

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**ESTUDOS DE VIABILIDADE SOBRE AVALIAÇÃO DE
QUALIDADE DE FARINHAS DE TRIGO ATRAVÉS DE
MEDIDAS DAS PROPRIEDADES DO GLÚTEN**

Tese de Mestrado

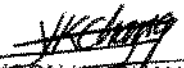
PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Maria Cristina Ferrari aprovada pela Comissão Julgadora em 30 de junho de 1998.

Campinas, 30 de junho de 1998.

MARIA CRISTINA FERRARI

Química

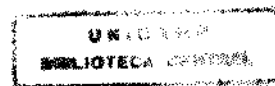

Prof. DR. YOON KIL CHANG
Presidente da Banca

PROF. DR. YOON KIL CHANG

Orientador

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas,
para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos

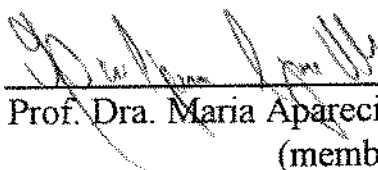
Campinas, 1998



BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Yoon Kil Chang
(orientador)



Prof. Dra. Maria Aparecida Azevedo P. Silva
(membro)



Prof. Dra. Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici
(membro)

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
(membro)

Campinas, de junho de 1998.

À minha família

Dedico

Agradecimentos

À Deus, por Vossa onipotência,

Ao Professor Doutor Yoon Kil Chang, pela orientação, paciência e incentivo durante o trabalho.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, que tornou possível a realização deste trabalho.

À CNPq, FAPESP, FAEP, UNICAMP, pelo apoio financeiro.

Ao Engenheiro que desenvolveu e construiu o protótipo utilizado neste trabalho, Prof. Dr. Samuel E. de Lucena, pela sua dedicação e coragem ao aceitar este desafio.

À Prof. Dra. Maria Aparecida Azevedo P. Silva, pelo apoio nas análises estatísticas.

Aos meus pais Pedro, Nena e irmãos Maurício e Márcio, pelo amor e apoio.

À minha irmã Roseli, pelo incentivo incondicional e auxílio nas horas difíceis.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Tecnologia de Cereais, Teresa, Andréia, Ana Lúcia, Normandis, Manoel, Franz e Stefan, pelo incentivo.

Aos amigos e funcionários do Laboratório de Tecnologia de Cereais, Nilo, Elena, José e Kelly, pela colaboração durante a execução da parte experimental.

Aos meus amigos especiais Sônia Nascimento, Marcelo Morgano e Antonio de Assis, pela amizade de todas as horas.

À todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	VIII
Lista de Tabelas.....	X
Resumo.....	XIII
Summary.....	XIV
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Importância do Trigo.....	4
2.2. Conceitos de Qualidade de Trigo: Pontos de Vista.....	4
2.3. Critérios Botânicos de Qualidade.....	5
2.3.1. Espécies.....	5
2.3.2. Variedades.....	6
2.3.3. Sistemas de Classificação e Comercialização do Trigo.....	6
2.4. Principais Elementos de Qualidade.....	7
2.4.1. O Papel do Amido em Panificação.....	7
2.4.2. Proteínas do Trigo.....	9
2.4.2.1. Teor Protéico e Composição Aminoacídica.....	10
2.4.2.2. Glúten.....	11
2.4.2.2.1. Propriedades Químicas do Glúten.....	12
2.4.2.2.2. Propriedades Físicas do Glúten.....	13
2.4.2.2.3. Teorias de Desenvolvimento do Glúten.....	13
2.5. Controle de Qualidade.....	15
2.5.1. Reologia de Massa.....	16
2.5.2. Testes Reológicos de Massa.....	18
2.5.2.1. Testes de Mistura da Massa.....	18
2.5.2.1.1. Farinógrafo.....	19
2.5.2.1.2. Mixógrafo.....	20
2.5.2.1.3. Farinógrafo e Mixógrafo: Comparação.....	21
2.5.2.2. Testes de Carga-Extensão da Massa.....	22
2.5.2.2.1. Extensógrafo.....	22
2.5.2.2.2. Alveógrafo.....	23
2.5.2.3. Testes de Viscosidade.....	25
2.5.2.4. Avaliação dos Testes Reológicos de Massa.....	26
2.5.3. Teste Experimental de Panificação.....	27
2.5.4. Testes Reológicos de Glúten.....	28
2.5.4.1. Considerações Sobre a Extração do Glúten.....	28

2.5.4.2. Ensaio Reológico Usando o Glúten.....	29
2.5.4.2.1. Testes de Carga-Extensão do Glúten.....	29
2.5.4.2.2. Testes de Penetração do Glúten.....	31
2.5.4.2.3. Testes de Cisalhamento do Glúten.....	31
3. Materiais e Métodos.....	33
3.1. Material.....	33
3.1.1. Trigo.....	33
3.1.2. Reagentes.....	33
3.1.3. Aparelhos e Equipamentos.....	33
3.2. Métodos.....	34
3.2.1. Moagem.....	34
3.2.2. Proteínas.....	34
3.2.3. Glúten.....	34
3.2.4. Testes Reológicos da Massa.....	34
3.2.4.1. Farinograma.....	34
3.2.4.2. Extensograma.....	35
3.2.4.3. Viscoamilograma.....	35
3.2.5. Teste de Panificação.....	36
3.2.6. Uso do AQG para Testes Reológicos do Glúten.....	36
3.2.6.1 Descrição do AQG.....	36
3.2.6.2. Método.....	42
3.2.6.2.1. Preparação da Amostra de Glúten.....	42
3.2.6.2.2. Operação no AQG.....	42
3.2.7. Análise Estatística.....	43
4. Resultados e Discussão.....	44
4.1. Proteínas.....	44
4.1.1. Conteúdo de Proteína.....	44
4.1.2. Conteúdo de Glúten.....	46
4.1.3. Avaliação Estatística dos Conteúdos de Proteína e de Glúten.....	48
4.2. Viscosidade.....	50
4.3. Propriedades Reológicas da Massa.....	53
4.3.1. Farinograma.....	53
4.3.1.1. Tempo de Desenvolvimento.....	53
4.3.1.2. Absorção de Água.....	55
4.3.1.3. Estabilidade.....	55
4.3.1.4. Índice de Tolerância.....	56
4.3.1.5. Classificação de Qualidade pelo Farinograma.....	56
4.3.1.6. Avaliação Estatística dos Parâmetros do Farinograma.....	57

4.3.2. Extensograma.....	60
4.3.2.1. Resistência à Extensão.....	60
4.3.2.2. Extensibilidade.....	62
4.3.2.3. Resistência Máxima à Extensão.....	62
4.3.2.4. Energia.....	62
4.3.2.5. Classificação de Qualidade pelo Extensograma.....	63
4.3.2.6. Avaliação Estatística dos Parâmetros do Extensograma.....	63
4.4. Propriedades Reológicas do Glúten.....	66
4.4.1. Analisador de Qualidade de Glúten - AQG.....	66
4.4.2. Reprodutibilidade do Analisador de Qualidade de Glúten.....	66
4.4.3. Resistência Máxima à Extensão.....	68
4.4.4. Extensibilidade.....	68
4.4.5. Energia.....	68
4.4.6. Avaliação Estatística dos Parâmetros do AQG.....	68
4.5. Estudo Comparativo entre Instrumentos Reológicos.....	71
4.5.1. Avaliação Estatística entre Extensógrafo e AQG.....	71
4.5.2. Avaliação Estatística entre Farinógrafo e AQG.....	73
4.5.3. Correlação Linear entre Extensógrafo, Farinógrafo e AQG.....	76
4.6. Teste de Panificação.....	77
4.6.1. Avaliação das Características Externas.....	77
4.6.2. Avaliação das Características Internas.....	81
4.6.3. Avaliação Global do Teste de Panificação.....	85
4.7. Avaliação entre Respostas Reológicas e Performance de Panificação.....	89
4.7.1. Avaliação Estatística dos Parâmetros do Extensógrafo e do Teste de Panificação.....	89
4.7.2. Avaliação Estatística dos Parâmetros do Farinógrafo e do Teste de Panificação.....	92
4.7.3. Avaliação Estatística dos Parâmetros do AQG e do Teste de Panificação.....	95
5. Conclusões.....	98
6. Referências Bibliográficas.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fotos do Analisador de Qualidade de Glúten - AQG.....	38
Figura 2: Diagramas simples e detalhados dos constituintes do Analisador de Qualidade de Glúten - AQG.....	39
Figura 3: Molde para preparar glúten na forma cilíndrica para teste de força.....	40
Figura 4: Curva de calibração do sensor de força do AQG com pesos.....	41
Figura 5: Representação gráfica da ACP das amostras segundo conteúdos de proteína e de glúten.....	49
Figura 6: Representação gráfica da ACP dos parâmetros dos farinogramas das amostras.....	58
Figura 7: Representação gráfica da ACP dos parâmetros dos extensogramas das amostras.....	65
Figura 8: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros do AQG.....	70
Figura 9: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros do Extensógrafo e AQG.....	72
Figura 10: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros do Farinógrafo e AQG.....	75
Figura 11: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros das características externas do Teste de Panificação.....	80
Figura 12: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros das características internas do Teste de Panificação.....	84
Figura 13: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros do Teste de Panificação.....	88

