uma peneira nº 20 americana, com abertura de 0,86 mm (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981), ser livre de farelo e germe, com um conteúdo de cinzas não maior que 0,92% e conteúdo de umidade não maior que 15% (BOYACIOGLU & D'APPOLONIA, 1994).

Na Itália, a granulometria da semolina deve ser tal que, não mais do que 10% passe através de uma peneira com abertura de 0,180 mm, de acordo com CUBADDA (1988).

Atualmente no Brasil, através da Portaria Nº132, do Ministério da Saúde, de 19 de Fevereiro de 1999, entende-se por sêmola ou semolina de trigo duro o produto obtido de *Triticum durum* Desf., através do processo de moagem do grão beneficiado.

É classificada quanto ao teor de cinzas, devendo apresentar no máximo 0,92% na base seca. O total do produto deve passar em peneira com abertura de malha de 841µm e, no máximo, 10% passar em peneira com abertura de malha de 150µm. Deve ter o aspecto granuloso ou pó uniforme, sem grumos; sua cor pode ter diferentes tons de amarelo ou âmbar.

As principais características físicas e químicas são acidez graxa (mg de KOH/100 g na base seca) no máximo 50%; teor mínimo de 10,5% de proteínas, umidade e substâncias voláteis a 105°C (g/100g) no máximo 14,5%.

A maioria dos fabricantes de pasta prefere semolina que tenha um tamanho uniforme de partículas em detrimento daquela semolina com granulometria mais grossa.

Com uma granulometria fina, a semolina e a água podem ser misturadas mais facilmente formando uma massa uniforme para a extrusão. De outra forma, se a semolina não se apresentar uniforme, consistindo de partículas finas e grossas, as partículas finas tenderão a absorver água mais rapidamente do que as partículas mais grossas que permanecerão relativamente secas através das operações de mistura podendo causar pontos brancos na massa (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981). Para obtenção de melhores resultados, de acordo com ANTOGNELLI (1980), o tamanho das partículas deve estar dentro da faixa de 200 - 300  $\mu\text{m}$ , com menos de 10% fora da mesma, sendo que partículas acima de 500  $\mu\text{m}$  não absorvem água adequadamente.

Os grânulos de trigo duro e a farinha são outros produtos resultantes da moagem do trigo duro que também são utilizados na elaboração de pasta. Os grânulos contêm até 20% de farinha e são mais empregados em pasta curta do tipo concha ou cotovelo, enquanto que a farinha, que têm tamanho de partícula menor do que 140 microns, é geralmente usada em “noodles” feitos com ou sem ovos (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981).

### **2.2.2. Requisitos de Qualidade da Semolina**

Os requisitos de qualidade da semolina para produção de pasta de boa qualidade, variam de acordo com o produtor e o país. Porém, vários fatores comuns são freqüentemente considerados e os testes para a seleção da semolina podem ser divididos em dois grupos. O primeiro inclui testes para determinar os fatores que afetam o desenvolvimento da massa e algumas características de qualidade do produto acabado e o segundo inclui a determinação dos fatores associados com a qualidade de cocção da pasta (DICK & MATSUO, 1988; CUBADDA, 1988).

### **2.2.2.1. Fatores que afetam o desenvolvimento da massa e a qualidade da pasta**

Entre os fatores incluídos nesse grupo podem-se destacar: umidade, tamanho e distribuição de tamanho de partículas, conteúdo de cinzas, coloração, conteúdo de manchas, determinação de atividade de  $\alpha$ -amilase.

#### **A.) Umidade**

O conteúdo de umidade é importante não apenas do ponto de vista econômico, uma vez que as farinhas ou semolinas são comercializadas na base úmida, mas principalmente devido à sua influência no processamento das massas. O teor de umidade da semolina deve estar entre 13,5% e 14,5% pois uma semolina com baixo teor de umidade não absorverá água facilmente na prensa de extrusão contínua, uma vez que o tempo de retenção durante a mistura é limitado. Por outro lado, semolinas com alto conteúdo de umidade podem se deteriorar durante a estocagem e o produto tende a ficar pegajoso, fluindo com dificuldade (ABERCROMBIE, 1980; CIACCO & CHANG, 1986; DICK & MATSUO, 1988).

#### **B.) Tamanho e distribuição de tamanho de partículas**

O tamanho e a distribuição do tamanho de partículas de semolina é importante uma vez que têm um efeito nas propriedades de absorção da massa e portanto influenciam o produto final (DICK & MATSUO, 1988).

De acordo com CUBADDA (1988) para se alcançar um fluxo uniforme de alimentação e desenvolvimento da massa na prensa contínua, a semolina deve ser mais uniforme quanto possível. Uma vez que partículas grossas não se hidratam tão rapidamente ou completamente como as partículas finas, é indesejável ter uma faixa muito ampla no tamanho de partículas. As partículas grossas não hidratadas totalmente produzirão um produto com pontos brancos e de qualidade inferior (ABERCROMBIE, 1980; DICK & MATSUO, 1988), ou então demandarão um tempo de mistura mais prolongado para sua completa homogeneização (CIACCO & CHANG, 1986). Antes da utilização das máquinas automáticas contínuas na manufatura de pastas, as partículas de semolina mais grossas e de

tamanho uniforme eram preferidas para o processo descontínuo porque poderia se produzir massa com um mínimo de adição de água (MATSUO, 1988). Com a introdução do processo contínuo, a demanda para essa semolina mais grossa decresceu e uma semolina com tamanho médio de partícula menor e de granulação mais uniforme é considerada mais adequada (IRVINE, 1978; DICK & MATSUO, 1988; CUBADDA, 1988). Essa distribuição de tamanho ótimo de partículas para semolina parece variar de país para país e, portanto, não é de acordo universal.

Tradicionalmente, o tamanho de partícula de semolina varia de 550 a 150  $\mu\text{m}$ , sendo recentemente sugerida uma granulação mais fina de 350 - 130  $\mu\text{m}$  para uma adequação às prensas modernas. Essa distribuição de tamanho de partículas é determinada pela peneiragem em peneiras com aberturas específicas e com agitação mecânica por um período de tempo fixado (FEILLET & DEXTER, 1996).

### C) Conteúdo de Cinzas

O conteúdo mineral, constituído por fosfatos e sulfatos de potássio, por cálcio e por magnésio, mais comumente conhecido como conteúdo de cinzas, tem sido sempre considerado um importante critério na avaliação da qualidade da farinha. Apesar de não estar diretamente relacionado ao desempenho tecnológico da farinha, serve como um indicador do grau de separação do endosperma amiláceo do farelo durante o processo de moagem (RASPER, 1991; GUARIENTI, 1996).

Uma semolina com elevado conteúdo de cinzas provavelmente conterá grandes quantidades de farelo, o que é indesejável, pois o produto final ficará mais escuro, podendo quebrar durante a secagem e apresentar qualidade de cocção inferior (CIACCO & CHANG, 1986).

O conteúdo de cinzas depende não somente da eficiência da operação de moagem ou da proporção da extração, mas também do genótipo de trigo utilizado, de acordo com CUBADDA (1988). Conforme esse autor, na Itália uma semolina de primeira graduação deve ter um conteúdo de cinzas de até 0,9%; enquanto que de segunda graduação, o conteúdo é de 1,2%.



Segundo MATSUO (1988) os trigos duros e comuns diferem significativamente na distribuição da matéria mineral dentro do grão. Uma farinha de trigo duro moída com cerca de 75% extração normalmente tem um conteúdo de cinzas entre 0,75 - 0,80% (14% umidade) enquanto que a farinha de trigo comum moído nas mesmas condições de extração contém 0,45 - 0,50% cinzas.

#### D) Coloração

A coloração é um dos fatores mais importantes para a comercialização do produto porque tem sido associado com pasta de boa qualidade, uma vez que os trigos duros normalmente têm maior quantidade de pigmentos carotenóides do que os trigos comuns (CIACCO & CHANG, 1986; DICK & MATSUO, 1988).

A cor da semolina é predominantemente uma característica varietal, sendo desejada uma coloração amarela brilhante proporcionada principalmente pelos pigmentos carotenóides que incluem o caroteno e as xantofilas, principalmente a luteína entre outras, como: triticoxantina, taraxantina, flavoxantina e cantaxantina (YOUNGS, 1988).

As variedades de trigos duros norte-americanas têm níveis adequados de pigmentos amarelos para produzir semolina com desejável cor amarelada, enquanto que os trigos duros da Argentina e Itália têm uma tendência de coloração mais pobre, embora suas características de glúten forte, os tornem preferidos no mercado italiano devido à sua boa qualidade de cocção. Portanto, o pigmento amarelo na semolina parece não afetar as propriedades reológicas da massa ou as características de cocção dos produtos secos (MATSUO, 1988).

A cor da semolina é uma indicação da cor esperada no produto final, porém alguns parâmetros podem influenciar negativamente a avaliação visual da cor do produto, tais como o tamanho da partícula, o conteúdo de enzimas (lipoxigenase) e as condições de processamento. As partículas finas, por refletirem uma quantidade maior de luz de sua superfície tendem a apresentar uma aparência mais branca que as partículas mais grossas, por isso as amostras devem ter tamanhos de partículas similares.

Sob certas condições de processamento, como na fase de amassamento e extrusão, a presença de água e de temperatura na faixa de 40 – 50°C permite forte ação enzimática segundo D'EGIDIO & PAGANI (1997). Altos níveis de lipoxigenase (enzima presente principalmente no germe e no farelo) destrói a cor amarela no produto manufaturado por oxidação. A reação pode ser inibida por processamento à vácuo, ou, pela adição de inibidores da oxidação tais como o ácido L-ascórbico (IRVINE, 1978; DICK & MATSUO, 1988; JOPPA & WILLIAMS, 1988).

O processo de secagem da pasta é a fase crítica para a cor da mesma, sendo que as diferenças de cor da semolina podem ser minimizadas pela secagem. Entretanto, alguns ciclos de secagem à alta temperatura podem induzir a formação de elevados níveis de furosina, e, conseqüentemente a aparência do estágio avançado da reação de Maillard, com uma cor indesejável (D'EGIDIO & PAGANI, 1997).

Além desses fatores, essa pigmentação marrom na semolina e nas pastas, a qual é indesejável, têm sido atribuída à contaminação por farelo ou também à uma reação enzimática. A atividade da enzima oxidase contribui para a coloração marrom e a seleção de genótipos com baixa atividade de peroxidase deve melhorar a coloração da pasta segundo YOUNGS (1988).

Além da inspeção visual, como o teste de Pekar (AACC N° 14-10, 1995), a cor pode ser avaliada de várias maneiras, tais como espectrofotometria de reflectância (SYMONS & DEXTER, 1991) e colorimetria (AACC N° 14-21 e 14-22, 1995) que são métodos não destrutivos e úteis para rápida comparação. Somados a esses, existem os métodos de extração de pigmentos em solventes orgânicos sendo comumente usado água saturada com butanol (AACC N° 14-50, 1995). A intensidade da cor é medida em espectrofotômetro, através da leitura da absorbância a 440 nm. Os resultados são expressos como ppm de caroteno (YOUNGS, 1988). Segundo o trabalho de JOHNSTON et al. (1980) quando o objetivo é determinar a quantidade atual de pigmento presente, o método com solventes (água saturada com butanol) deve ser utilizado. Porém, quando o objetivo é o de distinguir os mais altos níveis dos mais baixos dentre um grande número de amostras, os métodos colorimétricos ou de reflectância são os recomendados.



### E) Contagem de manchas

As manchas na semolina são causadas por qualquer material que contraste com as partículas do endosperma do trigo duro, que dão origem à semolina. Apesar de um dos objetivos da moagem ser produzir um produto livre de manchas, manchas de farelo são inevitáveis, e algumas partículas de farelo aparecem como manchas marrons no produto de pasta. Se o trigo não for propriamente limpo, materiais estranhos como terra, fragmentos de insetos aparecem como pontos pretos. O número de manchas por unidade de área de semolina é um teste de eficiência da moagem sendo que as manchas de farelo devem ser diferenciadas de outras manchas escuras ou pretas. Essas últimas são as que mais aparecem no produto final prejudicando sua aparência, enquanto que partículas de farelo podem causar quebra no produto após sua secagem (ABERCROMBIE, 1980; DICK & MATSUO, 1988; MATSUO, 1988). Usualmente, segundo FEILLET & DEXTER (1996), os moageiros terão especificações separadas para manchas de farelo e para manchas pretas. O procedimento mais comum é espalhar a semolina em uma placa de vidro, a qual é delineada em quadrados de área definida, e contar o número de manchas várias vezes sendo o resultado expresso como número de manchas por 50 cm<sup>2</sup> (MATSUO, 1988; FEILLET & DEXTER, 1996).

### F) Atividade de $\alpha$ -amilase

A presença dessa enzima na semolina é uma indicação de que ocorreu a germinação do trigo, o que no Brasil, é de certa forma comum devido às condições climáticas. Altos níveis de  $\alpha$ -amilase na semolina influenciam a qualidade do produto final pois esta enzima hidrolisa o amido durante a cocção elevando o nível de açúcares redutores tornando o produto grudento, com baixo volume após a cocção e elevado teor de sólidos na água de cocção (MATSUO et al. 1982; CIACCO & CHANG, 1986).

Vários métodos podem ser usados para medir a concentração relativa da  $\alpha$ -amilase na semolina tais como o número de queda ("Falling number") e o viscoamilógrafo BRABENDER que são baseados em mudanças na viscosidade do amido gelatinizado. O número de queda é provavelmente o mais utilizado devido à sua rapidez, simplicidade e

baixo custo, sendo que resultados muito abaixo de 400 segundos são indicativos de algum grau de germinação. Geralmente, quanto menor o tempo que o pino leva para afundar até uma determinada profundidade em uma dispersão de farinha aquecida a 100° C, maior é a atividade em  $\alpha$ -amilase (CIACCO & CHANG, 1986; DICK & MATSUO, 1988). Uma baixa qualidade de cocção, segundo ABERCROMBIE (1980), está associada com semolinas que apresentam números de queda nas faixas de 200.

#### **2.2.2.2. Fatores associados com a qualidade de cocção da pasta**

Nos anos recentes, maior ênfase tem sido dada na melhora do conteúdo em proteínas e força do glúten (DEXTER, 1984) uma vez que o teor protéico é o fator mais importante associado com boa qualidade de cocção da pasta (DEXTER & MATSUO, 1977). A força do glúten, por sua vez, está relacionada às propriedades reológicas das massas para pasta (DEXTER & MATSUO, 1980), sendo um pré-requisito para boa qualidade de cocção.

De acordo com FEILLET (1984) muitas evidências provenientes de estudos físico-químicos, genéticos e tecnológicos suportam a conclusão de que a quantidade e a qualidade protéica estão envolvidas na determinação das características da pasta cozida, isto é, firmeza, estado da superfície e pegajosidade após a cocção e sobrecozimento.

Alguns estudos citados por CUBADDA (1988) relatam que diferenças na qualidade entre amostras de semolinas derivadas de diferentes genótipos de trigos duros são devidas à maior ou menor capacidade de suas proteínas formarem, durante o preparo da pasta, uma rede insolúvel capaz de reter os outros componentes da semolina, especialmente os grânulos de amido gelatinizados, evitando a ruptura da superfície do espaguete e a saída de carboidratos e proteínas, na água em ebulição (FEILLET, 1984).

Portanto, na cocção da pasta de trigo duro, a gelatinização do amido e a coagulação protéica causam as principais mudanças e consequentemente influenciam a textura final. Ambas transformações ocorrem aproximadamente na mesma temperatura e nível de umidade, e são competitivas e antagônicas. A hidratação da fração proteica, antes do

começo da gelatinização do amido parece ser importante para produzir uma pasta cozida firme e de boa qualidade (SMEWING, 1997).

Assim sendo, a qualidade de cocção da pasta está relacionada ao conteúdo de proteínas e à qualidade do glúten (FEILLET & DEXTER, 1996).

### A) Conteúdo de Proteínas

MATSUO et al. (1972), analisando genótipos de trigo duro de qualidades variáveis, verificaram que a quantidade protéica têm um efeito marcante na qualidade de cocção do espaguete a qual melhorou com o aumento do conteúdo protéico. Concluíram que o teor em proteínas mínimo para se obter uma aceitável qualidade de cocção é de 11%. Portanto, encontraram uma relação direta entre conteúdo protéico e qualidade de cocção do espaguete.

Posteriormente, DEXTER & MATSUO (1977) pesquisaram a influência do conteúdo protéico em alguns parâmetros de qualidade tais como: conteúdo de pigmento amarelo da semolina, características do farinograma, qualidade de cocção do espaguete e tolerância ao sobrecozimento de 2 genótipos de trigo duro de diferentes qualidades. Concluíram que para ambos os genótipos, o conteúdo protéico foi o principal fator que influenciou as propriedades reológicas e de cocção.

No estudo de DEXTER et al. (1985a), onde verificou-se os efeitos da moagem, processamento, temperatura de secagem e água de cozimento, na qualidade de cocção do espaguete, demonstrou-se que os produtos com mais alta extração tendiam a ser melhores devido ao benefício de maior teor protéico associado com os produtos de maior extração. Portanto, o conteúdo protéico da semolina é importante pois influencia a qualidade funcional da pasta, proporcionando à mesma força mecânica e qualidade de cocção (DICK & MATSUO, 1988). Além disso, a quantidade de proteínas conferirá à futura pasta resistência, evitando o seu alongamento durante a secagem ou a sua ruptura durante o empacotamento ou transporte, mantendo a textura durante a cocção no que se refere à firmeza e às características de superfície após a cocção (DUEÑAS-MARTIN & JIMENEZ-GONZALEZ, 1991).

A composição de proteínas do trigo duro varia em qualidade e quantidade dependendo do genótipo e dos fatores ambientais de cultivo (meio), sendo preponderante esse último fator. Apesar do conteúdo protéico no grão maduro ser controlado geneticamente, elevados conteúdos podem ser alcançados através de práticas agrônômicas, com maiores doses de aplicação de fertilizantes nitrogenados, segundo FEILLET (1988).

Semolinas com elevado teor protéico geralmente tem um número mínimo de partículas de amido e, assim, hidratam-se mais rapidamente durante a mistura e produzem massa que é fisicamente forte e elástica, que inchará adequadamente durante a cocção, não deixando muito resíduo na água de cozimento, permanecendo firme quando mantida em água aquecida mesmo após a cocção (IRVINE, 1978). Segundo FEILLET (1984) esse elevado conteúdo protéico é favorável à boa qualidade, uma vez que quanto mais numerosas as cadeias polipeptídicas, maiores são as chances das proteínas se interagirem e formarem uma rede resistente.

Durante a cocção de uma pasta de boa qualidade, as proteínas absorvem água, incham-se e agregam-se formando uma matriz protéica. Em pastas de pobre qualidade, as proteínas agregam-se em massas discretas ao invés de uma matriz contínua (SMEWING, 1997).

Parece estar estabelecido que quantidades abaixo de 11% de proteína produzem pastas de baixa qualidade, e, que os conteúdos superiores a 13% dão produtos satisfatórios segundo DUEÑAS-MARTIN & JIMENEZ-GONZALEZ (1991). De acordo com MATSUO (1988) um nível protéico de ao menos 11% de semolina de variedades de trigo duro canadense é necessário para uma adequada qualidade de cocção.

Baseados em alguns estudos recentes, FEILLET & DEXTER (1996) afirmam existir uma concordância universal de que o conteúdo protéico é o fator primário que influencia a qualidade da pasta e que a força do glúten é um importante fator secundário. Portanto, fornecedores são freqüentemente obrigados a encontrar uma especificação mínima para o conteúdo protéico. Segundo IRVINE (1978) e ABERCROMBIE (1980) semolinas de trigos duros contendo 11,5% - 13% de proteínas são processadas com pouca dificuldade, e, qualquer nível dentro desta faixa seria considerado satisfatório pelo produtor de pasta.

### B) Qualidade (Força) do Glúten

As proteínas de reserva do endosperma do trigo, também chamadas de proteínas do glúten, são constituídas pelas gliadinas e gluteninas sendo consideradas únicas porque também são proteínas funcionais. Elas não têm atividade enzimática, mas são as únicas proteínas de cereal que formam uma massa forte e coesa quando se adiciona água à farinha, desempenhando uma importante função na constituição da pasta. Podem ser facilmente isoladas pela remoção do amido e de albuminas/glubulinas pelo manuseio da massa sob água, permanecendo após a lavagem, uma bola insolúvel em água e borrachenta, a qual é denominada de glúten (AUTRAN, 1993). Sabe-se que a forma, dimensões e solubilidade das proteínas do trigo são influenciadas pelas ligações covalentes, pelo total de grupos sulfidríla reativos, pelos grupos dissulfídicos e por ligações físicas-eletrostáticas tais como pontes de hidrogênio e ligações hidrofóbicas. A massa do glúten tem uma estrutura característica consistindo de partículas e filamentos trançados juntos em uma rede fechada a qual envolve partículas de amido hidratadas. As propriedades elásticas e plásticas da massa e do produto cozido são inteiramente dependentes da constituição dessa rede de glúten (ANTOGNELLI, 1980).

Geralmente, segundo CIACCO & CHANG (1986), a qualidade do glúten está diretamente relacionada com a sua capacidade de hidratação, e a determinação do glúten úmido pode indicar a qualidade da farinha. As semolinas com elevado teor de glúten e de boa qualidade são hidratadas uniformemente durante a mistura e produzem massas mais fortes e elásticas, de acordo com os autores.

Semolinas de trigos duros com propriedades de glúten forte, geralmente, tendem a produzir pasta com características de cocção superiores, sendo que um glúten forte é o principal requerimento na maioria das áreas de consumo de pasta (CUBADDA, 1988). Segundo WALSH (1971) apud DICK & YOUNGS (1988) a firmeza da pasta cozida está relacionada à força do glúten do trigo duro. De acordo com esse autor, a demanda por um espaguete mais firme têm levado melhoristas de trigo duro a selecionar genótipos com glúten mais fortes através de testes usando o mixógrafo, o teste de sedimentação e o

farinógrafo. Conforme MATSUO (1988) se apenas uma pequena quantidade de semolina estiver disponível para teste, o conteúdo de glúten úmido dá mais informação sobre a qualidade da amostra pois indica o conteúdo protéico aproximado. Uma inabilidade em formar uma membrana ou a falta de coesividade indicam dano ao glúten.

IRVINE et al. (1961) introduziram um método para misturar massas para pasta na faixa de absorção de água entre 26,5 a 36,0% usando a caixa com capacidade para 50g de farinha ou semolina do farinógrafo. Concluíram que massas para pasta preparadas de vários tipos de trigo podem ser distinguidas umas das outras pelo farinógrafo pois variação no conteúdo protéico, temperatura, absorção ou tamanho de partículas produzem mudanças nas características do farinograma. Tais curvas proporcionam informação útil nos níveis ótimos de absorção, proporção de hidratação, tempo de mistura, força da massa e propriedades de fluxo (IRVINE, 1978).

O teste de sedimentação com SDS (Dodecil Sulfato de Sódio) têm sido introduzido como um indicador da força do glúten devido à sua simplicidade, pequeno tamanho de amostra, rapidez e alto grau de precisão de acordo com DEXTER et al. (1980) apud DEXTER (1984).

Apesar da relação entre força do glúten e qualidade de cocção da pasta ter sido estabelecida, não há ainda um método reconhecido internacionalmente para avaliação e quantificação da força do glúten para a farinha do grão inteiro ou semolina. Vários procedimentos tais como o método de lavagem manual do glúten, a utilização do micromixógrafo, do viscoelastógrafo, do farinógrafo, do teste de sedimentação com SDS (Dodecil Sulfato de Sódio) e do alveógrafo, têm sido propostos para a avaliação da força do glúten na farinha do grão inteiro ou na semolina, segundo estudos citados por CUBADDA et al. (1992). Porém, de acordo com os autores, alguns desses testes requerem uma certa quantidade de amostra, não podem ser feitos na farinha do grão inteiro, não distinguem pequenas diferenças de força do glúten entre cultivares, são demorados ou produzem resultados cuja interpretação parece estar sujeita à tendências pessoais. Considerando a necessidade de se desenvolver um procedimento rápido, eficiente e em pequena escala, é que os referidos pesquisadores sugerem a utilização do método Índice de Glúten (G.I.) para



predizer a força do glúten do trigo duro na farinha do grão inteiro ou na semolina. Nesse método, o glúten úmido separado da farinha de trigo pelo sistema Glutomatic (sistema automático de lavagem de glúten) é sujeito à força centrífuga em uma peneira especial sendo que uma parte do glúten úmido passa através da peneira, e, a parte remanescente é recuperada da mesma, pesada e relatada como uma porcentagem do total. A quantidade (em gramas) de glúten úmido remanescente na peneira em relação ao glúten total é definido como índice de glúten. Para propósitos práticos, os autores propõem 7 classes de qualidade de glúten, de acordo com os valores obtidos para o índice de glúten realizados com farinhas integrais ou com a semolina. Na **Tabela 1** pode-se observar escores que representam os resultados obtidos do índice de glúten e a classe de qualidade de glúten correspondente.

**Tabela 1:** Classes de qualidade de glúten propostas para amostras de farinha de grão inteiro e de semolina.

| <b>Classes de Qualidade do Glúten</b> | <b>Escore para Farinha de grão inteiro</b> | <b>Escore para Semolina</b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|
| Inadequado                            | < 6                                        | < 6                         |
| Muito pobre ou pobre                  | 6 - 22                                     | 6 - 25                      |
| Suficiente                            | 23 - 35                                    | 26 - 35                     |
| Promissor                             | 36 - 40                                    | 35 - 45                     |
| Média ou acima da média               | 41 - 65                                    | 46 - 65                     |
| Bom ou muito bom                      | 66 - 80                                    | 66 - 85                     |
| Excelente                             | > 80                                       | > 85                        |

FONTE: CUBADDA et al. (1992)

Alguns trabalhos citados por KOVACS et al. (1993) utilizam métodos bioquímicos tais como eletroforese e ELISA (enzyme - linked - immunosorbent assay) para identificar genótipos com glúten do tipo forte e fraco.

### C) Características Reológicas

Reologia é o estudo da deformação incluindo elasticidade e fluxo (viscosidade). As propriedades viscoelásticas de uma massa têm efeitos profundos na maquinabilidade da massa e qualidades de textura do produto acabado (WALKER & HAZELTON, 1996). Portanto, reologia da massa envolve a combinação de viscosidade (fluxo) e elasticidade/plasticidade (deformação). Diferenças entre massas feitas de trigo duro e de trigos para pão podem ser atribuídas à essas características, com massas de trigos duros



exibindo maior viscosidade mas menor elasticidade do que massas fortes de trigo para pão. Quando sujeitas à deformação durante a extrusão, as massas de trigo duro retêm a forma produzida pela matriz, exibindo principalmente uma deformação plástica não elástica. Há boa evidência de que as propriedades reológicas de uma massa derive diretamente de propriedades análogas do seu glúten. Glúten fortes mostram uma maior resistência à extensão sob uma dada carga do que glúten fracos. No trigo duro, quanto mais forte o glúten, melhor a qualidade (firmeza) do espaguete cozido (MATSUO & IRVINE, 1970; MACRITCHIE et al., 1990).

A demanda por medidas reológicas objetivas da massa, resultou no desenvolvimento de vários instrumentos que são utilizados para indicar características das farinhas de trigo como mistura, absorção de água, atividade enzimática, fermentação e oxidação. Os instrumentos de teste físico da massa podem ser divididos em dois grupos sendo que os do primeiro grupo contêm instrumentos de medida de torque ou viscosidade, que gravam as características de mistura da massa. Os do segundo grupo representam medidas da elasticidade que os diagramas “stress / strain” proporcionam.

O farinógrafo e o mixógrafo são instrumentos que gravam as características de mistura da massa em pequena escala mais freqüentemente usados atualmente para predizer dentre outras, as características de absorção da massa. Dentre os instrumentos “stress - strain” (do segundo grupo) temos o alveógrafo que mede a resistência à extensão biaxial de um pedaço fino de massa feita de farinha, água e sal, a um nível de hidratação constante. A massa é preparada utilizando-se o misturador do aparelho, o qual usa uma lâmina sigmoidal para misturar e extrusar a massa em uma folha uniforme. Cinco discos de massa são cortados e deixados descansar por 20 minutos. Após o relaxamento, cada disco é colocado acima de um mecanismo de válvulas, sendo insuflado ar sob o disco a uma velocidade constante, criando uma bolha. A pressão no interior da bolha é gravada até que ocorra a ruptura dando uma indicação da resistência da massa à deformação.

Atualmente, desde a introdução de computadores, desenvolveu-se uma alternativa prática utilizando-se reômetros dinâmicos cuja função é medir o “stress” (força/área) a

“strain”(deformação) relativamente muito baixa, talvez 0,1 ou 0,2% do comprimento inicial ou espessura (WALKER & HAZELTON, 1996).

Enquanto os testes reológicos da semolina de trigo duro dão uma indicação da qualidade da pasta resultante, estes devem ser suplementados com outros testes de qualidade da própria pasta cozida. Vários instrumentos e métodos nos quais se avaliam parâmetros de textura tais como firmeza ou maciez, compressibilidade, elasticidade ou pegajosidade pela aplicação de forças de corte ou cisalhamento, compressão, extensão, ou a combinação destes podem ser empregados, de acordo com DICK (1985).

Métodos instrumentais rápidos que consideram um grande número de parâmetros de textura são bem aceitos. Vários métodos instrumentais citados por SMEWING (1997), têm estimado com sucesso vários parâmetros de textura da pasta cozida.

## **2.3. Processo de Produção de Pasta**

### **2.3.1. Aspectos históricos**

A palavra pasta é um termo genérico usado para referenciar a ampla faixa de produtos conhecidos como espaguete, macarrão e “noodles”. Os italianos, os maiores consumidores de produtos de pasta no mundo, os chamam de pasta alimentar, de acordo com DONNELLY (1991). Entretanto, segundo MATSUO (1975), o termo pasta é usado para produtos tais como macarrão e espaguete os quais usualmente são feitos de semolina de trigo duro por um processo envolvendo extrusão. O termo “noodle” de acordo com o referido autor deve ser usado para um processo diferente, sendo geralmente feito de farinha de trigo comum, usualmente por laminação e corte. Já o termo produtos de pasta inclui ambos pasta e “noodles”.

Os produtos de pasta são considerados como aqueles alimentos feitos de uma mistura básica do endosperma do trigo e água (à qual alguns outros ingredientes podem ser adicionados), moldados em alguma forma conveniente, sendo imediatamente cozidos e ingeridos, ou, secos para consumo posterior.

Em relação à sua origem, acredita-se que foram os chineses que inventaram a pasta e deram ao legendário veneziano Marco Polo o crédito de tê-la trazido à Itália no século XIII (POMERANZ, 1987; BARONI, 1988).

DONNELLY (1991) afirma que no século XV os italianos aprenderam a fazer “noodles” com os alemães, que tinham aprendido previamente o processo em suas viagens à Ásia, sendo que a produção nacional italiana logo se tornou uma próspera indústria artesanal (BANASIK, 1981).

Qualquer que tenha sido a origem, a Itália é considerada como o lar dos produtos de pasta pois é o país no qual esses produtos são ainda os mais populares (MATSUO, 1975).

Os produtos de pasta têm sido produzidos na Itália por aproximadamente 800 anos sendo originalmente todos os produtos feitos artesanalmente (DONNELLY, 1991).

Após 1860 surgiu então a primeira prensa mecânica denominada “GRAMOLA”, que consistia de um misturador, de uma unidade de amassamento da massa, e um grande pistão mecânico e cilindro para forçar a pasta através da matriz, sendo o processo descontínuo (WALSH & GILLES, 1974).

Até cerca de 1934-1935, a maioria dos produtos de pasta eram feitos por processos descontínuos, nos quais a semolina e a água eram pesadas e combinadas em um misturador de capacidade de 300 lbs (HOSKINS, 1970). A massa portanto era misturada em lotes, amassada em gramolas e extrusadas em prensas hidráulicas. Ainda nessa década surgiram os extrusores contínuos que combinam todas as operações necessárias para a produção de pasta tendo a habilidade de misturar, amassar e formar uma grande variedade de tipos de pasta em um processo contínuo. E, posteriormente, foram desenvolvidos os secadores contínuos sendo que, atualmente, a maioria das plantas existentes operam pelo processo contínuo (CIACCO & CHANG, 1986; GIESE, 1992).

Além dessa importante mudança ocorrida com a utilização das prensas contínuas logo após a 2ª. Guerra Mundial, a qual alterou o processo de produção de pasta de artesanal para comercial, uma segunda mudança principal ocorreu somente recentemente, com a introdução de técnicas de secagem em temperaturas altas e muito altas, as quais reduziram

significativamente o tempo de secagem e aumentaram a capacidade de produção segundo ABECASSIS et al. (1994).

Os produtos de pasta têm sido o prato favorito das civilizações chinesas e mediterrâneas sendo consumidos correntemente e apreciados através do mundo. São simples de preparar, fáceis de transportar e têm excelentes propriedades de estocagem. São nutritivos e saudáveis e podem ser preparados em uma variedade de formas, sendo que todos esses fatores contribuem para sua popularidade (FEILLET & DEXTER, 1996).

### **2.3.2. Etapas do Processo**

A transformação do trigo duro em pasta é uma operação na qual primeiramente o endosperma do grão é extraído na forma de partículas de semolina com granulometria entre 150 - 500  $\mu\text{m}$ , que são posteriormente hidratadas a aproximadamente 31% de umidade, misturadas por um curto período de tempo, pressionadas para a obtenção de uma massa plástica e homogênea, e finalmente extrusadas sob pressão através da matriz, de tal forma que o produto saia nos mais diversos formatos. Após a extrusão, os produtos são secos, empacotados e vendidos (HOSKINS, 1970; FEILLET & DEXTER 1996).

Apesar do processo moderno para produzir pasta ser diferente dos métodos históricos, os ingredientes usados são essencialmente os mesmos: - água e trigo.

O trigo duro em contraste com o trigo comum, o qual é mais usado em panificação, produz uma massa menos elástica que permite a mistura ser forçada através de pequenas matrizes a pressões muito menores segundo GIESE (1992). Além da semolina e da água, outros ingredientes podem ser usados com objetivos gastronômicos ou dietéticos sendo que os ovos e os vegetais são os ingredientes mais empregados para efeitos de "flavor". Em relação à elaboração de pasta dietética, vários ingredientes podem ser adicionados com finalidades diversas, tais como enriquecimento protéico, redução de carboidratos e redução de proteína conforme ANTIGNELLI (1980).

No processo contínuo, o amassamento e extrusão são feitos em uma operação única e para que a produção seja eficiente, os extrusores requerem matérias-primas uniformes a fim de que o equipamento possa ser operado com poucos reajustes (WALSH &

GILLES, 1974). Prensas modernas são equipadas com uma câmara de vácuo para remover bolhas de ar da pasta antes da extrusão, de outra forma, o produto final teria força mecânica reduzida e uma aparência branca, semelhante à giz. Além disso, a oxidação dos pigmentos carotenóides fornece uma cor cinza não atrativa (POMERANZ, 1987).

Na prática comercial, os produtos de pasta são formados por extrusão em grandes máquinas automáticas que realizam várias operações de processamento, o qual tem sofrido alterações desde a virada do século. As principais mudanças têm ocorrido na tecnologia de extrusão, no uso de matrizes de metal revestidas com Teflon, e na secagem acelerada, o que tem contribuído para uma melhor eficiência na produção e qualidade do produto (BANASIK, 1981).

### **2.3.2.1. Mistura**

Na operação de mistura, a água é adicionada à semolina em quantidade tal para que produza uma massa de textura granular com teor de umidade de aproximadamente 31% (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981). Existem entretanto, alguns fatores que determinam as proporções ótimas de água para semolina tais como o genótipo do trigo duro do qual a semolina foi obtida, a qualidade do glúten, o teor de proteínas, o conteúdo de umidade inicial da semolina e o tamanho de partícula segundo ANTOGNELLI (1980). Portanto, torna-se necessário ajustar os dosadores periodicamente, de acordo com CIACCO & CHANG (1986).

O extrusor normalmente é equipado com alimentadores volumétricos que proporcionam um fluxo contínuo de semolina e água para a rosca (HOSKINS, 1970). Para se obter uma mistura uniforme, os misturadores contínuos são equipados com hastes horizontais em duplicata, que giram em direções opostas a fim de que a massa seja esticada, e com lâminas que movem o produto lentamente para frente enquanto misturam a massa (HOSKINS, 1970; WALSH & GILLES, 1974).

Após a mistura, a massa é transportada até a rosca de extrusão principal por uma rosca de transferência onde é ligeiramente compactada e então aplica-se vácuo (GIESE, 1992). Se o ar não for removido, haverá a formação de pequenas bolhas que darão ao

produto final uma aparência branca, de giz, que interferirá com a percepção da cor amarela (opacidade). Além disso, essas bolhas de ar podem causar um ponto de fraqueza (quebra) no produto seco. Um segundo problema associado com a presença de ar refere-se à enzima lipoxigenase, a qual branqueia os pigmentos carotenóides requerindo para isso ácidos graxos livres insaturados (presentes no grão) e o oxigênio, tornando o produto pálido e não atrativo (BANASIK, 1981; HOSENEY, 1986). De acordo com ANTOGNELLI (1980) a etapa de mistura é uma fase importante na elaboração da pasta, uma vez que a hidratação incompleta ou irregular da semolina prejudicaria a qualidade superficial do produto final (opacidade, tendência à quebra, formação de pontos brancos).

### **2.3.2.2. Amassamento e Extrusão:**

Nos processos contínuos, o amassamento é feito na rosca de extrusão principal, a qual além de forçar a massa em direção à matriz, promove o amassamento homogêneo do produto, controla a velocidade de produção e influencia a qualidade do produto pois os efeitos combinados de amassamento e pressão produz uma massa lisa e homogênea que pode ser extrusada. Demonstrou-se que a velocidade da rosca, assim como a temperatura da massa, afetam a cor e a qualidade de cocção do produto final (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981; HOSENEY, 1986).

Durante o amassamento, ocorre um aumento considerável no volume das proteínas presentes, uma vez que elas absorvem 200 vezes o seu peso de água, e interagem para formar a rede de glúten, a qual constitui a espinha dorsal da pasta. Ocorre também uma absorção apreciável de água pelas frações de amido na semolina. Os minerais presentes na semolina e na água contribuem para a coagulação das proteínas e os lipídios tendem a formar uma emulsão como resultado da força mecânica. Na verdade, um sistema coloidal complexo é formado envolvendo suspensões de amido, soluções de açúcares, dextrinas, minerais e proteínas solúveis, soluções coloidais de proteínas, amidos e lipídios e emulsões de lipídios segundo alguns estudos citados por ANTOGNELLI (1980).

Todos os constituintes da semolina têm um papel no desenvolvimento uniforme da massa, entretanto, o papel principal cabe às proteínas de reserva, as quais após absorverem



água durante a mistura, interação através de ligações covalentes e não covalentes para formar o glúten (DALBON et al., 1996).

A massa compactada de semolina e água é manuseada com o objetivo de completar e estabilizar todas as reações físico-químicas tais como formação e estabilização da rede de glúten e aumento da plasticidade da massa (ANTOGNELLI, 1980).

Uma quantidade considerável de calor é gerada durante a extrusão, e, portanto o canhão dos extrusores devem ser equipados com uma camisa de água fria para dissipar o calor e manter a temperatura de extrusão constante (entre 45 e 50° C) evitando perda de qualidade de cocção no produto final (BANASIK, 1981). A massa é forçada pela rosca de extrusão para a ponta do cilindro e é lançada através de linhas de alimentação mais estreitas para a matriz, causando um ligeiro aumento na pressão. O sistema de matriz deve ser cuidadosamente projetado para assegurar que haja uma distribuição uniforme de pressão através da massa (ANTOGNELLI, 1980). Variações na velocidade do fluxo através da matriz causariam variações no comprimento do produto e portanto, a velocidade de fluxo da massa através da matriz é muito importante. Os fatores como velocidade de rotação da rosca e temperatura bem como as condições físicas da massa são importantes no controle do padrão de extrusão; sendo que uma velocidade de fluxo constante através da matriz é considerada parte da arte de fazer pasta segundo BANASIK (1981).