- Figura 14: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros do Extensógrafo e da avaliação global do Teste de Panificação.....91
- Figura 15: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros do Farinógrafo e da avaliação global do Teste de Panificação.....94
- Figura 16: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros do AQQ e da avaliação global do Teste de Panificação.....95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da qualidade da farinha de trigo através dos parâmetros farinográficos: tempo de desenvolvimento, estabilidade e índice de tolerância.....	20
Tabela 2: Classificação da qualidade da farinha de trigo através do parâmetro farinográfico: estabilidade.....	20
Tabela 3: Classificação da força da farinha de trigo de acordo com os parâmetros do mixograma :tempo de amassamento e altura da curva.....	21
Tabela 4: Classificação da força do glúten pelo alveograma.....	24
Tabela 5: Classificação geral do glúten pelo alveograma segundo legislação brasileira.....	24
Tabela 6: Classificação da qualidade do pão, segundo pontuação total.....	36
Tabela 7: Conteúdo de proteína das amostras de farinha de trigo.....	45
Tabela 8: Conteúdo de glúten úmido das amostras de farinha de trigo.....	47
Tabela 9: Análise de Componentes Principais dos parâmetros conteúdos de proteína e de glúten úmido das amostras de farinha de trigo.....	48
Tabela 10: Viscosidade máxima das amostras de farinha de trigo.....	51
Tabela 11: Resultados dos principais parâmetros dos farinogramas.....	54
Tabela 12: Classificação utilizando parâmetros farinográficos, segundo critérios descritos pela legislação brasileira (BRASIL,1994) e WILLIAMS et al (1988).....	57
Tabela 13: Análise de Componentes Principais dos parâmetros dos farinogramas das amostras de farinha de trigo.....	57
Tabela 14: Resultados dos principais parâmetros dos extensogramas.....	61

Tabela 15: Análise de Componentes Principais dos parâmetros dos extensogramas das amostras de farinha de trigo.....	64
Tabela 16: Valores médios dos parâmetros resistência máxima à extensão (RMP), extensibilidade (EXP), energia (ENP) e seus respectivos valores de desvio padrão e coeficiente de variação, obtidos de glúten úmidos extraídos das amostras de farinha de trigo e medidos no AQQ.....	67
Tabela 17: Análise de Componentes Principais dos parâmetros resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia obtidos de glúten úmidos extraídos das amostras de farinha de trigo e medidos no AQQ.....	69
Tabela 18: Análise de Componentes Principais dos parâmetros do AQQ e Extensógrafo obtidos das amostras de farinha de trigo.....	71
Tabela 19: Análise de Componentes Principais dos parâmetros do AQQ e Farinógrafo obtidos das amostras de farinha de trigo.....	74
Tabela 20: Correlação linear entre os parâmetros do AQQ, Farinógrafo e Extensógrafo, obtidos das amostras de farinha de trigo.....	76
Tabela 21: Características externas dos pães.....	78
Tabela 22: Análise de Componentes Principais das características externas dos pães das amostras analisadas.....	79
Tabela 23: Características internas dos pães.....	82
Tabela 24: Análise de Componentes Principais das características internas dos pães das amostras analisadas.....	83
Tabela 25: Avaliação global do teste de panificação, em ordem decrescente de pontuação total (TOT).....	86.
Tabela 26: Análise de Componentes Principais da avaliação global do teste de panificação.....	87

Tabela 27: Análise de Componentes Principais dos parâmetros extensográficos e do teste de panificação.....	90
Tabela 28: Análise de Componentes Principais dos parâmetros farinográficos e do teste de panificação.....	93
Tabela 29: Análise de Componentes Principais dos parâmetros do AQQ e do teste de panificação.....	95

RESUMO

A farinha de trigo é o único cereal que, misturado com água em proporção adequada, possui a habilidade de formar massa viscoelástica, capaz de reter gases e apresentar estrutura esponjosa quando aquecida no forno. Em panificação, a massa de trigo está sujeita à deformação em cada etapa do processo. É geralmente aceito que as propriedades de panificação do trigo são devido à viscoelasticidade do glúten, que consiste na maior fração da proteína presente na farinha de trigo. Vários instrumentos foram desenvolvidos nas últimas décadas para controle de qualidade de massa e para estudar o efeito de reologia no processo.

O objetivo do presente estudo foi a avaliação da qualidade da farinha de trigo através de propriedades reológicas de glúten. A nova técnica utilizou o equipamento Analisador de Qualidade de Glúten - AQG, especialmente desenvolvido para avaliar as propriedades reológicas de glúten através das medidas dadas pelos parâmetros: resistência máxima à extensão (Newton), extensibilidade (mm) e energia (J). Os testes realizados com o AQG usaram glúten de trigo isolados. Todas as 59 amostras de trigo foram avaliadas através de seus conteúdos de proteína e de glúten, suas propriedades reológicas de massa pelos métodos do Extensógrafo e Farinógrafo, suas propriedades reológicas de glúten através do método experimental usando o AQG, bem como a performance de panificação. Os resultados obtidos usando a técnica AQG foram comparados com aqueles obtidos usando equipamentos reológicos tradicionais e com os outros métodos citados.

O método estatístico de Análise de Componentes Principais (ACP) foi usado para avaliar os resultados. Os resultados mostraram níveis de correlação linear aceitáveis entre os resultados obtidos com o Extensógrafo e o AQG com respeito aos principais parâmetros estudados, resistência máxima à extensão e energia, dando valores entre 0,5397 e 0,6511 ($p < 0,05$). Os gráficos dos resultados da ACP entre AQG e Teste de Panificação demonstraram que farinhas fortes e fracas foram influenciadas por diferentes parâmetros e que foram agrupadas em lugares distintos, mostrando a diferença tecnológica.

SUMMARY

Wheat flour is unique among cereal flours in that, with water in the correct proportions, the protein will form an viscoelastic dough which is capable of holding gas and will set the form of a sponge when heated in the oven. In bread making, the wheat dough undergoes some degree of deformation in each step of the process. It is generally accepted that the baking properties of wheat are mainly due to the viscoelasticity of the gluten protein, that consists in the major fraction of the protein present in wheat flours. Several instruments have been developed in the past decades to control dough quality and to study the effect of rheology on processing.

The objective of the present study was the evaluation of the quality of wheat flours through of rheological properties of gluten. The new technique used the apparatus Wheat Gluten Analyser- AQG, specially developed to evaluate the rheological properties of gluten by measuring, the following parameters: maximum resistance to extension (Newton), extensibility (mm) e energy (J). The test performed with the apparatus AQG used isolated wheat gluten. All the 59 samples of wheat were evaluated for their of protein and gluten contents, their rheological dough properties by the Extensograph and Farinograph methods, their rheological gluten properties by experimental method using the AQG, as well as effecting a baking test. Results obtained using AQG technique were compared with those obtained using traditional rheological apparatus and with the other cited methods.

The statistical method of Principal Component Analysis (PCA) was used to evaluate the results. The results show an acceptable level of linear correlation between the results obtained with the Extensigraph and AQG with respect to the principal rheological parameter studied maximum resistance to extension and energy, giving values between 0,5397 and 0,6511 ($p < 0,05$). The graph of the PCA results between the AQG and baking test demonstrated that strong and weak wheats were influenced by different parameters which are also grouped in the different places, showing the technological difference.

1. INTRODUÇÃO

Os cereais são considerados importantes culturas na alimentação humana. Os principais são o trigo, arroz, milho, centeio, cevada, sorgo, aveia e triticale. O trigo é um dos cereais mais utilizados para o consumo humano (MANDARINO, 1994). A farinha de trigo é o único cereal que, misturado com água em proporção adequada, possui a habilidade de formar massa viscoelástica, capaz de reter gases e apresentar estrutura esponjosa quando aquecida no forno (MATZ, 1960). Por causa deste fenômeno, o trigo se diferencia dos demais cereais e é considerado nobre, pois não é possível obter produtos de panificação de alta qualidade a partir de outro cereal ou tubérculo (MANDARINO, 1994).

A característica viscoelástica do trigo deve-se principalmente à natureza das proteínas formadoras de glúten: gliadinas e gluteninas (van DAM & HILLE, 1992).

O conteúdo de proteína do trigo depende fortemente de fatores ambientais, tais como clima e solo (CAMPBELL & LEE, 1982). Já a qualidade, por outro lado, parece ser uma característica genotípica (BUSHUK, 1985).

A farinha de trigo não é apenas o ingrediente mais importante da panificação, é também o elemento fundamental do qual depende toda essa indústria (EL-DASH et al, 1982). Segundo POMERANZ (1987), poucos países têm condições climáticas e de solo adequadas para o plantio de trigo. Sendo assim, apenas alguns países tais como os Estados Unidos, Canadá, Austrália, Argentina e França detêm o mercado deste cereal, já que produzem trigo de boa qualidade, são auto-suficientes e ainda possuem estoques voltados à exportação. Os demais países tornaram-se dependentes da importação de trigo, pois este cereal possui características muito apreciadas pelo consumidor.

A qualidade do trigo tem um conceito relativo e depende de sua conveniência para um uso particular, pois ela pode ser apropriada para um determinado tipo de produto e indesejável para outro. Portanto, a qualidade tecnológica do trigo é fundamental para qualquer setor que trabalhe com este cereal. O preço, a qualidade e a tecnologia do produto de panificação são determinados em função da qualidade da farinha e de suas propriedades químicas e físicas, especialmente aquelas relacionadas às suas proteínas. A composição química dos grãos de trigo variam amplamente dependendo do ambiente, solo e variedade. O trigo pode sofrer deterioração devido ao manuseio ou armanejamento impróprios, sendo considerado de qualidade inferior. O mesmo problema pode acontecer por causa de excesso de quantidade de material estranho, principalmente de uma espécie inseparável ou tóxica. O trigo preferido para todo uso alimentar é aquele forte, amadurecido, livre de material estranho ou qualquer evidência de prejuízo. A qualidade do trigo está

relacionada com a qualidade de seus produtos moídos, e em particular, a farinha (ZELENY, 1971).

No controle de qualidade de farinha de trigo, tanto a determinação do teor protéico como o de glúten úmido são testes amplamente utilizados. Porém, estes testes permitem apenas uma estimativa limitada sobre a qualidade da farinha, uma vez que duas farinhas que apresentem resultados similares nas análises de teor protéico e de conteúdo de glúten, podem fornecer produtos finais com performances significativamente diferentes, em função da respectiva consistência ou estrutura do glúten.

Atualmente a qualidade tecnológica da farinha de trigo é determinada principalmente pelas propriedades reológicas da massa (farinha + água), que dependem da quantidade e qualidade do glúten. Por este motivo, testes reológicos têm conseguido um lugar de destaque no controle de qualidade da farinha (SIETZ & DOERFNER, 1987).

A classificação de farinha de trigo, baseada em sua qualidade tecnológica, é fundamental para a indústria de panificação e para moinhos de trigo, pois é a partir dela que se tomam as decisões sobre mesclagem dos grãos de diferentes qualidades para a moagem e o destino final da farinha, se é para a fabricação de pães, massas, biscoitos, etc.

Diferentes instrumentos foram desenvolvidos nos últimos 60 anos para avaliar a qualidade da farinha e estudar o efeito da reologia da massa no processamento (WEIPERT, 1990 citado por WATANABE et al, 1992). Dentre eles destacam-se os misturadores Farinógrafo e Mixógrafo, que fornecem informações sobre o comportamento da massa durante a mistura e, o Extensógrafo e o Alveógrafo, que descrevem o comportamento da massa e sua capacidade de reter gases durante os estágios de fermentação e cozimento, através de medidas de resistência e extensibilidade da massa (WEIPERT, 1992).

MITA & BOHLIN (1983) abordaram que, embora as propriedades de massa tenham sido estudadas consideravelmente, poucos estudos têm sido feitos sobre as propriedades reológicas do glúten diretamente.

Neste projeto de pesquisa foi iniciado estudos sobre avaliação de qualidade de farinha de trigo, fazendo-se medidas diretamente sobre o glúten. Este foi extraído de uma massa de farinha-água e submetido à testes de resistência máxima à extensão e extensibilidade num protótipo especialmente construído para este fim. As mesmas farinhas foram analisadas quanto ao teor de glúten, conteúdo protéico, performance de panificação e também foram submetidas à ensaios nos aparelhos reológicos tradicionalmente utilizados.

Pretendeu-se através deste trabalho:

1. Avaliar amostras de farinha de trigo verificando: teores de proteína e de glúten, comportamento reológico da massa (farinha + água) e performance de panificação. Paralelamente, verificar o comportamento reológico do glúten das amostras de farinha de trigo, medido em protótipo especialmente construído para esta finalidade.
2. Comparar os resultados do protótipo Analisador de Qualidade de Glúten - AQQ, com os obtidos em métodos e aparelhos tradicionais (farinograma, extensograma e viscoamilograma).
3. Estudar o uso dos aparelhos reológicos (AQQ, Extensógrafo, Farinógrafo) para avaliar o potencial de farinha de trigo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância do Trigo

A composição do grão faz do trigo um alimento palatável de alto valor energético. O grão de trigo consiste basicamente do endosperma, farelo e gérmen, que correspondem a 81-84%, 14-16% e 2-3% do grão, respectivamente. Embora sejam vistos principalmente como fontes de carboidratos, os produtos de trigo são também importantes fontes de proteínas, vitaminas e sais minerais, quando consumidos como elementos básicos da dieta. A maior parte do trigo produzido no mundo é processado em moinhos de rolos para produzir farinha branca ou semolina, para uso na manufatura de pães, biscoitos, bolachas, macarrão, snacks, etc (MacMASTER, 1971). A produção brasileira no ano de 1994 foi em torno de 2,1 milhões de toneladas, suficiente apenas para suprir 26% das necessidades internas, já que o consumo foi de 8 milhões de toneladas. O déficit foi suprido através de importações (IEA, IBGE, CONAB, 1988/1993, citado por ZIRLIS et al, 1994).

2.2. Conceitos de Qualidade de Trigo: Pontos de Vista

PRATT (1971) define qualidade de farinha como a capacidade desta para produzir uniformemente um produto final atrativo com um custo competitivo, após condições impostas pelas unidades manufadoras do produto final. De modo geral, a força da farinha tem sido sinônima da sua qualidade. A presença ou ausência do fator de força governa a conveniência de uma farinha para um fim específico.

Segundo EL-DASH e CAMARGO (1978), o interesse do consumidor pelo trigo e pela farinha que melhor desempenhe suas funções determina a importância dos vários elementos de qualidade. Apesar dos elementos de qualidade definidos serem considerados desejáveis pela maioria dos consumidores, alguns podem enfatizá-los desigualmente. O tricultor considera que o trigo de qualidade superior é aquele que possui boas características agrônômicas, como resistência a doenças e pragas, alto potencial de produção e elevado peso hectolitro. Para o moageiro, a qualidade significa matéria-prima limpa, uniforme em tamanho e forma, alto peso específico, teores de cinzas e consumo de energia elétrica baixos durante o processamento industrial, produzindo uma farinha com propriedades de peneiragem, fluxo livre, alto rendimento e boa coloração. Para o padeiro, a farinha de boa qualidade deve possuir alta capacidade de absorção de água, boa tolerância ao amassamento, glúten de força média a forte, alta porcentagem de proteína, enfim, fatores estes que determinam maior economia ao produzir pães com boas características. Para o consumidor, o trigo de boa qualidade é aquele capaz de produzir pães de grande volume, com textura interna e externa adequadas, boa cor e

alto valor nutritivo. Portanto, as características de interesse primário para o triticultor, o moageiro, o padeiro e o consumidor variam consideravelmente e não estão necessariamente presentes no mesmo trigo (GUARIENTI, 1993).