De acordo com ANTOGNELLI (1980) os fabricantes de prensas para extrusão têm, entretanto, desenvolvido diferentes sistemas de matrizes, todas as quais asseguram um fluxo uniforme da massa através de seus orifícios e quando uma superfície de pasta lisa e uniforme é requerida, os orifícios são recobertos com Teflon.

A matriz é responsável pelo formato final da pasta, e o uso de diferentes formatos permite produzir uma grande variedade de produtos (GIESE, 1992).

Como ambos, temperatura e conteúdo de umidade da massa são baixos, essencialmente nenhuma expansão é obtida quando o produto sai da matriz (HOSENEY, 1986).

ABECASSIS et al. (1994) realizaram um estudo com o objetivo de investigar a influência dos principais parâmetros (de hidratação, temperatura e cisalhamento) na



formação da pasta na prensa, bem como as propriedades de fluxo da massa e qualidade da pasta. Através da utilização de uma prensa experimental equipada com sensores juntamente com um estudo detalhado de parâmetros, conseguiram mostrar que a cor da pasta é ligeiramente alterada pelo processo de extrusão, e, que vários fatores afetam a qualidade de cocção. Dentre esses fatores destacam-se a temperatura de extrusão, que deve ser cuidadosamente controlada durante o processo; o aumento na hidratação da semolina o que tem efeito benéfico na qualidade de cocção; o aumento na velocidade de rotação da rosca, à temperaturas de extrusão maiores diminuindo o tempo de residência do produto no extrusor, e, o aumento na abertura da superfície da matriz, o que melhora a condição de superfície do produto acabado. Concluíram que o controle de fluxo da massa do produto durante a extrusão através da matriz asseguraria uma melhor qualidade de pasta aos consumidores.

### **2.3.2.3. Secagem convencional**

A matriz do extrusor dará à pasta a forma típica que não pode ser tida como a forma final, absoluta do produto, uma vez que a pasta ainda está em um estado plástico podendo ser danificada. Portanto, deve-se dar estabilidade à mesma o que permite que a pasta seja transportada sem sofrer danos. Então, o processo de secagem é o que dá à pasta suas características finais de estabilidade e preservabilidade pois remove a umidade rapidamente enquanto mantém as qualidades de cocção e sabor intocadas (BARONI, 1988).

De acordo com GIESE (1992) a secagem da pasta envolve dois processos sendo que no primeiro ocorre a evaporação da umidade da superfície do produto e, no segundo a difusão da umidade dentro da massa. A elevação da temperatura favorece a transferência de umidade das camadas internas do produto para a sua superfície, via mecanismo de difusão. Após atingir a superfície do produto, a umidade é então transferida para o ar de secagem e o potencial dessa transferência de massa é controlado principalmente pela umidade relativa do processo (LEITÃO et al., 1989).

A secagem é sem dúvida a fase mais difícil e crítica de controle no processamento de pasta pois deve ser realizada sem causar “stresses” dentro da estrutura do complexo amido-proteína, o que poderia causar quebra e outros defeitos físicos (WALSH & GILLES,

1974; ANTOGNELLI, 1980). O objetivo da secagem é reduzir o conteúdo de umidade do produto, que sai da matriz com 30% de umidade, para 12 a 13% de modo que a massa fique dura, retenha sua forma e seja estocada sem contaminação microbiana (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981).

### Pré-secagem

A maioria das operações de secagem das pastas usa uma pré-secagem, ou encartamento, imediatamente após a extrusão, para secar rapidamente a superfície do produto evitando assim que os pedaços de massa se grudem, enquanto que o interior do produto permanece plástico e macio possuindo ainda porosidade capilar (WALSH & GILLES, 1974; BARONI, 1988).

Essa operação de pré-secagem é realizada com circulação de ar quente à temperaturas que variam entre 55 e 90° C (dependendo do formato da pasta) por cerca de 1 ½ hora, com umidade relativa controlada em torno de 65% , para que o conteúdo de umidade do produto atinja 25% segundo WALSH & GILLES (1974), BANASIK (1981) e 17 - 18% segundo ANTOGNELLI (1980). O interior do produto permanece mole e plástico durante essa operação, que também minimiza as atividades microbiológicas e enzimáticas indesejáveis; estabiliza a rede de glúten periférica, fortalece a estrutura da forma da pasta, inibe o escurecimento enzimático superficial, além de reduzir o período total de secagem segundo ANTOGNELLI (1980). Como a pasta nessa fase ainda está mole no seu interior, a rápida pré-secagem não cria “stresses” que poderiam levar à quebra do produto (BANASIK, 1981).

No início da pré-secagem, a umidade migrará do interior da pasta para a superfície através dos canais capilares, na mesma proporção que a umidade evapora da superfície. Mas rapidamente, essa velocidade de migração interna diminui e a umidade se torna concentrada no interior do produto. Inicialmente, esse gradiente não é muito grande e as tensões desenvolvidas, devido à plasticidade do produto são absorvidas. Entretanto, à medida que a umidade vai diminuindo, as tensões vão aumentando e a camada externa da massa, endurecida, perde a plasticidade e pode trincar-se. Torna-se então necessário permitir que a

umidade alcance um equilíbrio entre o interior e o exterior, deixando a massa em repouso a partir da pré-secagem (ANTOGNELLI, 1980; CIACCO & CHANG, 1986).

### Secagem final:

#### Repouso, descanso ou "sweating"

Essa fase de repouso ou descanso, também denominada de "sweating", constitui o primeiro estágio da secagem final. Nessa etapa, a circulação de ar é desligada e o produto é mantido à umidade relativa de cerca de 95% por aproximadamente 1 ½ hora. Nessas condições ocorre evaporação da água, e o gradiente de umidade entre o interior e o exterior do produto é minimizado (BANASIK, 1981; CIACCO & CHANG, 1986).

#### Etapa final

A secagem final completa o tratamento termohigrométrico da pasta. O ciclo consiste de períodos alternados de ventilação e descanso com diferentes tratamentos de tempo e temperatura. Tem como objetivos trazer o conteúdo final de umidade do produto para cerca de 12,5%; balancear o conteúdo de água residual das partes internas e externas da forma da pasta sem causar quebras ou rachaduras, e, evitar a produção de um produto de pasta ácido ou mofo (BARONI, 1988).

A principal dificuldade da secagem final é a queda de umidade de 17 - 18% para 12,5%, pois acredita-se que cerca de metade da água seja absorvida pelo componente amido e a outra metade pela proteína e, essa água absorvida é muito mais difícil de ser removida. As condições de secagem variam de acordo com os tipos de pasta uma vez que a velocidade de migração da água do interior para a superfície depende dentre outros fatores do formato da pasta. As temperaturas usualmente variam de 45 - 70° C e o tempo total de secagem de 6 a 28 horas. Esforços para redução no tempo de secagem têm sido feitos pelo uso de técnicas de infra-vermelho e microondas, porém não atingiram desenvolvimento comercial (ANTOGNELLI, 1980). De acordo com BANASIK (1981) esse processo de secagem com o uso de microondas têm sido bem sucedido com massas curtas mas não com massas longas, em uma base comercial.

O sistema de secagem de massas curtas por microondas consiste de três estágios. No primeiro, uma pré-secagem com ar quente convencional é utilizada; no segundo estágio emprega-se ar quente por microondas, e, um terceiro estágio de equilíbrio. As principais vantagens para a secagem por microondas são a diminuição do espaço (requer  $\frac{1}{3}$  a  $\frac{1}{4}$  do espaço dos secadores convencionais); tempos de secagem reduzidos; melhora da cor e qualidade de cocção do produto, redução dos custos de operação e de sanitização (DONELLY, 1991).

### Resfriamento:

Nas linhas de secagem modernas, a secagem final é seguida por um resfriamento que deve ser feito com certas precauções, onde a umidade do ar é controlada, para evitar danos à pasta. Após o resfriamento o produto é então embalado (ANTOGNELLI, 1980; BARONI, 1988).

### 2.3.2.4. Secagem à altas temperaturas

O uso de altas temperaturas no processo de secagem é a inovação mais significativa na tecnologia de pasta nos anos recentes (DE STEFANIS & SGRULLETTA, 1990). A transição dos métodos tradicionais à baixas temperaturas (entre 40 e 60° C) para técnicas de alta temperatura (60 - 84° C), introduzidas comercialmente por volta de 1974, resultaram em uma grande redução do tempo, uma vez que a secagem é realizada em cerca de 8 horas, ao invés de 18 - 24 horas (FASTA pasta, 1991). Segundo AKTAN & KHAN (1992) a razão para essa diminuição no tempo de secagem à altas temperaturas é que a umidade pode se difundir mais rapidamente dentro da borda do produto.

### Métodos de Aplicação

Nos anos recentes, os maiores sucessos têm sido alcançados com a evolução da tecnologia de secagem da pasta elevando as temperaturas de secagem de 60 para 84° C (HT) e de 85 para 100° C; sendo essa última técnica introduzida muito recentemente e designada como Very High Temperature Drying (VHTD), Ultra High Temperature Drying

(UHTD) ou T.H.T. (Trés Haute Temperature). Com esse novo processo houve uma redução ainda maior do tempo de secagem, o qual pode ser completado em 5,5 horas para pasta longa e 2,5 horas para pasta curta; melhorando a qualidade do produto final e reduzindo o custo de investimentos e operacionais (DONNELLY, 1991; POLLINI, 1996).

Observando-se a **Tabela 2** pode-se confirmar esse drástico corte no tempo de secagem obtido pelo aumento da temperatura com a tecnologia T.H.T. (sendo que o tempo varia de acordo com a forma e tamanho da pasta; os tempos mais longos são os requeridos para o espaguete) segundo POLLINI (1996).

**Tabela 2:** Regimes de secagem usados na preparação da pasta.

| <b>Tecnologia de secagem</b> | <b>Temperatura de secagem (incluindo pré-secagem) (°C)</b> | <b>Umidade Relativa (%)</b> | <b>Tempo de secagem (horas)</b> |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| LT (baixa temp.)             | 40 - 60                                                    | 70 - 80                     | 18 - 28                         |
| HT (alta temp.)              | 60 - 84                                                    | 74 - 82                     | 8 - 11                          |
| T.H.T. (muito alta temp.)    | > 84                                                       | 74 - 90                     | 2 - 5                           |

FONTE: POLLINI (1996)

Portanto na tecnologia T.H.T. é necessário controlar as variáveis essenciais como tempo, temperatura e umidade cujos valores variam de acordo com o tipo de pasta que está sendo processada, uma vez que, segundo POLLINI (1996) não se pode falar em temperatura de secagem de pasta sem considerar umidade relativa e tempo, os quais estão dinamicamente ligados.

A literatura cita dois métodos distintos adotados pela indústria, visando o aproveitamento máximo de seus benefícios. Um deles aplica a alta temperatura na fase inicial do processo, também chamada de pré-secagem, permitindo posteriormente a sua diminuição por etapas até valores ordinários, de acordo com PAVAN (1979) e PAVAN (1980). O outro método aplica a alta temperatura na fase final do processo, após realizar a pré-secagem a temperaturas convencionais (LEITÃO et al., 1989), o qual parece ser mais efetivo em melhorar a qualidade de cocção da pasta segundo DEXTER et al. (1981). Por outro lado, os processos de secagem a alta temperatura citados por PAVAN (1980) apresentam quatro variáveis importantes e interdependentes e que são os pontos-chave para

um correto processo de secagem à alta temperatura: a temperatura deve ser superior a 60° C, alta umidade relativa, aplicação de alta temperatura durante a fase inicial do processo onde o conteúdo de água é alto, e, por último, a curta duração da exposição à alta temperatura para evitar a reação de Maillard.

O processo T.H.T. é uma evolução natural do HT, e, em virtude das elevadas temperaturas alcançadas (maiores que 90° C), o produto permanece no estado plástico com elevada difusão de água, até alcançar os valores de umidade desejados (FASTA pasta, 1991).

### Efeito sobre as características nutricionais

Em relação à qualidade nutricional da pasta seca a alta temperatura, alguns estudos laboratoriais realizados por CUBADDA et al. (1968) apud CUBADDA (1985) mostraram que as condições de secagem tiveram um efeito significativo na retenção de lisina em espaguete. O autor observou que a quantidade de lisina total reduzida durante a secagem (em condições experimentais) variou de 22% à temperatura de 45° C para 47% à temperatura de 80° C, e, que a perda da lisina foi principalmente o resultado do bloqueio do seu grupo  $\epsilon$  amino.

Como a lisina é o aminoácido limitante nos cereais, muitos pesquisadores têm dado ênfase nas perdas de lisina em produtos de cereais através de reações de escurecimento durante o processamento. Entretanto, os efeitos das condições de processamento nas perdas de lisina e no valor protéico da pasta têm recebido pouca atenção. Conclui-se que apesar das vantagens econômicas e tecnológicas de se utilizar a secagem a altas temperaturas, experimentos laboratoriais têm mostrado um efeito deletério da alta temperatura na lisina total e disponível, nas vitaminas lábeis (principalmente a tiamina - B1 - e riboflavina - B2) e parcialmente na metionina, prejudicando assim o valor biológico das proteínas e portanto o valor nutritivo do produto, de acordo com CUBADDA (1985), que sugere a necessidade de pesquisar se as perdas ocorridas à nível laboratorial têm a mesma extensão à nível industrial.

DEXTER et al. (1984) investigaram o teor de lisina total e disponível em pastas processadas em laboratório e secas por procedimento convencional a baixa temperatura (39°



C) por 28 horas (L.T.) e por altas temperaturas empregadas no início (HT-A) 75° C e no final do processo (HT-B), 68 - 70° C. Demonstraram um efeito altamente significativo da secagem sobre a lisina total e disponível concluindo que a extensão da perda foi uma função da temperatura de secagem e duração da exposição à essa alta temperatura. Ou seja, concluem que uma substancial perda de lisina disponível pode ocorrer antes do desenvolvimento de pigmentos marrons e que um curto tempo de exposição do espaguete a alta temperatura durante a secagem resultou em perdas muito reduzidas de lisina disponível.

A pasta submetida ao processo de secagem representa um sistema alimentar relativamente simples onde o escurecimento não enzimático referido como Reação de Maillard pode ocorrer facilmente. Segundo ACQUISTUCCI (1996) as reações de Maillard na pasta parecem ocorrer principalmente devido à reação de aminoácidos livres com açúcares, apesar de poucos aminoácidos mostrarem um apreciável decréscimo no conteúdo, após o processamento da pasta. Essa facilidade é devida ao tipo e concentração dos principais reagentes envolvidos (aminoácidos + açúcares redutores), a atividade de água do sistema na secagem, e as condições de tempo/temperatura do processo térmico (KAANANE & LABUZA, 1989 apud RESMINI & PELLEGRINO, 1994).

No estudo realizado por RESMINI & PELLEGRINO (1994) verificou-se a extensão da Reação de Maillard na proteína da pasta seca através da avaliação da furosina (lisina bloqueada) e lisilpirroaldeído (L.P.A. - principal produto da degradação das lisilcetoses). Observaram que temperaturas maiores que 75° C quando a umidade da pasta era de 15% ou menos e uma concentração de açúcares redutores elevada (principalmente glicose), foram os fatores responsáveis pela formação de L.P.A. Além disso, o nível desses dois compostos é um indicativo das condições do processamento térmico e da qualidade das matérias-primas as quais afetam a atividade amilolítica e portanto, o conteúdo de açúcares redutores. Afirmam ainda que têm sido atribuída a esses dois compostos propriedades antinutricionais e mudanças sensoriais indesejáveis, sendo necessário um maior conhecimento dos mecanismos de regulação da Reação de Maillard na secagem da pasta, para melhor controle de todos os parâmetros envolvidos em cada passo de produção, sem perder as vantagens da tecnologia de secagem a altas temperaturas.



Juntamente com a furosina, um novo composto, o 2-acetil-3-D-glicopiranosilfuram (AGPF) têm sido propostos recentemente como marcadores da extensão dos estágios recentes e avançados da reação de Maillard, conforme ACQUISTUCCI (1996). Nesse estudo, verificou-se que quatro diferentes aminoácidos, tendo diferentes polaridades, tais como a histidina, leucina, lisina e glicina, foram escolhidos como produtos representativos de baixo, intermediário e elevado escurecimento, respectivamente. A lisina total, leucina e histidina mostraram um coeficiente de variação entre 6–10%. Os maiores valores foram observados para glicina (18%) e lisina disponível (29%), como uma consequência da maior reatividade desses dois aminoácidos em relação aos outros.

Em relação aos minerais, YASEEN (1993) processou semolina em macarrão, em escala laboratorial, e submeteu o produto a secagem à alta (70°C máxima) e baixa (40°C) temperaturas. Verificou que durante a extrusão não ocorreram perdas, e que, não houve mudanças marcantes no conteúdo de minerais no macarrão após o processamento e cocção quando comparou os dois processos de secagem.

### Efeito sobre as características organolépticas

As várias pesquisas realizadas sobre as características organolépticas da pasta seca em alta temperatura são direcionadas para os atributos de cor e textura após o cozimento (qualidade de cocção).

#### Cor:

A cor representa uma das qualidades mais apreciáveis pelo consumidor, sendo dependente de fatores intrínsecos como variedade e atividade enzimática, de condições de processamento (extrusão) e de reações químicas (PAVAN, 1979).

O efeito positivo da alta temperatura na intensidade da cor amarela da pasta tem sido demonstrado por vários pesquisadores. DEXTER et al. (1981; 1982a) compararam as características do espagete produzido através de dois ciclos de secagem a alta temperatura (uma nos estágios iniciais = HTA, e outra durante os últimos estágios de secagem = HTB) com o espagete produzido por secagem convencional à baixa temperatura (LT).

Concluíram que o espaguete resultante do uso de secagem HTA exibiu intensidade de cor aumentada em relação ao espaguete seco por LT, provavelmente devido à inativação da lipoxigenase pela alta temperatura. Atribuíram a cor resultante parcialmente aos ciclos de secagem e parcialmente às características da semolina; sendo que a combinação das variáveis temperatura e umidade usadas em HTA e HTB não conduziram ao escurecimento do espaguete.

Em outro trabalho DEXTER et al. (1982b) empregaram um tratamento a baixa temperatura (L.T. 39° C por 28 horas) e dois tratamentos a alta temperatura (HT). No primeiro tratamento HT, a temperatura inicial foi de 65° C por 2 horas com posterior abaixamento gradual de temperatura até atingir 45° C nas 4 horas finais. O segundo tratamento HT diferiu do primeiro por apresentar uma temperatura inicial de 80° C por 2 horas, com posterior abaixamento gradual de temperatura até 45° C para a secagem de espaguete. Observaram que com a secagem a alta temperatura (80° C) a perda de pigmento é pequena, e que a intensidade da cor é melhorada consideravelmente devido a inativação da enzima lipoxigenase.

LEITÃO et al. (1989) estudando as eventuais vantagens do processo de secagem a alta temperatura (75° C) sobre o processo convencional de secagem (45 a 48°C) concluíram que em nenhum dos casos estudados foi observado o fenômeno de escurecimento superficial do produto, que poderia ocorrer com o emprego de alta temperatura de secagem.

DE STEFANIS & SGRULLETA (1990) avaliaram amostras de espaguetes de cinco genótipos de trigo duro secos a baixa temperatura (LT = 50° C) e a alta temperatura (HT = 90° C). Verificaram que para todos os genótipos analisados não houve diferença significativa em p.p.m. de beta-caroteno para espaguetes secos a LT ou a HT. Apesar disso, a superfície do espaguete processado a HT geralmente apresentou uma cor amarela mais intensa, o que poderia ser explicado segundo os autores por uma inibição de reações enzimáticas responsáveis pela tonalidade marrom.

De acordo com MILATOVIC & MONDELLI (1991) apud POLLINI (1996), a temperatura de inativação para a lipoxigenase e peroxidase é acima de 90° C. Portanto, a secagem T.H.T. seria melhor para a coloração do produto, uma vez que essas duas enzimas

associadas com a cor da pasta são inativadas somente com o regime T.H.T., que também inativa as oxidases, as quais podem contribuir para o escurecimento enzimático segundo o referido autor. Na **Tabela 3** pode-se observar o efeito da temperatura sobre a atividade enzimática.

**Tabela 3:** Efeito da temperatura na atividade enzimática

| Temperatura | Ativação                                         | Inativação                 | Efeito                                              |
|-------------|--------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| 50 - 60° C  | Oxidase<br>Hidrolase<br>( $\beta$ - amilase)     | -                          | Oxidação<br>caroteno                                |
| 61 - 70° C  | $\alpha$ - amilase<br>lipoxigenase               | $\beta$ - amilase          | Descoloração de<br>pigmentos                        |
| 71 - 80° C  | $\alpha$ - amilase<br>lipoxigenase<br>Peroxidase | Fenolase                   | Descoloração de<br>pigmentos                        |
| 81 - 90° C  | -                                                | Oxidase<br>Isoperoxidase   | Aumento de 15%<br>na pureza da cor                  |
| > 90° C     | -                                                | Lipoxigenase<br>Peroxidase | Melhora da cor na<br>pasta seca e após a<br>cocção. |

FONTE: MILATOVIC & MONDELLI (1991) apud POLLINI (1996).

As condições do processo de secagem contribuem para a coloração final do produto e, portanto, um processo apropriado desenvolveria a cor amarelada e não a marrom (reação de Maillard) de acordo com ACQUISTUCCI & PASQUI (1992).

### Qualidade de Cocção:

A qualidade de cocção é considerada como o parâmetro mais importante sendo geralmente definido como a capacidade do produto manter uma boa textura após a cocção e não tornar-se uma massa pegajosa. A qualidade da semolina do trigo duro em relação à quantidade e qualidade das proteínas afetam a manutenção da firmeza e estabilidade de cocção. Na secagem convencional a qualidade da matéria-prima é essencial para se obter uma pasta com boa qualidade de cocção (CUBADDA, 1985). Segundo esse autor a maneira

de aplicação da alta temperatura durante os ciclos de secagem parece ter um efeito diferente na qualidade de cocção da pasta.

De acordo com PAVAN (1979) a aplicação da HT (alta temperatura) principalmente na primeira fase da secagem e em presença de umidade relativa alta, apresenta efeito positivo sobre a qualidade de cocção da pasta pois a proteína submetida a HT e alta umidade relativa, num processo de insolubilização, provoca a formação de um retículo compacto não dispersível em solução salina aquosa, que retêm os grânulos de amido da pasta (ANTOGNELLI, 1980), evitando a saída de sólidos solúveis para a água de cocção.

Esse efeito positivo foi verificado por PAGANI et al. (1986) que submetendo três tipos de espaguete a duas condições de secagem: a baixa (LT: 54° C por 18 horas) e a alta temperatura (73° C por 11 horas) observaram que o espaguete seco a HT demonstrou a melhor qualidade de cocção apresentando uma menor pegajosidade e maior firmeza do que o espaguete seco a LT. Esses dados foram confirmados com o estudo de LEITÃO et al. (1989) que comparando o processo convencional (LT) com o de alta temperatura (HT) encontrou perdas de 6 a 12,5% inferiores de sólidos solúveis para o processo HT.

DE STEFANIS & SGRULLETA (1990) utilizaram duas temperaturas de secagem para as suas amostras de espaguete LT (=50° C) e HT (=90° C), que posteriormente foram avaliadas. Concluíram que o uso de temperaturas mais elevadas resultou na melhoria da qualidade de cocção (diferindo entre os 5 cultivares) pois o espaguete seco a 90° C foi significativamente menor em pegajosidade do que o seco a 50° C. A comparação entre os resultados das cultivares com diferentes conteúdos de proteína, e os dados sobre qualidade de cocção do espaguete indicaram que o aumento no teor de proteína resultou em melhor qualidade de cocção com o aumento da temperatura de secagem.

Na pesquisa de DEXTER et al. (1982b), empregaram-se 3 processos de secagem: o convencional (39° C por 28 horas) e dois processos a HT: um a 65°C e outro a 80°C. Concluíram que a secagem a 80° C oferece vantagens em relação a convencional referindo-se à consistência do espaguete e qualidade de cocção, além do considerável tempo de secagem, que é reduzido no processo a 80° C.

Em outros dois estudos de DEXTER et al. (1981, 1982a) comparou-se o processo de secagem convencional (39° C) com dois processos de secagem a alta temperatura (75° C) no início (HTA) e no final do processo (HTB). Verificaram que o espagete seco por HTB foi menos pegajoso do que os outros e exibiu as menores perdas por cocção. Esses resultados contrariam o estudo de PAVAN (1979) que indica como primordial a aplicação da alta temperatura no início do processo de secagem.

AKTAN & KHAN (1992) avaliaram o efeito da alta temperatura de secagem de pastas (secas a 70, 80 e 90°C) comparadas com baixas temperaturas de secagem (40 e 60°C) em alguns parâmetros de qualidade. Concluíram que a alta temperatura de secagem não afetou adversamente os fatores de qualidade do espagete mas aumentaram cor e firmeza e diminuíram as perdas de cocção, pois a alta temperatura de secagem mudou as propriedades das proteínas, o que aumentou suas propriedades tecnológicas.

De acordo com alguns estudos citados por GRANT et al. (1993) parece existir uma relação entre o conteúdo de amilose e a pegajosidade da pasta. Concluíram que a secagem a altas temperaturas aumenta o conteúdo de amilose no espagete cozido e diminui a quantidade de amilose na água de cocção, por isso a pegajosidade do produto é diminuída.

#### Efeito sobre as características microbiológicas:

Em relação ao efeito da secagem a alta temperatura sobre as características microbiológicas da pasta, pode-se constatar, de acordo com PAVAN (1979), que com a aplicação de alta temperatura nas primeiras fases de secagem obtém-se notável abatimento da carga microbiológica; que o calor úmido ( $\uparrow$  UR e  $\uparrow$  T) é mais eficaz que o calor seco na redução da população microbiana; e que o produto resultante sofre uma verdadeira pasteurização.

#### Vantagens e Desvantagens

O emprego da alta temperatura na secagem da pasta representa um grande progresso tecnológico pois oferece grandes vantagens quando comparada ao processo convencional. Na maioria dos estudos, observa-se uma redução no tempo de secagem.

LEITÃO et al. (1989) conseguiram uma redução de 50%. Aliada à vantagem econômica e microbiológica têm-se a vantagem tecnológica, com a produção de pasta com melhores atributos de cor e qualidade após o cozimento. Esse fato, segundo PAVAN (1979), pode ser justificado pelas condições de temperatura e umidade relativa elevadas, as quais provocam uma insolubilização das proteínas ocasionando a formação de um retículo compacto não dispersível em solução aquosa salina, que envolve os grânulos de amido da pasta. Com isso, segundo o autor, ocorre uma melhora na retenção de sólidos durante a cocção e na consistência do produto.

As principais vantagens desse método, segundo estudos citados por DE STEFANIS & SGRULLETTA (1990) são o controle de microorganismos e o encurtamento do tempo de secagem com conseqüentes benefícios econômicos. Além disso, a secagem à alta temperatura segundo os autores, afeta a qualidade de cocção, a coloração e qualidade nutricional da pasta. A cor da pasta depende de vários fatores, dentre eles os mais importantes são a qualidade intrínseca da semolina (características varietais) e as condições de processamento. Em particular, a cor parece ser afetada positivamente pela secagem em alta temperatura, através da inibição das atividades enzimáticas, as quais podem causar mudanças consideráveis na cor, nos ciclos de secagem tradicionais a baixas temperaturas. À temperaturas mais baixas convencionais, a qualidade de cocção depende largamente das características intrínsecas das matérias-primas, entretanto a técnica de secagem a alta temperatura parece modificar as propriedades da semolina e aumentar a qualidade de cocção independentemente da qualidade da semolina.

De uma maneira geral, o processo T.H.T. apresenta como vantagens melhor desempenho na cocção, melhor coloração da pasta, tempos de processamento mais curtos, maior produtividade, menor consumo de energia, requerimentos de espaço reduzidos, (secadores mais compactos), maior variedade de formas, melhor controle microbiológico com destruição de bactérias produtoras de enterotoxinas (PAVAN MAPIMPIANTI SPA., s.d.).

As possíveis desvantagens desse processo seriam o seu possível efeito deletério na lisina total e disponível, na metionina e, conseqüentemente no valor biológico das proteínas,



nas vitaminas termolábeis (principalmente tiamina - B1 - e riboflavina - B2). Entretanto, são sugeridas maiores pesquisas nesta área.

### **2.3.3. Avaliação da Qualidade da Pasta**

A qualidade da pasta é julgada pelo fabricante e pelo consumidor, sendo que o fabricante deseja um produto que seja microbiologicamente estável, visivelmente apelativo, e elástico e forte o suficiente para resistir à quebra durante o corte, embalagem, manuseio e transporte. O consumidor deseja um produto que seja livre de rachaduras, sem que esteja fragmentado em pedaços e que seja por outro lado apelativo em relação à aparência e qualidade de cocção, de acordo com DICK & MATSUO (1988).

Segundo HOSENEY (1986), a pasta crua deve ser mecanicamente forte a fim de que retenha seu tamanho e forma durante a embalagem e transporte. Deve ser amarela, uniforme e translúcida. Quando cozida em água fervente, deve manter sua forma sem se quebrar e após a cocção a pasta deve estar “al dente”, a superfície sem pegajosidade e, a água de cocção livre de amido. Finalmente, a pasta deve ser resistente ao supercozimento. De acordo com o autor, credita-se aos produtos de trigo duro a possibilidade de atingirem mais proximamente essas características do que quaisquer outros tipos de trigo.

A aparência, cor e o comportamento dos produtos de pasta durante e após a cocção são considerados como a base da qualidade da pasta através do mundo (FEILLET, 1984).

De acordo com CIACCO & CHANG (1986) a qualidade das pastas pode ser estimada através de sua performance durante o cozimento. Além desses testes de cozimento, a cor e a textura do produto final também devem ser avaliadas.

Segundo FEILLET & DEXTER (1996) a aparência da pasta é determinada por quatro grupos de fatores:

- cor, a qual depende largamente das características do trigo usado;
- manchas, as quais resultam da limpeza imprópria, e das condições impróprias de moagem e da presença de grãos danificados, particularmente aqueles com descoloração na superfície;

- textura da superfície, relacionada em primeiro lugar à condição da matriz;
- força e flexibilidade do fio, relacionada às condições sob as quais a pasta é extrusada e seca.

### **2.3.3.1. Cor e aparência**

De acordo com DICK & MATSUO (1988), os atributos desejáveis da pasta é que esta seja translúcida, amarelo brilhante, e livre de manchas excessivas, rachaduras e que tenha uma superfície lisa. Segundo os autores, para o consumidor a cor da pasta é meramente subjetiva, mas no laboratório, um teste objetivo é necessário uma vez que a cor é percebida diferentemente por diferentes pessoas. Colorímetros de reflectância ou espectrofotômetros funcionam bem para comparar o brilho e intensidade de cor, sendo que alguns instrumentos também permitem medidas de colorações avermelhadas ou marrons, que são consideradas cores indesejáveis nos produtos de pasta (DICK & MATSUO, 1988; DICK & YOUNGS, 1988).

Em resumo, para otimizar a cor dos seus produtos, os fabricantes de pasta deveriam procurar genótipos com elevado conteúdo de pigmento carotenóide, baixa atividade de polifenoloxidasas e, possivelmente, baixa atividade de lipoxigenase segundo FEILLET & DEXTER (1996). Além disso, deve-se levar em consideração as condições de extrusão, que devem processar uma semolina de alta qualidade em um sistema equipado para misturar e extrudar sob vácuo, e, as condições de secagem. A cor da pasta pode ser melhorada pela manipulação apropriada da secagem nos ciclos a altas temperaturas no começo do processo, que inibe parcialmente a atividade enzimática (DICK & MATSUO, 1988; FEILLET & DEXTER, 1996).

Em adição à cor, que é de extrema importância para a comercialização das pastas, segundo CIACCO & CHANG (1986), outro fator que pode afetar a aparência das pastas seria a sua descoloração superficial que pode ocorrer por uma série de causas. Se esta ocorrer na forma de pontos brancos pode ser provavelmente o resultado de uma hidratação não homogênea da semolina ou também devido a água insuficiente ou condições de mistura e extrusão impróprias. Esses pontos brancos podem também ser o resultado de uma

adulteração da semolina de trigo duro com trigo comum . As manchas marrons são causadas por partículas de farelo que não foram removidas durante a moagem, enquanto que pontos pretos podem ser causados por grãos danificados com o pericarpo descolorido e de grãos contaminados por “ergot”. A textura da superfície depende da natureza da matriz empregada, uma vez que matrizes modernas revestidas com Teflon dão à pasta uma superfície lisa e brilhante.

Outro defeito que pode ocorrer são rachaduras e quebras na pasta seca, o que a torna não atrativa. Quando esse defeito aparece logo após sua manufatura, o produto pode ser retirado antes de alcançar o consumidor, porém, ocasionalmente ocorrerá após a pasta ter sido embalada. As causas mais freqüentes são as condições impróprias de secagem. Se a umidade superficial evapora-se muito rapidamente, a superfície da pasta endurece e quando o centro da pasta seca, o fio torna-se incapaz de suportar o “stress” ocorrendo a fratura. Além da secagem imprópria, o baixo conteúdo de proteína da semolina, a estocagem em ambiente com umidade relativa instável e um elevado nível de atividade de  $\alpha$ -amilase também podem promover rachaduras no produto segundo alguns estudos citados por FEILLET & DEXTER (1996).

#### **2.3.3.2. Qualidade de cocção:**

A qualidade de cocção é a característica de maior importância para os consumidores e, portanto, de grande importância para os produtores, melhoristas e processadores. É geralmente considerada como a capacidade do produto manter boa textura após a cocção não se tornando uma massa grossa, pegajosa, que desprenda um excesso de sólidos na água de cocção e que exiba alguma firmeza à mordida, expressa algumas vezes como “al dente” (CUBADDA, 1988; DICK & MATSUO, 1988; FEILLET & DEXTER, 1996).

Os testes de cozimento dão informações de como o produto se comporta durante a cocção, em particular da água absorvida e de substância lixiviada durante o processo, bem como do aumento do volume e textura. A determinação desses parâmetros de qualidade de cocção muitas vezes pode ser efetuada sem auxílio de equipamentos sofisticados (CIACCO

& CHANG, 1986). Em relação à textura, basicamente os procedimentos monitoram a resposta à uma força na pasta cozida de empurrar ou esticar ou ambas para medir os fatores como firmeza ou maciez, elasticidade, compressibilidade ou pegajosidade. A combinação desses fatores dá uma boa estimativa das características de textura relativas do produto cozido (DICK & MATSUO, 1988).

Segundo FEILLET (1984) a qualidade de cocção depende das propriedades reológicas e das características de superfície da pasta cozida sendo que esses parâmetros não estão diretamente relacionados. Em relação às propriedades reológicas, o estudo de MATSUO & IRVINE (1970) analisou o efeito de diferentes tipos de glúten na qualidade de cocção do espagete. Verificaram que um glúten de força média, avaliado através de testes físicos produz espagete de ótima qualidade de cocção, indicando portanto que a qualidade do glúten é o principal fator determinante da qualidade de cocção. Em referência ao parâmetro característica de superfície da pasta, este se relaciona entre outros fatores com a dureza da água de cocção, de acordo com o trabalho de DEXTER et al. (1985b). Nessa pesquisa verificaram que quando a dureza da água de cocção aumentava, a proporção de açúcares redutores e de compostos nitrogenados de baixo peso molecular na superfície diminuía explicando as melhoradas correlações entre matéria orgânica total obtida da lavagem do espagete cozido drenado (TOM) e fatores de qualidade de cocção. Concluíram que o material total da superfície foi o fator primário associado com a pegajosidade do espagete.

De uma forma geral, o conceito de qualidade de cocção da pasta engloba as seguintes características, de acordo com FEILLET (1984) e FEILLET & DEXTER (1996):

- tempos mínimos, ótimos e máximos de cocção os quais correspondem respectivamente ao momento no qual o amido é gelatinizado, o tempo requerido para dar à pasta a textura desejada, e o tempo além do qual o produto se desintegra;
- inchaço ou absorção de água durante a cocção, características que são facilmente medidas pela determinação do peso da pasta antes e após a cocção (100 gramas de pasta geralmente absorve 160 a 180 gramas de água);

- textura do produto cozido, que inclui firmeza e resiliência, e podem ser determinadas por avaliação sensorial ou por medidas reológicas instrumentais (firmeza, viscoelasticidade);
- condição de superfície ou extensão da desintegração do produto cozido, que determina a extensão à qual os fios aderem um ao outro (conceito de pegajosidade), e o grau de alisamento do produto cozido (conceito de palatabilidade);
- aroma e gosto.

### **2.3.3.3. Relação entre qualidade de cocção da pasta e seus componentes**

#### **Amido**

As informações disponíveis sobre o papel do amido na determinação da qualidade da pasta são muito limitadas. O amido é o principal componente da semolina, e a firmeza no espaguete cozido, deve, em parte, ser influenciada pelas propriedades de gelatinização do amido (DEXTER & MATSUO, 1979).

O amido consiste de quantidades variáveis de duas frações: a amilose (~ 25%) que é um polímero linear de glicose e a amilopectina (~ 75%) que é um polímero ramificado. Quando aquecido em água, os grânulos de amido começam a inchar, as pontes de hidrogênio são rompidas e as moléculas de amilose e amilopectina se difundem ao redor do meio aquoso, fenômeno referido como “gelatinização do amido” (FEILLET, 1984). A presença desses dois componentes no amido, amilose e amilopectina, assumindo diferentes posições relativas, torna o grânulo de amido uma estrutura fisicamente heterogênea referindo-se a seu comportamento em relação aos outros componentes da semolina, particularmente água, durante a mistura da massa, extrusão e cocção (FORTINI, 1988). Na elaboração da pasta com trigo duro, a gelatinização do amido e a coagulação protéica causam as principais mudanças estruturais durante a cocção, que ocorrem aproximadamente à mesma temperatura e nível de umidade, de acordo com CUNIN et al. (1995). Uma rede protéica é formada e o amido gelatinizado é preso nessa malha e quanto mais próxima esta rede protéica do amido, menos amido será perdido da superfície da pasta durante a cocção e assim, reduz-se a pegajosidade, que no caso da pasta de trigo comum é muito elevada devido a grande perda de amido durante a cocção e a rede protéica é perdida, segundo

estudo da estrutura da pasta por microscopia eletrônica, realizado por RESMINI et al. (s.d.).

Em um estudo onde foram analisadas as mudanças estruturais do amido durante a cocção da pasta de trigo duro, CUNIN et al. (1995) concluíram, através de observações microscópicas da pasta cozida, que as mudanças no amido variam de um processo de hidratação induzindo à gelatinização nas camadas mais externas, para o calor (aquecimento) levando à dissolução dos cristais no centro, e, que, interações entre o amido e a matriz protéica ao redor estão principalmente presentes nas camadas mais externas e intermediárias.

DEXTER & MATSUO (1979) mostraram por experimentos de reconstituição, usando amidos isolados de diversos cereais, que a firmeza e a resiliência da pasta são positivamente relacionadas ao conteúdo de amilose do amido.

Durante a manufatura da pasta, o amido pode sofrer uma hidrólise parcial devido à presença das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$ -amilases, e, essa proporção de hidrólise pode ser aumentada com o número de grânulos de amido danificados. Se essa hidrólise for muito elevada, prejudicará a qualidade de cocção, de acordo com ANTOGNELLI (1980). Portanto, deve-se evitar que os grânulos de amido sejam danificados durante a moagem para que o processamento da pasta provavelmente resulte em pasta de melhor qualidade. Qualquer parâmetro que favoreça a ligação do amido gelatinizado com outras moléculas previne o lixiviamento da amilose e melhora a qualidade segundo FEILLET (1984).