2.3. Critérios Botânicos de Qualidade

2.3.1. Espécies

Apenas três das quinze espécies de trigo reconhecidas na América do Norte tem importância comercial: *Triticum aestivum* L (trigo comum), *Triticum compactum* Host ("Club Wheat") e *Triticum durum* Desf (trigo duro). As características da qualidade do grão desses três tipos diferem consideravelmente e essas diferenças refletem no uso dos produtos moídos. Nas características físicas externas das sementes, também ocorrem diferenças, a ponto de os inspetores de grãos não terem dificuldades na determinação dos diversos tipos.

O trigo comum é o mais cultivado nos EUA e Canadá. A característica mais notável deste tipo de trigo, do ponto de vista econômico, é que sua farinha é superior a todos os outros tipos, para a produção do pão fermentado. A consistência do caroço e o conteúdo protéico variam largamente entre os tipos. Grande parte do trigo comum é usado na produção de farinha destinado ao fabrico de pães, embora tenham sido desenvolvidas variedades convenientes para a produção de bolos, biscoitos, bolachas duras e massas. O trigo comum tem crescimento habitual no inverno ou na primavera, podendo ter grãos vermelhos ou brancos.

O "Club Wheat" é uma variedade predominantemente branca, cuja semente possui textura macia e baixo teor protéico. Não é muito conveniente para pão, mas é de excelente qualidade para certos tipos de bolo e massas onde baixo teor protéico e glúten fraco são desejados.

O trigo duro é cultivado na primavera. As variedades com grãos vermelhos são cultivadas para um número limitado de produtos culinários, sendo que a principal produção é a âmbar (branca), cujas sementes têm geralmente uma textura muito dura e possui um teor protéico bastante elevado. A maior parte da colheita do trigo duro é usada na produção de semolinas utilizadas na fabricação de macarrão, pois a qualidade do glúten é adequada para este produto e inconveniente para a fabricação de pão (ZELENY, 1971).

2.3.2. Variedades

Na qualidade do grão, as diferenças de variedades são grandes nos trigos comuns, menores nos trigos duros e relativamente pequenas no "Club Wheat". Cerca de 200 variedades de trigo reconhecidas são comercialmente plantadas nas várias partes do mundo. Embora a variedade seja um fator influente na qualidade do trigo, este é raramente posto no mercado baseando-se apenas numa variedade individual (ZELENY, 1971). As diferenças entre as variedades incluem fatores tais como o número de cromossomos, quantidades de pigmentos, durezas, vitreosidade dos grãos, graus de extração de farinha, características de panificação e adaptação à condições climáticas e de solo. O ambiente exerce um efeito profundo sobre muitos desses fatores, a ponto de serem observadas diferenças na composição, que podem exceder àquelas devido às variedades (HELM & BARMORE, 1965).

O ambiente compreende as condições climáticas e de solo, que são altamente variáveis, podendo diferir de ano para ano, na mesma localidade, justificando portanto as diferenças anuais no comportamento de panificação de trigos pertencentes à mesma variedade e plantados na mesma região. Tendo em vista o vasto número de variedades de trigo, foi necessário estabelecer um sistema para sua classificação, a fim de descrever suas características de forma exata, tornando possível a comercialização e utilização do trigo.

É prática comum separar o trigo quando ele vem ao mercado de acordo com a classe; cada classe consistindo de um grupo de variedades características de certa forma semelhantes e geralmente usadas para propósitos similares. Na classificação do trigo, o inspetor deve ter um conhecimento suficiente das variedades para ser capaz de fazer tal julgamento (ZELENY, 1971).

2.3.3. Sistemas de Classificação e Comercialização do Trigo

A classificação do trigo para o mercado, na maior parte dos países tem métodos e procedimentos semelhantes, podendo diferir apenas no tipo de teste. A classificação do trigo para o mercado foi revista por 18 países, entre eles a Argentina, Canadá, EUA etc.

A classificação do trigo é importante comercialmente porque ela destaca a qualidade em termos comerciais, isto é, fornece um sistema que garante a qualidade do trigo para o comprador e possibilita-o escolher o trigo que será adequado para o seu produto. Sem esse sistema, a garantia de qualidade torna-se extremamente difícil e a qualidade dos produtos de panificação não pode ser mantido com o mesmo padrão. A classificação comercial do trigo varia de um país para outro, sendo que geralmente agrupa todas as variedades e espécies de trigo em duas maiores divisões

baseadas no período de cultivo: inverno ou primavera. O sistema americano divide o trigo em sete classes: vermelho duro de primavera, duro de primavera; vermelho duro de primavera, branco de primavera, vermelho mole de inverno; vermelho duro de inverno e branco de inverno. As classes são diferenciadas por sub-classes, de acordo com a porcentagem de vitreosidade, dureza e cor. Cada sub-classe é dividida em graus numéricos variando de 1 (melhor) até 5 (pior), baseado em fatores como teste de peso hectolitro (kg/hl), teor de grãos queimados por calor, conteúdo de grãos murchos e quebrados, presença de material estranho, grãos danificados. De acordo com este sistema, o número total dos vários graus do trigo alcança mais de 85 (ZELENY, 1971).

O trigo duro é considerado o melhor para produção de pastas devido algumas propriedades especiais: a dureza do grão, que é importante no processo de moagem para a obtenção da semolina e o alto conteúdo de pigmentos, que produzem macarrão de coloração desejada.

O vermelho duro é o melhor para produção de pão tipo americano e francês, enquanto que os trigos branco e mole são melhores para produção de bolos, biscoitos e doces (EL-DASH & CAMARGO, 1978).

No Brasil, recentemente, foi divulgado uma norma de classificação do trigo. O trigo é classificado em 4 classes (Melhorador, Superior, Intermediário e Comum) e 3 tipos, que variam de 1 a 3, de acordo com critérios determinados por parâmetros obtidos de farinografia, alveografia, índice de queda, umidade, peso hectolitro, matérias estranhas, impurezas e grãos danificados (BRASIL, 1994).

2.4. Principais Elementos de Qualidade

Desde 1956, MILLER e JOHNSON relataram que vários constituintes contribuem para a qualidade da farinha: amido, gorduras, minerais e proteínas.

O pão consiste predominantemente de proteínas, amido e água (WILHOFT, citado por POMERANZ, 1983). Sendo assim, destacaremos o papel do amido e das proteínas dentro da qualidade da farinha de trigo.

2.4.1. O Papel do Amido em Panificação

Numa farinha de trigo com cerca de 80% de extração, a 14% de umidade, o amido está na proporção de cerca de 65 a 70% (SANDSTEDT, 1961). Portanto, as propriedades do amido são muito importantes para produtos de panificação (HOSENEY et al, 1977), uma vez que o pão consiste predominantemente de proteínas, amido e água na razão aproximada de 1:6:5, respectivamente (WILHOFT, citado por POMERANZ, 1983). O amido é constituído de amilose (polímeros

lineares de moléculas de glicose) e de amilopectina (polímeros ramificados de moléculas de glicose). As funções do amido na massa do pão são principalmente: diluir o glúten até a consistência desejada, fornecer maltose para que a levedura aja durante a etapa da fermentação e retirar água do glúten para gelatinização parcial favorecendo a formação de uma estrutura rígida (SANDSTEDT, 1961).