### **Lipídios:**

Os lipídios, apesar de serem os menores constituintes da pasta, parecem influenciar as propriedades físicas do espaguete cozido segundo DONNELLY (1991). O conteúdo em lipídios da semolina e pasta varia de 1,5 a 2,0% (em uma base de 14% de umidade) dependendo dos trigos e das condições de moagem, sendo que o germe é a parte do grão mais rica em lipídios (ANTOGNELLI, 1980; FEILLET, 1984). Em geral, o trigo duro (*Triticum durum* L.) e sua semolina contêm ligeiramente mais lipídios do que o trigo vermelho duro de primavera (*Triticum aestivum* L.) e sua farinha. O conteúdo em lipídios é citado como porcentagem de lipídios livres ou ligados, sendo que os livres ou lipídios não



polares no trigo moído ou no endosperma são extraídos com solventes não polares tais como hexano ou éter de petróleo, enquanto que os ligados ou lipídios polares, são extraídos com solventes polares tais como água saturada com n-butanol (WSB). No trigo duro integral, aproximadamente 24% dos lipídios estão ligados e 76% estão na forma livre; e, na semolina cerca de 36% estão ligados e 64% estão na forma livre. Porém, a água e a ação mecânica usadas para formar a massa com a farinha têm um efeito ligante nos lipídios durante o processamento pois quando a massa é formada ocorre uma mudança primária que é a ligação física ou química dos lipídios com proteínas ou carboidratos. Com exceção dos pigmentos, os outros lipídios provavelmente passam por poucas mudanças degradativas durante o processamento. Os pigmentos amarelos (caroteno e xantofilas) no trigo duro são os lipídios mais vulneráveis à mudança pois são compostos altamente insaturados sendo facilmente oxidados. A enzima lipoxigenase e o seu substrato ácido linoleico desempenham os principais papéis nessa oxidação (YOUNGS, 1988).

As mudanças na ligação dos lipídios durante o processamento comercial da pasta foram estudadas por BARNES et al. (1981) apud MATSUO et al. (1986) que descobriram que cerca de 90% dos lipídios livres na semolina se tornaram ligados durante o processamento, especialmente durante a etapa de secagem.

O papel dos lipídios nos produtos de pasta e sua influência na qualidade de cocção não têm sido amplamente estudados. O trabalho de MATSUO et al. (1986) demonstrou que os lipídios não polares influenciam a pegajosidade do espaguete cozido, pois a sua remoção com éter de petróleo aumenta a pegajosidade da pasta enquanto que o enriquecimento do produto com esses lipídios não polares diminui essa pegajosidade. Verificaram também que monoglicerídeos comerciais diminuem a pegajosidade da pasta e melhoram a tolerância ao sobrecozimento.

De acordo com FEILLET (1984) apesar de ser necessário mais pesquisa à respeito, pode-se afirmar que a habilidade de alguns lipídios, como os glicolipídios (polares) de interagirem por meio de ligações com hidrogênio ou hidrofóbicas com proteínas e amido e de ligarem-se com a amilose, pode contribuir para a coesão de uma rede formada com multicomponentes e, portanto, para a integridade da pasta durante a cocção. Isto porque é

altamente provável, segundo o autor, que as proteínas não sejam os únicos componentes da semolina envolvidos na formação dessa rede, e que, interações entre proteínas, lipídios e amido podem contribuir para a estabilidade da pasta cozida.

### **Proteínas:**

O papel tecnológico mais importante das proteínas da semolina é de dar à pasta as propriedades requeridas para que as características de cocção sejam as desejadas. A firmeza da pasta cozida e as características de sua superfície após a cocção (que aparece estar relacionada com a perda de material na água de cocção e a tendência de ser pegajosa) são duas importantes características que condicionam a qualidade de uma pasta (DUEÑAS-MARTIN & JIMENEZ-GONZALEZ, 1991).

A pasta cozida feita de semolina de trigo duro de qualidade superior retêm boas características reológicas, tais como firmeza e elasticidade sendo resistente à desintegração da superfície e à pegajosidade (KOVACS et al., 1995). Portanto, a qualidade de cocção da pasta é dependente desses dois parâmetros: propriedades reológicas (relacionadas à força ou viscoelasticidade do glúten) e características de superfície, que parecem não estar diretamente relacionados. Métodos bioquímicos como eletroforese e cromatografia líquida de alta pressão têm sido recomendados para avaliação e predição da qualidade no estágio de melhoramento, permitindo assim um entendimento da qualidade à nível molecular (AUTRAN et al., 1986). O conteúdo protéico parece contribuir com 30 a 40% da variabilidade na qualidade de cocção segundo estudos citados por FEILLET (1988).

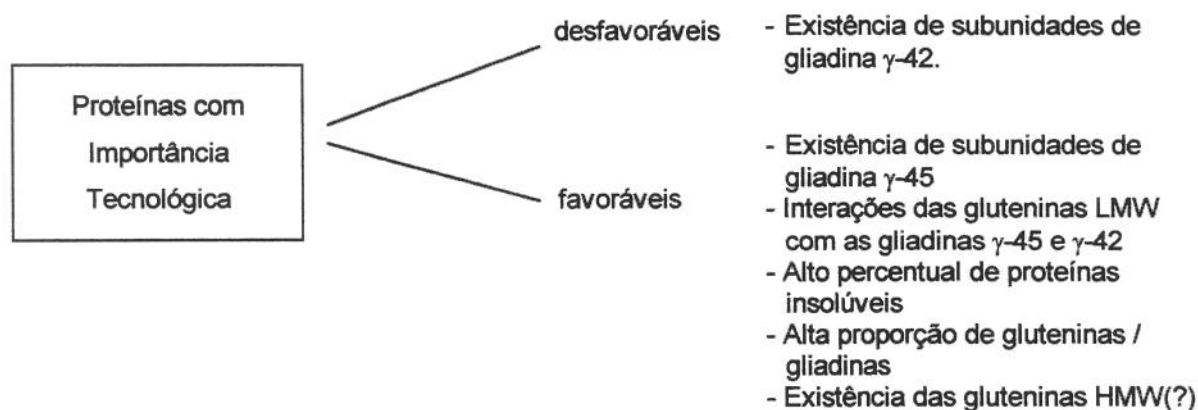
A qualidade de cocção do espaguete, relacionada como peso cozido, perdas na cocção e firmeza após a cocção foi determinada a intervalos (tempos) de cocção especificados por GRZYBOWSKI & DONNELLY (1979). Os resultados desse estudo mostraram que a quantidade e a qualidade protéica (força do glúten) foram fatores significativos que afetaram a qualidade de cocção particularmente com respeito à manutenção da firmeza e estabilidade na cocção. Entretanto, a grande diferença nas propriedades reológicas do glúten e de cocção que existem entre genótipos de conteúdo protéico similar têm posicionado o problema de qualidade do glúten. Nesse aspecto,

experimentos de fracionamento por solubilidade tal como o trabalho de WALSH & GILLES (1971) têm mostrado que a qualidade da pasta (firmeza) melhora na presença de elevada proporção de gluteninas para gliadinas, de acordo com GALTERIO et al. (1993). Além disso, segundo esses autores, a procura por proteínas específicas que afetam a qualidade da pasta (viscoelasticidade) têm mostrado uma relação entre qualidade e o tipo eletroforético de  $\gamma$ -gliadina. Variedades de trigo duro com o componente  $\gamma$ -45 são geralmente caracterizados por pasta cozida com altas firmeza e viscoelasticidade, e uma situação oposta prevalece para genótipos contendo o componente  $\gamma$ -42, de acordo com estudos de KOSMOLAK et al. (1980) e DU CROS et al. (1982). Entretanto, o efeito positivo da  $\gamma$ -gliadina 45 tem sido atribuído à sua ligação genética com as subunidades de gluteninas de baixo peso molecular, identificadas como LMW2, as quais estariam realmente envolvidas na expressão de qualidade (PAYNE et al., 1984). As frações de  $\gamma$ -gliadina 42 e  $\gamma$ -gliadina 45 são codificadas por genes no cromossomo 1B (locus Gli-B1) e ligadas aos genes para  $\omega$ -gliadinas e sub-unidades de glutenina de baixo peso molecular, sendo as ligadas à  $\gamma$ -42 denominadas LMW-1 e LMW2 as ligadas à  $\gamma$ -45. A boa qualidade associada com a fração  $\gamma$ -45 é definida como aumento na “força” da massa, uma propriedade conferida pela glutenina e não gliadina, concluindo-se portanto que as  $\gamma$ -gliadinas são apenas marcadores genéticos para outras proteínas responsáveis pela viscoelasticidade do glúten e, que uma variação alélica entre as sub-unidades de gluteninas de baixo peso molecular é responsável pelas diferenças na viscoelasticidade do glúten, conforme estudo de POGNA et al. (1988).

As características de superfície da pasta cozida têm sido positivamente correlacionada com a quantidade total de grupos sulfidrila (-SH) somados aos grupos dissulfeto (S - S) na fração glutenina de vários genótipos de trigo duro, de acordo com ALARY & KOBREHEL (1987). Posteriormente, KOBREHEL et al. (1988) através de análise eletroforética SDS-PAGE, sem redução, mostrou que essas gluteninas de baixo peso molecular, ricas em enxofre (S) consistem de duas proteínas principais, a DSG-1 de 14,1 kDa e a DSG-2 de 17,7 kDa, ricas em cisteína, e que, segundo GAUTIER et al. (1989) são proteínas solúveis em misturas de clorofórmio / metanol (CM). A pobre extractibilidade das proteínas DSG a concentrações muito baixas de ácido acético e sua extractibilidade à baixa concentração de tetradecanoato de sódio, sugerem a presença de interações hidrofóbicas

entre as proteínas DSG e outras gluteninas, de acordo com KOBREHEL & ALARY (1989). Segundo FEILLET et al. (1989) as proteínas DSG contribuem para a agregação das gluteninas de baixo peso molecular (LMWG) e, possivelmente as de alto peso molecular (HMWG) através de ligações hidrofóbicas e dissulfeto. Essas ligações, segundo os autores, são suficientemente fortes para prevenir o lixiviamento do amido durante a cocção da pasta, e, para manter uma condição de superfície satisfatória da pasta cozida. De acordo com esse trabalho pode-se concluir que as gluteninas de baixo peso molecular (LMWG) agregam-se fortemente sob tratamento térmico, contribuindo assim para a formação de uma matriz protéica que conduzirá à firmeza e viscoelasticidade da pasta. De acordo com CARRILLO et al. (1990), mostrou-se que as gluteninas de alto peso molecular (HMWG) são pobres indicadores da qualidade da pasta no trigo duro, e, que as  $\gamma$ -gliadinas poderiam ser marcadores para selecionar genótipos em programa de melhoramento de qualidade de trigo duro, sendo mais seguro porém, usar padrões de LMWG, que são as proteínas causais. As proteínas da semolina são mantidas juntas por ligações dissulfídicas, pontes de hidrogênio e ligações hidrofóbicas para formar uma matriz que permite à pasta cozida suas propriedades viscoelásticas. A continuidade e força da matriz protéica é dependente da natureza das ligações inter e intra-moleculares. Essa matriz protéica se desintegra gradualmente durante a cocção e a velocidade dessa desintegração é determinada pelas características da semolina usada e das condições de processamento da pasta, que envolvem variações na mistura, amassamento, extrusão e secagem. A matriz protéica pode ser rompida parcialmente pelas pressões mecânicas no extrusor resultando em uma desintegração mais rápida durante a cocção, pois, uma matriz protéica fraca ou descontínua permite que uma maior quantidade de exsudato escape durante a gelatinização do grânulo do amido. O exsudato forma um amido superficial, e a pasta se torna pegajosa, e em casos extremos, a integridade dos fios individual é perdida e o produto se torna não degustável e a quantidade de sólidos perdidos para a água de cocção se torna elevada. A secagem a elevadas temperaturas pode corrigir parcialmente esses defeitos (FEILLET & DEXTER, 1996).

Na **Figura 1** pode-se observar um resumo das frações protéicas do trigo duro que têm alguma influência sobre as propriedades tecnológicas da pasta.



**Figura:1** Esquema das proteínas de trigo duro que têm alguma incidência sobre as propriedades tecnológicas da pasta (qualidade de cocção, pegajosidade)

FONTE: DUEÑAS-MARTIN & JIMENEZ- GONZALEZ (1991)

## 2.4 Eletroforese de gliadinas

Vários métodos têm sido desenvolvidos para a identificação de variedades e do reconhecimento do padrão protéico. A maioria dos métodos são técnicas de cromatografia ou de eletroforese, segundo vários estudos citados por WERNER et al. (1994). De acordo com esses autores as separações cromatográficas têm ganho aceitação enquanto que as técnicas de eletroforese têm permanecido como procedimentos mais populares para a análise de proteínas de reserva do trigo. Afirmam que as separações eletroforéticas são relativamente simples, não requerem aparelhos muito caros e são familiares à maioria dos pesquisadores.

Segundo BIETZ (1979) a eletroforese é uma técnica que permite analisar amostras pequenas apresentando resolução elevada. Portanto sua utilização seria adequada quando se dispõe de pequena quantidade de amostra a ser caracterizada.

O potencial da eletroforese em gel de poliacrilamida das proteínas gliadinas para a identificação de genótipos de trigo têm sido relatada por vários pesquisadores (BUSHUK &



ZILLMAN,1978; DU CROS & WRIGLEY,1979; TKACHUK & MELLISH,1980; KHAN et al.,1983; KHAN et al.,1985; WRIGLEY et al.,1982).

Eletroforese em géis de poliacrilamida têm sido o método laboratorial mais vantajoso de identificação de grãos durante as últimas duas décadas, embora os géis necessitem de pelo menos uma hora para análise e coloração mesmo nas formas mais rápidas (LOOKHART & BEAN,1995), a técnica seja lenta e trabalhosa, e os resultados não sejam facilmente quantificados (BIETZ & SCHMALZRIED,1992, 1995).

A eletroforese é uma técnica de separação baseada na migração diferenciada de compostos iônicos ou ionizáveis em um campo elétrico (TAVARES,1996).

Conforme BIETZ & SIMPSON (1992) a eletroforese pode separar as proteínas do glúten por tamanho e carga influenciando a mobilidade; apenas pelo tamanho (as diferenças de carga são suprimidas pelo recobrimento das frações protéicas por um detergente como o S.D.S.); apenas pela carga (como na técnica de focalização isoeletrica, onde as proteínas migram em um gradiente de pH para posições onde elas são eletricamente neutras).

Os dois principais métodos de eletroforese em géis de poliacrilamida usados para a identificação de variedades de trigo têm sido a análise à baixo pH ( eletroforese em gel de poliacrilamida em sistema tampão ácido) das proteínas solúveis em álcool, e eletroforese em gel de poliacrilamida das proteínas totais do glúten extraídas e desnaturadas pelo detergente S.D.S.(dodecil sulfato de sódio) na presença de agentes redutores (WERNER et al.,1994).

De acordo com WRIGLEY et al. (1982) as proteínas gliadinas são claramente as melhores e mais frequentemente usadas para identificação de variedades sendo facilmente extraídas e fracionadas. Além disso, segundo os autores, o eletroforegrama de gliadinas não é afetado pelas condições de crescimento do grão, pelo seu conteúdo protéico, germinação, entre outros fatores.

BUSHUK & ZILLMAN (1978) consideram, uma vez que o padrão de gliadinas é um caráter genotípico, que a eletroforese oferece um meio promissor para identificar cultivares de trigo por eletroforegramas de gliadinas. Os referidos autores propõem a utilização da cultivar de trigo canadense Marquis como padrão para a nomenclatura das bandas de gliadinas. Isso porque essa cultivar apresenta uma banda facilmente identificável,



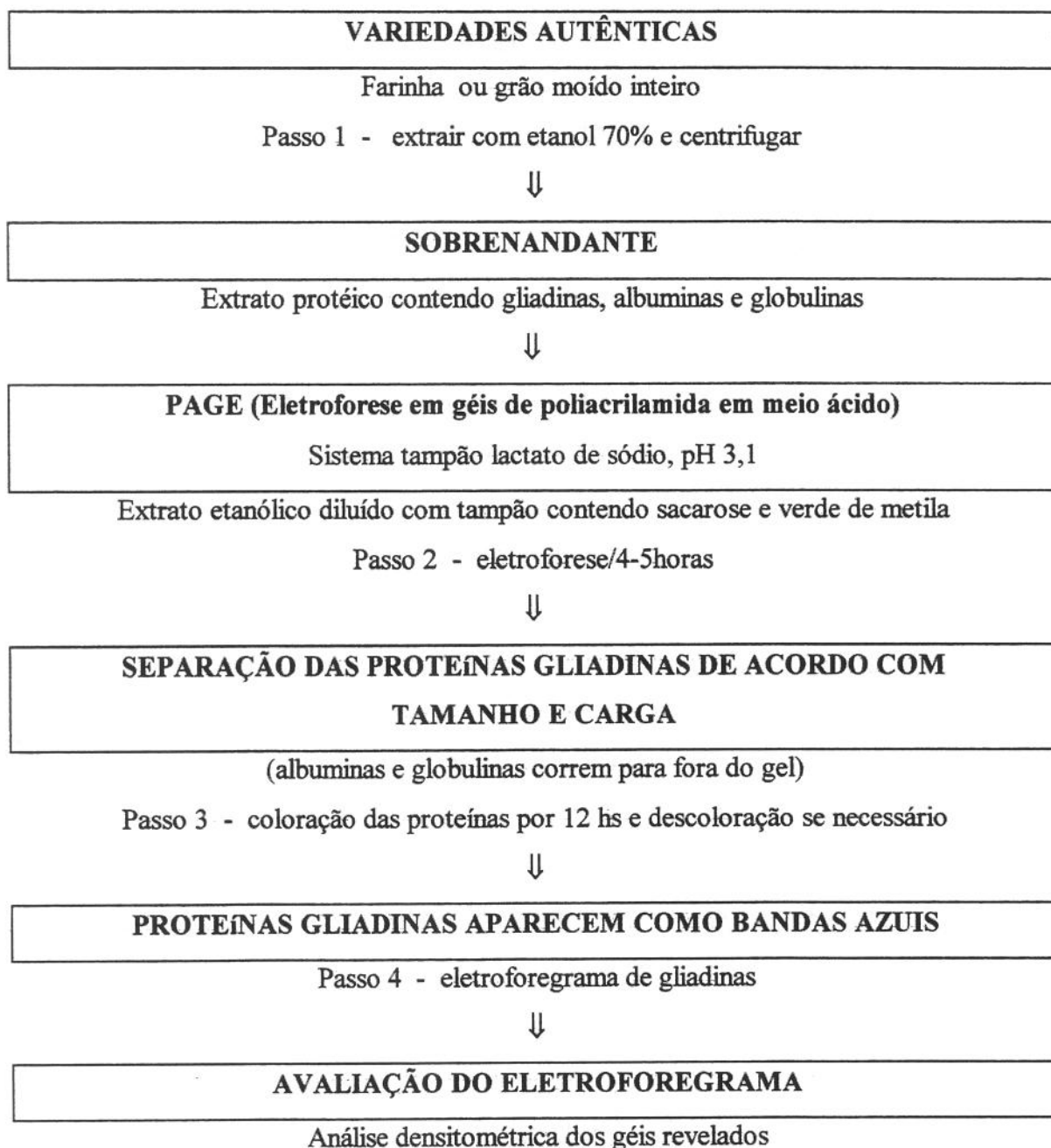
que foi designada com uma mobilidade relativa de 0,50, e todas as outras bandas das gliadinas são identificadas por uma mobilidade relativa à essa referência.

Nesse trabalho, BUSHUK & ZILLMAN (1978), usaram uma versão modificada do procedimento de JORDAN & RAYMOND (1969) onde 3 catalisadores, ácido ascórbico, sulfato ferroso e peróxido de hidrogênio são usados para polimerização, além do sistema tampão ácido. Empregaram o sistema de eletroforese horizontal.

KHAN et al. (1983) modificaram esse procedimento original com o objetivo de obter um gel mais firme, com melhor resolução de gliadinas, reduzindo a quantidade de peróxido de hidrogênio originalmente usada, além de comparar a separação das proteínas utilizando o sistema tampão de lactato de sódio e de alumínio.

Porém, a necessidade de padronização dessa técnica de PAGE, para identificação de variedades de trigo, culminou com um estudo em grupo para a identificação de variedades por eletroforese pela Associação Internacional de Química de Cereais (KHAN et al. 1983).

Segundo KHAN (1982) os principais passos envolvidos na eletroforese das proteínas gliadinas para identificação de variedades estão descritos na **Figura 2** a seguir:



**Figura 2:** Etapas envolvidas na eletroforese de gliadinas

FONTE: KHAN (1982).

A maioria dos métodos de eletroforese de gliadinas em gel de poliacrilamida em meio ácido (pH = 3,1) são feitos à 20 – 30° C.

TKACHUK & MELLISH (1980) investigando cultivares canadenses de trigos adaptaram a técnica de eletroforese em gel de poliacrilamida em meio ácido (pH = 3,1), em sistema contínuo (somente um tipo de gel é moldado nas placas) e vertical empregando alta voltagem. Neste método a reação de formação do gel é catalisada e iniciada por sulfato ferroso, ácido ascórbico e peróxido de hidrogênio. A adaptação sugere o emprego de alta voltagem na corrida eletroforética, o que proporciona uma diminuição no tempo total de corrida, permitindo assim uma identificação mais rápida dos genótipos. Para evitar e controlar o aumento de temperatura do gel os autores sugerem a utilização de circulação de água refrigerada (à 7° C) no sistema. Utilizaram o sistema tampão de lactato de alumínio – ácido láctico ao invés de lactato de sódio.

A ciência das separações, em termos de instrumentação analítica, têm contemplado grandes avanços tecnológicos e, mais precisamente, os últimos dez anos, foram marcados pela implementação da grande técnica instrumental de separação, a eletroforese capilar. Na eletroforese capilar, a separação é conduzida em tubos com dimensões de 15 a 100 µm de diâmetro interno, e de 50 a 100 cm de comprimento, preenchidos com um eletrólito condutor, e submetidos à ação de um campo elétrico. O uso do capilar possibilita a dissipação eficiente do calor, gerado pela passagem de corrente elétrica, além de permitir o estabelecimento de campos elétricos elevados (100 a 500 V/cm) devido à sua alta resistência elétrica, proporcionando separações de alta eficiência, elevada resolução e tempos curtos de análise (TAVARES, 1997).

Recentemente, um instrumento que emprega métodos alternativos, nos quais os solutos separam-se rapidamente à altas voltagens em colunas capilares têm se tornado disponível. Usando tal instrumento têm-se separado com sucesso vários extratos de proteínas de reserva do trigo por eletroforese capilar. Os tipos de colunas, tampões, e condições de separação têm sido variadas e otimizadas para proporcionar separações rápidas e de elevada resolução. As separações são reproduzíveis e diferenciam variedades, além de serem rápidas, automáticas e os resultados facilmente quantificados. Desta forma, a

eletroforese capilar é uma técnica valiosa para análise protéica complementando qualquer outro método disponível de eletroforese e cromatografia, tendo um potencial como instrumento de rotina para a identificação de variedades de trigo e classificação, e para prever sua qualidade (BIETZ & SCHMALZRIED, 1992).

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais

##### 3.1.1. Matéria - Prima

No presente estudo foram avaliados 10 genótipos de trigo duro (*Triticum durum* L.) cultivados sob irrigação por aspersão, na tentativa de se obter variedades melhoradas geneticamente e adaptadas ao clima brasileiro, em especial no Estado de São Paulo.

Esses genótipos, a seguir relacionados, foram caracterizados nesse estudo, em comparação com uma amostra comercial de trigo duro canadense (*Canada Western Amber Durum* – C.W.A.D. n.1)

| GENÓTIPOS | GENEALOGIA                                                                               |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | IAC 1001 = Guil “S” = Meauca “S”//Jori “S”/Anhinga “S”/3/Pinguino”S”/Flamingo            |
| 2         | IAC 1002 = Graal = 61150/Leeds//Gallo “S”/3/Garza “S”/4/Mexicali “S”/5/ S-15 – Crane “S” |
| 3         | IAC 1003 = Gallareta “S” = Ruff “S”/Flamingo “S”//Mexicali 75/3/Shearwater “S”           |
| 4         | Winged “S”/Sacaba 81//Stiffail “S”                                                       |
| 5         | Stiffail “S”/Mexicali “S”                                                                |
| 6         | Altar 84 = Gallareta “S” = Ruff “S”/Flamingo “S”//Mexicali 75/3/Shearwater “S”           |
| 7         | Celta “S” Pelicano “S”/Ruff “S”//Gaivota “S”/Rolette                                     |
| 8         | Sula “S” = Shearwater/Redneck “S”//Yavaros “S”                                           |
| 9         | Scoter “S”/3/BD1814//BD/708/BD1543/4/Rokel “S”                                           |
| 10        | Yavaros “S” = Jori “S”/Anhinga “S”//Flamingo                                             |

##### 3.1.2. Reagentes

Nas determinações químicas foram utilizados reagentes de pureza analítica e de acordo com as especificações exigidas pelos métodos de análise empregados.





### 3.1.3. Equipamentos

Além da vidraria e aparelhos comuns de laboratório foram utilizados:

- Agitador horizontal de tubos BRABENDER;
- Alveógrafo modelo MA95 - CHOPIN
- Analisador de textura TAX T2 (Texture Analyser) com capacidade máxima de 25 kg e programas XT.RA Dimension e Texture Expert for windows versão 1.0 (Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey,
- Analisador de viscosidade RVA (Rapid Visco Analyser), modelo 3D+ com programa Thermocline forWindows, versão 1.10 (Newport Cientific Pty Ltd, 1996);
- Aparelho para determinação do peso hectolitro;
- Aparelho para eletroforese capilar modelo 3DCE, marca HEWLETT PACKARD;
- Aparelho PRODUTEST com peneiras de 20 mesh (850µm), 40 mesh (425µm), 60 mesh ((250µm), 80 mesh (180µm), 100 mesh (150µm) e fundo (< 150µm);
- Balança analítica METTLER-TOLEDO, modelo AB204, com capacidade máxima de 210 g;
- Balança para determinação de umidade por infravermelho AND (Digital moisture balance), modelo AD-4714;
- Balança semi-analítica METTLER-TOLEDO, modelo PB3002, capacidade máx. de 3100 g;
- Banho termostatzado Mult Temp III - PHARMACIA BIOTECH;
- Batedeira Planetária KITCHENAID PROFESSIONAL, modelo K45SS;
- Centrífuga FANEM, modelo 204-NR, com rotação de 0 a 6000 rpm ;
- Centrífuga refrigerada FANEM, modelo FR22, c/ adaptador de alta velocidade (até 16000 rpm);
- Densitômetro marca PHARMACIA – BIOTECH com software Image Master 1D ;
- Destilador de proteínas TECNAL, modelo TE036 – E (micro-Kjeldahl) e bloco digestor;
- Determinador de umidade semi-automático BRABENDER (Rapid moisture tester);
- Divisora BOERNER de amostras;
- Espectrofotômetro marca HUNTERLAB, modelo Color Quest II;
- Estufa com circulação de ar STABIL THERM – M. eletric company;
- Extrusora para massas PASTAIA com matriz teflonada para espaguete;
- Falling Number 1800 PERTEN;
- Fonte para eletroforese POWER PAC 3000 – BIORAD;
- Glutomatic 2200 PERTEN;
- Moinho de cones “Burr mill” acoplado ao sistema registrador DO-CORDER do extrusor de laboratório BRABENDER com rosca única, modelo 20 D/N – GNF 1014/2;
- Moinho de laboratório CHOPIN - modelo CD2 para moagem de grãos de *T. durum*;
- Moinho de laboratório TECNAL, modelo TE020;
- Mufla FLYEVER – FE30 microprocessada, modelo 2031;
- Potenciômetro digital DIGIMED, modelo DM20, com compensador de temperatura DMF-N1.Temperatura do potenciômetro regulável de 0 à 100°C e faixa de pH de 0 à 14;
- Purificador laboratorial de semolinas CHOPIN;
- Secador PROCTOR & SCHWARTZ adaptado com injeção de vapor e instrumentação para controle e registro das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido;
- Sistema de eletroforese vertical BIORAD, modelo Protean II xi cell;
- Ultracentrífuga refrigerada BECKMAN, modelo LB-M





### **3.2.1.3. Vitreosidade**

A vitreosidade dos grãos foi determinada visualmente em amostras de 20 gramas colocadas sob luz fluorescente. Foram considerados vítreos os grãos que observados contra a luz apresentaram 50% ou mais de translucidez. A vitreosidade foi expressa em porcentagem de grãos vítreos.

### **3.2.1.4. Teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SDS)**

Para esse teste utilizou-se farinhas integrais peneiradas em peneiras com abertura de 20 “mesh” (0,8 mm). Empregou-se os métodos de AXFORD et al. (1978) e o método 56-70 da AACC (1995) para a determinação dos volumes de sedimentação.

Segundo o método de AXFORD et al. (1978) transferiu-se 6 gramas de farinha peneirada (peneira 0,8 mm) para uma proveta graduada de 100 mL com tampa e acrescentou-se 50 mL de água destilada. Tampou-se a proveta e agitou-se três vezes por 15 segundos intercalando-se cada agitação com dois tempos de espera de 2 minutos. Adicionou-se 50 mL de SDS (dodecil sulfato de sódio) 2% e misturou-se o conteúdo invertendo-se a proveta quatro vezes. Inverteu-se novamente três vezes posteriores em intervalos de tempo de 2 minutos (após 2, 4 e 6 minutos) e adicionou-se 1 mL da solução de ácido láctico 85% : água (1:8 v/v). A proveta foi invertida quatro vezes e colocada em repouso por 20 minutos. Após esse tempo realizou-se as leituras dos volumes de sedimento em mL.

De acordo com o método 56 - 70 da AACC (1995) transferiu-se 6,3 gramas ( $\pm 0,02$ ) de amostra de farinha de grãos integrais de trigo duro para uma proveta graduada com tampa. Acrescentou-se 50 mL de água destilada e agitou-se vigorosamente por 10 segundos na posição horizontal. Continuou-se a agitação rapidamente alternando-se para a esquerda e direita por 5 segundos. Misturou-se no agitador mecânico por 10 minutos, desligou-se o mesmo mantendo-se a proveta na posição horizontal. Repetiu-se a agitação por 15 segundos após 2, 4 e 6 minutos mantendo-se a posição horizontal entre uma e outra. Adicionou-se 50 mL do reagente SDS(3%) – ácido láctico ( adicionar 20 mL de ácido láctico 1,2 N em 1 L de solução de SDS a 3%) e voltou-se novamente à agitação mecânica por 15 segundos

mantendo-se a proveta na posição horizontal. Misturou-se por 6 segundos após 2 e 4 minutos, colocou-se na posição vertical e após 20 minutos fez-se a leitura do volume sedimentado em mL.

### **3.2.2. Composição centesimal do grão**

#### **3.2.2.1. Umidade:**

Foi determinada por secagem em estufa a 130°C por 1 hora segundo o método 44 - 15A da AACC (1995).

#### **3.2.2.2. Proteína:**

Foi determinado o nitrogênio total pela técnica de Micro-Kjeldahl, método 46-13 da AACC (1995), usando-se o fator 5,7 para a conversão de nitrogênio em proteína.

#### **3.2.2.3. Cinzas:**

Foram calculadas após calcinação da amostra em mufla a 550°C até peso constante, segundo o método 08-01 da AACC (1995).

#### **3.2.2.4. Lipídios:**

Foram determinados os lipídios totais segundo o método de BLIGH & DYER (1959). As amostras com umidade superior a 10% foram secas. Posteriormente as amostras (3,0 g) foram colocadas em tubos de ensaio e tratadas com clorofórmio, metanol e água nas proporções 1:2:0,8 respectivamente e agitadas mecanicamente em agitador horizontal de tubos BRABENDER por 30 minutos. Após esse tempo adicionou-se clorofórmio e água (na proporção 1:1) e agitou-se os tubos vigorosamente. Os tubos foram deixados em repouso para a separação das camadas, sendo que a camada superior foi desprezada e a camada clorofórmica (contendo os lipídios) foi tratada com sulfato de sódio anidro para remoção de traços de água. Retirou-se então uma alíquota de 5 mL, que foi levada à estufa a 100°C até peso constante.

#### **3.2.2.5. Carboidratos:**

Foram determinados por diferença  $[100 - (\text{umidade} + \text{proteína} + \text{cinzas} + \text{lipídios})]$ .



### 3.2.3. Moagem

#### 3.2.3.1. Condicionamento

As amostras de trigos duros foram condicionadas a 17,5% de umidade segundo BOYACIOGLU et al. (1991). A quantidade de água destilada necessária para se atingir a umidade requerida foi calculada com base na umidade inicial da amostra, segundo a fórmula:

$$\text{Volume de água a ser adicionada em mL} = \left( \frac{100 - U_i}{100 - U_f} \right) - 1 \times m$$

onde:  $U_i$  = umidade inicial do material

$U_f$  = umidade final desejada

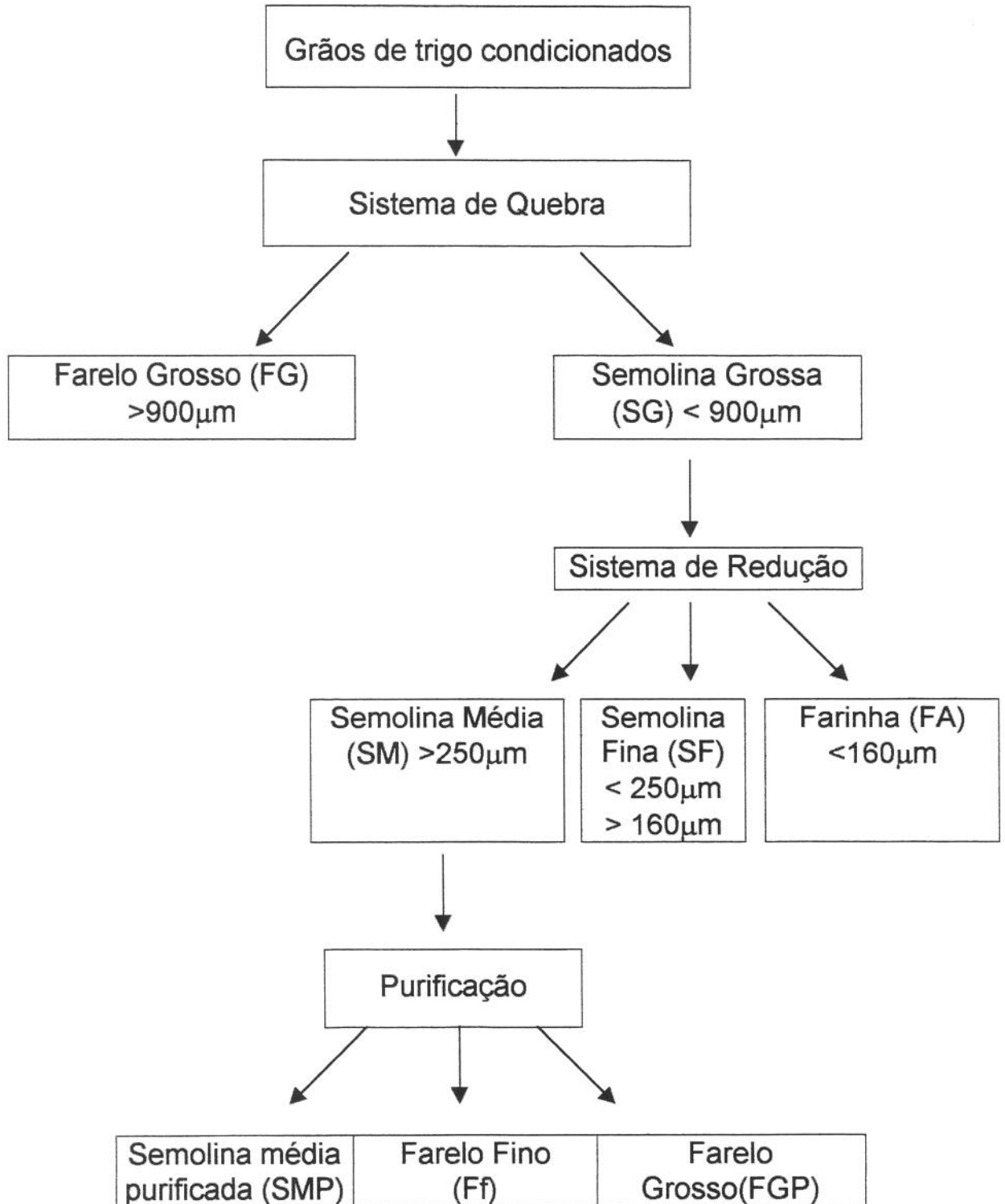
$m$  = massa em gramas de material a ser condicionado

O condicionamento dos grãos foi feito em batedeira planetária para uma melhor homogeneização e o volume de água destilada calculado foi adicionado gradualmente ao trigo, com o auxílio de uma bureta. Posteriormente o material foi colocado em sacos de polietileno, que foram selados e mantidos sob refrigeração por 24 horas para se atingir o equilíbrio.

#### 3.2.3.2. Moagem dos grãos

As amostras de trigos duros condicionadas foram moídas em moinho de laboratório para trigo duro da CHOPIN - modelo CD2 seguindo o procedimento do fabricante. Os grãos foram colocados no alimentador e submetidos ao sistema de quebra. Dessa forma duas principais frações foram obtidas: o farelo grosso (partículas com diâmetro maiores que 900  $\mu\text{m}$ ) e a semolina grossa (partículas com diâmetro menores que 900  $\mu\text{m}$ ). A semolina grossa foi colocada no alimentador do sistema de redução, obtendo-se assim três frações: a semolina média (partículas com diâmetro maiores que 250  $\mu\text{m}$ ), a semolina fina (partículas com diâmetro entre 160 e 250  $\mu\text{m}$ ) e a farinha (partículas com diâmetro menores que 160  $\mu\text{m}$ ). Após a moagem, a semolina média (a qual sai contaminada com partículas de farelo) foi levada para purificação em purificador para laboratório - CHOPIN (peneiras vibratórias com circulação de ar em contra corrente) obtendo-se assim uma semolina quase que livre de partículas de farelo.

Na **Figura 3** abaixo pode-se observar um fluxograma da moagem e purificação:



**Figura 3:** Fluxograma de moagem e purificação  
FONTE: Adaptado de BOYACIOGLU et al. (1991).



### **3.2.4. Caracterização físico-química da semolina**

#### **3.2.4.1. Granulometria:**

A distribuição do tamanho de partículas resultantes da moagem foi determinada segundo CUBADDA (1988) pelo tempo de 5 minutos (adaptado de MATSUO & DEXTER, 1980). Utilizou-se o aparelho PRODUTEST dotado de peneiras com as respectivas aberturas: 20 mesh (850  $\mu\text{m}$ ), 40 mesh (425  $\mu\text{m}$ ), 60 mesh (250  $\mu\text{m}$ ), 80 mesh (180  $\mu\text{m}$ ), 100 mesh (150  $\mu\text{m}$ ) e fundo (< 150  $\mu\text{m}$ ). Adicionou-se 100 gramas da amostra na primeira peneira e após 5 minutos de agitação constante realizou-se a pesagem de cada peneira, determinando-se assim as porcentagens das diferentes frações retidas nas mesmas.

#### **3.2.4.2. Composição química:**

A) Umidade: determinada segundo descrito anteriormente no item 3.2.2.1.

B) Proteína: determinada segundo descrito anteriormente no item 3.2.2.2.

C) Cinzas: determinadas segundo descrito anteriormente no item 3.2.2.3.