POMERANZ (1985) descreveu o comportamento do amido no pão em algumas etapas: durante o assamento os grânulos de amido gelatinizam; algumas frações lineares saem dos grânulos inchados e tornam-se concentrados em pequenas quantidades da água intersticial do grânulo; durante o resfriamento do pão, as moléculas lineares intergranulares formam um gel rígido; durante o armazenamento, a molécula ramificada dentro do grânulo sofre uma pequena associação para formar grânulos rígidos inchados, que endurece a estrutura do miolo, causando o envelhecimento do pão. O comportamento do amido nos produtos de panificação depende de vários fatores como: razão amilose/amilopectina, amido danificado durante a moagem do trigo, tamanho do grânulo de amido, presença de outros ingredientes (açúcar, gordura, etc) na massa, estrutura cristalina do amido.

O excesso de amido danificado causa uma diminuição da qualidade do pão, pois o glúten não é capaz de cobrir o aumento da superfície da área causado pelo aumento de amido danificado, resultando na perda da capacidade de retenção de gás.

Durante a gelatinização, a porção linear ou fração amilose do amido dissolve e difunde os arredores do meio aquoso onde ela se torna concentrada, tanto que a quantidade de água é reduzida com contínuo inchamento do amido, resultando na formação de uma rede de gel permanente entre os grânulos durante o cozimento (PYLER, 1973). O envelhecimento do pão tem como mecanismo básico a retrogradação do amido, sendo que no primeiro dia de estocagem a amilose é a responsável pelo aumento da rigidez do gel de amido e após o primeiro dia isto se deve à amilopectina. O mecanismo básico da retrogradação é nucleação instantânea seguida pelo crescimento em bastão dos cristais, que causa uma maior rigidez do gel de amido, devido ao aumento da cristalinidade. O fenômeno do envelhecimento do pão é consequência da formação de microcristais através de interligações (pontes de H) entre as moléculas de amilose, durante a retrogradação do amido, que ocorre após o resfriamento do pão. O elevado teor de amilose favorece a sua retrogradação e, conseqüentemente, o endurecimento do pão (MANDARINO, 1994).

2.4.2. Proteínas do Trigo

Atualmente, qualidade e quantidade de proteína são considerados fatores primários na medição do potencial da farinha em relação ao fim desejado. A expressão de quantidade de proteína bruta é relacionada com o total de nitrogênio orgânico da farinha, enquanto que avaliações de qualidade estão relacionadas especificamente com características físico-químicas dos componentes de formação do glúten (EL-DASH et al, 1982).

Desde muito tempo, altos conteúdos de proteína têm sido associados com boa qualidade de panificação e, para um cultivar específico, o aumento no conteúdo de proteína normalmente resulta em aumento na absorção de água, no volume e na qualidade geral do pão (TIPPLES et al, 1977). Segundo FINNEY e BARMORE, citados por TANAKA & BUSHUK (1972), para um dado cultivar, a qualidade de panificação, principalmente o volume do pão, foi diretamente relacionada com o seu conteúdo de proteína. Sendo assim, apesar de existirem outros testes químicos (cinzas, fibras, lipídios, etc) que auxiliam a avaliação da qualidade da farinha de trigo, descreveremos posteriormente apenas os testes relacionados às proteínas.

As proteínas do trigo localizam-se, principalmente, no endosperma, mas estão presentes também no gérmen e nas fibras. São classificadas de acordo com sua extratibilidade em diferentes sistemas de solventes. Entretanto, seu estudo foi dificultado devido à sua insolubilidade nos solventes que são, normalmente, utilizados na separação e análise de proteínas. Atualmente, com as novas técnicas de cromatografia e eletroforese, a caracterização das proteínas do trigo tornou-se mais precisa (MANDARINO, 1994). Até hoje tem sido usado, de uma forma geral, a classificação dada por OSBORNE (1907), que dividiu as proteínas dos cereais em quatro grandes grupos, de acordo com a solubilidade. O trigo é composto pelas albuminas (~10%), globulinas (~5%), gliadinas (~40%) e gluteninas (~45%). As albuminas são solúveis em soluções salinas e permanecem solúveis durante a diálise com água. As globulinas são solúveis em soluções salinas, mas precipitam por diálise na presença de água. As gliadinas são cadeias de polipeptídeos simples, solúveis em soluções alcoólicas (etanol 70%), que possuem peso molecular entre 30.000 a 50.000 e apresentam-se sob a forma monomolecular estabilizada por pontes de dissulfeto intramoleculares. As gluteninas são complexos protéicos formados por cadeias de polipeptídeos simples, que apresentam pontes dissulfeto intra e intermoleculares, possuindo peso molecular acima de 100.000 e são solúveis em soluções ácidas ou alcalinas diluídas (CHEFTEL et al, 1989; LORENZ & KULP, 1991 e MANDARINO, 1994).

As proteínas do trigo podem ainda ser divididas em dois grupos: as proteínas não formadoras de glúten (albuminas e globulinas) e as formadoras de glúten (gliadinas e gluteninas) (FINNEY et al, 1987).

Para a avaliação da qualidade do trigo, torna-se necessário verificar os potenciais qualitativo e quantitativo das proteínas. A qualidade da proteína é medida por métodos químicos, bioquímicos e reológicos. A avaliação quantitativa de proteínas pode ser feita por vários métodos, sendo o mais usual o método AACC 46-13, conhecido por Kjeldahl, que utiliza o fator 5,7 para a conversão do nitrogênio total em proteínas (GUARIENTI, 1993). Outro método de determinação de quantidade protéica empregado é o do glúten úmido ou seco, extraído da farinha por técnicas de lavagem. O glúten lavado permite ao pesquisador visualizar algumas características, tais como sua elasticidade e cor.

As globulinas e albuminas não têm efeito em panificação e, portanto, pouco interesse têm despertado nos químicos cerealistas. Entretanto, o grupo que compõe o glúten tem sido muito pesquisado, pois desempenha o papel principal em panificação.

2.4.2.1. Teor Protéico e Composição Aminoacídica

O teor porcentual de proteínas na farinha varia de acordo com a cultivar do trigo, o grau de desenvolvimento do grão, o solo onde foi cultivado, as condições climáticas durante o desenvolvimento, o tipo de processamento utilizado para a extração da farinha, entre outros fatores. Esse teor pode variar de 8 a 14% (MANDARINO, 1994).

Alguns cultivares possuem a capacidade genética para produzir grãos com maiores conteúdos protéicos que outros.

A quantidade de proteína numa farinha não é o fator determinante da sua qualidade tecnológica. Esta depende em maior ou menor grau, da qualidade das proteínas formadoras do glúten, que constitui a maior fração protéica da farinha. Para a fabricação dos diversos tipos de produto, devem-se avaliar a combinação da qualidade e a quantidade de proteína presente no trigo. Muitas vezes, uma variedade de trigo apresenta alta quantidade de proteína mas esta é de baixa qualidade, o que pode expressar pequeno potencial de panificação. O contrário também pode ser verificado, ou seja, baixa quantidade de proteína mas de alta qualidade, e neste caso, o potencial de panificação pode ser reduzido em função da presença de menor teor protéico (SHEPHERD, 1988).

Para a fabricação de pão francês, alguns pesquisadores consideram que o teor de proteína ideal situa-se na faixa de 10,5 a 13,0%; para pão de forma, de 11,5 a 14,5%; para bolachas tipo cracker, de 8,5 a 10,5%; para os demais tipos de

bolachas, de 7,5 a 9,0%; para bolos, de 5 a 7,5%; para a extração de glúten vital, de 14 a 17%; para massas curtas, de 8,5 a 10,5% (SCHILLER, 1984).

Quanto à qualidade da proteína, sua relação com o uso final será abordada na descrição dos métodos reológicos.

Nenhuma distinção clara entre cultivares de boa ou má qualidade tecnológica é aparente com base na composição total dos aminoácidos.

As proteínas do glúten são particularmente ricas nos aminoácidos: prolina, cistina, ácido aspártico e ácido glutâmico, que contribuem para a formação e manutenção da forma em α -hélice (forma espiralada) das proteínas. A composição aminoacídica das gliadinas e gluteninas apresentam algumas similaridades, embora haja diferenças como, por exemplo: as gliadinas possuem menores teores de glicina, alanina, lisina, ácido aspártico e treonina do que as gluteninas. Entretanto, apresentam altos teores de ácido glutâmico, prolina e cisteína. As gliadinas e gluteninas apresentam altos teores de ácido glutâmico e de ácido aspártico na forma amídica - glutamina e asparagina - que desempenham importante função na interação entre as proteínas do glúten. Estes aminoácidos contribuem para a formação e estabilização da α -conformação das proteínas. Isto ocorre através da formação de pontes de hidrogênio entre os grupos de amida, que agem como doadores e receptores de hidrogênio. Vários estudos têm demonstrado que a perda das propriedades viscoelásticas da farinha está relacionada com a conversão dos grupos amida em grupos carboxila ou ésteres.