### **3.2.5. Caracterização Tecnológica da Semolina**

#### **3.2.5.1. Glúten úmido e seco:**

As porcentagens de glúten úmido e de glúten seco foram determinadas com o auxílio do sistema automático de lavagem de glúten GLUTOMATIC 2200 PERTEN. O equipamento compreende um misturador de massa combinado com um lavador de glúten, uma centrífuga, e um secador GLUTORK 2020 (KULKARNI et al., 1987). Empregou-se o procedimento citado por CUBADDA et al. (1992) para semolinas, colocando-se 10 gramas de amostra na câmara de lavagem (cilindro plástico onde se adaptam peneiras), e 4,8 mL de solução de cloreto de sódio a 2%. A amostra foi misturada por 20 segundos com essa solução e, em seguida foi lavada com a mesma solução à uma velocidade de fluxo de 50 – 60 mL / minuto. Programou-se o aparelho para 2 minutos iniciais de lavagem do glúten usando as peneiras de poliéster de 88  $\mu\text{m}$  e após esse tempo transferiu-se as amostras de glúten parcialmente lavados para as câmaras, usando peneiras de poliamida de 840  $\mu\text{m}$ , continuando-se a operação por mais 3 minutos, totalizando 5 minutos. Em seguida, o glúten

resultante foi centrifugado a 6000 r.p.m. por um minuto usando uma peneira metálica especial de 600 µm.

Após a pesagem, o glúten úmido (total) das semolinas foi colocado entre duas placas aquecidas do secador GLUTORK 2020 por 4 minutos a 150°C, obtendo-se assim uma lâmina fina de glúten, que é pesada e registrada como glúten seco.

#### **3.2.5.2. Índice de Glúten :**

Realizado segundo CUBADDA et al. (1992). Após o término do ciclo de lavagem no glutomatic, o glúten (previamente lavado) foi transferido para as peneiras especiais de 600 µm da centrífuga. Após centrifugação à 6000 r.p.m. por um minuto, retirou-se cuidadosamente todo o glúten que passou através da peneira com o auxílio da espátula de metal. Pesou-se essa fração e anotou-se o resultado. Posteriormente removeu-se todo o glúten que permaneceu na parte superior da peneira e pesou-se. Somou-se as duas frações obtendo-se o glúten total.

A porcentagem de glúten úmido remanescente na peneira é definido como índice de glúten e é calculado de acordo com a fórmula:

$$\text{Índice de Glúten} = \frac{\text{glúten que permaneceu na peneira (g)} \times 100}{\text{glúten total (g)}}$$

#### **3.2.5.3. Cor:**

A cor das semolinas foi determinada com o espectrofotômetro modelo Color Quest II da marca Hunter Lab, usando cubeta de vidro opticamente limpo, de caminho óptico de 10 mm, sendo realizadas 3 leituras na amostra. Porém como obteve-se apenas os valores finais (as médias), não foi possível a realização da análise estatística dos dados. O aparelho foi calibrado com padrões de calibração C6999 de março de 1996 (branco) e C 6999G de março de 1996 (cinza) segundo HUNTER ASSOCIATES LABORATORY, INC. (1996).

O modo de calibração foi o de reflectância especular incluída (RSIN), que não considera o brilho da amostra, e o sistema de leitura foi o Hunter Lab (**L**, **a**, **b**) com um iluminante D65 e ângulo de observação de 10 graus.

Comparou-se as amostras de semolinas com uma semolina considerada padrão de trigo duro canadense (*CWAD*).

### **3.2.5.4. Propriedades de resistência à extensão e de extensibilidade**

#### ***A) Avaliação pelo alveógrafo:***

Utilizou-se o alveógrafo marca CHOPIN modelo MA 95 para se determinar as características de extensibilidade e de resistência da massa ao trabalho de deformação. Apenas uma amostra (250 gramas) de semolina de cada genótipo foi utilizada para a avaliação no alveógrafo, em decorrência da pouca quantidade de cada genótipo.

O princípio de funcionamento é baseado na insuflação de ar (pressão constante) sob um pedaço de massa em forma de disco ocasionando sua expansão em forma de uma bolha de grande volume até que ocorra sua extensão total e consequente ruptura. A avaliação alveográfica foi feita na semolina de acordo com o método proposto por D'EGIDIO et al. (1990). Os principais parâmetros avaliados foram:

**W** = é a energia de deformação, que é obtida pela multiplicação da área sob a curva pelo fator 6,54 (constante do aparelho) e expressa em  $10^{-4}$  joules (J). Indica a força geral do glúten.

**P** = é a pressão máxima de ruptura ou tenacidade limite, expressa em mm, que é obtida pela multiplicação da altura média pelo fator 1,1. Indica a resistência à extensão (ao trabalho de deformação).

**G** = é o índice de expansão, é a raiz quadrada do volume de ar necessário para a ruptura da bolha da massa. É obtido através da escala padrão do aparelho.

**L** = é o comprimento médio, expresso em mm, desde o ponto onde inicia-se o inflamento até o ponto onde a bolha se rompe. Indica a extensibilidade da massa.

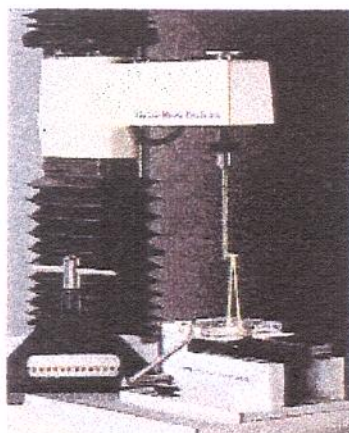




**P/L** = essa proporção dos valores P e L é um indicador aproximado da forma do gráfico (alveograma).

**B) Avaliação pelo analisador de textura:**

As características de extensibilidade do glúten das semolinas foram determinadas no analisador de textura TA.XT<sub>2</sub>, empregando-se o software XT.RA Dimension for DOS (Stable Micro Systems) e o probe SMS/KIEFFER DOUGH & GLÚTEN EXTENSIBILITY RIG, que pode ser observado na **Figura 4**.



**Figura 4** Analisador de textura TA.XT<sub>2</sub> com o probe SMS/KIEFFER DOUGH & GLUTEN EXTENSIBILITY RIG

FONTE: STABLE MICRO SYSTEMS (1996)

O glúten foi preparado no aparelho glutomatic, segundo a metodologia indicada por SMEWING (1995). Pesou-se 9,73 gramas de semolina e acrescentou-se 0,2 gramas de cloreto de sódio. Colocou-se na câmara apropriada com a peneira de 88  $\mu\text{m}$  e adicionou-se 6,2 mL de água destilada. Lavou-se por 2 minutos, transferiu-se para a câmara equipada com a peneira de 840  $\mu\text{m}$  e continuou-se a lavagem. Ao término das operações do glutomatic, removeu-se as amostras de glúten e transferiu-se para um tubo de centrífuga com o auxílio de uma espátula. Acrescentou-se um pouco de água destilada (em quantidade suficiente para cobrir as amostras) e centrifugou-se por 5 minutos a 5000 r.p.m. para retirar as bolhas de ar. Untou-se o molde e as lamettas do texturômetro com gordura vegetal hidrogenada, e colocou-se o glúten sobre as lamettas e a parte superior do molde. Apertou-

se e deixou-se em repouso a 30°C por 40 minutos. Após esse tempo realizou-se a leitura no texturômetro, determinando-se os parâmetros de resistência à extensão e extensibilidade do glúten. As condições empregadas no teste foram:

- ♦ Medida de força em tensão, com opção de retornar ao ponto inicial;
- ♦ Limiar de força = 100 g;
- ♦ Limiar de distância = 0,50 mm;
- ♦ Força de contato = 5,0 g
- ♦ Velocidade pré-teste = 2,0 mm/s;
- ♦ Velocidade teste = 3,3 mm/s;
- ♦ Velocidade pós-teste = 10 mm/s;
- ♦ Distância = 170 mm

Os resultados referentes à força máxima (resistência à extensão ou tenacidade) foram expressos em gramas (g) e representam a média aritmética de 5 determinações para cada amostra. Os dados obtidos em relação à distância (extensibilidade) foram expressos em centímetros (cm) e representam a média aritmética de 5 determinações para cada amostra de um mesmo lote. Dessa forma, devido à pouca quantidade de amostra não foram feitas repetições e a análise estatística dos dados.

#### **3.2.5.5. Atividade diastática:**

A atividade diastática (da enzima  $\alpha$ -amilase) foi determinada no aparelho Falling Number / PERTEN, em duplicata, segundo o método 56-81 B da AACC (1995) empregando-se 7g de amostra de semolina corrigida para 14% de umidade, adicionada de 25 mL de água destilada e agitada vigorosamente antes de ser colocada no aparelho.

#### **3.2.5.6. Contagem de pontos pretos e de partículas de farelo:**

A amostra de semolina foi espalhada em uma superfície plana e achatada com uma espátula. Uma placa de vidro quadrada, dividida em quatro quadrantes foi colocada sobre a amostra. A contagem foi realizada visualmente, no quadrante que apresentava maior quantidade de pontos escuros e de partículas de farelos e o resultado foi obtido multiplicando-se o valor do quadrante por quatro. Os resultados representam a média de duas determinações e são expressos números de partículas por 50 cm<sup>2</sup>, segundo DEXTER & MATSUO (1982), DEXTER et al. (1994).

Em decorrência da pouca quantidade de amostras foram realizadas duas determinações de um mesmo lote de semolina e, portanto não foi possível a análise estatística dos dados.

### **3.2.5.7. Características de pasta do amido :**

As características de pasta do amido das semolinas foram determinadas utilizando-se o analisador rápido de viscosidade (R.V.A. – Rapid Visco Analyser), acoplado ao programa Thermocline for Windows – versão 1.10.

Pesou-se 3,5 gramas de amostra e adicionou-se 25 mL de água destilada com o auxílio de uma bureta (valores corrigidos para 14% de umidade) em copo especial do aparelho de folha de alumínio, em duplicatas. A dispersão foi agitada com um bastão de vidro, inserida a paleta apropriada e acoplou-se ao aparelho.

Em decorrência da pouca quantidade de amostras foram realizadas duas determinações de um mesmo lote de semolina e, portanto não foi possível a análise estatística dos dados.

O teste foi iniciado utilizando-se o perfil sugerido para semolinas de trigo duro (NEWPORT CIENTIFIC, 1995), o qual pode ser observado na **Tabela 4**.

**Tabela.4** Perfil utilizado para determinação dos parâmetros de viscosidade

| TEMPO<br>(hora : min.: seg.)   | TIPO<br>(temperatura/velocidade) | VALOR<br>(°C ou rpm) |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 00:00:00                       | temperatura                      | 50                   |
| 00:00:00                       | velocidade                       | 960                  |
| 00:00:00                       | velocidade                       | 160                  |
| 00:01:00                       | temperatura                      | 50                   |
| 00:04:45                       | temperatura                      | 95                   |
| 00:07:15                       | temperatura                      | 95                   |
| 00:11:00                       | temperatura                      | 50                   |
| Final do teste: 00:13:00       |                                  |                      |
| Temperatura inicial: 50±0,5 °C |                                  |                      |

Os resultados das análises foram interpretados a partir dos gráficos fornecidos pelo programa do aparelho. Os parâmetros usados neste trabalho para a interpretação dos resultados foram:

- ♦ *Temperatura de pasta*: temperatura em °C que corresponde ao ponto onde inicia-se a formação de curva no gráfico;

- ♦ *Tempo de viscosidade máxima*: tempo de aquecimento no qual a viscosidade máxima de pasta ocorreu, expresso em minutos;
- ♦ *Viscosidade máxima*: viscosidade máxima desenvolvida durante o período de aquecimento, expressa em RVU;
- ♦ *Viscosidade mínima à temperatura constante (95°C)*: é o menor valor da viscosidade, após ter sido atingida a temperatura constante de 95°C, expressa em RVU;
- ♦ *Viscosidade final*: valor da viscosidade, obtido no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C, expressa em RVU.

### 3.2.6.: Eletroforese de gliadinas

#### **3.2.6.1.: Eletroforese em gel de poliacrilamida em sistema tampão ácido (A – PAGE):**

A eletroforese em géis de poliacrilamida na presença de ácido láctico, denominada A-PAGE, é comumente usada para analisar as gliadinas, fração das proteínas de reserva do trigo solúveis em etanol. O gel é formado pela co-polimerização de acrilamida e bis-acrilamida. A-PAGE pode ser usada de duas formas: um sistema descontínuo, com um gel de separação e outro de corrida; ou um sistema contínuo, com um único gel.

Foram realizadas corridas eletroforéticas em géis de poliacrilamida em sistema tampão lactato de alumínio – ácido láctico pH 3,1 (A – PAGE), empregando-se o sistema contínuo, de acordo com as metodologias propostas por BUSHUK & ZILLMAN (1978), TKACHUK & MELLISH (1980), KHAN et al., (1985).

#### **• Moagem das amostras:**

Os grãos integrais de trigos duros, do trigo duro padrão canadense (*C.W.A.D.*) e do trigo padrão para eletroforese de gliadinas, o trigo comum (*C.W.R.S.* genótipo *Marquis*), foram desintegrados e moídos com a utilização de almofariz e pistilo, conforme descrito por BUSHUK & ZILLMAN (1978), que afirmam não ser necessário a separação da casca ou gérmen.

● Extração das gliadinas:

A extração das gliadinas foi realizada utilizando uma dispersão de farinha integral em uma solução de etanol a 70% em água. A proporção de farinha integral para solução de etanol foi de 1:3 (p/v). Os tubos contendo a dispersão foram agitados no agitador horizontal de tubos BRABENDER por uma hora à temperatura ambiente. Em seguida foram centrifugados em ultracentrífuga BECKMAN LB - M a 20.000 g por seis minutos a 4°C. O sobrenadante foi removido, obtendo-se assim o extrato protéico contendo as gliadinas. Esses extratos protéicos foram guardados em frascos selados em um refrigerador, por várias semanas, de acordo com BUSHUK & ZILLMAN (1978), que não observaram alterações nos eletroforegramas para extratos estocados nessas condições.

● Preparo de Soluções:

a) Solução de acrilamida / bis-acrilamida (2,5 vezes concentrada):

Pesou-se 17,5 gramas de acrilamida e 0,625 gramas de bis-acrilamida (N,N'-methylene-bis-acrylamide) em balança analítica, adicionou-se um pouco de água deionizada e agitou-se com agitador magnético acrescentando-se mais água até sua completa dissolução. Completou-se o volume para 100 mL em balão volumétrico com água deionizada, filtrou-se e estocou-se no refrigerador, até o momento de uso (não ultrapassar o período de um mês). A solução foi estocada em frasco revestido com papel alumínio para protegê-la da ação da luz.

b) Solução tampão concentrada (25 vezes):

Pesou-se em balança analítica 15,625 gramas de lactato de alumínio, e acrescentou-se água deionizada para sua dissolução. Posteriormente, acrescentou-se 18,75 mL de ácido láctico (85%) e completou-se o volume para 250 mL em balão volumétrico com água deionizada.

Filtrou-se e estocou-se em refrigerador até o momento de uso.

c) Solução tampão diluída:

Retirou-se a solução tampão estoque (b) do refrigerador e preparou-se a solução tampão diluída no dia de uso. Misturou-se bem 80 mL de solução tampão concentrada e água deionizada, completando o volume para 2 litros de solução. Verificou-se o pH e não houve necessidade de ajustá-lo para 3,1. Esse tampão foi utilizado no eletrodo, na cuba, e para diluir os extratos contendo as amostras.

d) Solução de sulfato ferroso:

Utilizou-se 0,08 gramas de sulfato ferroso pesadas em balança analítica e completou-se para 100 mL com água deionizada. Esta solução foi preparada no dia de uso.

e) Solução de peróxido de hidrogênio a 3%:

Misturou-se 3 mL de peróxido de hidrogênio a 30% com 27 mL de água deionizada e obteve-se 30 mL de solução de peróxido de hidrogênio a 3%. Esta solução foi preparada no momento de uso.

f) Solução Corante:

Pesou-se 120 gramas de ácido tricloroacético em balança semi-analítica e completou-se o volume para um litro com água deionizada, obtendo-se uma solução a 12%. Essa solução foi preparada no dia de uso.

Pesou-se em balança analítica 0,25 gramas de Azul Brilhante de Coomassie R-250 e acrescentou-se etanol preparado a 95% aos poucos, sob agitação constante, até sua completa dissolução. Completou-se o volume para 50 mL com etanol a 95% obtendo-se uma solução de Azul Brilhante de Coomassie R-250 a 0,5% em etanol 95%.

Misturou-se 950 mL de solução de ácido tricloroacético a 12% com 50 mL da solução de Azul Brilhante de Coomassie R-250 a 0,5% em etanol 95%, obtendo-se um litro de corante para géis contendo as proteínas gliadinas.



• Preparo do Gel:

Para o preparo do gel, utilizou-se um béquer de 100 mL, onde se adicionou as soluções na sequência: solução de acrilamida/bis-acrilamida, solução de tampão concentrado, solução de sulfato ferroso, ácido ascórbico (préviamente dissolvido em um pouco de água deionizada), completando-se o volume para 80 mL com água deionizada. Colocou-se o béquer no freezer até que a solução do gel atingisse 0°C (o que levou aproximadamente 15 minutos). Esta etapa é necessária pois com a adição da solução de peróxido de hidrogênio, que é a solução catalisadora, ocorre desprendimento de calor e o gel pode se polimerizar no próprio béquer. Em seguida acrescentou-se a solução de peróxido de hidrogênio e verteu-se a solução do gel na placa (préviamente montada), de forma rápida pois a polimerização acontece quase que instantaneamente. Deve-se, entretanto, evitar a formação de bolhas.

Colocou-se o pente de acrílico de 15 canaletas e aguardou-se a completa polimerização.

Na **Tabela. 5**, encontram-se as soluções e as respectivas quantidades empregadas para a elaboração de 80 mL de solução de gel.

**Tabela 5.** Soluções para o preparo do gel com as respectivas quantidades.

| SOLUÇÕES (para fazer géis a 7% acrilamida)                       | QUANTIDADE PARA 80 mL DE GEL |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| SOLUÇÃO DO GEL                                                   |                              |
| Acrilamida/bis-acrilamida (a)                                    | 32 mL                        |
| Tampão concentrado (b)                                           | 3,1 mL                       |
| Sulfato ferroso (d)                                              | 0,8 mL                       |
| Ácido ascórbico                                                  | 20 mg                        |
| Água deionizada                                                  | Completar para 80 mL         |
| SOLUÇÃO CATALISADORA                                             |                              |
| Peróxido de hidrogênio (e)                                       | 60 µL                        |
| SOLUÇÃO TAMPÃO DE CORRIDA                                        |                              |
| Solução tampão de lactato de alumínio - Ácido láctico pH 3,1 (c) | 2 L                          |



• Preparo do extrato para aplicação no gel:

Uma alíquota de um mililitro (mL) do extrato proteico (sobrenadante obtido após a centrifugação) foi misturado com o mesmo volume de solução tampão de eletroforese, contendo 65% de sacarose (TKACHUK & MELLISH, 1980), e 3% do corante verde de metila (KHAN et al., 1985). Tomou-se 20µL dessa mistura contendo amostra e diluiu-se com 5µL de solução tampão. Desses 25µL, aplicou-se 15µL para todas as amostras estudadas.

• Aplicação das amostras:

Depois de polimerizado o gel, retirou-se cuidadosamente o pente de acrílico e cada uma das 15 canaletas formadas foi preenchida com a solução tampão diluída.

Os extratos protéicos contendo as amostras (15µL) foram depositados dentro das canaletas no gel, com o auxílio de uma microseringa. Devido à sua maior densidade assentam uniformemente no fundo das canaletas, deslocando a solução tampão (BUSHUK & ZILLMAN, 1978).

A aplicação dos extratos no gel, obedeceu a seguinte sequência:

Canaleta 2 - Extrato proteico de trigo comum genótipo *C.W.R.S "MARQUIS"* (padrão)

Canaleta 3 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 6

Canaleta 4 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 8

Canaleta 5 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 4

Canaleta 6 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 7

Canaleta 7 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 2

Canaleta 8 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 1

Canaleta 9 - Extrato proteico de trigo duro genótipo "*C.W.A.D*"

Canaleta 10 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 10

Canaleta 11 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 3

Canaleta 12 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 9

Canaleta 13 - Extrato proteico de trigo duro genótipo 5

Canaleta 15 - Extrato proteico de trigo comum genótipo *C.W.R.S "MARQUIS"* (padrão)

As canaletas 1 e 14 não foram utilizadas.

• Eletroforese:

Depois de aplicadas as amostras, a placa (de dimensões 20 cm largura e 22 cm de comprimento) contendo o gel ( de 1 mm de espessura) foi acoplada ao suporte e levada para a cuba. Adicionou-se a solução tampão diluída de forma a cobrir os eletrodos, e o restante dessa solução foi colocada na parte interna inferior da cuba.

Conectou-se as mangueiras de entrada e saída de água do banho termostatzado MULT TEMP III – PHARMACIA BIOTECH ao suporte contendo o gel, esperou-se a água circulante atingir a temperatura de 8 °C e então, conectou-se os eletrodos e ligou-se à fonte POWER PAC 3000 – BIORAD.

A corrida eletroforética foi feita no aparelho para eletroforese vertical da BIORAD, modelo Protean II xi cell, com a polarização dos eletrodos invertida, ou seja, do polo positivo para o polo negativo, sendo que o eletrodo no final do gel foi o anodo (BUSHUK & ZILLMAN, 1978).

As condições iniciais usadas para a eletroforese foram:

- |                                        |                           |
|----------------------------------------|---------------------------|
| ♦ Corrente Constante de 45 mA por gel; | ♦ Potência de 46 W;       |
| ♦ Voltagem de 1026 V                   | ♦ Banho circulante à 8 °C |

A corrida eletroforética teve a duração de cinquenta e cinco minutos. Durante esse tempo, as albuminas e globulinas contaminantes (que foram extraídas pela solução etanólica junto com as gliadinas), correm mais rápido, saindo para fora do gel, deixando somente as gliadinas separarem-se sobre o gel (BUSHUK & ZILLMAN, 1978).

• Coloração:

Ao término da corrida eletroforética, o gel foi cuidadosamente retirado de uma das placas e colocado para corar na solução alcoólica de Azul Brilhante de Coomassie R-250 a 0,5% em ácido tricloroacético a 12%, permanecendo assim durante a noite. Após esse tempo, retirou-se a solução corante, lavou-se o gel com água deionizada contendo 2 gotas de triton x-100 e posteriormente apenas com água deionizada por duas vezes.

- Fotografia:

O gel colorido, ainda sobre uma das placas, foi retirado da água e colocado sobre um suporte com luz fluorescente e fotografado com a câmara fotográfica Pentax – K 1000, com lente de 100 mm, contendo o filme T – max (branco e preto) ASA 100, Kodak.

- Análise densitométrica:

Realizou-se a análise densitométrica do gel revelado, no densitômetro PHARMACIA BIOTECH acoplado ao software Image Master 1 D. Determinou-se, dessa forma, a intensidade das bandas proteicas de cada genótipo e as suas respectivas mobilidades no gel.

### **3.2.6.2.:Eletroforese capilar:**

A eletroforese capilar foi realizada no aparelho HEWLETT PACKARD 3DCE, tridimensional, com detector de diodos. Utilizou-se capilar de sílica fundido de 64 cm de comprimento, sendo seu comprimento efetivo de 56 cm (até o detector), e o seu diâmetro interno de 50 µm.

- Moagem das amostras:

Os grãos integrais de trigo duro, do trigo duro padrão canadense (*C.W.A.D.*) e do trigo padrão para eletroforese de gliadinas, o trigo comum (*C.W.R.S. Marquis*) foram desintegrados e moidos com a utilização de almofariz e pistilo, conforme descrito na eletroforese em gel.

- Extração das gliadinas:

A extração das gliadinas foi realizada utilizando uma dispersão de farinha integral em uma solução de etanol a 70% em água. A proporção de farinha integral para solução de etanol foi de 1:3 (p/v).

Os tubos foram agitados no agitador horizontal de tubos BRABENDER por uma hora à temperatura ambiente. Em seguida foram centrifugados em centrífuga FANEM, modelo

204-NR, por 10 minutos a 3000 r.p.m.. O sobrenadante foi removido, obtendo-se assim o extrato proteico clarificado contendo as gliadinas. Esses extratos protéicos foram guardados em frascos selados em um freezer a  $-18^{\circ}\text{C}$  por uma semana.

- Preparo do extrato para injeção:

Todos os extratos e reagentes foram filtrados através de filtros com poros de  $0,45\ \mu\text{m}$  (da MILLIPORE), e colocados nos frascos com tampas apropriados do aparelho, antes de serem injetados.

- Eletroforese Capilar (HPCE):

Todas as separações foram feitas a voltagem constante de 22 kV;  $25,6\ \mu\text{A}$  de corrente, e 0,6 W de potência, à temperatura de  $45\ ^{\circ}\text{C}$ , de acordo com o trabalho de LOOKHART & BEAN (1995).

O tampão utilizado foi o tampão fosfato 50 mM pH 2,5 (próprio para HPCE), contendo hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). Utilizou-se  $150\ \mu\text{L}$  de uma solução de HPMC a 1% em água e completou-se para 3 mL com tampão fosfato. Foram usados  $0,25\ \text{nL}$  (nanolitros) de amostra para injeção.

Injetou-se entre uma amostra e outra uma solução de NaOH a 0,1 N (própria para HPCE), para a limpeza do capilar.

As proteínas foram detectadas e quantificadas por absorbância a 200 nm.

### **3.2.7. Avaliação da Qualidade das Pastas:**

#### **3.2.7.1. Processamento do espagete**

- Mistura:

Farinha e água foram misturadas usando-se o sistema de mistura da máquina para produção de pasta marca PASTAIA 2. A 1 kg de semolina adicionou-se 30% de seu peso de água destilada. Adicionou-se a água aos poucos e a mistura foi amassada pela ação de várias pás giratórias por um tempo de 10 minutos.

- Extrusão:

Após a fase de mistura, alterou-se a posição do botão da PASTAIA para a posição de extrusão. A mistura foi conduzida, através de uma rosca sem fim, ao canhão de extrusão que foi revestido externamente com gelo, para evitar o aquecimento da massa.

A massa formada pela mistura semolina e água foi extrusada, utilizando-se uma matriz apropriada para espaguete, cujos orifícios eram recobertos com teflon.

Em seguida, o espaguete foi cortado com tesoura, pendurado em varetas metálicas, tendo os fios separados, e, posteriormente conduzidos à secagem.

- Secagem:

As varetas com o espaguete foram colocadas no Secador PROCTOR & SCHWARTZ, adaptado com injeção de vapor e instrumentação, para controle e registro das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido.

Empregou-se o sistema de secagem à alta temperatura no início do processo (ATI), segundo a metodologia proposta por LEITÃO et al., (1989), ligeiramente modificada. O diagrama de secagem utilizado pode ser observado na **Tabela 6**.

**Tabela 6 .** Diagrama de Secagem dos Espaguetes.

| FASES            | TEMPO (h) | TBs (°C) | Tbu (°C) | UR (%) |
|------------------|-----------|----------|----------|--------|
| 1                | 2,5       | 75       | 73       | 92     |
| 2                | 0,5       | 55       | 53       | 89     |
| 3                | 0,5       | 45       | 43       | 88     |
| 4 (resfriamento) | 1,0       | —        | —        | —      |

Após o término da fase de resfriamento (ventilação), o macarrão permaneceu no interior do secador (desligado) até o dia seguinte, quando então foi retirado das varetas e colocado em sacos plásticos de polietileno.

Realizou-se a determinação da umidade final do espaguete, tomando-se uma amostra da porção média dos fios, desprezando-se as extremidades. O teste foi feito em

triplicata, com 5 gramas de amostra previamente triturada em almofariz e pistilo, levada à estufa circular BRABENDER, por uma hora à 130°C, segundo o método 44 - 15A da AACC (1995).

### **3.2.7.2. Caracterização Tecnológica**

#### **A) Determinação de cor:**

A cor dos espaguetes foi determinada com o espectrofotômetro modelo Color Quest II da marca HUNTER LAB, colocando-se feixes de espagete na porta de leitura, de modo a não permitir perdas de luz. Para cada repetição, mudou-se de posição, de forma a ter o menor espaço livre disponível. As leituras foram feitas em triplicata. Porém como o equipamento forneceu-nos apenas os valores finais (as médias), não foi possível a realização da análise estatística dos dados.

O aparelho foi calibrado com padrões de calibração C6999 de março de 1996 (branco) e C 6999G de março de 1996 (cinza) segundo HUNTER ASSOCIATES LABORATORY, INC. (1996).

O modo de calibração foi o de reflectância especular incluída (RSIN), que não considera o brilho da amostra, e o sistema de leitura foi o Hunter Lab (L, a, b) com um iluminante D65 e ângulo de observação de 10 graus.

Comparou-se as amostras de espaguetes de semolinas de trigos duros nacionais com um espagete considerado como padrão de semolina de trigo duro canadense (*CWAD*).

#### **B) Qualidade de Cocção:**

As características de cocção dos espaguetes foram avaliadas pelo teste de cozimento, usando-se 25 gramas de espagete (cortado em pedaços de 5 cm de comprimento) em 300 mL de água destilada em ebulição, segundo o método 16-50 da AACC (1995). O teste foi feito em triplicata.

Foram determinados os seguintes parâmetros:

- Tempo ótimo de cozimento:

Definido como o tempo necessário para desaparecer a cor branca no eixo central do espaguete. Determinado, removendo-se um pedaço de espaguete da água em ebulição a intervalos de 30 segundos, resfriando-o e comprimindo-o entre duas placas de acrílico (pinça apropriada). Verificou-se o seu formato, e, quando o hilo central desapareceu, marcou-se o tempo de cozimento.

- Aumento de peso:

Foi determinado pela pesagem de 25 gramas de amostra crua após a cocção no seu tempo ótimo. Calculou-se a diferença de peso entre a amostra crua e cozida e os resultados foram expressos em número de vezes que o peso aumentou.

- Aumento de volume:

Determinou-se o volume de 25 gramas da amostra crua pelo deslocamento de solvente em proveta. Submeteu-se a amostra à cocção (tempo ótimo) e após a drenagem da água de cocção, repetiu-se a operação para a determinação do volume da amostra cozida.

A diferença de volume entre as amostras cruas e cozidas foi calculada, e os resultados expressos em número de vezes que o volume aumentou.

- Resíduo na água de cocção:

Definido como a quantidade de sólidos perdidos durante o cozimento. Quando o tempo ótimo de cocção foi alcançado, a amostra foi drenada em um funil de Buchner, e lavada por 30 segundos com 50 mL de água destilada. Coletou-se a água de cocção e de lavagem em um béquer de 500mL (previamente tarado) e levou-se para uma estufa com circulação de ar a 100°C. O tempo para a completa secagem até peso constante foi de aproximadamente 20 horas. Os bequeres foram resfriados em dessecador e pesados com precisão de duas casas decimais.



A porcentagem de resíduos foi obtida multiplicando-se a diferença de peso dos bequeres por 4, de acordo com o método 16-50 da AACC (1995).

### C) Determinação de Textura

A textura do espaguete cozido foi analisada objetivamente utilizando-se o analisador de textura TA.XT<sub>2</sub>, empregando-se o software Texture Expert for Windows versão 1.0 (Stable Micro Systems).

#### Teste de compressão (Dureza e Adesividade)

Esse teste foi realizado segundo a metodologia recomendada no manual do aparelho ( Manual TA.XT2 Operating Manual version 6.10 e 7.10 – 15 August 1997 REF N002/P35). Empregou-se o probe cilíndrico de 35 mm (P/35), e, as condições empregadas no teste foram:

- |                                                                          |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| ♦ Medida de força em compressão, com opção de retornar ao ponto inicial; | ♦ Velocidade pré-teste = 2,0 mm/s |
| ♦ Taxa de compressão = 75%                                               | ♦ Velocidade teste = 2,0 mm/s;    |
| ♦ Força de Contato = 10,0 g                                              | ♦ Velocidade pós-teste = 2,0 mm/s |

O cozimento do espaguete em porções de 12,5 gramas com 26 cm de comprimento foi feito em 150 mL de água destilada, empregando-se o tempo ótimo de cocção de cada genótipo. Após esse tempo, lavou-se com água destilada fria (50 mL), drenou-se a água, e os fios de espaguete permaneceram sobre uma peneira, dentro de um recipiente com tampa, por 15 minutos. Realizou-se o teste com 3 fios de espaguete sendo colocados juntos, fixos, que foram assim submetidos à compressão. Foram feitas 10 leituras de cada amostra. Porém, como as leituras foram feitas da mesma porção de espaguete cozido, devido à pouca quantidade de amostra, não foram feitas repetições e consequentemente, a análise estatística dos dados.

Os resultados foram obtidos através da interpretação dos gráficos força (grama) versus tempo (segundos), sendo a dureza interpretada como a força máxima (eixo y) e a adesividade como a área negativa sob o gráfico (eixo x).

### Teste de tensão

Esse teste foi realizado segundo a metodologia recomendada no manual do aparelho (Manual TA.XT2 Operating Manual version 6.10 e 7.10 – 15 August 1997 REF N001/SPR). Empregou-se o probe com garras para tensão de espaguete (A/SPR) e, as condições empregadas no teste foram:

- ♦ Medida de força em tensão, com opção de retornar ao ponto inicial;
- ♦ Força de Contato = 5,0 g;
- ♦ Distância = 100mm;
- ♦ Velocidade pré-teste = 3,0 mm/s;
- ♦ Velocidade teste = 3,0 mm/s;
- ♦ Velocidade pós-teste = 5,0 mm/s

O cozimento do espagete em porções de 25 gramas com 26 cm de comprimento foi feito em 300 mL de água destilada, empregando-se o tempo ótimo de cocção de cada genótipo. Após esse tempo, lavou-se com água destilada fria (50 mL), drenou-se a água, e os fios de espagete permaneceram sobre uma peneira, dentro de um recipiente com tampa, por 15 minutos. Realizou-se o teste colocando-se os fios de espagete individualmente, fixando as extremidades do fio nas garras superior e inferior do probe com ao menos duas voltas no mesmo, a fim de que o fio não se soltasse.

Foram feitas 10 leituras de cada amostra. Porém, como as leituras foram feitas da mesma porção de espagete cozido, devido à pouca quantidade de amostra, não foram feitas repetições e consequentemente, a análise estatística dos dados.

Nesse teste o valor da força máxima para se atingir o estress fornece uma indicação da resistência da amostra à quebra, enquanto que a distância de quebra indica a extensibilidade da amostra, conforme SMEWING (1997).

Os resultados foram obtidos através da interpretação dos gráficos força (grama) versus tempo (segundos). Aplicou-se força até que o fio de espagete se rompeu, sendo determinado dessa forma a sua resistência máxima à extensão, através do valor de força máxima obtido em gramas. Quando o fio de espagete se rompeu registrou-se o tempo (em segundos) e a respectiva distância de quebra (obtida em milímetros).



### **3.3 Métodos Estatísticos**

Para a avaliação dos resultados de caracterização dos grãos, semolinas e espaguetes, utilizou-se o programa STATISTICA (STATISTICA for windows, 1995).

#### **3.3.1. Análise de Variância**

Os resultados obtidos dos testes realizados em triplicata com o grão, semolina e espaguete, foram submetidos às análises de variância (ANOVA/MANOVA) e determinada a significância pelo emprego do teste F ( $p \leq 0,05$ ).

#### **3.3.2. Teste de Tukey**

Para a comparação das médias das diferentes amostras estudadas, foi aplicado o teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

#### **3.3.3. Correlação**

Foram calculadas as correlações lineares múltiplas entre todos os resultados de testes, empregando-se o grão, semolina e espaguete dos onze genótipos estudados.



## 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização físico-química do grão:

Os critérios utilizados nesse estudo para a avaliação da qualidade do trigo foram o peso hectolitro(kg/hL), a dureza (kgm), a vitreosidade (%) e o volume de sedimentação (mL) dos grãos. Os resultados estão apresentados na **Tabela 7**.

**Tabela 7. Análises físico-químicas dos genótipos**

| <b>GENÓTIPOS</b> | <b>PESO<br/>HECTOLITRO<br/>(kg/hL)</b> | <b>DUREZA<br/>(kgm)</b> | <b>VITREOSIDADE<br/>(% de grãos<br/>vitreos)</b> | <b>TESTE DE<br/>SEDIMENTAÇÃO<br/>(volume em mL)</b> |                        |
|------------------|----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|
|                  |                                        |                         |                                                  | <b>AXFORD<br/>et al<br/>(1978)</b>                  | <b>AACC<br/>(1995)</b> |
| <b>1</b>         | 84,09 d                                | 2152,08 a,b,c           | 78,13 b                                          | 19,67 f,g                                           | 21,33 f                |
| <b>2</b>         | 84,18 d                                | 2170,83 a,b,c           | 85,75 a,b                                        | 21,50 e,f                                           | 23,50 e                |
| <b>3</b>         | 86,31 b,c                              | 1839,58 d,e             | 84,58 a,b                                        | 24,33<br>c,d,e                                      | 25,83b,c,d             |
| <b>4</b>         | 87,03 a,b                              | 2329,17 a,b             | 75,13 b,c                                        | 12,00 h                                             | 19,17 g                |
| <b>5</b>         | 84,87 d                                | 1945,83 c,d,e           | 90,47 a                                          | 27,50 b                                             | 24,17 d,e              |
| <b>6</b>         | 86,94 a,b                              | 2012,50 c,d,e           | 76,88 b                                          | 24,67<br>b,c,d                                      | 27,67 a,b              |
| <b>7</b>         | 87,06 a,b                              | 2356,25 a,b             | 89,63 a                                          | 17,50 g                                             | 20,67 f,g              |
| <b>8</b>         | 87,87 a                                | 2435,42a                | 84,92 a,b                                        | 23,33 d,e                                           | 25,83b,c,d             |
| <b>9</b>         | 85,39 c,d                              | 2187,50 a,b,c           | 79,90 a,b                                        | 22,83 d,e                                           | 25,50 c,d              |
| <b>10</b>        | 85,11 c,d                              | 2087,50 b,c,d           | 82,72 a,b                                        | 32,00 a                                             | 29,17 a                |
| <b>11</b>        | 87,36 a,b                              | 1756,25 e               | 64,45 c                                          | 26,50 b,c                                           | 26,67 b,c              |

Os resultados representam a média de três determinações e o erro padrão da média para a variável peso hectolitro foi 0,26; para a variável dureza foi 58,83; para a variável vitreosidade foi 2,20; para a variável teste de sedimentação segundo AXFORD et al.(1978) foi 0,56 e segundo A.A.C.C. (1995) foi 0,37.

Letras diferentes nas colunas mostram que as médias diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )





#### 4.1.1 Peso Hectolitro (kg/hL):

Os resultados obtidos para o peso hectolitro (P.H.) variaram de 84,09 a 87,87 kg/hL para os genótipos estudados (1 a 10) enquanto que a amostra comercial de trigo duro canadense (*CWAD*) apresentou o valor de 87,36 kg/hL.

TROCCOLI & di FONZO (1999) caracterizando 16 cultivares comerciais de trigos duros plantados em diferentes locais ao sul da Itália, com o objetivo de avaliar se alguns parâmetros dos grãos poderiam ser relacionados ao teste de peso hectolitro (P.H.), encontraram valores de P.H. que variaram entre 79 a 84,1 kg/hL.

Em comparação com os resultados alcançados em nossa pesquisa pode-se observar que o menor valor de P.H. (84,09 kg/hL para o genótipo 1), foi praticamente o valor máximo alcançado no trabalho acima citado.

Os genótipos que apresentaram maior valor numérico para o peso hectolitro (P.H.) tais como: 4, 6, 7, 8 e 11(*CWAD*) não apresentaram diferença estatisticamente significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Porém, observou-se pela aplicação do mesmo teste, que o genótipo 8 diferiu estatisticamente dos genótipos 1, 2, 3, 5, 9, 10.

Pode-se constatar também que os genótipos 1, 2, 5, 9 e 10 formam um outro grupo onde não foi encontrada diferença estatisticamente significativa.

Verificou-se ainda, através da aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade, que o genótipo 3 não apresentou diferença estatisticamente significativa em relação a dois genótipos (9 e 10) do grupo de menor valor numérico e, em relação a quatro genótipos (4, 6, 7 e 11) pertencentes ao grupo de maior valor numérico.

Os resultados obtidos ultrapassaram o limite mínimo de 78 kg/hL estabelecido pela Comunidade Econômica Européia para a especificação de trigos duros (*Triticum durum*, L), citado por CUBADDA (1988).

Em comparação com o trabalho de MATSUO & DEXTER (1980) que encontraram resultados de peso hectolitro na faixa de 71,8 a 85,8 kg/hL analisando 174 amostras de trigo duro canadense (*Triticum durum*, L), verifica-se que os valores

encontrados para os genótipos estudados estão acima do valor mínimo e dentro da faixa citada.

Em outro estudo de DEXTER et al. (1987), amostras de trigo duro canadense (*Triticum durum*, L) da safra de 1984 e 1985, com um teor de umidade entre 9,5 e 10,5%, apresentaram resultados de peso hectolitro entre 75,9 e 83,1 kg/hL (1984) e entre 77,6 e 83,3 kg/hL (1985). Segundo os autores a especificação canadense mínima para exportação para o trigo ser classificado como grau Nº 1 é de 80 kg/hL; para o grau Nº 2 é de 78 kg/hL, e, para o grau Nº 3 é de 76 kg/hL.

Portanto, segundo essa classificação canadense, todos os genótipos caracterizados nesse estudo, considerando-se apenas o parâmetro peso hectolitro, seriam classificados como grau Nº 1. Isso porque o menor resultado apresentado foi de 84,09 kg/hL (genótipo 1) enquanto que o peso hectolitro mínimo para classificação como Nº 1 é de 80 kg/hL.

De acordo com MATSUO & DEXTER (1980) e MATSUO (1988) o teste de peso hectolitro reflete a sanidade do grão. E assim, grãos não danificados por estresses ambientais têm um elevado peso hectolitro. Baseado nisso todas as amostras estudadas refletem boas condições de cultivo.

O peso hectolitro expressa atributos relacionados à moagem sendo que genótipos com pesos hectolitros maiores tendem a apresentar um maior rendimento em semolina segundo MATSUO & DEXTER (1980).

#### 4.1.2 Dureza:

Nos testes de dureza os resultados variaram de 1756,25 a 2435,42 kgm, sendo que a dureza da amostra comercial do trigo duro canadense (CWAD) apresentou o menor valor numérico em relação os demais genótipos estudados.

Porém a análise estatística dos dados, através do teste de Tukey a 5% de probabilidade, revelou que a amostra 11 (CWAD) não apresentou diferença significativa em comparação aos genótipos 3, 5 e 6.

Constatou-se ainda que os genótipos 1, 2, 4, 7, 8 e 9 apresentaram valores de dureza que não diferiram estatisticamente e, que o genótipo 10 só diferiu dos genótipos 8 e 11.

#### 4.1.3 Vitreosidade

Esse parâmetro físico de qualidade determina a sub-classe do trigo no sistema de graduação americano. A vitreosidade pode estar associada com a granulometria (tamanho de partículas) da semolina e com o seu conteúdo de proteínas; sendo que menor vitreosidade implicaria em semolina com granulometria e conteúdo protéico menores segundo DICK & YOUNGS (1988).

Através dos resultados apresentados na **Tabela 7** verifica-se que todos os genótipos estudados apresentaram vitreosidade acima de 75%, com exceção da amostra 11 (CWAD), o que resultaria na classificação dos genótipos (1 – 10) como *Hard Amber Durum Wheat* segundo os padrões oficiais para grãos dos EUA, conforme DONNELLY (1991).

Os valores obtidos abrangeram o intervalo de 64,45% a 90,47%; o que está próximo à faixa de 51% a 99% encontrada por BOYACIOGLU et al. (1991) para 17 amostras de trigos duros (*Triticum durum*, L).

Pode-se observar que os genótipos 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 e 10 não apresentaram diferença estatisticamente significativa, como também a amostra 11 (CWAD) e a 4.

O genótipo 5, que apresentou a maior porcentagem de grãos vítreos (90,47%) não apresentou diferença significativa em relação aos genótipos 2, 3, 7, 8, 9 e 10 no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.1.4. Teste de Sedimentação

O volume de sedimentação foi obtido através das metodologias de AXFORD et al. (1978) e da estabelecida pela AACC (1995).

### **A) Volume de sedimentação obtido pela aplicação do método de AXFORD et al. (1978)**

O teste de sedimentação com SDS, de acordo com vários pesquisadores, demonstrou ser adequado para comparar trigos duros em relação à força (qualidade) do glúten (DEXTER et al., 1980; QUICK & DONNELLY, 1980; DICK & QUICK, 1983). Nesse teste quanto maior o volume de sedimento, maior é o entumescimento das proteínas e a força (qualidade) do glúten (QUICK & DONNELLY, 1980). Segundo esses autores um glúten mais forte está associado com melhor firmeza da pasta cozida e tolerância ao sobrecozimento.

Os resultados para o volume de sedimentação encontram-se na faixa de 12 a 32 mL, sendo que o genótipo 10, que alcançou o maior valor numérico (32 mL), mostrou ser estatisticamente diferente de todos os demais genótipos estudados, conforme teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Isso também ocorreu com o genótipo 4, que apresentou o menor resultado (12 mL), ou seja, foi diferente estatisticamente de todos os demais genótipos estudados.

A análise estatística dos dados também revelou que a amostra comercial de trigo duro canadense (CWAD), pela aplicação do teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade, não apresentou diferença significativa em relação aos genótipos 3, 5 e 6.

TAHA & SÁGI (1987) analisando a força de glúten de 7 variedades de trigos duros de origem húngara (4), australiana (2), e egípcia (1) através do método de AXFORD et al. (1978) e utilizando grãos integrais moídos (como em nosso estudo) alcançaram resultados que variaram entre 16,7 mL e 29,0 mL. Esses resultados foram próximos aos encontrados em nossa pesquisa (volumes de sedimentação entre 12 e 32 mL) os quais estão dentro da faixa de 12 a 42 mL proposta por AUTRAN et al. (1986) para amostras de trigos duros.

### **B) Volume de sedimentação obtido através do método 56-70 da AACC (1995)**

Os volumes de sedimentação para os genótipos estudados, segundo a metodologia 56-70 proposta pela AACC (1995), encontram-se entre 19,17 e 29,17 mL.

Os resultados deste teste apresentaram uma correlação positiva ( $r = 0,86^*$ ) com os obtidos pelo teste de sedimentação de AXFORD et al. (1978).

O teste de Tukey mostrou que o genótipo 10, que teve o maior volume de sedimentação (29,17 mL), não apresentou diferença significativa em relação ao genótipo 6 (27,67 mL) e que o genótipo 4, que teve o menor volume de sedimentação (19,17 mL) não diferiu do genótipo 7 (20,67 mL).

Em relação à amostra 11 (CWAD) pode-se observar, pela análise estatística, que esta não apresenta diferença em relação aos genótipos 3, 6, 8 e 9.

Embora esse teste tenha apresentado correlação positiva ( $r = 0,86^*$ ) com o teste de AXFORD et al (1978) a maioria dos trabalhos realizados com trigos duros para determinação da força do glúten através de teste de sedimentação com SDS utilizam o método de AXFORD et al. (1978).



## 4.2. Composição centesimal do grão

A Tabela 8, mostra a composição centesimal aproximada dos genótipos.

**Tabela 8. Composição centesimal dos grãos**

| <b>GENÓTIPOS</b> | <b>UMIDADE</b><br>(%) | <b>PROTEÍNAS*</b><br>(%) | <b>CINZAS</b><br>(%) | <b>LIPÍDIOS</b><br>(%) | <b>CARBOID.**</b><br>(%) |
|------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>1</b>         | 11,90 f               | 13,65 b                  | 1,84 a,b             | 3,67 b,c,d             | 68,94                    |
| <b>2</b>         | 12,37 c,d,e           | 12,62 d                  | 1,49 d               | 3,64 c,d               | 69,88                    |
| <b>3</b>         | 12,23 e,f             | 13,49 b,c                | 1,76 b               | 3,48 d,e,f             | 69,04                    |
| <b>4</b>         | 12,25 e               | 13,92 b                  | 1,80 a,b             | 3,59 c,d,e             | 68,44                    |
| <b>5</b>         | 12,67 b,c             | 12,75 d                  | 1,88 a               | 3,53 d,e,f             | 69,17                    |
| <b>6</b>         | 12,72 b               | 13,63 b                  | 1,83 a,b             | 3,28 e,f               | 68,54                    |
| <b>7</b>         | 12,52 b,c,d,e         | 14,64 a                  | 1,64 c               | 3,89 a,b,c             | 67,31                    |
| <b>8</b>         | 12,26 d,e             | 14,50 a                  | 1,78 b               | 4,01 a,b               | 67,45                    |
| <b>9</b>         | 13,08 a               | 13,00 d                  | 1,64 c               | 3,47 d,e,f             | 68,81                    |
| <b>10</b>        | 12,59 b,c,d           | 13,04 c,d                | 1,60 c               | 3,24 f                 | 69,53                    |
| <b>11</b>        | 11,22 g               | 12,56 d                  | 1,43 d               | 4,04 a                 | 70,75                    |

\* Proteínas: N x 5,7;      \*\* Carboidratos: calculados por diferença  $\checkmark 100 - (\text{umidade} + \text{proteínas} + \text{cinzas} + \text{lipídios})$ ;

Os resultados representam a média de três determinações e o erro padrão da média para variável % de umidade foi de 0,07; para a variável % de proteínas foi 0,09; para a variável % de cinzas foi 0,02 e para a variável % de lipídios foi 0,07.

Letras diferentes nas colunas mostram que as médias diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



#### 4.2.1 Umidade

A porcentagem de umidade que um alimento contém significa a quantidade de água e de outros compostos voláteis que evaporarão sob condições específicas de secagem. O conteúdo de umidade é importante por várias razões, pois a produção de farinha e o teste de peso são inversamente relacionados ao conteúdo de umidade. A quantidade de água que o grão contém é economicamente significativa e pode resultar em certas vantagens ou desvantagens na comercialização do produto, sendo também de grande importância na estocagem segura de grãos. Os grãos que contém umidade em excesso estão sujeitos à rápida deterioração pelo crescimento de fungos, ataque de insetos e germinação (POMERANZ, 1987).

Na **Tabela 8** encontram-se os resultados de umidade dos grãos, que estão entre 11,22 e 13,08 %. Com exceção do genótipo 9, que apresentou o maior valor de 13,08 % de umidade, e do genótipo 11 que apresentou o menor valor de 11,22 %, os demais resultados foram próximos variando de 11,90 a 12,72 %.

Através da aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade, verificou-se que os genótipos 9 e 11 apresentaram-se estatisticamente diferentes dos demais; que o genótipo 1 não apresentou diferença significativa somente em relação ao genótipo 3; que o genótipo 6 não apresentou diferença estatisticamente significativa em comparação aos genótipos 5, 7 e 10; e, que os genótipos 2, 3, 7 e 8 não apresentaram diferença significativa em relação ao genótipo 4.

De maneira geral, entretanto, os resultados estão próximos aos citados por DONNELLY (1991) para trigos duros americanos, cujos valores são: 12,4 % para a safra de 1986 e 12,1 % para a safra de 1987.

#### 4.2.2. Proteínas

Em relação ao teor protéico dos grãos, os resultados variaram entre 12,56% e 14,64% (em base úmida). Através da análise estatística dos dados pela aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade, verifica-se que o genótipo 11 (amostra comercial de trigo duro canadense – *CWAD*) foi a amostra que teve o menor teor protéico (12,56%), não

apresentando diferença estatisticamente significativa em relação aos genótipos 2 (12,62%), 5 (12,75%), 9 (13,00%) e 10 (13,04%).

As amostras 7 (14,64%) e 8 (14,50%), que apresentaram os maiores valores protéicos não exibiram diferença estatisticamente significativa apenas entre si, sendo portanto diferentes de todos os demais genótipos estudados.

Um outro grupo que não mostrou diferença significativa em comparação com o genótipo 4 (13,92%) foram os genótipos 1(13,65%), 3 (13,49%) e 6 (13,63%).

KATHURIA & SIDHU (1984) caracterizando amostras de duas variedades de trigos duros indianos encontraram teores protéicos de 11,49% e 12,32%, enquanto que MALCOLMSON et al.(1993) alcançaram teores protéicos na faixa de 11,8% a 18,3% para trigos duros canadenses, da safra de 1988, graduados como Nº 1.

Para 17 amostras de trigos duros, BOYACIOGLU et al.(1991) encontraram teores protéicos de 10% a 16,9% (em base úmida de 14%).

Segundo FEILLET (1988) o teor protéico dos trigos duros pode variar de 9% a 18%, e essa variabilidade depende muito mais das condições ambientais de desenvolvimento do grão do que dos efeitos de herança genética, o que foi confirmado por MARIANI et al. (1995).

De acordo com FEILLET (1988), apesar de existirem evidências de que o conteúdo protéico do grão maduro é controlado geneticamente, elevados conteúdos protéicos podem ser obtidos através de práticas agronômicas, com doses mais elevadas de aplicação de fertilizantes nitrogenados. Em nossa pesquisa não foi encontrada correlação entre conteúdo protéico dos grãos e teste de sedimentação e, portanto, a quantidade de proteínas parece não estar associada à qualidade (a qual é determinada por herança genética).

No presente estudo, o conteúdo protéico dos grãos dos genótipos estudados apresentou uma correlação positiva ( $r = 0,71^*$ ) com a dureza dos grãos a 5% de significância. Entretanto, de acordo com POMERANZ (1987) a relação entre dureza e

conteúdo protéico vem sendo estudada por vários pesquisadores, porém os resultados apresentados tem sido conflitantes.

#### 4.2.3. Cinzas

O teor de cinzas dos genótipos estudados encontra-se na faixa de 1,43% a 1,88%, o que está próximo aos resultados situados entre 1,52% a 1,80% encontrados por MALCOLMSON et al.(1993) para amostras canadenses de trigos duros N° 1, bem como aos valores 1,58% a 1,75% apresentados por CUBADDA (1988) para sete amostras italianas de trigos duros; e ao trabalho de DEXTER & MATSUO (1978) que estudando dois cultivares canadenses de trigos duros encontraram os valores 1,57% e 1,83%.

O genótipo 5 apresentou o maior teor de cinzas (1,88%) e, estatisticamente, ao nível de 5% de significância não apresentou diferença em relação aos genótipos 1 (1,84%), 4 (1,80%) e 6 (1,83%).

A amostra comercial de trigo duro canadense (*CWAD*), genótipo 11, teve o menor teor de cinzas (1,43%) juntamente com o genótipo 2 (1,49%), sendo que ambos não apresentaram diferença estatística entre si, apresentando diferença em relação a todos os demais genótipos.

Os genótipos 1 (1,84%), 4 (1,80%), 6 (1,83%) e 8 (1,78%) formam um grupo em que não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em relação ao genótipo 3 (1,76%) através do teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Os genótipos 7 (1,64%) e 9 (1,64%) que apresentaram o mesmo teor em cinzas não diferiram do genótipo 10 (1,60%).

De acordo com DICK & YOUNGS (1988) o teor de cinzas bem como os teores de umidade, proteína e valores de número de queda, são influenciados grandemente pelas condições de crescimento e colheita da cultura.

#### 4.2.4. Lipídios

De acordo com YOUNGS (1988) os lipídios, com exceção dos pigmentos, passam por poucas mudanças degradativas durante o processamento, sendo que as mudanças primárias ocorrem através de ligações físicas ou químicas com proteínas ou carboidratos quando uma massa é formada.

Segundo FEILLET (1984) as interações entre proteínas, lipídios e amido podem contribuir para a integridade e estabilidade da pasta cozida, devido à coesão de uma rede formada por multicomponentes.

Quanto ao conteúdo de lipídios, os resultados encontrados para todos os genótipos estudados variaram entre 3,24% e 4,04%, o que se encontra próximo ao valor de 3,58% proposto por TOEPFER et al.(1972) para grãos de trigos duros.

Porém, YOUNGS (1988) afirma que a quantidade total de lipídios extraída de trigos duros varia com as cultivares, os solventes usados e as técnicas de extração empregadas.

Através da análise estatística dos dados, obtidos através da aplicação do teste de Tukey à 5% de probabilidade, encontrou-se que a amostra comercial de trigo duro canadense (*CWAD*) – genótipo 11 foi a que apresentou o maior teor (4,04%). Porém não apresentou diferença à 5% de significância em relação aos genótipos 7 (3,89%) e 8 (4,01%). Observou-se, ainda, que o genótipo 10, que resultou no menor valor (3,24%), não apresentou diferença significativa em comparação aos genótipos 3 (3,48%), 5 (3,53%), 6 (3,28%) e 9 (3,47%). Verificou-se, também, que o genótipo 1 (3,67%) não apresentou diferença significativa em relação aos genótipos 2 (3,64%), 3 (3,48%), 4 (3,59%), 5 (3,53%), 7 (3,89%), 8 (4,01%) e 9 (3,47%).

#### 4.3 Moagem

Após o condicionamento dos grãos à 17,5% de umidade por um período de vinte e quatro horas (para se atingir o equilíbrio de umidade), as amostras foram moídas e posteriormente submetidas à purificação.

As frações resultantes juntamente com as porcentagens de extração encontram-se representadas na **Tabela 9**.

Observa-se que para todos os genótipos estudados a porcentagem de extração total, que considera a soma dos rendimentos entre semolina média purificada (com tamanhos de partículas maiores que 250  $\mu\text{m}$ ), semolina fina (com tamanhos de partículas maiores que 160  $\mu\text{m}$  e menores que 250  $\mu\text{m}$ ) e farinha (com tamanhos de partículas menores que 160  $\mu\text{m}$ ), variou entre 42,74% e 54,98%.

**Tabela 9. Rendimento da Moagem**

| GENÓ TIPOS | % DE QUEBRA |       | % DE REDUÇÃO |      |      | % DE PURIFICAÇÃO |      |       | % DE EXTRAÇÃO |       |
|------------|-------------|-------|--------------|------|------|------------------|------|-------|---------------|-------|
|            | FG          | SG    | SM           | SF   | FA   | SMP              | Ff   | FGP   | S             | T     |
| 1          | 32,14       | 67,86 | 55,25        | 4,94 | 6,91 | 37,40            | 0,76 | 13,88 | 42,34         | 49,25 |
| 2          | 31,15       | 68,85 | 56,86        | 4,33 | 7,48 | 34,48            | 4,36 | 13,90 | 38,81         | 46,29 |
| 3          | 31,21       | 68,79 | 56,95        | 4,84 | 5,56 | 39,20            | 3,10 | 12,35 | 44,04         | 49,60 |
| 4          | 31,81       | 68,19 | 55,89        | 4,62 | 5,69 | 37,36            | 3,87 | 12,24 | 41,98         | 47,67 |
| 5          | 31,47       | 68,53 | 56,27        | 4,93 | 5,86 | 36,29            | 3,89 | 13,49 | 41,22         | 47,08 |
| 6          | 32,53       | 67,47 | 56,25        | 4,12 | 4,99 | 33,63            | 1,00 | 19,19 | 37,75         | 42,74 |
| 7          | 32,11       | 67,89 | 54,90        | 4,94 | 6,67 | 35,87            | 4,84 | 11,84 | 40,81         | 47,48 |
| 8          | 29,87       | 70,13 | 58,59        | 4,55 | 6,16 | 34,57            | 5,40 | 15,73 | 39,12         | 45,28 |
| 9          | 30,69       | 69,31 | 57,60        | 4,41 | 6,14 | 39,56            | 0,62 | 14,42 | 43,97         | 50,11 |
| 10         | 31,14       | 68,86 | 55,60        | 6,67 | 6,58 | 40,40            | 0,73 | 11,47 | 47,07         | 53,65 |
| 11         | 31,36       | 68,64 | 54,89        | 6,40 | 7,32 | 41,26            | 1,99 | 8,69  | 47,66         | 54,98 |

- FG = FARELO GROSSO
- SG = SEMOLINA GROSSA
- SM = SEMOLINA MÉDIA
- SF = SEMOLINA FINA
- FA = FARINHA
- SMP = SEMOLINA MÉDIA PURIFICADA
- Ff = FARELO FINO
- FGP = FARELO GROSSO DO PURIFICADOR
- T = EXTRAÇÃO TOTAL ( SMP + SF + FA )
- S = EXTRAÇÃO EM SEMOLINA (SMP + SF)





Para a porcentagem de extração em semolina (que em nosso estudo representa a soma entre semolina média purificada + semolina fina), os valores encontrados estão na faixa entre 37,75% e 47,66%.

Os resultados encontrados em nosso estudo diferiram dos encontrados por BOYACIOGLU et al. (1991). Enquanto no presente estudo o rendimento máximo de semolina foi de 47,66%, no de BOYACIOGLU et al. (1991), foi de 59,4%. Para a extração total encontramos uma porcentagem máxima 54,98%, e os referidos autores alcançaram um valor máximo de 72,9%. Porém, no trabalho de BOYACIOGLU et al. (1991), utilizou-se um sistema de purificação diferente do purificador laboratorial para semolinas da Chopin.

RAHIM et al. (1976), avaliando o potencial de moagem de 28 genótipos de trigo duro, empregando o moinho Buhler MLU 202, verificaram que apenas 8 variedades apresentaram um rendimento em semolina superior à 55% e portanto foram graduadas como excelentes. Apenas 15 variedades avaliadas, apresentaram uma porcentagem de extração em semolina entre 50% e 55% e foram classificadas como boas. As demais produziram um rendimento em semolina abaixo de 50%.

A baixa porcentagem em extração (total e em semolina) alcançada em nossa pesquisa pode refletir a necessidade de um melhor ajuste do fluxo de moagem sugerindo talvez passos adicionais nos sistemas de quebra, redução e purificação, uma vez que tanto o moinho quanto o purificador da Chopin foram utilizados pela primeira vez neste estudo em condições de moagem laboratoriais.

De acordo com MATSUO & DEXTER (1980) as produções de semolina com a utilização de moinhos de laboratório são normalmente mais baixas do que as alcançadas em moagens comerciais (63% - 68%), onde existem várias passagens de quebra e de purificação, antes da redução. MATSUO (1988) afirma que quando a moagem em semolina foi realizada pela primeira vez em condições laboratoriais no laboratório de pesquisa de grãos no Canadá a produção foi baixa, cerca de 35 - 40% de extração. Somente com o passar dos anos e a melhora das técnicas de moagem é que a produção chegou a 60%.

Pelos resultados obtidos verifica-se que o genótipo 11 (amostra comercial de trigo duro canadense - *CWAD*) tende a apresentar um melhor rendimento em termos de extração

total (54,98%). Além disso, pode-se observar que essa amostra foi a que apresentou o maior valor numérico em porcentagem de extração em semolina (47,66%) que representa a soma entre semolina média purificada + semolina fina.

Por simples comparação dos dados os genótipos 9 e 10 foram os que mais se aproximaram dos valores alcançados pelo genótipo 11 para as porcentagens de extração total (50,11% e 53,65% respectivamente) e em semolina cujos valores foram 43,97% e 47,07% respectivamente.

O genótipo 6 tende a apresentar os menores rendimentos de moagem em termos de extração total (42,74%) e em extração em semolina (37,75%).

Em nosso estudo não foram encontradas correlações entre porcentagem de extração e parâmetros usados para a classificação do trigo, tais como peso hectolitro, dureza e vitreosidade.

#### **4.4 Caracterização físico-química da semolina**

##### **4.4.1. Granulometria**

As diferentes frações resultantes da moagem, ou seja, a semolina média purificada + a semolina fina + a farinha que representam a porcentagem total de extração, foram misturadas e retratadas como semolina devido ao baixo rendimento em semolina (SMP + SF) alcançado em nossa pesquisa.

Essas frações referentes à extração total, após haverem sido bem homogeneizadas, foram submetidas à análise da distribuição do tamanho de partículas e, os resultados encontram-se na **Tabela 10**.

Tabela 10. Distribuição do tamanho de partículas das semolinas\*

| ABERTURAS<br>$\mu\text{m}$<br>Semolinas | % MÉDIA** DE RETENÇÃO |      |       |       |      |      |
|-----------------------------------------|-----------------------|------|-------|-------|------|------|
|                                         | >850                  | >425 | >250  | >180  | >150 | <150 |
| Genótipo 1                              | 0,04                  | 4,95 | 71,88 | 17,15 | 5,63 | 0,35 |
| Genótipo 2                              | 0,03                  | 6,45 | 71,01 | 16,58 | 5,74 | 0,17 |
| Genótipo 3                              | 0,11                  | 4,12 | 73,21 | 17,23 | 4,58 | 0,74 |
| Genótipo 4                              | 0,05                  | 8,80 | 70,34 | 17,11 | 3,52 | 0,17 |
| Genótipo 5                              | 0,03                  | 4,61 | 75,27 | 16,14 | 3,78 | 0,17 |
| Genótipo 6                              | 0,03                  | 2,22 | 75,48 | 16,05 | 6,02 | 0,19 |
| Genótipo 7                              | 0,16                  | 5,57 | 72,02 | 18,20 | 3,86 | 0,19 |
| Genótipo 8                              | 0,04                  | 4,66 | 73,08 | 18,29 | 3,77 | 0,17 |
| Genótipo 9                              | 0,06                  | 6,09 | 72,76 | 17,60 | 3,29 | 0,19 |
| Genótipo 10                             | 0,06                  | 6,72 | 72,14 | 17,82 | 3,06 | 0,20 |
| Genótipo 11                             | 0,05                  | 4,98 | 66,83 | 19,59 | 8,42 | 0,12 |

\* % de extração total obtida da moagem de grãos de trigos duros (*Triticum durum*, L.)

\*\* Os resultados representam a média de três determinações.



Os dados da **Tabela 10** mostram que cerca de 90% das frações, em peso, independentemente do genótipo, tiveram tamanhos de partículas entre 180 e 250  $\mu\text{m}$ . Entretanto a maior concentração do tamanho de partículas (66,83% a 75,48%) encontra-se na faixa superior a 250  $\mu\text{m}$ , o que está de acordo com dados da literatura pois segundo ANTOGNELLI (1980) o tamanho das partículas de semolina deve estar dentro da faixa de 200 – 300  $\mu\text{m}$ . Mais recentemente FEILLET & DEXTER (1996) sugerem um tamanho de partícula que se situa na faixa de 130 a 350  $\mu\text{m}$ .

As amostras estudadas apresentaram baixas porcentagens de partículas com tamanhos menores que 150  $\mu\text{m}$  (0,12 a 0,74%) o que representa valores inferiores a 3% que foi estabelecido como valor máximo nas especificações para semolina nos Estados Unidos (DONNELLY, 1991). Esses valores estão bem abaixo do limite máximo de 10% estabelecido para a semolina no Brasil pelo Ministério da Saúde através da Portaria Nº 132.

No Canadá a granulometria da semolina obtida no Laboratório de Pesquisa de Grãos, de acordo com MATSUO (1988) apresenta: 7,8% de partículas retidas em peneira americana tamanho 40 (abertura de aproximadamente 425  $\mu\text{m}$ ); 69,5% retidas em peneira americana tamanho 60 (abertura de aproximadamente 250  $\mu\text{m}$ ); 19,5% retidas em peneira americana tamanho 80 (abertura de aproximadamente 180  $\mu\text{m}$ ); 1,9% retidas em peneira americana tamanho 100 (abertura de aproximadamente 150  $\mu\text{m}$ ) e 0,9% de partículas abaixo de 150  $\mu\text{m}$ . Em nossa pesquisa alcançou-se resultados que se aproximaram desses valores.

#### **4.4.2. Composição Química**

Foram determinadas as porcentagens de umidade, proteínas e cinzas da semolina e os resultados encontram-se na **Tabela 11** a seguir:



**Tabela 11 Teores de umidade, proteína e cinzas da semolina**

| <b>SEMOLINAS</b> | <b>% UMIDADE</b> | <b>% PROTEÍNAS*</b> | <b>% CINZAS</b> |
|------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| Genótipo 1       | 16,17 c,d        | 10,53 b             | 0,68 c,d        |
| Genótipo 2       | 16,33 b,c,d      | 9,29 c              | 0,60 d          |
| Genótipo 3       | 16,76 a          | 10,13 b             | 0,69 c          |
| Genótipo 4       | 16,52 a,b,c      | 10,35 b             | 0,68 c,d        |
| Genótipo 5       | 16,35 b,c,d      | 10,04 b             | 0,76 b,c        |
| Genótipo 6       | 15,42 e          | 10,69 b             | 0,85 a          |
| Genótipo 7       | 16,77 a          | 11,42 a             | 0,87 a          |
| Genótipo 8       | 16,02 d          | 11,49 a             | 0,85 a          |
| Genótipo 9       | 15,51 e          | 10,13 b             | 0,83 a,b        |
| Genótipo 10      | 16,29 b,c,d      | 10,14 b             | 0,80 a,b        |
| Genótipo 11      | 16,61 a,b        | 10,08 b             | 0,60 d          |

\* Proteínas: N x 5,7

Os resultados representam a média de três determinações e o erro padrão da média para a variável %de umidade foi de 0,07; para a variável % de proteínas foi 0,13 e para a variável % de cinzas foi de 0,02.

Letras diferentes nas colunas mostram que as médias diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).





#### **4.4.2.1. Umidade**

As porcentagens de umidade das semolinas encontram-se na faixa de 15,42% a 16,77%. Esses teores de umidade estão ligeiramente acima dos níveis considerados aceitáveis para semolinas obtidas em moagem comercial, os quais devem estar na faixa de 13,5% a 14,5% segundo DICK & MATSUO (1988) e no máximo 14,5% de acordo com a Portaria Nº 132 do Ministério da Saúde de 19 de Fevereiro de 1999.

Porém, como nossas condições de condicionamento e moagem dos grãos foram laboratoriais e o armazenamento da semolina foi feito sob refrigeração, não houve problemas de deterioração.

O processamento da semolina em pasta também não apresentou dificuldades na fase de hidratação e no fluxo da massa no equipamento.

Através da análise estatística dos dados obtidos, avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, verifica-se que o genótipo 7 que apresentou o maior valor para a umidade (16,77%) não apresentou diferença significativa em relação aos genótipos 3 (16,76%), 4 (16,52%) e 11 (16,61%). Observa-se ainda que o genótipo 6, que apresentou o menor valor numérico (15,42%), não diferiu estatisticamente do genótipo 9 (15,51%); e também que o genótipo 8 (16,02%) não apresentou diferença estatística em comparação aos genótipos 1 (16,17%), 2 (16,33%), 5 (16,35%) e 10 (16,29%).

#### **4.4.2.2. Proteínas**

Na **Tabela 11** verifica-se que o teor protéico das semolinas dos onze genótipos estudados variou de 9,29% a 11,49%, havendo uma perda do conteúdo de proteínas dos grãos em relação ao da semolina na faixa de 2,48% a 3,57%.

O decréscimo na quantidade de proteínas em farinhas ou semolinas em relação ao grão de trigo é considerado normal. Essa perda tende a ser menor quanto maior a porcentagem de extração, uma vez que ocorre o aumento gradativo deste composto do centro para a periferia do grão (ZIEGLER & GREER, 1978).

No estudo de KATHURIA & SIDHU (1984) onde utilizou-se diferentes tratamentos térmicos no condicionamento dos grãos, essa perda ficou entre 1,14% e 1,78%.

Segundo MATSUO et al. (1972) o teor em proteínas considerado como mínimo para se obter um produto com qualidade de cocção aceitável é de 11%. Portanto, os resultados encontrados em nossa pesquisa encontram-se abaixo do teor mínimo, com exceção dos genótipos 7 (11,42%) e 8 (11,49%). Entretanto, considerando-se as normas estabelecidas pela Portaria Nº 132, do Ministério da Saúde, de 19 de Fevereiro de 1999, onde o teor mínimo em proteínas para a semolina é de 10,5%, os genótipos 1 (10,53%) e 6 (10,69%) estariam dentro desse limite.

Porém, deve-se levar em consideração que a qualidade das proteínas é tão importante quanto a quantidade das mesmas (DICK & MATSUO, 1988). Amostras de pasta com o mesmo conteúdo protéico podem variar de excelente a muito pobre em qualidade de cocção (FORTINI, 1988).

A análise estatística dos resultados demonstra que os genótipos 7 e 8, que apresentaram os maiores teores protéicos, através do teste de Tukey não apresentaram diferença estatística significativa à 5% de probabilidade, sendo diferentes dos demais genótipos. Verifica-se também que o genótipo 2, que apresentou o menor teor protéico (9,29%), mostrou-se diferente estatisticamente de todos os demais; e que a amostra comercial de trigo duro canadense (genótipo 11), com um conteúdo em proteínas de 10,08%, não apresentou diferença estatística em relação aos genótipos 1(10,53%), 3 (10,13%), 4 (10,35%), 5 (10,04%), 6 (10,69%), 9 (10,13%), 10 (10,14%).

A análise de correlação múltipla a 5% de significância revelou uma correlação positiva ( $r = 0,88^*$ ) entre o conteúdo protéico dos grãos e o teor protéico das semolinas.

#### **4.4.2.3. Cinzas**

O conteúdo de cinzas dos genótipos estudados encontra-se entre 0,60 – 0,87% (Tabela 11), o que está de acordo com dados da literatura que citam o limite máximo de 0,90% para semolinas consideradas de primeira graduação (CUBADDA, 1988).

BOYACIOGLU et al. (1991), para 17 amostras de semolinas obtidas pela moagem de trigos duros em moinho Chopin – Dubois, encontraram teores de cinzas que variaram entre 0,79% e 0,91%.

Na verdade o conteúdo de cinzas não depende somente da eficiência da operação de moagem ou da taxa de extração mas também do tipo de trigo que está sendo moído (CUBADDA, 1988).

O genótipo 7, que apresentou o maior teor em cinzas (0,87%), não apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade através da aplicação do teste de Tukey, em relação aos genótipos 6 (0,85%), 8 (0,85%), 9 (0,83%) e 10 (0,80%).

Por outro lado, o genótipo 2, que teve o menor conteúdo de cinzas (0,60%), não apresentou diferença estatisticamente significativa em comparação aos genótipos 1 (0,68%), 4 (0,68%) e 11 (0,60%), que é a amostra comercial de trigo duro canadense.

Verificou-se, ainda que, a 5% de probabilidade, os genótipos 1 (0,68%), 3 (0,69%), 4 (0,68%), 9 (0,83%) e 10 (0,80%) não foram estatisticamente diferentes do genótipo 5 (0,76%).

## **4.5. Caracterização Tecnológica da semolina**

### **4.5.1. Glúten úmido e seco**

O teor de glúten bem como sua qualidade são fatores importantes na avaliação da qualidade da semolina uma vez que estão associados com a qualidade de cocção do espaguete (MATSUO, 1988).

O conteúdo de glúten úmido é um teste frequentemente usado para a especificação da semolina por ser facilmente padronizado, segundo FEILLET & DEXTER (1996). Se apenas uma pequena quantidade de semolina estiver disponível para análise, o conteúdo de glúten úmido fornece a maioria das informações sobre a qualidade da amostra, indicando a capacidade de hidratação do glúten, o conteúdo protéico aproximado da semolina bem como suas propriedades de manuseio e a aparência da mesma (CIACCO & CHANG, 1986; MATSUO, 1988).

Conforme dados apresentados na **Tabela 12** os resultados para o conteúdo de glúten úmido estiveram na faixa de 6,00% a 30,75%. O menor valor encontrado para o genótipo 10, foi o que diferiu grandemente de todas as amostras e está muito abaixo dos valores encontrados na literatura.

DEXTER et al (1985a), caracterizando 16 amostras comerciais de trigos duros canadenses (CWAD) de diferentes graduações, encontraram valores para o conteúdo de glúten que variaram entre 24,9% a 31,7%. Em outra pesquisa DEXTER et al. (1988) obtiveram resultados para o conteúdo de glúten úmido que abrangeram as faixas de 24,0% a 48,9%, para um primeiro grupo, e entre 21,9% a 46,4% para as mesmas amostras do primeiro grupo moídas com outra orientação dos rolos corrugados.

Para 17 amostras de trigo duro BOYACIOGLU et al. (1991) encontraram resultados para a porcentagem de glúten úmido que estiveram entre 26,5% e 53,2% tendo como valor médio 37,5% (expressos em 14% de umidade).

Exceto o valor encontrado para o genótipo 10 os demais se encontram próximos aos dados apresentados por DEXTER et al. (1985a).

A porcentagem de glúten úmido em nossa pesquisa apresentou uma correlação altamente positiva ( $r = 0,98^*$ ) a um nível de significância de 5% com a porcentagem de glúten seco. Esses dados estão em concordância com o trabalho de KULKARNI et al.(1987) que também encontraram altos coeficientes de correlação (0,92 a 0,97,  $P < 0,05$ ) entre glúten úmido e glúten seco.

Verificou-se , através da análise de correlação múltipla a 5% de significância, que os resultados obtidos para os parâmetros glúten úmido e glúten seco não apresentaram correlação significativa com os dados dos testes de sedimentação.

Na **Tabela 12** verifica-se que os valores encontrados para o conteúdo de glúten seco variaram entre 2,15% e 10,35% e que eles representam aproximadamente um terço dos resultados encontrados para o respectivo genótipo em relação ao seu conteúdo de glúten úmido. CUBADDA et al. (1992) caracterizando amostras de trigos duros canadenses, espanhóis, americanos, franceses e italianos relatam que os teores de glúten seco encontrados estiveram entre 8,7% e 14,4%, tendo como valor médio 11%.

**Tabela 12. Teores de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten**

| <b>SEMOLINA</b> | <b>GLÚTEN<br/>ÚMIDO (%)</b> | <b>GLÚTEN<br/>SECO (%)</b> | <b>ÍNDICE<br/>GLÚTEN</b> | <b>QUALI<br/>DADE*</b> |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| Genótipo 1      | 27,45                       | 9,65                       | 3,09                     | Inadequada             |
| Genótipo 2      | 24,25                       | 8,30                       | 6,39                     | Inadequada             |
| Genótipo 3      | 27,50                       | 9,35                       | 52,18                    | Média ou acima         |
| Genótipo 4      | 20,55                       | 7,35                       | 1,94                     | Inadequada             |
| Genótipo 5      | 24,05                       | 8,05                       | 48,44                    | Média ou acima         |
| Genótipo 6      | 29,65                       | 10,15                      | 41,48                    | Promissora             |
| Genótipo 7      | 28,25                       | 10,35                      | 1,24                     | Inadequada             |
| Genótipo 8      | 30,75                       | 10,25                      | 42,44                    | Promissora             |
| Genótipo 9      | 22,05                       | 7,60                       | 46,03                    | Média ou acima         |
| Genótipo 10     | 6,00                        | 2,15                       | 86,66                    | Excelente              |
| Genótipo 11     | 28,40                       | 10,00                      | 14,58                    | Muito pobre ou pobre   |

\* Classes de qualidade para glúten propostas para amostras de semolina segundo CUBADDA et al.(1992).





#### 4.5.2. Índice de glúten

O índice de glúten é um excelente método para se avaliar a força do glúten tanto na farinha integral (grãos moídos inteiros) quanto na semolina de trigos duros (CUBADDA et al., 1992). Geralmente semolinas com glúten fortes tendem a produzir pastas com características de cocção superiores, e um glúten forte é o principal requerimento de qualidade nas áreas mais tradicionais de consumo de pasta (CUBADDA, 1988). A demanda para um espaguete cozido mais firme tem instigado os melhoristas de trigos duros a selecionar trigos duros com glúten mais fortes (DICK & YOUNGS, 1988).