A presença de níveis, relativamente altos, de aminoácidos com sítios hidrofóbicos nas cadeias das proteínas do glúten, aumenta consideravelmente as interações hidrofóbicas entre esses aminoácidos, contribuindo de maneira positiva para a formação e estabilização dos complexos de glutenina. Os elevados níveis de prolina nas moléculas de gliadinas e gluteninas, desempenham papel importante na estrutura conformacional da molécula protéica e, conseqüentemente, na rigidez da "rede protéica" do glúten (MANDARINO, 1994).

2.4.2.2. Glúten

Glúten é o nome genérico dado ao conjunto de proteínas insolúveis do trigo (gliadinas e gluteninas) que possui a característica viscoelástica, responsável pela formação da massa quando farinha de trigo e água são misturadas. A viscoelasticidade do glúten é resultado da combinação das características provenientes dos seus componentes (GUARIENTI, 1993).

As gliadinas conferem extensibilidade, enquanto que as gluteninas, elasticidade à massa. Estas frações apresentam composição variável em termos de proteínas e desempenham importantes funções tecnológicas.

As proteínas que constituem o glúten têm comprovada contribuição para a qualidade tecnológica do trigo e suas farinhas. Se o glúten é removido da farinha, a propriedade de formação de massa viscoelástica, capacidade de retenção de gás durante a fermentação e cozimento é completamente perdida.

Uma vez que há evidências de que as características viscoelásticas derivam diretamente de propriedades análogas do glúten, os métodos de avaliação da reologia da farinha (termo utilizado para designar o estudo do comportamento de uma massa) têm lugar de destaque no controle de qualidade e serão descritos posteriormente.

Um conceito totalmente diferente de proteína de trigo, está mais envolvido com sua característica tecnológica do que a nutricional no pão e outros produtos similares.

Em muitos casos, os laboratórios de controle de qualidade adotam a avaliação de quantidade de glúten como critério de seleção de matérias-primas.

A AACC (American Association of Cereal Chemistry) aprovou o método de lavagem manual de glúten e a máquina de lavagem de glúten Theby como métodos oficiais. A ICC (International Association of Cereal Chemistry) aprovou o uso de lavador de glúten automático Glutomatic como método padrão. Por estes métodos podem-se calcular o percentual de glúten úmido e seco e o índice de glúten, que é a relação entre o glúten seco e o glúten total da amostra.

Embora o glúten possa ser utilizado sozinho, tal como ocorre nas comidas vegetarianas, geralmente ele é usado como aditivo para cereais, carnes e peixes. O mercado para o glúten no mundo ocidental é da ordem de 140.000 ton/ano e é esperado que o seu uso industrial continue a se expandir.

A maioria do glúten seco produzido mundialmente é usado em produtos de panificação. Farinhas com baixo teor de glúten são frequentemente fortalecidas com a suplementação de glúten, que aumenta a tolerância ao processamento e também ajuda a reter gás na massa. Suplementação com glúten torna-se necessária quando são adicionadas fibras, germen e outros ingredientes nos pães. A vitalidade do glúten é geralmente avaliada por sua habilidade de melhorar volume, textura e a cor do pão (WADHAWAN & BUSHUK, 1989).

2.4.2.2.1. Propriedades Químicas do Glúten

As interações mais importantes entre os aminoácidos presentes nas proteínas do glúten são do tipo pontes de dissulfeto e pontes de hidrogênio. As ligações iônicas são de menor importância, devido ao baixo teor de aminoácidos carregados presentes nas proteínas do glúten (MANDARINO, 1993).

Pontes de Sulfeto: A rede formada pelas proteínas de glúten é mantida pelas pontes dissulfeto (S-S) entre os aminoácidos sulfurados presentes nas moléculas protéicas. Essas pontes são intra e intermoleculares. Nas gluteninas, as cadeias protéicas, com peso molecular de aproximadamente 20.000, ligam-se a outras cadeias através de pontes dissulfetos formando, assim, complexos cujo peso molecular pode atingir valores superiores a 1.000.000. Nas gliadinas, as pontes dissulfeto são intramoleculares. O número dessas pontes, ou seja, o teor porcentual dos aminoácidos sulfurados presentes nas moléculas das proteínas que constituem o glúten, é um dos fatores que determinarão se uma farinha de trigo será forte ou fraca.

Pontes de Hidrogênio: As pontes de hidrogênio entre os aminoácidos que possuem grupo amida (glutamina e asparagina) são responsáveis pela insolubilidade das proteínas do glúten. A presença de prolina nas moléculas protéicas, também favorece a formação de pontes de hidrogênio intermoleculares.

2.4.2.2.2. Propriedades Físicas do Glúten:

Constituem-se na maciez e extensibilidade conferidas pelas gliadinas e na firmeza, elasticidade e resistência conferidas pelas gluteninas. A elasticidade é a propriedade da massa que permite sua distensão, quando é submetida a uma força, voltando à forma inicial tão logo essa força cesse. A extensibilidade é a propriedade da massa que permite distensão quando é submetida a uma força, porém não permite que ela volte à forma inicial, quando cessada a força (MANDARINO, 1993).

Estas características foram e continuam sendo estudadas através da reologia da massa que será descrita posteriormente.

2.4.2.2.3. Teorias de Desenvolvimento de Glúten

Muitos estudiosos têm procurado postular uma teoria de desenvolvimento do glúten que explique quatro pontos-chaves: a) mecanismo rápido de formação de massa quando mistura-se água em proporção adequada na farinha; b) massa com característica viscoelástica; c) efeito de oxidantes e redutores na massa; d) por que outros cereais não formam massa viscoelástica.

Na década de 60 surgiu uma teoria, baseada em sub-unidades protéicas, que foi desenvolvida por BECKWITH & WALL (1966) e BECKWITH et al (1965). Estes pesquisadores estudaram a redução e reoxidação de ligações dissulfídicas (-S-S-) e sulfidrilas ou grupos tiol (-SH) em uma solução de gliadina e glutenina. As sub-unidades protéicas unem-se umas às outras através de ligações dissulfídicas intra e intermoleculares, resultando numa massa homogênea e viscoelástica. A formação da

massa e suas propriedades viscoelásticas não foram totalmente esclarecidas pelos pesquisadores. A farinha de trigo é o único cereal que contém o catalisador responsável pela formação da massa de farinha-água. Porém, este mecanismo não explica porque, quando os grupos -SH são bloqueados, continua formando glúten.

Outro ponto é que os grupos -SH estão presentes na farinha na ordem de 1 micromol por grama. Portanto, a possibilidade de dois grupos -SH se encontrarem na posição correta para formar a ligação -S-S- é muito remota. Além disso, sabe-se que a cinética de formação da ligação -S-S- é complexa e requer energia de ativação. O tempo de mistura não seria suficiente para que se formasse essas ligações.

A segunda hipótese foi apresentada por GREENWOOD & EWART (1975) e estabelece que a glutenina é o único constituinte das proteínas de trigo que exhibe alguma propriedade viscoelástica significativa. Esta é uma característica inerente da molécula e é ativada quando em presença de água e mistura, durante a formação da massa. Em outras palavras, moléculas de glutenina com propriedades viscoelásticas são biossintetizadas no grão de trigo. Esta hipótese enfatiza a importância da formação de nós durante a mistura da massa. A formação mecânica de nós deveria ser independente do tipo de solvente usado na mistura. Porém, EL-DASH (1991), utilizando um solvente não polar, inibiu a formação da massa.

A terceira hipótese foi introduzida por KASARDA et al (1976). É baseada em formação de agregados microfibrilares de algumas gliadinas e algumas outras proteínas do endosperma. Esta agregação é completamente reversível e envolve somente forças secundárias, tais como ligações iônicas, hidrogênicas e hidrofóbicas, sem participação de interações covalentes durante a mistura contínua da massa. As microfibrilas vão interagindo e formando macrofibrilas, resultando numa estrutura tridimensional. KASARDA et al (1976) afirmaram que os grupos -SH e as pontes dissulfeto tem um papel importante na determinação das características viscoelásticas da massa. Porém, não puderam explicar todos os detalhes do mecanismo.