Os resultados encontrados em nossa pesquisa para o índice de glúten podem ser observados na **Tabela 12**. Verifica-se que o genótipo 10, que teve as menores porcentagens de glúten úmido e seco, estranhamente, foi o que alcançou o maior índice de glúten, ou seja, é o genótipo que tende a apresentar um glúten de melhor qualidade (força) dentre os demais genótipos caracterizados nesse estudo.

Os glúten dos genótipos 3, 5, 6, 8 e 9 apresentaram valores para o índice de glúten que demonstram uma tendência a serem de qualidade (força) média a promissora, enquanto que os glúten dos genótipos 1, 2, 4, 7 e 11 tendem a ser de qualidade (força) inadequada.

Através da análise de correlação entre todos os testes realizados, a 5% de significância, verificou-se a existência de correlação positiva entre o índice de glúten e os resultados dos testes de sedimentação sendo ( $r = 0,70$  e  $r = 0,69$ ) respectivamente segundo AXFORD et al.(1978) e segundo a AACC (1995).

Os nossos resultados estão em concordância com o trabalho de CUBADDA et al. (1992) que também encontraram correlação entre o índice de glúten das semolinas estudadas e os dados do teste de sedimentação com SDS ( $r = 0,80^*$ ).

#### 4.5.3. Cor

A cor da semolina é predominantemente uma característica varietal. Trigos duros cultivados na América do Norte comumente tem uma melhor coloração, com maior quantidade de pigmentos amarelos e menor quantidade de pigmentos marrons do que

qualquer outro trigo duro (MATSUO, 1988). A cor desejada para a semolina é um amarelo claro brilhante proporcionada principalmente pela presença de pigmentos carotenóides, em particular a luteína (xantofila) (IRVINE, 1971 apud FEILLET & DEXTER, 1996; TRONO et al. 1999).

O grão de trigo duro é naturalmente rico em pigmentos e em enzimas oxidativas as quais podem modificar sua cor nativa, provavelmente devido ao sistema lipoxigenase – linoleato (LOX) que é responsável pela oxidação dos carotenóides. Em particular o linoleato livre na semolina de trigo duro é oxidado causando assim o branqueamento.

Porém, esse sistema lipoxigenase – linoleato (LOX) pode ser inibido pelos próprios carotenóides endógenos e, portanto um elevado conteúdo de carotenóides na semolina é desejável e poderia talvez prevenir parcialmente a perda dos mesmos durante o processamento da pasta (TRONO et al., 1999).

Os métodos instrumentais para a avaliação da cor são certamente os mais difundidos e o seu sucesso é devido à rapidez e simplicidade da determinação, aliados à ausência de solventes químicos. Essa avaliação é altamente influenciada pelas características físicas da amostra, tal como o tamanho de partículas da semolina sendo que quanto mais fina maior tendência à palidez.

Para produtos de cereais, além das medidas **L**, **a**, **b** têm-se o índice de marrom, geralmente expresso como  $100 - L$ , e, o índice de amarelo individualizado no valor **b** (MECUCCI & SELVATICO, 1992; IRVINE, 1971 apud FEILLET & DEXTER, 1996; D'EGIDIO & PAGANI, 1997).

A coloração da semolina é a resultante da combinação dos parâmetros: índice de amarelo e índice de marrom e será mais apreciada pelo consumidor quanto maior for o índice de amarelo e menor o índice de marrom, segundo ACQUISTUCCI & PASQUI (1990).

A cor das semolinas foi analisada no espectrofotômetro, usando-se para a medida da diferença de cor a escala Hunter e a semolina do genótipo 11 (amostra comercial de trigo duro canadense *CWAD*) como padrão de calibração do aparelho. Determinou-se os valores de luminosidade = **L**; e das coordenadas de cromaticidade **a** (uma função da diferença

vermelho – verde, sendo que o valor positivo indica a cor vermelha e negativo a cor verde) e **b** (uma função da diferença amarelo – azul, sendo que o valor positivo indica a cor amarela e negativo a cor azul). Além desses, obteve-se o índice de marrom ( $100 - L$ ).

Os resultados obtidos podem ser observados na **Tabela 13**.

**Tabela 13. Médias\* dos dados experimentais de cor**

| SEMOLINAS  | PARÂMETROS |      |       |           |
|------------|------------|------|-------|-----------|
|            | L          | a    | b     | (100 – L) |
| Genótipo 1 | 80,67      | 2,06 | 19,49 | 19,33     |
| Genótipo 2 | 82,66      | 1,35 | 16,38 | 17,34     |
| Genótipo 3 | 80,87      | 1,75 | 16,84 | 19,13     |
| Genótipo 4 | 81,92      | 1,55 | 16,28 | 18,08     |
| Genótipo 5 | 83,41      | 1,25 | 16,93 | 16,59     |
| Genótipo 6 | 82,35      | 1,81 | 18,39 | 17,65     |
| Genótipo 7 | 81,60      | 1,43 | 16,99 | 18,40     |
| Genótipo 8 | 82,46      | 1,38 | 16,44 | 17,54     |
| Genótipo 9 | 82,74      | 1,37 | 18,03 | 17,26     |
| Genótipo10 | 82,72      | 1,38 | 17,22 | 17,28     |
| Genótipo11 | 80,75      | 1,40 | 16,67 | 19,25     |

\* Os resultados são a média de três determinações .

204 1. 2

204 1. 2

204 1. 2

204 1. 2

204 1. 2

204 1. 2

204 1. 2

204 1. 2

Os resultados encontrados para a luminosidade (valor **L**) estiveram entre 80,67 e 83,41. Como a escala para o valor de **L** varia de 100 para branco até zero para preto, verifica-se que a semolina do genótipo 5, com um valor de **L** = 83,41 tende a ser mais clara que as demais.

Segundo OLIVER et al.(1992) o valor **L** é negativamente correlacionado com o teor de cinzas, porém em nosso estudo tal correlação não foi encontrada.

A coordenada de cromaticidade **a** apresentou valores que variaram entre 1,25 a 2,06; sendo que o genótipo 1 tendeu a apresentar uma semolina mais avermelhada em comparação com os demais genótipos estudados. Através da análise de correlação múltipla encontrou-se uma correlação significativa ( $r = 0,79^*$ ) a 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ) entre os valores encontrados para a coordenada de cromaticidade **a** e os valores encontrados para a coordenada de cromaticidade **b**.

Para a coordenada de cromaticidade **b**, que representa o índice de amarelo, obteve-se resultados na faixa de 16,28 a 19,49. Verifica-se que a semolina do genótipo 1, que apresentou o maior valor numérico (19,49), e as semolinas dos genótipos 3 (16,84), 5 (16,93), 6 (18,39), 7 (16,99), 9 (18,03) e 10 (17,22) apresentaram uma tendência a superar a semolina do genótipo padrão em relação ao índice de amarelo. Os nossos resultados para o valor **b** (escala Hunter) estão um pouco abaixo dos valores encontrados por JOHNSTON et al.(1980) os quais estiveram entre 16,30 (cultivar mexicano) e 25,36 (cultivar norte americano).

A análise de correlação múltipla revelou a existência de uma correlação negativa ( $r = -0,75^*$ ) a 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ) entre os resultados alcançados para a coordenada de cromaticidade **b**, que representa o índice de amarelo, e os pontos pretos e farelos das semolinas. Essa análise demonstra a tendência da quantidade de pontos pretos e farelos interferirem na coloração amarela da semolina.

Em relação ao índice de marrom ( $100 - L$ ) pode-se observar que quanto maior o valor de **L** menor será esse índice e, conseqüentemente, haverá uma tendência de maior aceitação do referido produto em relação a esse parâmetro. Os genótipos 5 e 1 atingiram os valores de 16,59 e 19,33 respectivamente.

#### 4.5.4. Propriedades de resistência à extensão e de extensibilidade

##### 4.5.4.1. Avaliação pelo alveógrafo

Os parâmetros alveográficos analisados foram:

**W** (força geral do glúten), **P** (resistência à extensão), **G** (índice de expansão), **L** (extensibilidade da massa), **P/L** (indicador aproximado da forma do gráfico).

Os resultados encontrados para as diferentes amostras de semolina através da análise no alveógrafo podem ser observados na **Tabela 14**.

**Tabela 14. Parâmetros alveográficos**

| SEMOLINA   | W      | P      | G     | L     | P/L   |
|------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Genótipo 1 | 125,00 | 78,00  | 15,00 | 46,00 | 1,69  |
| Genótipo 2 | 115,00 | 83,60  | 13,00 | 34,00 | 2,46  |
| Genótipo 3 | n.d.*  | n.d.*  | n.d.* | n.d.* | n.d.* |
| Genótipo 4 | 67,50  | 70,00  | 9,25  | 17,50 | 4,00  |
| Genótipo 5 | 200,00 | 145,00 | 11,40 | 26,00 | 5,57  |
| Genótipo 6 | 230,00 | 143,00 | 12,00 | 29,00 | 4,93  |
| Genótipo 7 | 94,00  | 87,00  | 11,10 | 25,00 | 3,48  |
| Genótipo 8 | n.d.*  | n.d.*  | n.d.* | n.d.* | n.d.* |
| Genótipo 9 | 220,00 | 140,00 | 12,00 | 29,00 | 4,83  |
| Genótipo10 | n.d.*  | n.d.*  | n.d.* | n.d.* | n.d.* |
| Genótipo11 | 90,00  | 55,00  | 14,90 | 45,00 | 1,22  |

n.d.\*= não determinado pois ultrapassou os limites do aparelho

Através dos resultados apresentados na **Tabela 14** verifica-se que as semolinas dos genótipos 3, 8 e 10 não puderam ser caracterizadas nesse teste pois apresentaram valores de resistência a extensão (ou tenacidade) muito acima dos limites do aparelho, mesmo utilizando-se a metodologia proposta por D'EGIDIO et al.(1990) que é adaptada para trigos duros. Talvez isso possa refletir uma necessidade de melhoramento genético específico para o parâmetro tenacidade o que talvez já possa ter sido realizado em programas de melhoramento genético com trigos duros italianos, canadenses e norte- americanos.

Os valores de **W**, que representam a força geral ou a qualidade do glúten, variaram de 67,50 a 230, com um valor médio de 142,69 sendo que no trabalho de D'EGIDIO et al.(1990) os valores encontrados estão entre 40,0 a 309, com um valor médio de 128; e na pesquisa de CUBADDA et al. (1992) os resultados de **W** estão na faixa de 40 a 337 tendo como valor médio 141.

Através da análise de correlação entre todos os testes realizados, a 5% de significância, verificou-se que os valores de **W** apresentaram correlação altamente significativa ( $r = 0,92^*$ ) com o índice de glúten, o que está em concordância com CUBADDA et al. (1992) que também encontraram correlação positiva ( $r = 0,80^*$ ) entre o valor **W** e o índice de glúten das semolinas.

Tanto o valor **W**, como o teste de sedimentação e o índice de glúten são testes para a determinação da qualidade (ou força) do glúten, porém, de acordo com CUBADDA et al. (1992) o índice de glúten é o teste mais rápido podendo ser usado eficientemente nos programas de melhoramento de trigos duros e também na avaliação de qualidade do grão e da semolina para transações comerciais.

Para o parâmetro **P**, que representa a resistência a extensão, encontrou-se valores entre 55,0 e 145,00, com um valor médio de 100,2.

D'EGIDIO et al.(1990) relata que os valores do parâmetro alveográfico **P** para a semolina variaram entre 28,3 e 147,4 tendo como valor médio 68,3.

Os resultados encontrados para os valores de **P**, apresentaram elevadas correlações a 5% de significância com o índice de glúten ( $r = 0,90^*$ ) e com o parâmetro **W** ( $r = 0,95^*$ ).

O parâmetro **G** (índice de expansão) apresentou resultados entre os valores 9,25 e 15,00. Esses valores estão um pouco abaixo dos valores 11,2 a 25,4 citados na literatura por CUBADDA et al. (1992) e dos resultados alcançados por D'EGIDIO et al.(1990) que se encontram entre 13,3 a 23,3.

Em relação ao parâmetro **L**, que indica a extensibilidade, obteve-se resultados que variaram entre 17,5 e 46,0; e para a proporção **P/L** os resultados apresentaram-se na faixa entre 1,22 e 5,57.

De acordo com o protocolo Chopin – Estudo do alveógrafo e consistógrafo para trigos duros, chega-se à conclusão que a forma da curva obtida no alveógrafo para semolinas de trigos duros é quase a mesma que a encontrada para farinhas de trigos duros. Segundo QUAGLIA (1988) os alveogramas das farinhas de trigos duros indicam uma tenacidade muito elevada (altos valores de **P**) e a proporção **P/L** apresenta valores superiores a 1,5 e o trabalho correspondente à deformação da amostra de massa, o valor **W** é cerca de 200. Ou seja o glúten tende a ser muito tenaz e não muito extensível.

#### **4.5.4.2. Resistência à extensão e extensibilidade do glúten**

Os resultados encontrados para os parâmetros de resistência à extensão e extensibilidade dos glúten das semolinas, caracterizadas no analisador de textura TA.XT2 com o emprego do probe SMS/KIEFFER DOUGH & GLUTEN EXTENSIBILITY RIG, podem ser observados na **Tabela 15**.



**Tabela 15** Parâmetros do analisador de textura TA.XT<sub>2</sub>

| <b>GLÚTENS DAS<br/>SEMOLINAS</b> | <b>FORÇA MÁXIMA* (g)<br/>(resistência à<br/>extensão)</b> | <b>DISTÂNCIA* (cm)<br/>(extensibilidade)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Genótipo 1                       | 29,62                                                     | 13,14                                        |
| Genótipo 2                       | 29,44                                                     | 13,63                                        |
| Genótipo 3                       | 77,26                                                     | 11,08                                        |
| Genótipo 4                       | 15,46                                                     | 6,45                                         |
| Genótipo 5                       | 44,44                                                     | 6,96                                         |
| Genótipo 6                       | 45,10                                                     | 8,76                                         |
| Genótipo 7                       | 17,54                                                     | 8,78                                         |
| Genótipo 8                       | 49,08                                                     | 7,22                                         |
| Genótipo 9                       | 52,80                                                     | 10,91                                        |
| Genótipo 10                      | 70,90                                                     | 8,19                                         |
| Genótipo 11                      | 33,46                                                     | 11,13                                        |

\*Os resultados são a média de cinco determinações

Os resultados obtidos para a força máxima (= resistência à extensão) apresentam-se entre 15,46g e 77,26g. De acordo com SMEWING (1995) uma curva ideal de resistência à extensão apresentaria como valores para a força máxima entre 60 e 100 gramas. Portanto, de acordo com esse padrão, os glúten dos genótipos 3 e 10 estariam dentro dessa condição considerada como ideal. O glúten do genótipo 9, apesar de não se enquadrar nessa faixa ideal, apresentou um resultado de 52,80 gramas, o qual se encontra próximo ao valor mínimo de 60 gramas.

Na análise de correlação entre os resultados das propriedades de resistência à extensão e de extensibilidade pelo alveógrafo e pelo analisador de textura, os genótipos 3, 8 e 10 não puderam ser comparados em decorrência de terem apresentado valores para o parâmetro **P** (= resistência à extensão) acima dos limites do aparelho, impossibilitando o término da análise.

Os dados de força máxima (= resistência à extensão) alcançados com o uso do analisador de textura apresentaram uma correlação positiva ( $r = 0,78^*$ ) a 5% de significância com os resultados do parâmetro **P** (= resistência à extensão) obtidos com o uso do alveógrafo.

Apresentou também uma elevada correlação ( $r = 0,91^*$ ) com o parâmetro **W** do alveograma, com os testes de sedimentação ( $r = 0,78^*$  segundo AXFORD et al., 1978 e,  $r = 0,81^*$  com A.A.C.C., 1995), e com o índice de glúten ( $r = 0,92^*$ ) que são testes empregados para a determinação da força geral do glúten.

Portanto esse micro-método de análise de glúten proporciona resultados comparáveis ao método alveográfico para o parâmetro resistência à extensão, bem como aos resultados obtidos com os testes de determinação de força geral do glúten.

Os valores obtidos para a distância (= extensibilidade) estão entre 6,45 cm e 13,63 cm. SMEWING (1995) sugere um valor de aproximadamente 14 cm como ideal para o parâmetro distância (= extensibilidade do glúten). Dessa forma, apenas os genótipos 1 e 2 apresentaram glúten com características próximas às ideais quanto à extensibilidade.

Através da análise de correlação múltipla observa-se uma alta correlação ( $r = 0,88^*$ ) a 5% de significância entre os valores alcançados para a distância (= extensibilidade)

no analisador de textura e os resultados obtidos no alveograma para o parâmetro  $L$ , que também representa a extensibilidade.

Portanto quando não se dispõe de grandes quantidades de amostra, principalmente quando se trata de produtos resultantes de programas de melhoramento genético, sugere-se a utilização desse micro-método de análise como uma ferramenta de grande potencial de caracterização das propriedades do glúten.

#### 4.5.5. Atividade diastática

Um dos fatores que afetam a qualidade final das pastas é o nível de  $\alpha$ -amilase no produto processado. A atividade amilolítica elevada no espagete aumenta a quantidade de resíduo na água de cocção e o nível de açúcares redutores no espagete o que tende a resultar num espagete cozido ligeiramente mais mole (MATSUO et al. 1982). Além desse problema DONNELLY (1980) constatou que níveis de germinação superiores a 4% ou números de queda menores que 120 proporcionaram aos produtos de pasta um elevado potencial para rachaduras e quebras durante a estocagem. Esse efeito porém não foi evidenciado no trabalho de DEXTER et al. (1990).

Um outro efeito adverso da germinação relatado por DONNELLY (1980) seria a elevação na contagem do número de partículas na semolina.

Segundo DEXTER et al. (1990) na América do Norte o número de queda da semolina é frequentemente utilizado como uma especificação de qualidade primária pelos fabricantes de pasta de alta qualidade; e alguns deles não processam pasta de semolinas com números de queda menores que 300, de acordo com DONNELLY (1991).

Os resultados alcançados em nossa pesquisa para os números de queda (em segundos) encontram-se na **Tabela 16**.

Tabela 16. Valores de Números de Queda

| SEMOLINAS   | NÚMEROS DE QUEDA<br>(s) |
|-------------|-------------------------|
| GENÓTIPO 1  | 561,00                  |
| GENÓTIPO 2  | 482,00                  |
| GENÓTIPO 3  | 557,00                  |
| GENÓTIPO 4  | 535,00                  |
| GENÓTIPO 5  | 601,00                  |
| GENÓTIPO 6  | 537,00                  |
| GENÓTIPO 7  | 545,00                  |
| GENÓTIPO 8  | 593,00                  |
| GENÓTIPO 9  | 507,00                  |
| GENÓTIPO 10 | 567,00                  |
| GENÓTIPO 11 | 547,00                  |

Os dados obtidos para o número de queda no presente estudo estiveram entre 482 segundos e 601,00 segundos. Esses valores estão bem acima dos valores médios de 350 a 400 segundos citados por DICK & YOUNGS (1988); e do valor médio de 321 segundos obtido por DEXTER et al. (1990) para semolinas de trigos duros.

O teste de “falling number” ou número de queda é altamente correlacionado com a atividade de  $\alpha$ -amilase e é um bom indicador de germinação no trigo duro. É um teste baseado na mudança de viscosidade do amido gelatinizado e provavelmente o mais largamente usado devido a sua alta velocidade, simplicidade e baixo custo (MATSUO et al., 1982; DICK & MATSUO, 1988).

Portanto pode-se afirmar que a atividade de  $\alpha$ -amilase em nossas amostras foi relativamente baixa haja visto os elevados valores alcançados para o número de queda, indicando que não ocorreu início de germinação na matéria-prima trigo.

#### **4.5.6. Contagem de pontos pretos e de partículas de farelos**

Os pontos pretos e farelos da semolina são estimados visualmente pela sua contagem em uma área definida, sendo que o procedimento universal é o de se colocar uma placa de vidro dividida em quadrados de área definida sobre a semolina (FEILLET & DEXTER, 1996). O método exato varia entre os moageiros de trigos duros e os fabricantes de pasta, não existindo um método padrão. Entretanto, é uma determinação de controle de qualidade que assegura que a semolina se encontra dentro das especificações exigidas pelo cliente, de acordo com HARRIGAN & BUSSMANN (1998).

Recentemente, alguns trabalhos têm sido realizados utilizando-se um sistema de imagem automatizada (digital) para essa contagem, conforme descrito em SYMONS et al. (1996) e HARRIGAN & BUSSMANN (1998), porém ainda não disponível comercialmente.

O farelo de trigo é a fonte mais comum das manchas marrons na semolina e os pontos pretos são usualmente causados por grãos doentes ou descoloridos, com ergot, por sementes de ervas ou sujeiras. Os pontos pretos são os mais perceptíveis no produto final

enquanto que as partículas de farelo podem causar a quebra do espagete após a secagem (HARRIGAN & BUSSMANN, 1998; ABERCROMBIE, 1980).

Os resultados obtidos em nosso estudo encontram-se na **Tabela 17**.

**Tabela 17** Dados da contagem do número de pontos pretos e partículas de farelo

| <b>SEMOLINAS</b> | <b>PONTOS PRETOS E<br/>FARELOS<br/>(em 50 cm<sup>2</sup>)*</b> |
|------------------|----------------------------------------------------------------|
| GENÓTIPO 1       | 35,00                                                          |
| GENÓTIPO 2       | 56,00                                                          |
| GENÓTIPO 3       | 48,00                                                          |
| GENÓTIPO 4       | 62,00                                                          |
| GENÓTIPO 5       | 37,00                                                          |
| GENÓTIPO 6       | 32,00                                                          |
| GENÓTIPO 7       | 46,00                                                          |
| GENÓTIPO 8       | 35,00                                                          |
| GENÓTIPO 9       | 35,00                                                          |
| GENÓTIPO 10      | 53,00                                                          |
| GENÓTIPO 11      | 69,00                                                          |

\* Os resultados representam a média de duas determinações

Os dados obtidos abrangeram valores entre 32,00 e 69,00, sendo que o genótipo 11 é a amostra que tende a apresentar maior quantidade de pontos pretos e de farelos em relação às demais semolinas. Porém, esse resultado ainda está baixo, quando comparado com os valores 169,00 e 112,00 determinado por DEXTER et al.(1994) para a semolina do cultivar de trigo duro Ontario. Nesse trabalho também foram observados valores intermediários (53,00 e 72,00) para semolinas de trigo duro francês e, os valores mais baixos para dois cultivares de trigos duros canadenses - CWAD n.1 (27,00 e 39,00) e CWAD n.3 (13,00 e 20,00). Todos os resultados, assim como em nosso trabalho, foram expressos por 50 cm<sup>2</sup>.

A análise de correlação à 5% de significância revelou uma importante correlação negativa ( $r = -0,75^*$ ) entre os resultados da contagem de pontos pretos e farelos e os dados encontrados para a coordenada de cromaticidade  $b$ , que representa o índice de amarelo da semolina.

#### 4.5.7. Características de pasta

A qualidade dos produtos como o espaguete depende em parte da qualidade do amido e da atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, as quais podem ser avaliadas através do R.V.A, sendo que uma elevada atividade dessa enzima é detectada através de uma curva mais baixa, comumente medida pela viscosidade máxima (NEWPORT CIENTIFIC, 1995). Portanto quanto maior a atividade menor a viscosidade máxima.

As curvas de viscosidade produzidas durante o aquecimento e o resfriamento dos amidos geralmente mostram uma curva de pasta característica.

Os perfis dos gráficos para as características de pasta do amido das repetições de cada amostra foram coincidentes (sobrepostos).

Os dados obtidos para as características de pasta: temperatura de pasta, tempo de viscosidade máxima, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante e viscosidade final das semolinas são apresentados na **Tabela 18**.

Tabela 18 Dados das características de pasta

| SEMOLINAS   | PARÂMETROS                |                             |                        |                                             |                              |
|-------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|
|             | Temperatura de pasta (°C) | Tempo de $\eta$ máx. (min.) | $\eta$ máxima (R.V.U.) | $\eta$ mín.(R.V.U.) à Temp.constante (95°C) | $\eta$ final (R.V.U.) à 50°C |
| Genótipo 1  | 84,40                     | 6,00                        | 100,80                 | 97,50                                       | 215,00                       |
| Genótipo 2  | 83,50                     | 5,40                        | 108,90                 | 102,30                                      | 218,90                       |
| Genótipo 3  | 85,70                     | 6,90                        | 100,00                 | 97,50                                       | 213,30                       |
| Genótipo 4  | 85,50                     | 6,20                        | 97,40                  | 94,70                                       | 206,30                       |
| Genótipo 5  | 84,90                     | 5,50                        | 118,90                 | 116,00                                      | 252,70                       |
| Genótipo 6  | 85,70                     | 6,90                        | 98,90                  | 96,50                                       | 212,00                       |
| Genótipo 7  | 85,30                     | 6,00                        | 98,90                  | 95,30                                       | 199,50                       |
| Genótipo 8  | 86,90                     | 6,90                        | 104,20                 | 101,20                                      | 218,00                       |
| Genótipo 9  | 85,20                     | 7,00                        | 109,30                 | 106,60                                      | 233,50                       |
| Genótipo 10 | 84,90                     | 6,20                        | 117,30                 | 114,60                                      | 248,70                       |
| Genótipo 11 | 83,80                     | 5,40                        | 139,70                 | 112,50                                      | 232,00                       |



Os resultados de temperatura de pasta foram próximos, sugerindo que o início do inchamento dos grânulos, detectado no equipamento, foi semelhante para todos os genótipos estudados.

O tempo de viscosidade máxima variou de 5,40 à 7,00 minutos indicando que algumas semolinas atingiram a viscosidade máxima mais rapidamente do que outras.

Os valores de viscosidade máxima (R.V.U.) variaram entre 97,40 e 139,70 e a análise de correlação múltipla a 5% de significância demonstrou a existência de uma importante correlação negativa ( $r = -0,84^*$ ) entre a viscosidade máxima e a dureza dos grãos. Isso pode sugerir a existência de uma maior quantidade de grânulos de amidos danificados nas semolinas resultantes da moagem de grãos mais duros propiciando assim substrato para a atuação da enzima  $\alpha$ -amilase, cuja ação se reflete num pico de viscosidade máxima menor (mais baixo).

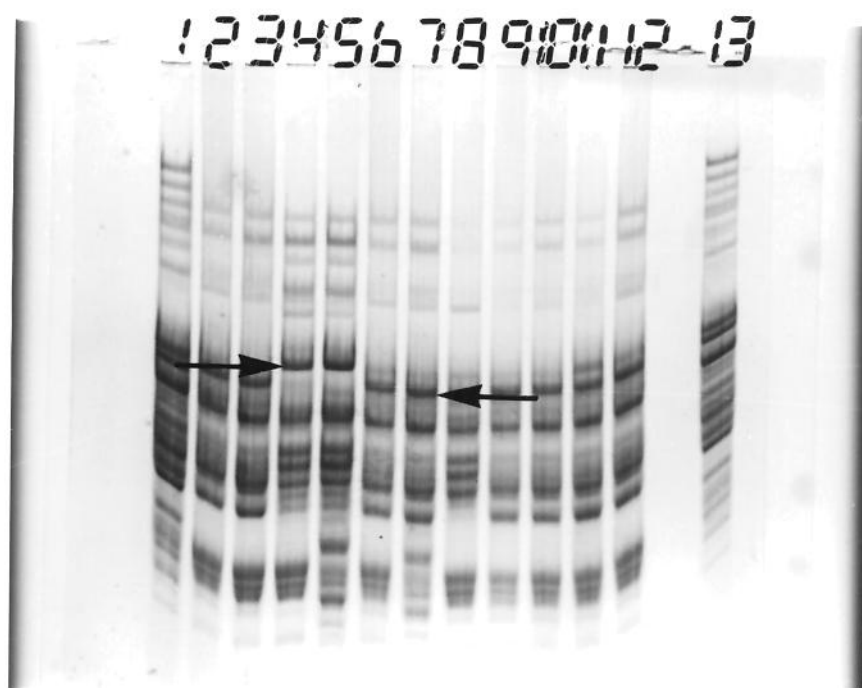
Os resultados alcançados para a viscosidade mínima (R.V.U.) à temperatura constante (95°C) estão entre 94,70 e 116,00. Como esse parâmetro indica a resistência do grânulo de amido à ação mecânica, pode-se verificar que alguns genótipos que apresentaram valores maiores para a viscosidade mínima à temperatura constante tendem a ser mais resistentes.

Para a viscosidade final (R.V.U.) à 50°C obteve-se resultados que variaram entre 199,50 e 252,70. A viscosidade final é uma medida da retrogradação do amido e portanto os genótipos que apresentaram as maiores viscosidades finais possivelmente são os que apresentaram maior tendência à retrogradação.

## 4.6. Eletroforese de gliadinas

### 4.6.1. Eletroforese em gel de poliacrilamida em sistema tampão ácido (A-PAGE)

Os padrões eletroforéticos de gliadinas para cada um dos onze genótipos de trigos duros estudados estão apresentados na **Figura 5** sendo que o trigo Marquis foi incluído como padrão de referência.



**Figura 5** Eletroforese em gel A-PAGE de gliadinas das amostras (esquerda para a direita): nº1:trigo Marquis (padrão), nº2:genótipo 6, nº3:genótipo 8, nº4:genótipo 4, nº5:genótipo 7, nº6:genótipo 2, nº7:genótipo 1, nº8:genótipo 11 (CWAD), nº9:genótipo 10, nº10:genótipo 3, nº11:genótipo 9, nº12:genótipo 5, nº13:trigo Marquis (padrão).

Observando-se a **Figura 5** verifica-se que houve uma moderada curvatura nos perfis eletroforéticos das gliadinas principalmente dos genótipos que se encontravam nas extremidades, que eram os padrões do trigo Marquis para a nomenclatura e identificação das

bandas. É o efeito “smile”, ou seja, provavelmente ocorreu aquecimento do gel devido à alta voltagem empregada (1026 V) apesar da circulação de água refrigerada à 8° C no sistema. Esse efeito dificultou a exata localização das bandas  $\gamma$ -gliadina 45 e  $\gamma$ -gliadina 42, consideradas como marcadores genéticos de qualidade para o trigo duro (POGNA et al, 1988) e cuja localização ocorre através da banda de referência 50 do trigo Marquis, usada para se calcular os valores de mobilidade relativa (BUSHUK & ZILLMAN, 1978; WRIGLEY et al. 1982). Segundo esses autores, a banda de referência 50 do trigo Marquis é facilmente reconhecida nos eletroforegramas por vir logo após uma característica banda dupla, de menor mobilidade.

Segundo BUSHUK & ZILLMAN (1978) a resolução das bandas das gliadinas é considerada satisfatória quando essa banda dupla do trigo Marquis é bem resolvida. Em nosso estudo, apesar do efeito “smile”, a resolução das bandas foi considerada satisfatória uma vez que essa banda dupla e a própria banda 50 foi detectada pela comparação do perfil encontrado nesse estudo com o perfil encontrado na literatura para o trigo Marquis (KOSMOLAK et al. 1980; KHAN et al. 1985).

A análise dos eletroforegramas dos genótipos estudados foi feita por comparação com os trabalhos de KOSMOLAK et al. 1980; KHAN et al. 1985 e FEILLET, 1988; que ilustram a localização das bandas  $\gamma$ -gliadina 45 e  $\gamma$ -gliadina 42 nos eletroforegramas de genótipos de trigos duros. Através dessa comparação, as amostras que provavelmente apresentam a banda  $\gamma$ -gliadina 42 presente e a  $\gamma$ -gliadina 45 ausente são os genótipos 4 e 7, enquanto que o perfil eletroforético dos demais genótipos caracterizados sugere que todos apresentam a fração  $\gamma$ -gliadina 45 presente.

Como essas frações estão associadas com características de qualidade, sendo que os genótipos que apresentam a banda  $\gamma$ -gliadina 42 presente e a  $\gamma$ -gliadina 45 ausente estão correlacionados com baixa qualidade (KOSMOLAK et al. 1980; DU CROS, 1991), comparou-se esse resultado com os testes de qualidade do glúten e do espaguete.

Verificou-se que os resultados obtidos para os genótipos 4 e 7 no teste de sedimentação com dodecil sulfato de sódio (SDS), tanto em relação à metodologia de AXFORD et al. (1978) quanto à da AACC (1995), foram os menores valores,

demonstrando uma tendência a glúten fracos, uma vez que esse teste relaciona o volume de sedimento com a força geral do glúten. Nossos resultados estão em concordância com o trabalho de AUTRAN et al. (1986) o qual constataram que quando o tipo  $\gamma$ -gliadina 45 estava presente o volume de sedimentação com SDS é muito maior do que quando o tipo  $\gamma$ -gliadina 42 estava presente.

Observando-se os resultados obtidos do índice de glúten, que também é um teste usado para se avaliar a força do glúten, encontramos os mais baixos valores para esses dois genótipos, considerados de qualidade inadequada.

Como as gliadinas são proteínas que estão mais relacionadas com as propriedades de extensibilidade (ou viscosidade) da massa, comparamos esse resultado da eletroforese com os valores de *L*, que é o parâmetro alveográfico que indica a extensibilidade da massa. Pode-se constatar que os genótipos 4 e 7 foram os que apresentaram os valores mais baixos. Essa comparação está representada na **Figura 6**.

Além disso, para o parâmetro alveográfico *W*, que indica a força geral do glúten, o genótipo 4 foi o que apresentou o menor resultado enquanto que o genótipo 7 ocupou o terceiro menor valor.

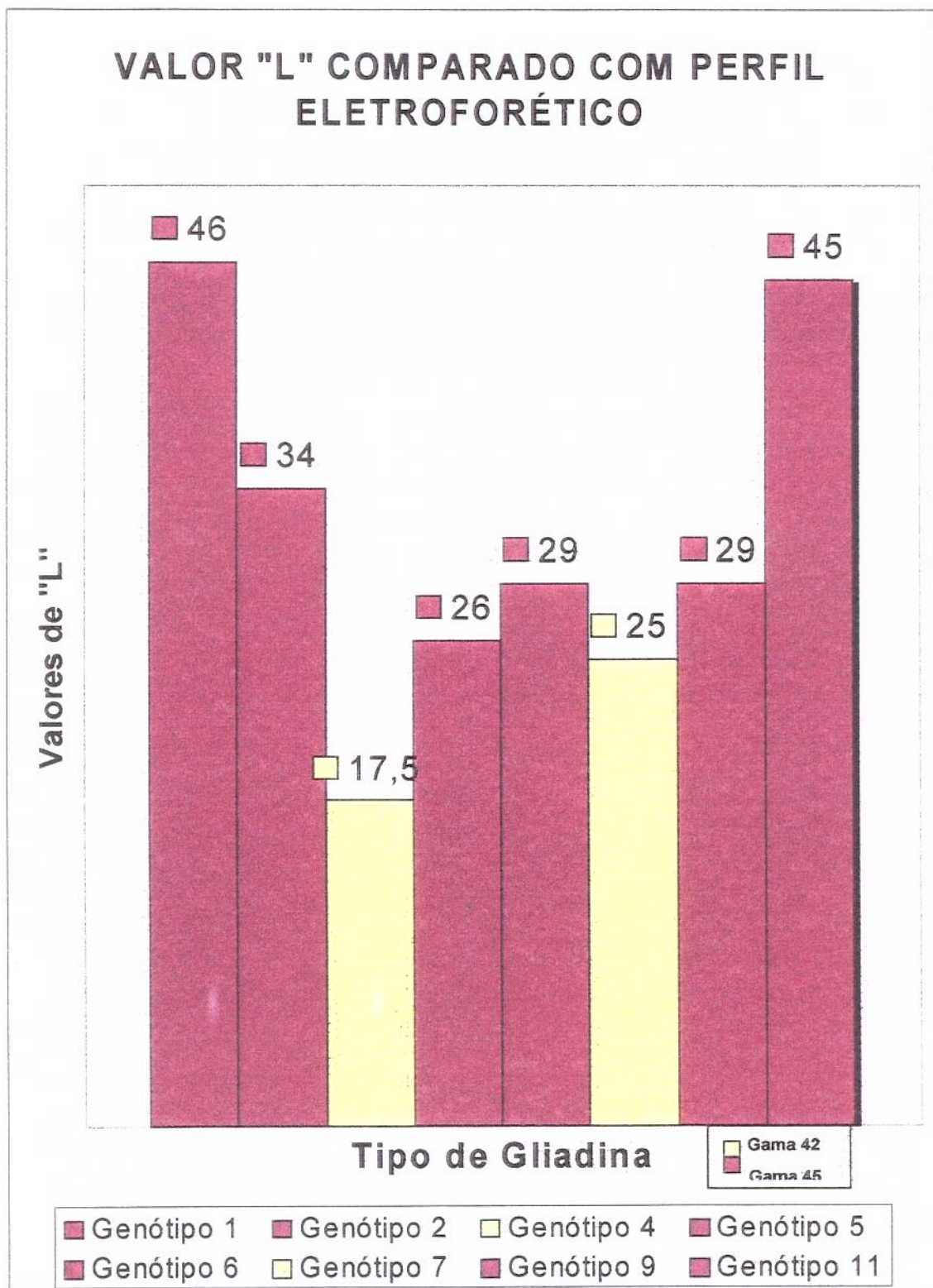
Em relação às propriedades de extensibilidade do glúten no analisador de textura, observou-se que os genótipos 4 e 7 apresentaram o pior perfil gráfico, com o genótipo 4 tendo o menor resultado para o parâmetro extensibilidade; e, para o parâmetro resistência à extensão ambos obtiveram os menores valores.

No teste de compressão do espaguete, verificou-se que os menores resultados para a dureza foram encontrados nos genótipos 4 e 7, ou seja, foram os que apresentaram os menores valores de força de compressão.

Segundo AUTRAN et al. (1986) existe uma forte confirmação da base genética das características reológicas do glúten.

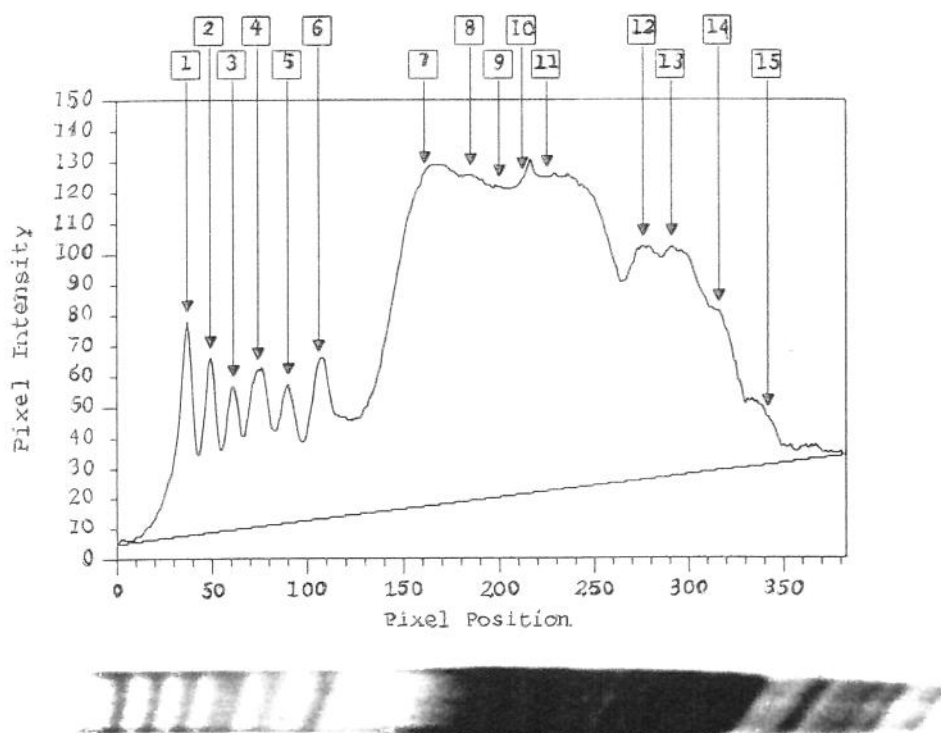
De acordo com KOSMOLAK et al. 1980, a eletroforese pode não ser tão efetiva em categorizar cultivares para a qualidade de cocção quanto para a força de glúten, o que também verificou-se em nosso estudo. Conforme esses autores, os resultados obtidos

sugerem que existe uma relação entre os perfis eletroforéticos das gliadinas e a qualidade do glúten de trigo duro. Os perfis também indicam, à semelhança dos resultados de AUTRAN et al. (1986), a existência de base genética em relação às características reológicas do glúten.



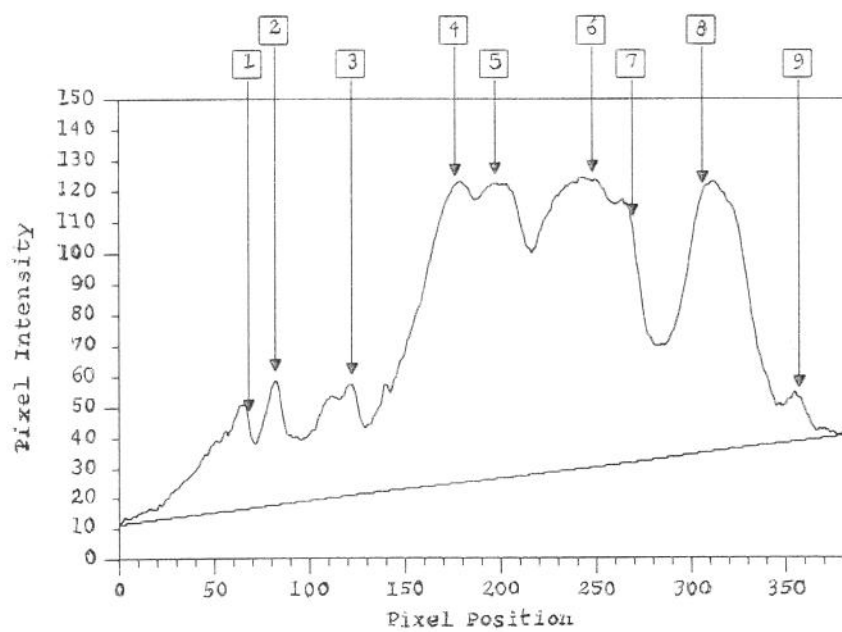
**Figura 6** Gráfico comparativo dos valores de "L" com o perfil eletroforético de gliadinas.

Os resultados da análise densitométrica do gel revelado obtido por A-PAGE é mostrada nas Figuras 7 (a – l) podendo-se observar a intensidade das bandas protéicas da gliadina de cada genótipo.



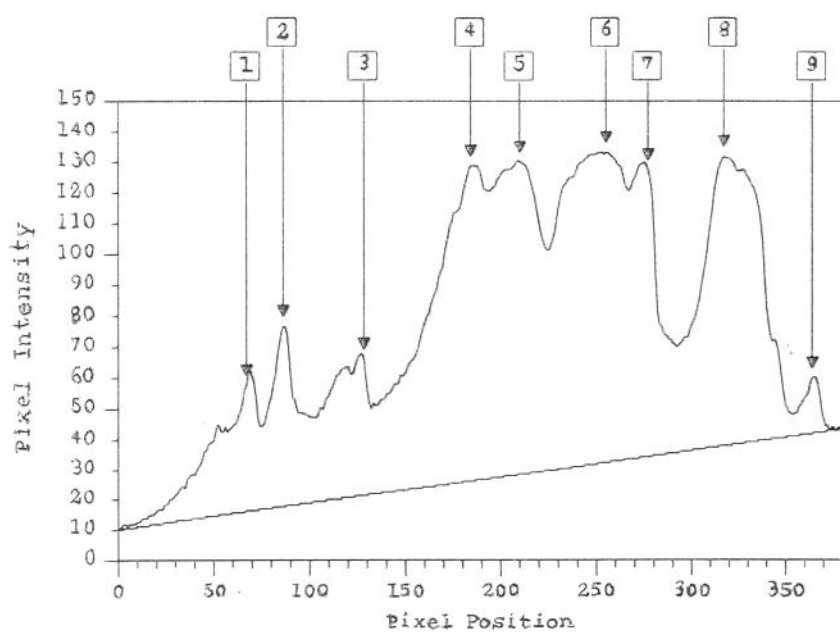
**Figura 7a.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do trigo Marquis (padrão).



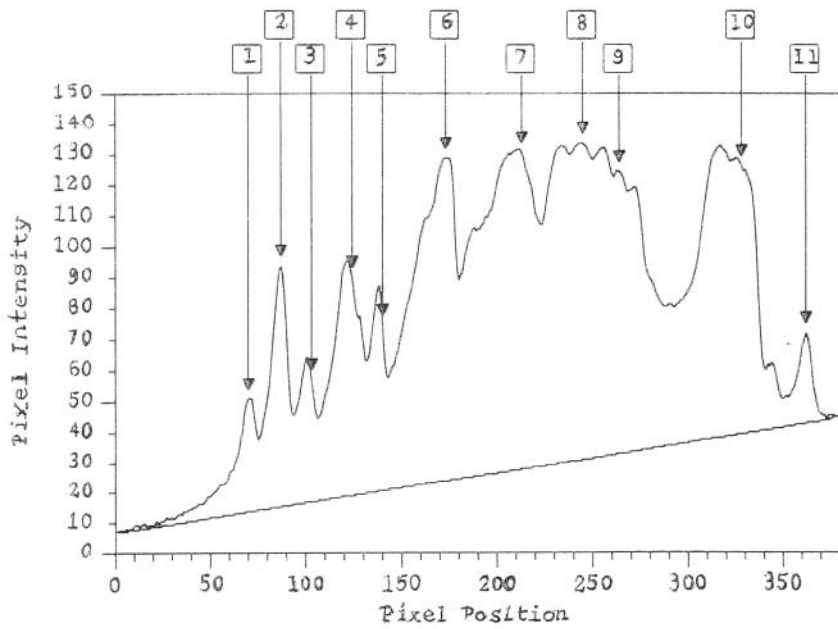


**Figura 7b.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 6.

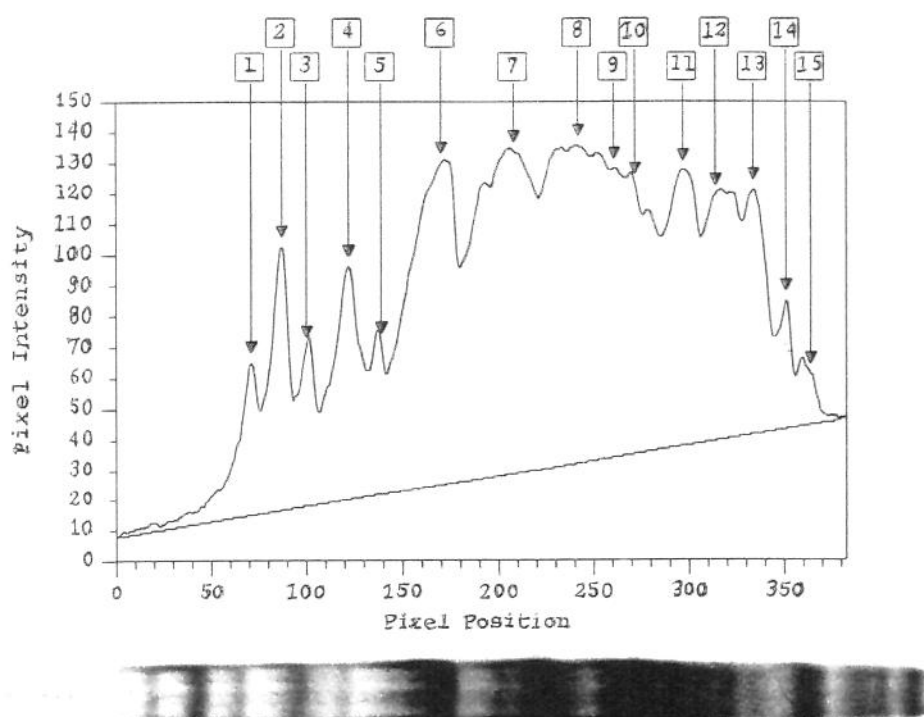




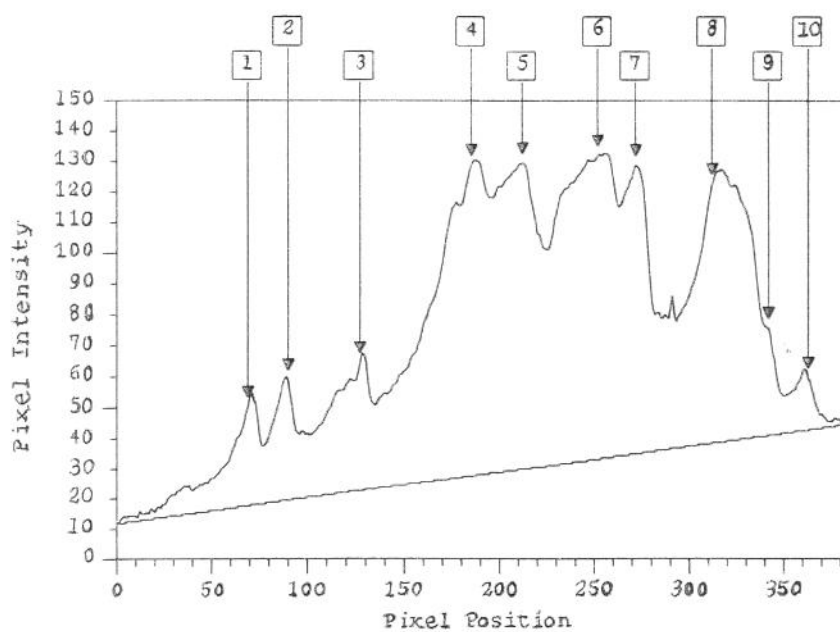
**Figura 7c.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 8.



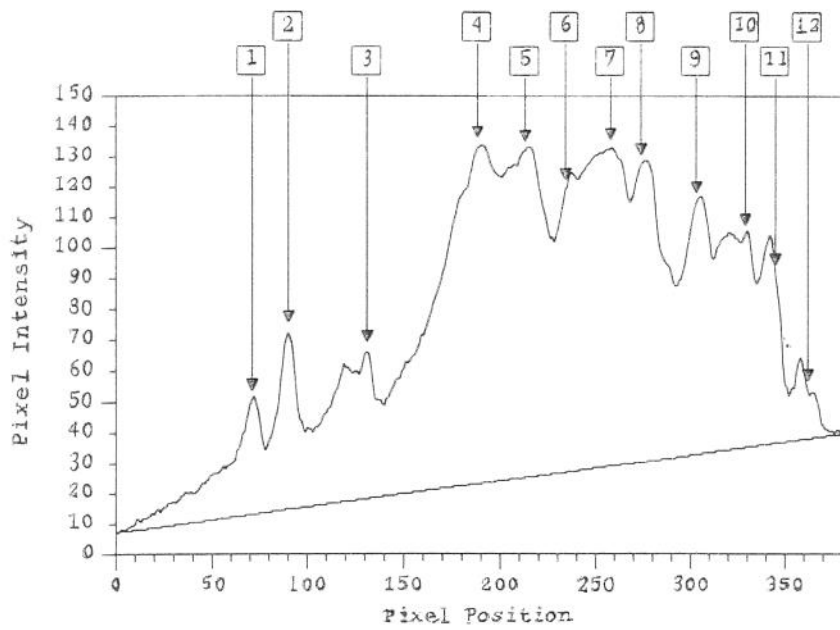
**Figura 7d.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 4.



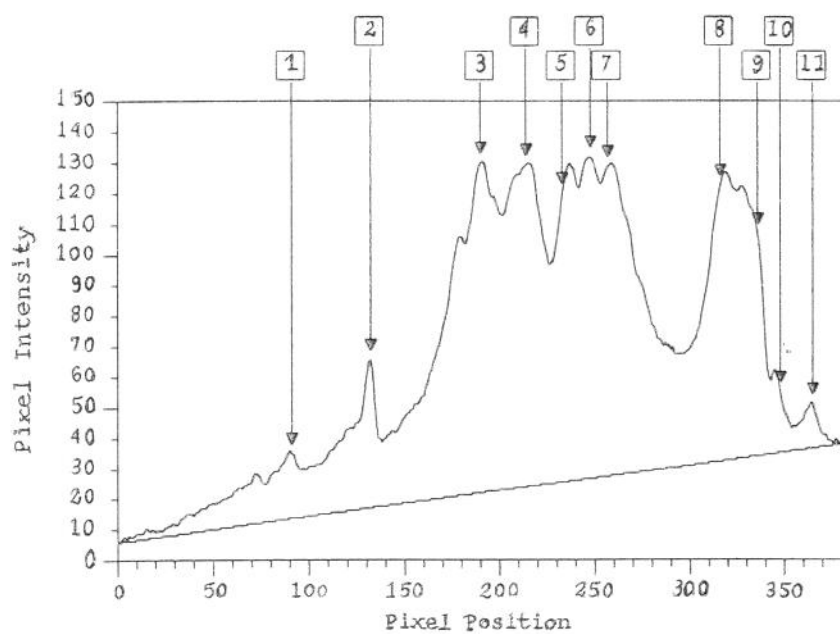
**Figura 7e.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 7.



**Figura 7f.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 2.

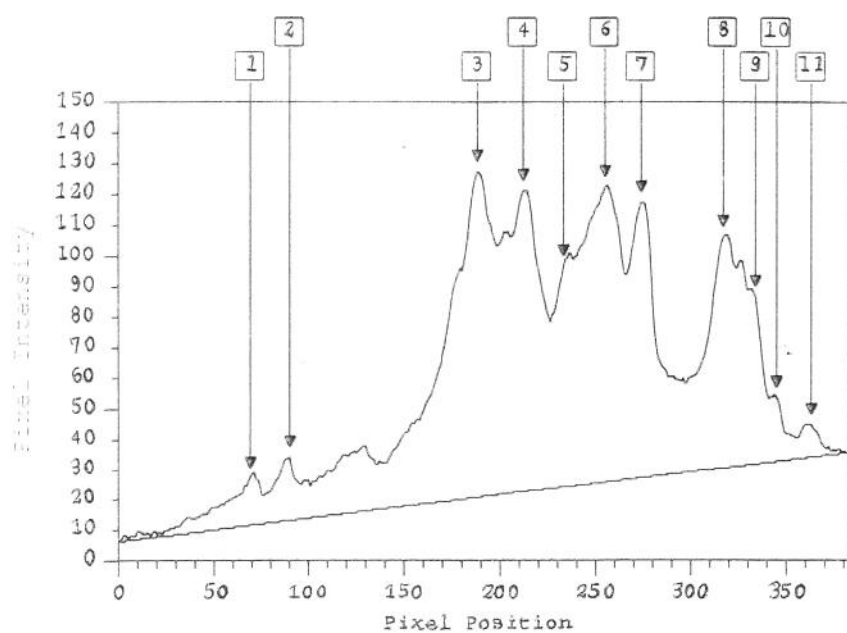


**Figura 7g.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 1.



**Figura 7h.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 11 (CWAD).

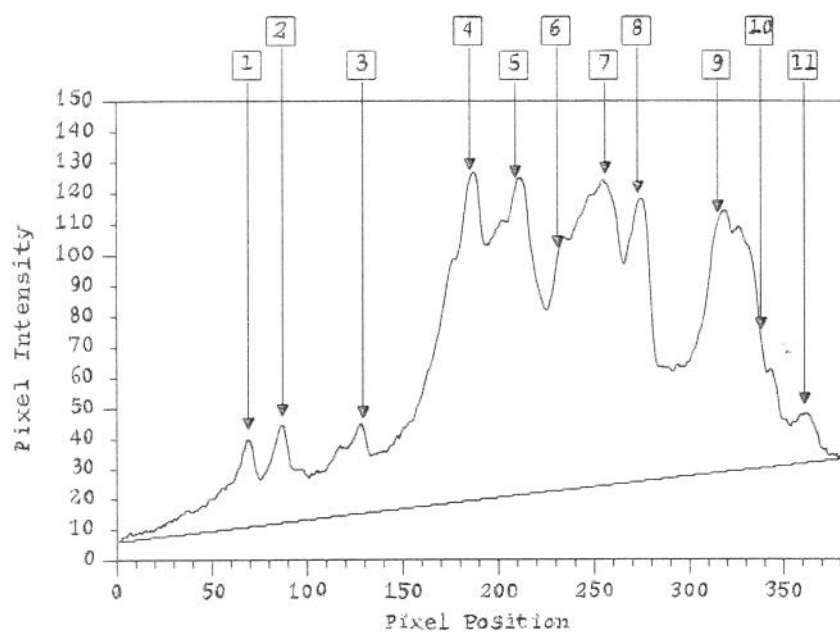
明 弘治 庚辰 年 春 月 日



**Figura 7i.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 10.

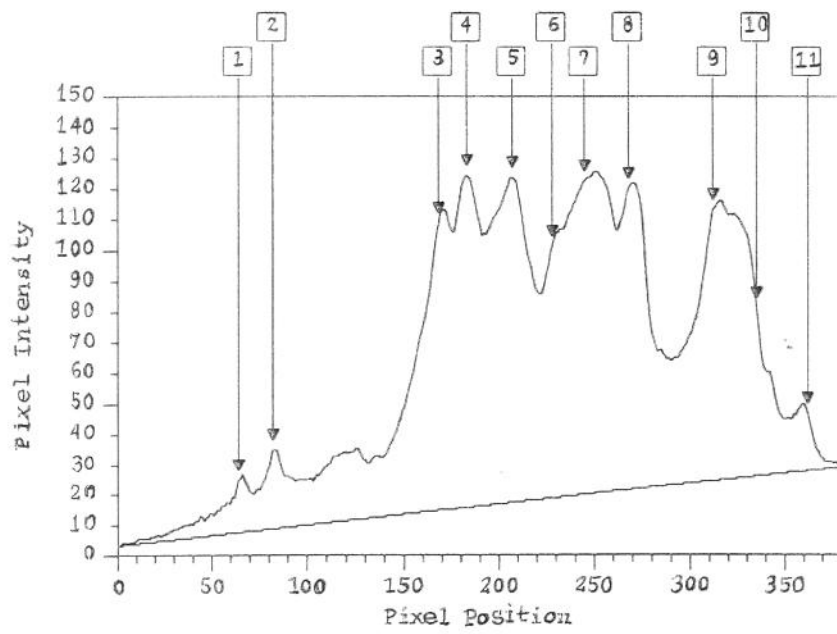


20



**Figura 7j.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 3.



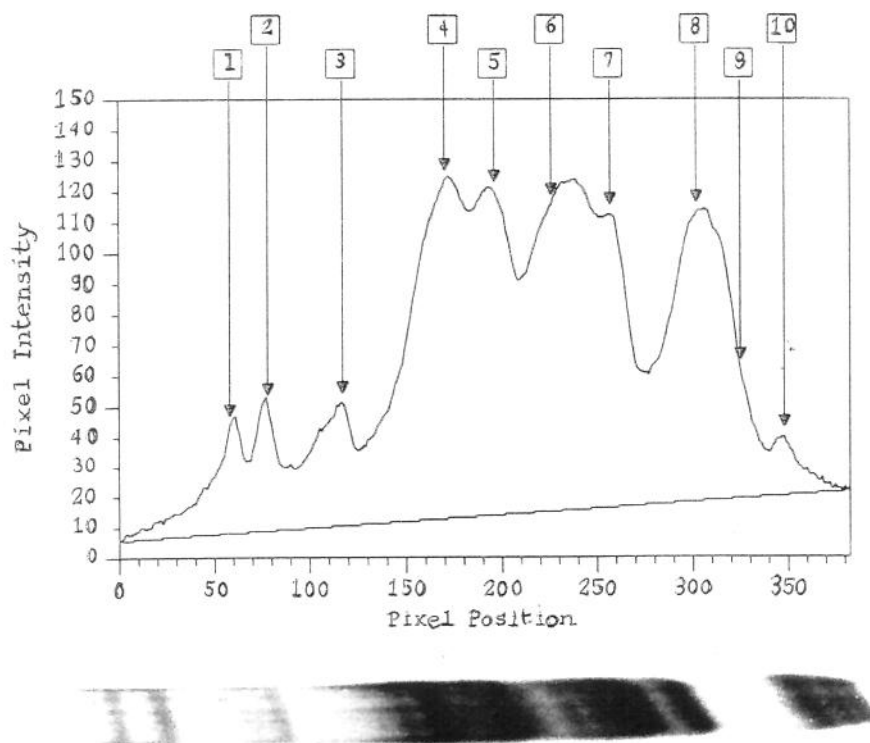


**Figura 7k.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 9.

Handwritten text, possibly a signature or date, located in the lower middle section of the page.

Handwritten text, possibly a signature or date, located in the lower right section of the page.

Handwritten text, possibly a signature or date, located in the lower right section of the page.



**Figura 7 I.** Densitometria da eletroforese em A-PAGE das proteínas gliadinas do genótipo 5.

#### **4.6.2. Eletroforese capilar**

Os resultados das separações das gliadinas dos genótipos de trigo duro e do trigo Marquis por eletroforese capilar foram registrados em gráficos de miliunidades de absorbância (mAU) pelo tempo em minutos de migração dos picos (das frações). As detecções das frações foram feitas a 200nm por um tempo total de dezesseis minutos. Na maioria das amostras, os picos começaram a ser detectados após os sete minutos iniciais, sendo que o tempo exato de migração de cada fração está gravado no gráfico logo acima das mesmas.

As análises foram feitas em duplicata, porém não apresentaram repetibilidade, embora as condições de extração fossem as mesmas, apenas realizadas em dias diferentes. Na técnica proposta por LOOKHART & BEAN (1995) a separação é conduzida em capilares de sílica fundida, de 25  $\mu\text{m}$  de diâmetro interno. Porém, como havia disponibilidade somente de capilares cujo menor diâmetro interno era de 50  $\mu\text{m}$ , estes foram usados. Desse modo talvez houvesse necessidade de outras adaptações para se atingir resultados mais próximos dos alcançados na literatura. Em decorrência dessas diferenças foi entendido que existe necessidade de estudos mais aprofundados para otimizar este tipo de análise.

### **4.7 Avaliação da Qualidade das Pastas**

#### **4.7.1. Análise do teor de umidade**

Após a secagem determinou-se a porcentagem de umidade final dos espaguetes e os resultados obtidos podem ser observados na **Tabela 19**.

**Tabela 19 Dados de umidade dos espaguetes**

| <b>ESPAGUETES</b> | <b>TEOR DE UMIDADE (%)</b> |
|-------------------|----------------------------|
| Genótipo 1        | 13,71 a,b                  |
| Genótipo 2        | 14,26 a                    |
| Genótipo 3        | 14,06 a,b                  |
| Genótipo 4        | 14,09 a,b                  |
| Genótipo 5        | 14,14 a,b                  |
| Genótipo 6        | 14,04 a,b                  |
| Genótipo 7        | 14,18 a                    |
| Genótipo 8        | 13,98 a,b                  |
| Genótipo 9        | 13,89 a,b                  |
| Genótipo 10       | 13,86 a,b                  |
| Genótipo 11       | 13,63 b                    |

Os resultados representam a média de três determinações e o erro padrão da média para a variável % de umidade da pasta foi 0,10.

Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).





Através dos dados da **Tabela 19** verifica-se que o teor de umidade final dos espaguetes variou entre 13,63% e 14,26%. A análise desses dados através do teste de Tukey demonstra que o genótipo 11 difere dos genótipos 2 e 7; sendo que os demais não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade.

As porcentagens de umidade encontradas para os espaguetes estão ligeiramente acima da faixa de 12,0% a 13,0% que é considerada ideal para pastas secas por não prejudicar a sua conservação (WALSH & GILLES, 1974; BANASIK, 1981; LEITÃO, 1990). Porém deve-se considerar que as condições de secagem foram experimentais e realizadas em pequenas quantidades.

#### 4.7.2. Determinação de cor

A cor é um dos fatores que influenciam a aparência do produto de pasta, além de seu tamanho e forma, uniformidade, brilho e textura de superfície. Os atributos desejáveis da pasta são que o produto seja translúcido, amarelo brilhante e livre de excessivos pontos pretos e manchas, rachaduras ou quebras e que tenha uma superfície lisa (DICK & MATSUO, 1988).

A cor da pasta é influenciada pelas características intrínsecas do trigo duro, das condições de moagem (da taxa de extração e o grau ao qual o gérmen, rico em lipoxigenase, é eliminado do produto moído), e dos parâmetros sob os quais a pasta é processada. Nas etapas de hidratação, mistura e extrusão onde a presença de água e a temperatura da massa (40 – 50 ° C) permitem as reações enzimáticas, a perda da cor ocorre principalmente pela ação da lipoxigenase sobre os pigmentos carotenóides, embora a atividade da peroxidase possa induzir ao escurecimento enzimático. A exclusão do oxigênio (processamento à vácuo) pode reduzir esse fenômeno.

Para produtos de cereais, além das medidas **L**, **a**, **b** têm-se o índice de marrom, geralmente expresso como 100 – **L**, e, o índice de amarelo individualizado no valor **b** (MECUCCI & SELVATICO, 1992).

Em nossa pesquisa analisou-se a cor dos espaguetes no espectrofotômetro, usando-se para a medida da diferença de cor a escala Hunter e o espagete obtido com a semolina do genótipo 11 (amostra comercial de trigo duro canadense *CWAD*) como padrão de

calibração do aparelho. Determinou-se os valores de luminosidade = **L**; e das coordenadas de cromaticidade **a** (uma função da diferença vermelho – verde, sendo que o valor positivo indica a cor vermelha e negativo a cor verde) e **b** (uma função da diferença amarelo – azul, sendo que o valor positivo indica a cor amarela e negativo a cor azul). Além desses, obteve-se o índice de marrom ( $100 - L$ ).

Os resultados obtidos podem ser observados na **Tabela 20**.

**Tabela 20. Médias\* dos dados experimentais de cor dos espaguetes**

| ESPAGUETES | PARÂMETROS |      |       |           |
|------------|------------|------|-------|-----------|
|            | L          | a    | b     | (100 – L) |
| Genótipo 1 | 61,67      | 4,84 | 21,92 | 38,33     |
| Genótipo 2 | 65,44      | 3,43 | 19,90 | 34,56     |
| Genótipo 3 | 58,98      | 4,33 | 19,94 | 41,02     |
| Genótipo 4 | 61,87      | 3,97 | 20,64 | 38,13     |
| Genótipo 5 | 61,61      | 3,82 | 21,20 | 38,39     |
| Genótipo 6 | 60,31      | 4,56 | 21,90 | 39,69     |
| Genótipo 7 | 57,18      | 3,90 | 20,67 | 42,82     |
| Genótipo 8 | 61,20      | 3,82 | 19,97 | 38,80     |
| Genótipo 9 | 63,71      | 3,57 | 21,78 | 36,29     |
| Genótipo10 | 60,51      | 3,74 | 20,13 | 39,49     |
| Genótipo11 | 60,02      | 4,21 | 20,90 | 39,98     |

\*Os resultados são a média de três determinações .



Os resultados encontrados para a luminosidade (valor *L*) estiveram entre 57,18 e 65,44. Como a escala para o valor de *L* varia de 100 para branco até zero para preto, verifica-se que o espagete resultante da semolina do genótipo 2 tende a ser mais claro que os demais enquanto que o do genótipo 7 apresenta tendência a ser mais escuro.

A coordenada de cromaticidade *a* apresentou valores que variaram entre 3,43 a 4,84; sendo que o espagete resultante da semolina do genótipo 1 tende a ser mais avermelhado em comparação com os demais. Encontrou-se essa mesma tendência para a semolina desse genótipo.

Através da análise de correlação múltipla encontrou-se uma correlação positiva ( $r = 0,88^*$ ) a 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ) entre os valores determinados para a coordenada de cromaticidade *a* da semolina e os valores para a coordenada de cromaticidade *a* dos espaguetes, o que pode refletir uma tendência à coloração mais avermelhada intrínseca da matéria-prima. Portanto possivelmente as temperaturas empregadas durante a fase de secagem dos espaguetes não induziram à formação de produtos resultantes de estágios avançados da reação de Maillard, os quais segundo D'EGIDIO & PAGANI (1997) elevam os índices vermelho e marrom dos produtos de pasta.

Para a coordenada de cromaticidade *b*, que representa o índice de amarelo, obteve-se resultados na faixa de 19,90 a 21,92. Verificou-se que o genótipo 1, que apresentou o maior valor numérico (21,92), para esse parâmetro tende a produzir um espagete mais amarelo, superando o espagete padrão. Encontrou-se também para a semolina desse genótipo o maior valor para o índice de amarelo. Além do genótipo 1, os genótipos 5 (21,20), 6 (21,90), 9 (21,78) produziram espaguetes com uma tendência a superar o espagete padrão na intensidade do amarelo (para o valor *b*).

O produto de pasta resultante da semolina do genótipo 2 foi o que apresentou o menor valor para o índice de amarelo, sugerindo uma tendência a ser menos amarelo que os demais.

A análise de correlação múltipla revelou uma correlação positiva ( $r = 0,86^*$ ) a 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ) entre os valores encontrados para a coordenada de cromaticidade

**b** da semolina e os valores encontrados para a coordenada de cromaticidade **b** dos espaguetes. Isso pode sugerir que as condições do processamento não alteraram significativamente os pigmentos carotenóides presentes na semolina, os quais são os responsáveis pela coloração amarela.

Essa análise demonstrou ainda a existência de uma correlação negativa ( $r = -0,73^*$ ) a 5% de significância ( $P \leq 0,05$ ) entre os resultados alcançados para a coordenada de cromaticidade **b** dos espaguetes, que representa o índice de amarelo, e os pontos pretos e farelos das semolinas, o que revela uma tendência da quantidade de pontos pretos e farelos da semolina interferirem na coloração amarela do espagete. Portanto, observou-se uma tendência das características de cor da semolina influenciarem na cor do produto final. Esse fato foi relatado por ABECASSIS et al.(1994) concluindo que os fatores de produção tiveram pouca influência na coloração da pasta, a qual dependeu muito mais da composição da matéria-prima empregada.

Em relação ao índice de marrom ( $100 - L$ ) sugere-se que quanto maior esse índice menor a aceitação do referido produto, uma vez que esse parâmetro pode refletir a ocorrência de escurecimento por ação enzimática ou como consequência da formação de produtos da reação de Maillard (escurecimento não enzimático pela reação de aminoácidos livres com açúcares redutores). Nossos resultados para este parâmetro estão entre 34,56 (genótipo 2) e 42,82 (genótipo 7).

#### 4.7.3. Qualidade de cocção

Segundo MATSUO & IRVINE (1970) as avaliações no espagete cozido devem ser sensíveis e objetivas para permitir a investigação dos parâmetros químicos e físicos do trigo ou da semolina que estão envolvidos na determinação da qualidade de cocção. Os referidos autores verificaram que o tipo (a qualidade) de glúten no trigo duro apresentou um efeito mais pronunciado na cocção do que a quantidade do mesmo; observando uma relação aparente entre a firmeza do espagete cozido e a força do glúten, o que também foi relatado posteriormente por várias pesquisas citadas por DEXTER et al. (1983a).

Conforme FEILLET (1984) o fenômeno básico responsável por uma boa qualidade de cocção é a habilidade das proteínas formarem uma rede insolúvel, a qual é capaz de prender os grânulos de amido gelatinizados.

A qualidade de cocção da pasta, de acordo com CARRILLO et al. (1990) é dependente das características reológicas ligadas à força do glúten e das condições de superfície da pasta cozida, sendo essas últimas correlacionadas positivamente com a quantidade de grupos sulfidríla (-SH) somados às pontes bissulfeto (S-S) nas gluteninas de baixo peso molecular que possivelmente estariam envolvidas na qualidade de cocção das semolinas de trigos duros (ALARY & KOBREHEL, 1987; KOBREHEL et al., 1988).

Em nosso estudo avaliou-se as características de cocção dos espaguete através da determinação dos parâmetros: tempo de cozimento, aumento de peso, aumento de volume e porcentagem de perda de sólidos na água de cocção. Os resultados alcançados encontram-se na **Tabela 21**.





**Tabela 21 Características de cocção dos espaguetes**

| ESPAGUETE   | TEMPO DE COCÇÃO (min) | AUMENTO DE PESO* (nº vezes) | AUMENTO DE VOLUME* (nº vezes) | PERDA DE SÓLIDOS* (%) |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Genótipo 1  | 8,00                  | 2,56 a                      | 2,90 a                        | 4,76 c,d              |
| Genótipo 2  | 6,00                  | 2,45 a,b,c                  | 2,74 a,b,c                    | 4,67 c,d              |
| Genótipo 3  | 5,30                  | 2,38 b,c,d                  | 2,75 a,b                      | 4,61 c,d              |
| Genótipo 4  | 7,00                  | 2,53 a,b                    | 2,87 a                        | 4,91 b,c              |
| Genótipo 5  | 7,30                  | 2,43 a,b,c                  | 2,71 a,b,c                    | 4,91 b,c              |
| Genótipo 6  | 8,00                  | 2,45 a,b,c                  | 2,75 a,b                      | 5,56 a,b              |
| Genótipo 7  | 6,30                  | 2,46 a,b,c                  | 2,75 a,b                      | 4,88 b,c              |
| Genótipo 8  | 7,00                  | 2,27 d                      | 2,54 c                        | 4,73 c,d              |
| Genótipo 9  | 7,30                  | 2,34 c,d                    | 2,54 c                        | 5,64 a                |
| Genótipo 10 | 7,30                  | 2,40 b,c,d                  | 2,62 b,c                      | 5,88 a                |
| Genótipo 11 | 6,00                  | 2,44 a,b,c                  | 2,67 b,c                      | 4,07 d                |

\*Os resultados representam a média de três determinações e o erro padrão da média para a variável aumento de peso foi 0,03; para a variável aumento de volume foi 0,04 e para a variável % de perda de sólidos foi 0,14.

Letras diferentes nas colunas mostram que as médias diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



Observando-se a **Tabela 21** verifica-se que os resultados correspondentes aos tempos de cocção dos espaguetes variaram entre 5,30 e 8,00 minutos.

GRZYBOWSKI & DONNELLY (1979) estudando os fatores que afetam a qualidade de cocção das pastas (espaguete) verificaram que quando o tempo de cocção aumentava, a absorção de água e as perdas de sólidos na água de cocção aumentavam quase que linearmente entre 10 e 25 minutos, enquanto que a firmeza diminuía exponencialmente. Concluíram que o tempo de cocção é o parâmetro predominante na qualidade de cocção do espaguete, não devendo exceder a 15 minutos.

Em relação ao parâmetro aumento de peso, que é uma medida da capacidade de absorção de água pelo espaguete durante a cocção, os valores encontrados em nosso estudo estão entre 2,27 e 2,56, com um valor médio de 2,43.

De acordo com DONNELLY (1991) esse aumento de peso deve ser de três vezes o peso do material seco enquanto que FEILLET & DEXTER (1996) afirmam que 100 gramas de pasta geralmente absorvem 160 a 180 gramas de água, e portanto aumentariam em peso após a cocção 2,6 a 2,8 vezes.

Comparando-se os nossos resultados com esses dados da literatura, verifica-se que eles estão ligeiramente abaixo desses valores, porém como nossas condições de processamento foram laboratoriais acredita-se que esses resultados foram promissores.

O espaguete resultante do genótipo 1, que apresentou o maior valor numérico (2,56) para o parâmetro aumento de peso, pela análise estatística (teste de Tukey) não apresentou diferença significativa a 5% em relação aos espaguetes dos genótipos 2 (2,45), 4 (2,53), 5 (2,43), 6 (2,45) 7 (2,46) e 11 (2,44). Por outro lado, o espaguete resultante do genótipo 8, o qual mostrou o menor resultado (2,27), estatisticamente pela aplicação do teste de Tukey a 5% de significância não apresentou diferença em relação aos espaguetes dos genótipos 3 (2,38), 9 (2,34) e 10 (2,40).

Os espaguetes processados em nosso estudo após o teste de cocção aumentaram de 2,54 a 2,90 (valor médio 2,71) vezes em volume após a cocção. A análise estatística das médias pela aplicação do teste de Tukey demonstrou que o espaguete do genótipo 1, que apresentou o maior valor em aumento de volume (2,90), não apresentou diferença

significativa a 5% de probabilidade em relação aos espaguetes resultantes dos genótipos 2 (2,74), 3 (2,75), 4 (2,87), 5 (2,71), 6 (2,75) e 7 (2,75). Foi revelado também que o espagete do genótipo 8, o qual obteve o menor aumento de volume após a cocção (2,54) não diferiu significativamente a 5% dos espaguetes dos genótipos 2 (2,74), 5 (2,71), 9 (2,54), 10 (2,62) e 11 (2,67). Verificou-se ainda que os espaguetes dos genótipos 2 e 5 não apresentaram diferença estatística significativa de todas as demais amostras analisadas.

Através da análise de correlação múltipla dos resultados encontrou-se uma elevada correlação positiva, com um  $r = 0,98^*$ , entre os resultados dos testes de aumento de peso e aumento de volume dos espaguetes, e portanto ambos os testes são representativos da capacidade de hidratação e inchamento do espagete seco.

Verifica-se pelos dados apresentados na **Tabela 21** que a menor porcentagem de perda de sólidos (4,07%) ocorreu para o espagete do genótipo 11 (amostra comercial de trigo duro canadense) e que este pela análise estatística, empregando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, não apresentou diferença significativa em comparação aos produtos de pasta resultantes dos genótipos 1 (4,76%), 2 (4,67%), 3 (4,61) e 8 (4,73%).

A maior porcentagem de perda de sólidos na água de cocção ocorreu para o espagete resultante do genótipo 10 (5,88%), que apesar de ser o maior valor encontrado em nosso estudo, ainda está abaixo das faixas de 6,0 a 8,4% encontrada por GRZYBOWSKI & DONNELLY (1979) e de 6,1 a 7,8% determinado por DEBBOUZ et al. (1995) para espaguetes de trigos duros.

Observou-se também que o espagete resultante do genótipo 10 (5,88%) não apresentou diferença estatística a 5% de significância dos espaguetes dos genótipos 6 (5,56%) e 9 (5,64%).

A porcentagem de perda de sólidos na água de cocção do espagete apresentou uma correlação negativa ( $r = -0,85^*$ ) com a porcentagem de lipídios dos grãos. Essa correlação negativa pode sugerir uma importante função dos lipídios em prevenir a perda de sólidos na água de cocção talvez por estes interagirem com o amido (amilose) formando complexos insolúveis em água. Essa função, segundo DONNELLY (1991) seria exercida principalmente pelos monoglicerídeos.

O parâmetro alveográfico **P**, que representa a resistência a extensão, apresentou correlação ( $r = 0,81^*$ ) a 5% de significância com a porcentagem de perda de sólidos na água de cocção do espagete.

Em relação aos parâmetros de qualidade de cocção das pastas produzidas, todos os genótipos apresentaram resultados dentro da faixa considerada como boa qualidade segundo HUMMEL (1966). Nesta faixa os limites superiores e inferiores foram apresentados pelos genótipos 1 e 10, respectivamente.

#### **4.7.4. Determinação de textura**

As características de textura dos produtos de pasta desempenham um papel essencial na aceitação final pelos consumidores, apesar de outros fatores tais como cor e sabor também estarem envolvidos. Essas características de textura, diretamente relacionadas à resistência a cocção são importantes pois a pasta deve reter a textura não somente com o tempo normal de cocção mas também com a sobrecocção (D'EGIDIO & NARDI, 1996).

Vários procedimentos objetivos usados para a medida da textura da pasta cozida têm sido relatados. Basicamente, os procedimentos monitoram a resposta à uma força na pasta cozida para golpeá-la, esticá-la, ou ambas, para medir os fatores tais como firmeza ou maciez, elasticidade, compressibilidade, ou pegajosidade. A combinação desses fatores fornece uma boa estimativa das características de textura relativas do produto cozido (DICK & MATSUO, 1988).