A quarta hipótese, desenvolvida por EL-DASH (1991), está baseada em dois elementos: presença de forças de agregação secundárias responsáveis pela formação de cadeias e camadas na massa; e a existência de pontes dissulfetos intermoleculares. As pontes dissulfetos de algumas dessas moléculas conectadas separam cadeias, melhorando a ligação entre as duas camadas, criando uma rede tridimensional de unidades protéicas capazes de reter grande quantidade de água. A formação da rede tridimensional não requer a oxidação de grupos -SH para criar novas pontes -SH, desde que estas proteínas já se encontram presentes na farinha como parte da glutenina e são somente incorporadas em cadeias de polímeros por forças secundárias durante o processo de mistura. A formação da massa é portanto rápida por causa somente das ligações secundárias envolvidas. Baseado no papel das

forças das ligações secundárias na estrutura do glúten, o mesmo autor visualizou uma rede tridimensional baseada somente em pontes de hidrogênio, como sendo capaz de substituir a rede de glúten com as mesmas propriedades tecnológicas, ou seja, uma estrutura de amido criada sob condições próprias, tendo propriedades viscoelásticas suficiente para segurar o gás produzido durante a fermentação do pão e elasticidade similar ao do macarrão.

2.5. Controle de Qualidade

No controle de qualidade da farinha de trigo tanto a determinação do teor de proteína como o de glúten úmido são testes rápidos, simples e amplamente utilizados. Porém, estes testes permitem apenas uma estimativa limitada sobre a qualidade da farinha e os resultados da cocção. Estes atributos são determinados principalmente pelas propriedades reológicas da massa, que dependem, além da quantidade de glúten, da sua qualidade.

Duas farinhas que apresentam na análise (atividade enzimática, teor de proteína e quantidade de glúten, por exemplo) resultados iguais, podem apresentar no produto final, qualidades significativamente diferentes em função da respectiva consistência ou estrutura do glúten. Por este motivo, os testes reológicos realizados por exemplo, com o Farinógrafo ou o Extensógrafo, têm conseguido um lugar de destaque no controle de qualidade da farinha.

Fora da reologia de massa, existe um interesse crescente por um teste específico apenas no caso do glúten. A razão deste interesse provém principalmente da área da moagem, em decorrência da necessidade de se dispor de um procedimento de ensaio rápido e simples, para medir a qualidade do cereal no instante do recebimento e que permita logo a continuidade da determinação do conteúdo de glúten, mas sem os inconvenientes da demora e da complexidade instrumental dos ensaios reológicos de massa até aqui consagrados.

De maneira simplificada, a qualidade do glúten é testada frequentemente de forma sensorial, ou seja, a amostra é esticada manualmente. Esta avaliação permite apenas estimar grosseiramente as propriedades do glúten, mas é considerado insatisfatório de uma maneira geral.

Algumas tentativas de se medir a qualidade de glúten foram feitas, mas um método de aplicação prática não tem sido encontrada. Um exemplo aparentemente satisfatório deste tipo de equipamento para ensaiar glúten é o Glutógrafo Brabender, que usa o princípio de cisalhamento (SIETZ & DOERFNER, 1987).

2.5.1. Reologia de Massa

Em panificação, a massa sofre algum tipo de deformação em todas as fases do processamento. Evidências de que as propriedades viscoelásticas da massa derivam diretamente de propriedades análogas do glúten, desencadearam um interesse crescente no estudo reológico aplicado ao controle de qualidade de trigo (BUSHUK, 1985).

Massa de farinha de trigo, especialmente massa de pão, têm provavelmente recebido maior atenção por parte dos reologistas de alimentos no mundo todo do que quaisquer outros materiais alimentícios estudados até aqui (CHARM, 1962).

Estudos reológicos sobre este material excessivamente complexo foram os primeiros publicados no campo da reologia de alimentos. É geralmente aceito que as propriedades reológicas de massa são extremamente importantes para a qualidade final de todo produto de panificação. Desde que eles são primariamente dependentes das qualidades inerentes de trigo, testes reológicos em massas servem também como uma importante ferramenta em testes de trigos e farinhas em sua performance de panificação (RASPER, 1976).

Massa de pão é comumente preparada a partir de farinha, água, sal e ingredientes adicionais que são misturados para formar massa. A mistura é uma das etapas mais críticas do processamento do pão, pois nela ocorrem as mudanças mais importantes na estrutura das proteínas. Nesta etapa, as proteínas e os outros componentes da massa são submetidos a um trabalho mecânico que resulta então numa reorganização das proteínas para a formação de uma massa com características próprias. No decorrer da mistura, a massa torna-se mais úmida e coesa por causa da formação das pontes dissulfeto principalmente. Há, deste modo, um aumento gradual na coesão e o desenvolvimento de suas propriedades elásticas. Com a continuação do trabalho mecânico sobre a massa, esta irá apresentar aparência mais seca e homogênea, resultado do desenvolvimento de propriedades reológicas desejáveis, tais como: mobilidade, fluidez e resistência à extensão. Estas etapas são denominadas “desenvolvimento da massa”. A partir deste ponto, se a massa é submetida a mais trabalho, perde a elasticidade, começa a estender-se, adquirindo características de fluido, tornando-se pegajosa (MANDARINO, 1994).

Pelo exame microscópico da massa, observa-se que a matriz ou rede formada pelas proteínas, apresenta-se uniforme e contínua. No interior da matriz encontram-se moléculas de água e, ligados à matriz, podem ser visualizados grânulos de amido, estruturas fibrilares e células de gás. As propriedades viscoelásticas da massa decorrem das estruturas das proteínas do glúten que formam essa rede ou matriz.

Assim sendo, a estrutura e as propriedades reológicas da massa estão diretamente relacionadas com o número e a resistência das ligações e interações

entre as cadeias das proteínas do glúten. Em última instância, essas propriedades dependem do teor porcentual e da composição aminoacídica das proteínas presentes no grão de trigo (MANDARINO, 1994). As propriedades da rede de glúten durante a fermentação e cozimento influenciam as características do produto final. É desejável, por exemplo, que a massa apresente extensibilidade suficiente para expandir sob a influência do gás carbônico desenvolvido durante a fermentação, mas deve ter o grau ótimo de resistência à extensão, caso contrário ela não vai reter sua forma (FIFIELD et al, 1950 e POMERANZ, 1971). Em outras palavras, o balanço entre a extensibilidade e a elasticidade são relevantes para a obtenção de um produto de boa qualidade de panificação (WEIPERT, 1992). Baixa resistência à extensão resulta numa massa leve que não retém o dióxido de carbono nem seu volume, enquanto que resistência à extensão alta resulta num volume pobre, pois a pressão de dióxido de carbono envolvida não é suficiente para expandir a massa a um volume ótimo. Uma massa bem desenvolvida tem uma estrutura vesicular fina. O ar incorporado durante a mistura representa cerca de 20% de seu volume (BAKER & MIZE, 1946). O gás continua a ser gerado durante a fermentação e expansão. Para dar um miolo de ótima textura, a massa deve entrar no estágio de forneamento com gás representando cerca de 70 a 80% de seu volume total (RASPER, 1976). Em vista destas considerações, estudos reológicos têm sido principalmente focalizado sobre o comportamento da massa durante o processo de mistura e como o efeito destas propriedades reológicas essenciais contribuem para o desenvolvimento das características ótimas de retenção de gás. A reologia tanto com base empírica como fundamental é estudada há muito tempo, embora a primeira tenha se mostrado mais fácil durante manipulação.

As características de mistura e hidratação da farinha e o desenvolvimento do glúten na massa podem ser avaliados em misturadores como o Farinógrafo e o Mixógrafo, através de medidas como o tempo de desenvolvimento máximo, a estabilidade e o índice de tolerância à mistura. Outras propriedades físicas e reológicas das massas podem ser avaliadas pelo Extensógrafo Brabender ou Alveógrafo, através da medida de parâmetros como a extensibilidade e a elasticidade. Estes instrumentos medem somente algumas das propriedades que determinam a qualidade de panificação da farinha de trigo; conseqüentemente, a interpretação isolada dos resultados obtidos nestes testes é limitada (TOSELLO, 1979).