Os resultados do teste de compressão para a determinação da dureza e adesividade nas amostras de espaguetes cozidos no seu tempo ótimo, e que representam a média de 5 leituras são mostrados na **Tabela 22**.



**Tabela 22** Parâmetros da determinação de textura dos espaguetes através de teste de compressão .

| <b>ESPAGUETES</b> | <b>DUREZA*</b><br><b>(g)</b> | <b>ADESIVIDADE*</b><br><b>(g s)</b> |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Genótipo 1        | 2190,79                      | 16,65                               |
| Genótipo 2        | 2336,84                      | 12,94                               |
| Genótipo 3        | 2489,98                      | 33,17                               |
| Genótipo 4        | 1972,43                      | 15,14                               |
| Genótipo 5        | 2298,87                      | 18,69                               |
| Genótipo 6        | 2220,00                      | 7,37                                |
| Genótipo 7        | 1871,56                      | 10,76                               |
| Genótipo 8        | 2464,15                      | 14,07                               |
| Genótipo 9        | 2215,23                      | 9,78                                |
| Genótipo 10       | 2268,10                      | 13,86                               |
| Genótipo 11       | 2042,69                      | 50,64                               |

\*Os resultados representam a média de 5 determinações de um mesmo lote



1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

1000 1000 1000 1000

Os resultados para a dureza variaram entre 1871,56 gramas para o espagete do genótipo 7 e 2489,98 gramas para o espagete do genótipo 3. Pode-se constatar que os menores valores para o parâmetro dureza foram apresentados pelos espaguetes dos genótipos 4 e 7, amostras que apresentaram evidências da presença da  $\gamma$ -gliadina 42 e da ausência da  $\gamma$ -gliadina 45, o que caracterizaria um genótipo de trigo duro, como sendo de pobre qualidade de glúten. Dessa forma, o parâmetro dureza poderia estar relacionado às gliadinas e à força geral do glúten, ou seja, à sua qualidade.

Em nosso estudo encontrou-se correlações positivas, apesar de não significativas a 5% de probabilidade, com um valor de  $r = 0,63$  entre a dureza da pasta e o parâmetro **W** do alveógrafo (que está ligado à força geral do glúten), e a dureza da pasta e a resistência a extensão do glúten pelo analisador de textura ( $r = 0,68$ ).

Em relação à adesividade os resultados estiveram entre 7,37 e 50,64 g.s, sendo que o maior valor foi surpreendentemente obtido para o espagete do genótipo 11, que é a amostra comercial de trigo duro canadense (CWAD), e o menor, para o espagete do genótipo 6. A adesividade não apresentou correlação com as características reológicas do glúten testadas em nossa pesquisa, entretanto apresentou uma correlação positiva ( $r = 0,89^*$ ) à 5% de significância com o parâmetro viscosidade máxima obtido no teste de características de pasta do amido.

De acordo com ALARY & KOBREHEL, (1987); KOBREHEL et al.,(1988) as condições de superfície da pasta cozida e, portanto, a adesividade, estariam correlacionadas positivamente com a quantidade de grupos sulfidril (-SH) juntamente com as pontes bissulfeto (S-S) nas gluteninas de baixo peso molecular, que não foram caracterizadas em nosso estudo.

Os resultados do teste de tensão para a determinação da resistência a extensão e da extensibilidade dos espaguetes cozidos encontram-se na **Tabela 23** e representam a média de 10 determinações.



**Tabela 23** Parâmetros da determinação de textura dos espaguetes através de teste de tensão .

| ESPAGUETES  | RESISTÊNCIA<br>À EXTENSÃO*<br>(g) | EXTENSIBILI<br>DADE*<br>(mm) |
|-------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Genótipo 1  | 22,18                             | 20,39                        |
| Genótipo 2  | 21,23                             | 22,02                        |
| Genótipo 3  | 16,81                             | 20,69                        |
| Genótipo 4  | 18,08                             | 16,44                        |
| Genótipo 5  | 24,62                             | 22,99                        |
| Genótipo 6  | 23,74                             | 19,44                        |
| Genótipo 7  | 18,74                             | 19,15                        |
| Genótipo 8  | 21,61                             | 14,26                        |
| Genótipo 9  | 20,80                             | 17,25                        |
| Genótipo 10 | 23,30                             | 20,91                        |
| Genótipo 11 | 24,25                             | 18,14                        |

\*Os resultados representam a média de 10 determinações de um mesmo lote.

1000 1000 1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

A resistência à extensão dos espaguetes após a cocção apresentou resultados de força máxima abrangendo a faixa de 16,81 a 24,62 g. O maior valor foi encontrado para o espagete do genótipo 5 enquanto que o valor mínimo foi alcançado pelo espagete do genótipo 3. Esse mesmo produto, resultante do genótipo 3 foi o que apresentou o segundo maior resultado para o parâmetro adesividade. Uma vez que as gluteninas estão mais relacionadas com as propriedades de resistência à extensão do glúten e com as características de superfície da pasta cozida, esses resultados sugerem que as gluteninas do genótipo 3 não apresentam características reológicas adequadas.

A análise de correlação múltipla a 5% de probabilidade mostrou que a resistência à extensão do espagete teve correlação significativa ( $r = 0,92^*$ ;  $r = 0,77^*$ ) com o teste de sedimentação segundo AXFORD et al. (1978) e, também, com o teste de sedimentação segundo metodologia 56-70 proposta pela AACC (1995), respectivamente. Esses dados confirmam portanto a relação entre a força do glúten e a qualidade de cocção da pasta. A resistência à extensão do espagete apresentou também uma correlação positiva ( $r = 0,66$ ), porém não significativa a 5% de probabilidade com a resistência a extensão do glúten no analisador de textura.

A extensibilidade dos espaguetes, através da distância de quebra, variou de 16,44 a 22,99 mm, sendo que o menor resultado foi apresentado pelo espagete do genótipo 4, e o maior pelo espagete do genótipo 5. Portanto, o espagete proveniente do genótipo 5 foi o que melhor se apresentou no teste de tensão dos espaguetes. Em compensação, o espagete resultante do genótipo 4 foi o que demonstrou o pior desempenho, expressando o segundo menor resultado para a resistência à extensão e o menor resultado para a extensibilidade. Como a extensibilidade é um parâmetro que se relaciona mais diretamente com as gliadinas, esse resultado pode estar relacionado com o perfil eletroforético de gliadinas uma vez que esse genótipo apresentou evidências da  $\gamma$ -gliadina 42 presente e ausência da  $\gamma$ -gliadina 45.



## 5.CONCLUSÕES

- Com base nos resultados encontrados para peso hectolitro, dureza e vitreosidade os 10 genótipos podem ser classificados como Hard Amber Durum Wheat, com vitreosidade acima de 75%, segundo padrões oficiais para grãos americanos, e como de grau N°1, superando o valor mínimo de 80 kg/hL de peso hectolitro, segundo classificação canadense.

- Os genótipos com maiores valores de peso hectolitro foram os: 4, 6, 7 e 8, enquanto os maiores valores de dureza foram encontrados para os genótipos 1, 2, 4, 7, 8 e 9.

- Os testes de sedimentação, independentes do método usado, mostraram que os genótipos 10 e 4, tiveram o maior e o menor valor, respectivamente.

- Os genótipos 7 e 8 apresentaram os maiores teores de proteína; 14,64 e 14,50%, respectivamente.

- Os dados obtidos mostraram uma correlação positiva ( $r = 0,71^*$ ) a 5% de probabilidade entre os parâmetros dureza e o conteúdo protéico dos grãos.

- Os genótipos 9 e o 10 apresentaram os maiores rendimentos em porcentagem de semolina e de extração, de 43,97 e 47,07% e de 50,11 e 53,65%, respectivamente.

- O teor de proteínas das semolinas apresentou uma correlação significativa ( $r = 0,88^*$ ), a 5% de probabilidade, com o teor protéico determinado no grão.

- O genótipo 10, que apresentou os menores resultados para os conteúdos de glúten úmido e seco, estranhamente, foi o que alcançou o maior índice de glúten, correspondendo a um glúten de excelente qualidade. Esse teste teve correlações positivas ( $r = 0,70$  e  $r = 0,69$ ) com os testes de sedimentação segundo AXFORD et al. (1978) e segundo a AACC (1995), respectivamente.

- As semolinas dos genótipos 3, 8 e 10 apresentaram valores de resistência a extensão muito acima dos limites do alveógrafo. As semolinas dos genótipos 3 e 10, também



apresentaram os maiores valores de força máxima (resistência a extensão), pelo analisador de textura.

- Os valores de **W**, que representa a força geral do glúten, apresentaram correlação altamente significativa ( $r = 0,92^*$ ), a 5% de probabilidade, com os resultados do índice de glúten e também com o parâmetro **P** (resistência a extensão) do alveógrafo, com  $r = 0,95^*$ .

- O parâmetro **P** (resistência à extensão) do alveógrafo, também apresentou correlação altamente significativa ( $r = 0,90^*$ ) a 5% de probabilidade com os resultados do índice de glúten.

- Os resultados para o parâmetro força máxima (resistência à extensão) alcançados com o uso do analisador de textura apresentaram correlações significativas a 5% de probabilidade, com os resultados encontrados para o parâmetro **P** (resistência à extensão) obtidos com o emprego do alveógrafo ( $r = 0,78^*$ ); com os resultados determinados para o parâmetro **W** ( $r = 0,91^*$ ), o qual representa a força geral do glúten; com os testes de sedimentação segundo AXFORD et al. (1978) ( $r = 0,78^*$ ) e segundo AACC, (1995) ( $r = 0,81^*$ ); e ainda com o índice de glúten ( $r = 0,92^*$ ).

- As semolinhas dos genótipos 1 e 2 apresentaram resultados próximos à condição ideal (14 cm) para a distância (extensibilidade do glúten). Os resultados alcançados para a distância no analisador de textura apresentaram uma correlação ( $r = 0,88^*$ ), a 5% de significância, com os resultados obtidos com o uso do alveograma para o parâmetro **L**, que também representa a extensibilidade. Esses resultados mostraram que esse micro-método de análise, empregando-se o analisador de textura TA.XT2, apresenta-se com grande potencial para caracterização das propriedades do glúten, principalmente quando não se dispõe de grandes quantidades de amostra.

- A eletroforese em gel de poliacrilamida em sistema tampão ácido (A-PAGE) revelou o perfil eletroforético das gliadinas de cada genótipo estudado e mostrou que apenas os genótipos 4 e 7 apresentaram presença da banda  $\gamma$ -gliadina 42 e ausência da  $\gamma$ -gliadina 45, o que os caracterizaria como glúten de baixa qualidade (KOSMOLAK et al., 1980). Os

testes de sedimentação, índice de glúten, e os valores de extensibilidade (L) para esses dois genótipos, apresentaram os menores valores, confirmando uma tendência de glúten fracos.

Esses resultados sugerem que existe uma relação entre os padrões eletroforéticos de gliadinas e a qualidade do glúten de trigos duros, indicando a existência de base genética em relação às características reológicas do glúten.

- Em relação aos parâmetros de qualidade de cocção das pastas produzidas, todos os genótipos apresentaram resultados dentro da faixa considerada como de boa qualidade (tendo aumentado em peso de 2,27 a 2,56 vezes; em volume 2,54 a 2,90 vezes e a porcentagem de perda de sólidos na água de cocção ficou entre 4,07% e 5,88%). Nesta faixa os limites superiores e inferiores foram apresentados pelos genótipos 1 e 10, respectivamente.

- A porcentagem de perda de sólidos na água de cocção do espaguete apresentou uma correlação negativa ( $r = -0,85^*$ ) com a porcentagem de lipídios dos grãos. Isso pode sugerir que os lipídios podem prevenir as perdas na água de cocção talvez por interagirem com o amido (a amilose) formando complexos insolúveis em água.

- A dureza, dos espaguetes dos genótipos 4 e 7, que apresentaram evidências da banda  $\gamma$ -gliadina 42 presente e a  $\gamma$ -gliadina 45 ausente, alcançaram os valores mais baixos, confirmando a baixa qualidade do glúten detectada nos testes reológicos e físico-químicos.

- O parâmetro adesividade não apresentou correlações estatisticamente significativas a 5% de probabilidade com as características reológicas do glúten testadas em nossa pesquisa; entretanto teve uma correlação positiva ( $r = 0,89^*$ ) a 5% de significância com o parâmetro viscosidade máxima, obtido no teste de características de pasta do amido.

- O espaguete do genótipo 3 apresentou a menor resistência à extensão sendo esta amostra a mesma que apresentou um dos maiores valores para a adesividade, o que pode sugerir que suas gluteninas não apresentam características reológicas adequadas. A resistência a extensão mostrou uma correlação significativa com os testes de sedimentação ( $r = 0,92^*$ ) segundo AXFORD et al., 1978 e ( $r = 0,77^*$ ) segundo a AACC (1995).

- O espagete do genótipo 4 apresentou o menor resultado para a extensibilidade, o que pode estar relacionado com o seu perfil eletroforético de gliadinas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABECASSIS, J.; ABBOU, R.; CHAURAND, M.; MOREL, M., H.; VERNOUX, P.  
Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature, and pressure in the extruder and on pasta quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 3, p. 247-253, 1994.
- ABERCROMBIE, E. Durum milling. **Association of Operative Millers Bulletin**, Shawnee Mission, p. 3808-3813, 1980.
- ACQUISTUCCI, R. The maillard reaction in pasta: preliminary classification by multivariate techniques. **Lebensmittel – Wissenschaft- und- Technologie**, London, v.29, n.7, p.626-631, 1996.
- ACQUISTUCCI, R.; PASQUI, L. A. Evaluation of semolina color of Italian durum wheats. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v.41, n.1, p.1-5,1990.
- ACQUISTUCCI, R.; PASQUI, L. A. Preliminary results of a study on colour changes during pasta making. **Die Nahrung**, Berlin, v. 36, n. 4, p. 408-410, 1992.
- AKTAN, B.; KHAN, K. Effect of high-temperature drying of pasta on quality parameters and on solubility, gel electrophoresis, and reversed-phase high-performance liquid chromatography of protein components. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, n. 3, p. 288-295, 1992.
- ALARY, R.; KOBREHEL, K. The sulphydryl plus disulfide content in the proteins of durum wheat and its relationship with the cooking quality of pasta. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 39, n. 2, p. 123-136, 1987.

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods. 9 ed. Saint Paul: AACC, 1995.
- ANTOGNELLI, C. The manufacture and applications of pasta as a food and as a food ingredient: a review. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 125-145, 1980.
- AUTRAN, J. C. Recent perspectives on the genetics, biochemistry and functionality of wheat proteins. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 4, p. 358-364, 1993.
- AUTRAN, J. C.; ABECASSIS, J.; FEILLET, P. Statistical evaluation of different technological and biochemical testes for quality assessment in durum wheats. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 63, n. 5, p. 390-394, 1986.
- AXFORD, D. W. E.; Mc DERMOTT, E. E.; REDMAN, D. G. Small-scale testes of bread-making quality. **Milling Feed and Fertiliser**, Watford, v. 161, n. 5, p. 18-20, 1978.
- BANASIK, O. J. Pasta processing. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 26, n. 4, p. 166-169, 1981.
- BARONI, D. Manufacture of pasta products. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 10, p. 191-216.
- BIETZ, J. A. Recent advances in the isolation and characterization of cereal proteins. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 24, n. 5, p. 199-207, 1979.

- BIETZ, J. A.; SCHMALZRIED, E. Capillary electrophoresis of wheat proteins: optimization and use for varietal identification. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.37, n.7, p.555, 1992.
- BIETZ, J. A.; SCHMALZRIED, E. Capillary electrophoresis of wheat gliadin: initial studies and application to varietal identification. **Lebensmittel – Wissenschaft & Technologie**, London, v.28, n.2, p.174-184,1995.
- BIETZ, J. A.; SIMPSON, D. G. Electrophoresis and chromatography of wheat proteins: a review of available methods, and procedures for statistical evaluation of the data. **Journal of Chromatography**, Amsterdam, v.624, p.53-80, 1992.
- BLIGH, E. C.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, p. 911-917, 1959.
- BOYACIOGLU, M. H.; D'APPOLONIA, B. L. Durum wheat and bread products. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 39, n. 3, p. 168, 170-174, 1994.
- BOYACIOGLU, M. H.; DICK, J. W.; D'APPOLONIA, B. L. A comparison of the Chopin-Dubois and modified Buhler durum wheat laboratory mills. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.36, n. 10, p.893-896, 1991.
- BOZZINI, A. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 1, p. 1-16.
- BRABENDER DO-CORDER. **Instruction manual**.Duisburg, s.d. 12p. (catálogo).
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº132 de 19 de fev. de 1999. **Diário Oficial**:(da República Federativa do Brasil), Brasília, 25 de fev. de 1999.

- BUSHUK, W.; ZILLMAN, R. R. Wheat cultivar identification by gliadin eletrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclature. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 58, p. 505-515, 1978.
- CAMARGO, C. E. O.; FELÍCIO, J. C.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; BARROS, B. C.; PETTINELLI JÚNIOR, A.; SANTOS, R. R. Trigo duro, trigo comum e triticales: avaliação de linhagens em condições de irrigação e soluções nutritivas. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.60, n.1/2, p.38-47, 1995a
- CAMARGO, C. E. O.; FELÍCIO, J. C. ; FERREIRA FILHO, A. W. P.; GALLO, P. B.; PETTINELLI JÚNIOR, A.; SANTOS, R. R.; SABINO, J. C. Melhoramento do trigo: XXIX Avaliação de linhagens da espécie *Triticum durum* L. no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.1, p.67-69, 1995b.
- CARRILO, J. M.; VASQUEZ, J. F.; ORELLANA, J. Relationship between gluten strength and glutenin proteins in durum wheat cultivars. **Plant Breeding**, Berlin, v. 104, n. 4, p. 325-333, 1990.
- CASTRO, M. Trigo para macarrão chega à São Paulo. **O Estado de São Paulo**, 18 set.1996. Suplemento Agrícola, p.14 – 15.
- CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Massas: tecnologia e qualidade**, São Paulo: Ícone/Campinas: Editora da Unicamp, 1986. 127 p.
- CUBADDA, R. Effect of the drying process on the nutritional and organoleptic characteristics of pasta. A review. In: MERCIER, C.; CANTARELLI, C. (Ed.) **Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects**. New York: Elsevier, 1985. p. 79-89.

- CUBADDA, R. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in Europe. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 11, p. 217-228.
- CUBADDA, R.; CARCEA, M.; PASQUI, L. A. Suitability of the gluten index method for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 37, n. 12, p. 866-869, 1992.
- CUNIN, C.; HANDSCHIN, S.; WALTHER, P.; ESCHER, F. Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. **Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie**, London, v. 28, n. 3, p. 323-328, 1995.
- DALBON, G.; GRIVON, D.; PAGANI, M. A. Continuous manufacturing process. In: KRUGER, J. E.; MATSUO, R. R.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996. p. 13-58.
- DEBBOUZ, A.; PITZ, W., J.; MOORE, W., R.; D'APPOLONIA, B., L. Effect of bleaching on durum wheat and spaghetti quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.72, n.1, p.128-131, 1995.
- D'EGIDIO, M., G.; MARIANI, B. M.; NARDI, S.; NOVARO, P.; CUBADDA, R. Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta cooking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.67, n.3, p.275-281, 1990.
- D'EGIDIO, M., G.; NARDI, S. Textural measurement of cooked spaghetti. In: KRUGER, J. E.; MATSUO, R. R.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996. p.133-156.



- D'EGIDIO, M., PAGANI, M. A. Effect of the different stages of durum wheat chain on pasta colour. **Italian Food and Beverage Technology**, Pinerolo, v.10, p.17-20, 1997.
- DE STEFANIS, E.; SGRULLETTA, D. Effect of high temperature drying on technological properties of pasta. **Journal of Cereal Science**, London, v. 12, n. 1, p. 97-104, 1990.
- DEXTER, J. E. Development of quality durum wheat varieties in Canadá. **Rachis**, v. 3, n. 2, p. 23-28, 1984.
- DEXTER, J. E.; KILBORN, R. H.; MORGAN, B.; MATSUO, R. R. Grain research laboratory compression tester: instrumental measurement of cooked spaghetti stickiness. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.60, n.2, p.139-142, 1983b.
- DEXTER, J. E.; MARTIN, D. G.; MATSUO, R. R. The effect of roll flute orientation on durum wheat experimental milling performance and semolina quality. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Ottawa, v.21, n.2, p.187-193, 1988.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Influence of protein content on some durum wheat quality parameters. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 57, n. 3, p. 717-727, 1977.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Effect of semolina extraction rate on semolina characteristics and spaghetti quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 55, n. 6, p. 841-852, 1978.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Effect of starch on pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 56, n. 3, p. 190-195, 1979.

- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Relationship between durum wheat proteins and pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 28, n. 5, p. 899-902, 1980.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Effect of smudge and blackpoint, mildewed kernels, and ergot on durum wheat quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 1, p. 63-69, 1982.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; DANIEL, R. W.; MACGREGOR, A. W. Ulteriori ricerche sulle condizioni di essiccazione e qualità degli spaghetti. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v. 33, n. 8, p. 605-613, 1982b.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; KOSMOLAK, F. G.; LEISLE, D.; MARCHYLO, B. A. The suitability of the SDS sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.60, n.1, p.25-29, 1980.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; KRUGER, J. E. The spaghetti-making quality of commercial durum wheat samples with variable  $\alpha$ -amylase activity. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.67, n.5, p.405-412, 1990.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; LA CHANCE, J. J.; MORGAN, B. C.; DANIEL, R. W. Recent modifications to the durum wheat quality evaluation program at the Grain Research Laboratory. **Getreide Mehl und Brot**, Bochum, v. 39, p. 131-139, 1985a.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MACGREGOR, A. W. Relationship of instrumental assessment of spaghetti cooking quality to the type and the amount of material rinsed from cooked spaghetti. **Journal of Cereal Science**, London, v. 3, p. 39-53, 1985b.

- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MARTIN, D. G. The relationship of durum wheat test weight to milling performance and spaghetti quality. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.32, n.10, p.772-777, 1987.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. High temperature drying: effect on spaghetti properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 6, p. 1741-1746, 1981.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. Essiccazione ad alta temperatura: influenza sulle caratteristiche degli spaghetti. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v. 33, n. 7, p. 526-536, 1982a.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. Spaghetti stickiness: some factors influencing stickiness and relationship to other cooking quality characteristics. **Journal of Food Science**, Chicago, v.48, n. 5, p.1545-1551, 1559, 1983a.
- DEXTER, J. E.; SYMONS, S. J.; MARTIN, D. G. Enhancement of durum wheat quality by preprocessing and na evaluation of fluorescence imaging as a rapid technique for monitoring preprocessing efficiency. **Association of Operative Millers – Bulletin**, Shawnee Mission, August, p.6415-6420, 1994.
- DEXTER, J. E.; TKACHUK, R.; MATSUO, R. R. Amino acid composition of spaghetti: effect of drying conditions on total and available lisine. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 1, p. 225-228, 1984.
- DICK, J. W. Rheology of durum. In: FARIDI, H. **Rheology of wheat products**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 219-240.

- DICK, J. W.; MATSUO, R. R. Durum wheat and pasta products. In: POMERANZ, Y. **Wheat chemistry and technology**. 3. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. v. 2, p. 507-547.
- DICK, J. W.; QUICK, J. S. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.60, n.4, p.315-318, 1983.
- DICK, J. W.; YOUNGS, V. L. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in the United States. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul, American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 13, p. 237-248.
- DONNELLY, B. J. Effect of sprout damage on durum wheat quality. **Macaroni Journal**, Minneapolis, n.7, p.8-10, 14-15, 1980.
- DONNELLY, B. J. Pasta: raw materials and processing. In: LORENZ, K. L.; KULP, K. **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcell Dekker, 1991. p. 763-792.
- DU CROS, D. L. Glutenin proteins and gluten strenght in durum wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 5, n. 1, p. 3-12, 1987.
- DU CROS, D. L. Isolation and characterization of two gamma gliadin proteins from durum wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v.13, n.3, p.237-253, 1991.
- DU CROS, D. L.; WRIGLEY, C. W. Improved electrophoretic methods for identifying cereal varieties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.30, n.8, p.785-794, 1979.

- DU CROS, D. L.; WRIGLEY, C. W.; HARE, R. A. Prediction of durum wheat quality from gliadin-protein composition. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 33, n. 3, p. 429-442, 1982.
- DUEÑAS-MARTIN, M. E.; JIMENEZ-GONZALEZ, A. T. Aspectos tecnológicos del trigo duro. **Alimentacion - Equipos - y - Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 165-177, 1991.
- FAO PRODUCTION YEARBOOKS. Rome: Food and Agriculture Organization, 1972-1985.
- FASTA pasta. **Food Processing**, Chicago, v.60, n.3, p.27-29, 1991.
- FEILLET, P. The biochemical basis of pasta cooking quality its consequences for durum wheat breeders. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 4, n. 4, p. 551-566, 1984.
- FEILLET, P. Protein and enzyme composition of durum wheat. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 5, p. 93-119.
- FEILLET, P.; AIT-MOUH, O.; KOBREHEL, K.; AUTRAN, J. C. The role of low molecular weight glutenin proteins in the determination of cooking quality of pasta products: an overview. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n. 1, p. 26-30, 1989.
- FEILLET, P.; DEXTER, J. E. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In: KRUGER, J. E.; MATSUO, R. B.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996. p. 95-131.

- FORTINI, S. Some specific aspects of durum wheat and pasta cooking quality. Evaluation in Europe. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 12, p. 229-236.
- GALTERIO, G.; GRITA, L.; BRUNORI, A. Pasta - making quality in triticum durum. New indices from the ratio among proteins components separated by SDS - PAGE. **Plant Breeding**, Berlin, v. 110, n. 4, p. 290-296, 1993.
- GAUTIER, M. F.; ALARY, R.; KOBREHEL, K.; JOUDRIER, P. Chloroform/methanol-soluble proteins are the main components of triticum durum sulfur-rich glutenin fractions. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n. 6, p. 535, 1989.
- GIESE, J. Pasta: new twists on an old product. **Food Technology**, Chicago, v. 46, n. 2, p. 118-126, 1992.
- GRANT, L. A.; DICK, J. W.; SHELTON, D. R. Effects of drying temperature, starch damage, sprouting, and additives on spaghetti quality characteristics. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, n. 6, p. 676-684, 1993.
- GRZYBOWSKI, R. A.; DONNELLY, B. J. Cooking properties of spaghetti: factors affecting cooking quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 27, n. 2, p. 380-384, 1979.
- GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1996. 36p.
- HARRIGAN, K. A.; BUSSMANN, S. Digital speck counting of semolina using automated image analysis. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.43, n.1, p.11 – 16, 1998.

- HEILMAN, R. G.; WILSON, W. W. Durum marketing. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. p.303-316.
- HOSENEY, R. C. Pasta and noodles. In: . **Principles of cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p. 277-291.
- HOSKINS, C. M. Macaroni production. In: MATZ, S. A. **Cereal technology**. Westport: AVI, 1970. chap. 7, p. 246-299.
- HUMMEL, C. H. **Macaroni products: manufacturing processive and packing**. London: Food Trade Press, 1966. 287p.
- HUNTER ASSOCIATES LABORATORY, INC. **Universal software** – user's manual. Virgínia, 1996. (catálogo).
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, **Recomendações da Comissão Técnica de Trigo para 1996**. Campinas, 1996. 68p. (IAC – Boletim Técnico, 167).
- IRVINE, G. N. Durum wheat and paste products. In: POMERANZ, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 2. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1978. v. 3, chap. 15, p. 777-96.
- IRVINE, G. N.; BRADLEY, J. W.; MARTIN, G. C. A farinograph technique for macaroni doughs. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 38, n. 2, p. 153-164, 1961.
- JOHNSTON, R. A.; QUICK, J. S.; DONNELLY, B. J. Note on comparison of pigment extraction and reflectance colorimeter methods for evaluating semolina color. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 57, n. 6, p. 447-448, 1980.

- JOPPA, L. R.; WILLIAMS, N. D. Genetics and breeding of durum wheat in the United States. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 3, p. 47-68.
- JORDAN, E. M.; RAYMOND, S. Gel electrophoresis: a new catalyst for acid systems. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 27, p.205-211, 1969.
- KATHURIA, D. K.; SIDHU, J. S. Indian durum wheats. I.Effect of conditioning treatments on the milling quality and composition of semolina. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.61, n.5, p.460-462, 1984.
- KHAN, K. Polyacrylamide gel electrophoresis of wheat gluten proteins. **Bakers Digest**, Beloit, v.56. n.5, p.14, 1982.
- KHAN, K.; HAMADA, A. S.; PATEK, J. Polyacrylamide gel electrophoresis for wheat variety identification: effect of variables on gel properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.62, n.5, p.310-313, 1985.
- KHAN, K.; McDONALD, C. E.; BANASIK, O. J. Polyacrylamide gel electrophoresis of gliadin proteins for wheat variety identification – procedural modifications and observations. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.60, n.2, p.178-181, 1983.
- KOBREHEL, K.; ALARY, R. The role of a low molecular weight glutenin fraction in the cooking quality of durum wheat pasta. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 47, n. 4, p. 487-500, 1989.
- KOBREHEL, K.; REYMOND, C.; ALARY, R. Low molecular weight durum wheat glutenin fractions rich in sulphydryl plus disulfide groups. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 65, n. 1, p. 65-69, 1988.



- KOSMOLAK, F. G.; DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; LEISLE, D.; MARCHYLO, B. A. A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoregrams. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 60, n. 2, p. 427-432, 1980.
- KOVACS, M. I. P.; HOWES, N. K.; LEISLE, D.; SKERRITT, J. H. The effect of high Mr. glutenin subunit composition on the results from tests used to predict durum wheat quality. **Journal of Cereal Science**, London, v. 18, n. 1, p. 43-51, 1993.
- KOVACS, M. I. P.; HOWES, N. K.; LEISLE, D.; ZAWISTOWSKI, J. Effect of two different low molecular weight glutenin subunits on durum wheat pasta quality parameters. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 1, p. 85-87, 1995.
- KULKARNI, R. G.; PONTE-JR, J. G.; KULP, K. Significance of gluten content as an index of flour quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 64, n. 1, p. 1-3, 1987.
- LEITÃO, R. F. F. Tecnologia de massas alimentícias. In: LEITÃO, R. F. F.; GONÇALVES, J. R. (Ed.) **Tecnologia de macarrão**: manual técnico n.5. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1990. cap.1, p.1-30.
- LEITÃO, R. F. F.; GONÇALVES, J. R.; VITTI, P. Utilização da alta temperatura na secagem de macarrão. **Coletânea do Ital**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 186-195, 1989.
- LINTAS, C. Carbohydrates of durum wheat. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 6, p. 121-138.
- LOOKHART, G.; BEAN, S. Separation and characterization of wheat protein fractions by high-performance capillary electrophoresis. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.72. n.6, p.527-532, 1995.

- MACRITCHIE, F.; DU CROS, D. L.; WRIGLEY, C. W. Flour peptides related to wheat quality. In: POMERANZ, Y (Ed.) **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1990. v. 10, p. 79-145.
- MALCOLMSON, L. J.; MATSUO, R. R.; BALSHAW, R. Textural optimization of spaghetti using response surface methodology: effects of drying temperature and durum protein level. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.70, n.4, p.417-423, 1993.
- MALOUF, R. B.; LIN, W. D. A.; HOSENEY, R. C. Wheat hardness. II Effect of starch granule protein on endosperm tensile strength. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.69, n.2, p.169-173, 1992.
- MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1993. 32p.
- MARIANI, B. M.; D'EGIDIO, M. G.; NOVARO, P. Durum wheat quality evaluation: influence of genotype and environment. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.72, n.2, p.194-197, 1995.
- MATSUO, R. R. Uniqueness of pasta. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 20, n. 10, p. 485-486, 490, 1975.
- MATSUO, R. R. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in Canadá. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 14, p. 249-261.
- MATSUO, R. R.; BRADLEY, J. W.; IRVINE, G. N. Effect of protein content on the cooking quality of spaghetti. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 49, n. 6, p. 707-711, 1972.

- MATSUO, R. R.; DEXTER, J. E. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.60, p.49-53, 1980.
- MATSUO, R. R.; DEXTER, J. E.; BOUDREAU, A.; DAUN, J. K. The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 63, n. 6, p. 484-489, 1986.
- MATSUO, R. R.; DEXTER, J. E.; MACGREGOR, A. W. Effect of sprout damage on durum wheat and spaghetti quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 6, p. 468-472, 1982.
- MATSUO, R. R.; IRVINE, G. N. Effect of gluten on the cooking quality of spaghetti. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 47, n. 2, p. 173-180, 1970.
- MECUCCI, M. L.; SELVATICO, A. Color indexes of pasta and durum wheat semolina. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v.43, n.4, p.267-271, 1992.
- MILLER, B. S.; AFEWORK, S.; POMERANZ, Y.; BRUINSMA, B. L.; BOOTH, G. D. Measuring the hardness of wheat. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.27, n.2, p.61-64, 1982.
- NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 3: Rapid visco analyser using Thermocline for Windows**. Warriewood, Australia, june 1995. 92p. (catálogo)
- OLIVER, J. R.; BLAKENEY, A. B.; ALLEN, H. M. Measurement of flour color in color space parameters. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.69, n.5, p.546-551, 1992.

- PAGANI, M. A.; RESMINI, P.; FIORINO, A.; DALBON, G. L'essiccazione ad alta temperatura nella produzione di paste all'uovo: effetti su alcune caratteristiche organolettiche e nutrizionali. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v. 37, n. 3, p. 177-190, 1986.
- PAVAN, G. L'impiego dell'alta temperatura nel processo di essiccamento delle paste alimentari. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v. 30, n. 5, p. 362-370, 1979.
- PAVAN, G. High temperature drying improves pasta quality. **Food Engineering International**, Radnor, v. 5, n. 2, p. 37-39, 1980.
- PAVAN MAPIMPIANTI SPA. **Short - cut pasta line - thermo - active system**. Galliera Veneta, s.d. (catálogo).
- PAYNE, P. I.; JACKSON, E. A.; HOLT, L. M. The association between  $\gamma$ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct causal effect or the result of genetic linkage? **Journal of Cereal Science**, London, v. 2, n. 2, p. 73-81, 1984.
- POGNA, N.; LAFIANDRA, D.; FEILLET, P.; AUTRAN, J. C. Evidence for a direct causal effect of low molecular weight subunits of glutenins on gluten viscoelasticity in durum wheats. **Journal of Cereal Science**, London, v. 7, n. 3, p. 211-214, 1988.
- POLLINI, C. M. T.H.T. technology in the modern industrial pasta drying process. In: KRUGER, J. E.; MATSUO, R. R.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996. p. 59-74.
- POMERANZ, Y. Grain quality. In: . **Modern Cereal Science and Technology**. New York: VCH, 1987. chap.7, p.83 – 109.

- POMERANZ, Y; WILLIAMS, P. C. Wheat hardness: its genetic, structural, and biochemical background, measurement, and significance. In: POMERANZ, Y (Ed.) **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1990. v.10, p.471-544.
- QUAGLIA, G. B. Other durum wheat products. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 15, p. 263-282.
- QUICK, J. S.; DONNELLY, B. J. A rapid test for estimating durum wheat gluten quality. **Crop Science**, Madison, v.20, n.6, p.816-818, 1980.
- RAHIM, A.; PRABHAVATHI, C.; RAO, P. H.; SHURPALEKAR, S.R. Suitability of Indian durum wheats for semolina milling and vermicelli preparation. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v.13, n.5, p. 249 – 252, 1976.
- RASPER, V. F. Quality evaluation of cereal and cereal products. In: LORENZ, K. J.; KULP, K. **Handbook of cereal science and technology**, New York: Marcel Dekker, 1991. p.595-638.
- RESMINI, P.; DALBON, G.; LENNER, A. Studio della struttura della pasta mediante microscopia elettronica. Study of the ultrastructure of pasta using electron microscopy. Milano: **Centro Ricerche della Soc. Braibanti**, s.d. 17p. (folheto).
- RESMINI, P.; PELLEGRINO, L. Occurrence of protein-bound lysylpyrroaldehyde in dried pasta. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 3, p. 254-262, 1994.
- SMEWING, J. **The measurement of dough and gluten extensibiliy using the sms/kieffer rig and the TA.XT2 texture analiser**. Godalming: Stable Micro Systems, 1995. 23p.

- SMEWING, J. Analyzing the texture of pasta for quality control. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.42, n.1, p.8-12, 1997
- STABLE MICRO SYSTEMS. **Your reference manual for texture analysis**. Godalming: Stable Micro Systems, SMS/REF0696, 1996. 20p. (catálogo).
- STATISTICA for windows – Release 5.0 A. **StatSoft, Inc.** Tulsa, OK, USA, 1995.
- SYMONS, S. J.; DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MARCHYLO, B. A. Semolina speck counting using na automated imaging system. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 73, n. 5, p. 561-566, 1996.
- SYMONS, S. J.; DEXTER, J. E. Computer analysis of fluorescence for the measurement of flour refinement as determined by flour ash content, flour grade color, and tristimulus color measurements. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 5, p. 454-460, 1991.
- TAHA, S. A.; SAGI, F. Quality of durum wheat (*Triticum durum* Desf.): grouping of varieties according to their gluten strength, cooking behavior and gliadin composition. **Cereal Research Communication**, Sgezed, v.15, n.4, p.281-288, 1987.
- TAVARES, M. F. M. Eletroforese capilar: conceitos básicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n.2, p.173-181, 1996.
- TAVARES, M. F. M. Mecanismos de separação em eletroforese capilar. **Química Nova**, São Paulo, v.20, n.5, p.493-511,1997.
- TKACHUK, R.; MELLISH, V. J. Wheat cultivar identification by high voltage gel electrophoresis. **Annales de Technologie Agricole**, Paris, v.29, n.2, p.207-212, 1980.

- TOEPFER, E. W.; POLANSKY, M. M.; EHEART, J.F.; SLOVER, H. T.; MORRIS, E. R.; HEPBURN, F. N.; QUACKENBUSH, F. W. Nutrient composition of selected wheats and wheats products. XI Summary. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.49, n.2, p.173-186, 1972.
- TROCCOLI, A.; FONZO, N. Relationship between kernel size features and test weight in *Triticum durum*. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.76, n.1, p.45-49, 1999.
- TRONO, D.; PASTORE, D.; FONZO, N. Carotenoid dependent inhibition of durum wheat lipoxygenase. **Journal of Cereal Science**, London, v.29, n.1, p.99-102, 1999.
- WALKER, C. E.; HAZELTON, J. L. Dough rheological tests. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 41, n. 1, p. 23-28, 1996.
- WALSH, D. E.; GILLES, K. A. The influence of protein composition on spaghetti quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 48, n. 5, p. 544-554, 1971.
- WALSH, D. E.; GILLES, K. A. Macaroni products. In: INGLETT, G.E. **Wheat: production and utilization**. Westport: AVI, 1974. chap. 12, p. 333-354.
- WERNER, W. E.; WIKTOROWICZ, J. E.; KASARDA, D. D. Wheat varietal identification by capillary electrophoresis of gliadins and high molecular weight glutenin subunits. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.71, n.5, p.397-402, 1994.
- WRIGLEY, C. W.; AUTRAN, J. C.; BUSHUK, W. Identification of cereal varieties by gel electrophoresis of the grain proteins. In: POMERANZ, Y (Ed.) **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1982. v.5, p.211-259.

- YASEEN, A. A. E. Effect of processing conditions and cooking on retention of minerals in macaroni. **Die Nahrung**, Berlin, v.37, n.5, p.449-455, 1993.
- YOUNGS, V. L. Durum lipids. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat**: chemistry and technology. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 7, p. 139-148.
- ZIEGLER, E.; GREER, N. G. Principles of milling. In: POMERANZ, Y.(Ed.) **Wheat** chemistry and technology. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1978. chap. 4, p. 115-199.