2.5.2. Testes Reológicos de Massa

Uma grande variedade de instrumentos comerciais são usados em testes físicos de rotina em massa tanto em controle de qualidade como trabalhos de pesquisa. RASPER (1976) citou que, muitos pesquisadores fizeram revisões sobre o desenvolvimento histórico destes instrumentos e suas principais aplicações: MILLER & JOHNSON, 1954; BRABENDER 1956, 1965; BRABENDER & PAGENSTEDT 1957; KENT-JONES & AMOS 1967; MULLER 1964, 1966, 1969; BLOKSMA 1971; PYLER 1973. Em 1962 a American Association of Cereal Chemists (AACC) publicou métodos básicos para determinar qualidade física da massa, chamados Método de Farinógrafo nº54-21, Método do Extensógrafo nº54-10 e Método do Viscoamilógrafo nº22-10. Todos estes anos um sistema de teste físico têm sido desenvolvido com base no conceito "tri-fásico de panificação"(BRABENDER 1965; ABERRHAM 1971). Se aplica três princípios de teste: mistura de massa, extensão de massa e medidas de viscosidade em suspensão de farinha, em elevadas temperaturas (RASPER, 1976). O sistema têm sido geralmente aceito e é usado em muitos moinhos comerciais e indústrias de panificação.

2.5.2.1. Testes de Mistura da Massa

Os dois instrumentos mais comuns usados para testar massa de farinha de trigo durante a operação de mistura são o Farinógrafo Brabender e o Mixógrafo.

2.5.2.1.1. Farinógrafo

No método do Farinógrafo são testadas as propriedades da mistura e de hidratação da farinha, usando-se o sistema farinha-água (SFA). O Farinógrafo Brabender (SHUEY, 1972) é essencialmente um misturador de massa com medição de torque, o qual mede a plasticidade e mobilidade da massa sobre uma mistura relativamente suave a temperatura constante. No farinograma são medidos diversos índices de qualidade, como absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância da massa, o valor valorimétrico, entre outros. A maioria das informações obtidas a partir do farinograma são tidas como aplicáveis no preparo de produtos derivados da farinha. No entanto, tais parâmetros fornecem apenas uma diretriz vaga, não dando informações aplicáveis, como é indicado por muitos artigos na área de química de cereais (EL-DASH, 1978).

Com o objetivo de definir a qualidade tecnológica de farinha de trigo para a produção de pão, bolachas, crackers e pastas alimentícias, EL-DASH (1982) sugeriu valores para os elementos de qualidade da farinha que seriam adequados. Os parâmetros farinográficos absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade fazem parte destas especificações, onde se estabeleceu que a farinha adequada para pão francês, por exemplo, deve possuir valores de 63 a 68% de absorção de água, estabilidade mínima de 9 minutos e faixa de tempo de desenvolvimento entre 7 e 9 minutos.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas exemplos de classificação da qualidade de farinhas de acordo com os dados obtidos na farinografia, sendo que a TABELA 2 faz parte da portaria nº 167, de 29 de julho de 1994, emitida pela legislação brasileira (BRASIL, 1994).

Os tipos de farinogramas obtidos nas análises de trigo variam de acordo com a cultivar, com o efeito das condições ambientais, com o teor de proteína e com o tipo de farinha analisada.

GEDDES et al (1940), citados por EL-DASH (1978), concluíram que os parâmetros farinográficos não forneceram informações tão valiosas para o índice de qualidade do pão, após estudarem a relação entre as características do farinograma e a qualidade dos produtos de panificação. O mesmo ocorreu com AITKEN et al (1944) e JOHNSON et al (1946_a). AITKEN et al (1944), que relacionaram os parâmetros farinográficos com os graus comerciais dos trigos e observaram que os valores não foram sensíveis às mudanças de graus. JOHNSON et al (1946_a) ao utilizarem o Farinógrafo para fazer avaliação da farinha para usos específicos, perceberam que os farinogramas só são úteis para auxiliar na classificação da farinha quando não forem necessárias distinções finas.

Tabela 1: Classificação da qualidade da farinha de trigo através dos parâmetros Farinográficos: tempo de desenvolvimento, estabilidade e índice de tolerância.

Classificação	Tempo de Desenvolvimento (min)	Estabilidade (min)	Índice de Tolerância (U.F.)
muito fraca	≤ 2.0	≤ 2.0	200 - 250
fraca	2.1 - 4.0	2.1 - 4.0	150 - 199
média-fraca	4.1 - 6.0	4.1 - 7.0	100 - 149
média-forte	6.1 - 8.0	7.1 - 10.0	50 - 99
forte	8.1 - 10.0	10.1 - 15.0	0 - 49
muito forte	≥ 10.1	≥ 15.1	-

Fonte: WILLIAMS, P. et al. (1988).

Tabela 2: Classificação da qualidade da farinha de trigo através do parâmetro farinográfico: estabilidade.

Classes	Estabilidade (min)
Melhorador	14 (mínimo)
Superior	5 (mínimo)
Intermediário	3 (mínimo)
Comum	-

Fonte: Portaria 167 (BRASIL, 1994)

2.5.2.1.2. Mixógrafo

O Mixógrafo foi idealizado por SWANSON & WORKING (1933) e mais tarde modificado por LARMOUR et al (1939). Assim como na farinografia, o método do Mixógrafo têm sido feito seguindo um teste padrão físico de massa (AACC, 1969). A resistência oferecida pela massa à quatro pinos verticais girando ao redor de três pinos fixos na caixa misturadora, criam uma força que desvia a caixa misturadora da sua posição original. O torque é proporcional à força cisalhamento e elasticidade da massa, e pode ser usada como um índice de força da massa (RASPER, 1976).

Os principais índices de qualidade medidos pelo mixógrafo são: tempo de amassamento ou tempo de desenvolvimento e altura de curva ou altura do desenvolvimento.

Na Tabela 3 é apresentada a classificação da força da farinha de acordo com os dados do mixograma.

A mixografia apresenta limitações que afetam o resultado final, como a utilização de aparelho não padronizado, principalmente sob o aspecto de absorção de água, e o efeito do ambiente e do teor de proteína. Assim, só são comparáveis resultados provenientes de amostras conduzidas num mesmo local e analisadas em um mesmo laboratório (GUARIENTI, 1993).

Tabela 3: Classificação da força geral da farinha de trigo de acordo com os parâmetros do mixograma: tempo de amassamento e altura da curva.

Classificação	Tempo de Amassamento (min)	Altura da Curva (mm)
extra forte	≥ 4.5	≥ 70
forte	3.4 - 4.4	60 - 79
média	2.5 - 3.3	50 - 59
fraca	1.5 - 2.4	40 - 49
muito fraca	≤ 1.4	≤ 40

Fonte: WILLIAMS, P. et al. (1988)

2.5.2.1.3. Farinógrafo e Mixógrafo: Comparação

Tanto o Farinógrafo Brabender como o Mixógrafo podem ser modificados substituindo o registrador mecânico por um sistema de "strain-gage", que é a medida de deslocamento através da variação de resistência elétrica de um elemento (VOISEY et al, 1966a,b,c,d,1967,1969,1971). O Registrador eletrônico "strain-gage" oferece várias vantagens: é fácil de calibrar em termos de unidades físicas, grande acuracidade por causa da eliminação de fricção do sistema de medida de torque, uma grande faixa de sensibilidade e um gráfico em coordenadas.

Entretanto, ainda que misturadores possam ser melhorados mecanica ou eletronicamente, um problema maior permanece: a própria interpretação dos dados e de sua significância em relação às características de panificação da farinha ou massa. O Farinógrafo e o Mixógrafo foram muito criticamente comparados para encontrar qual o mais apropriado para testar farinha quanto à qualidade de

panificação. A utilização do Farinógrafo na determinação da absorção de água padrão foi frequentemente apresentada como uma vantagem sobre o Mixógrafo.

Escolhendo uma consistência arbitrária (500 Unidades Farinográficas) como um indicador da quantidade ótima de água a ser adicionada, está se supondo que a água é o único fator que afeta a consistência da massa ou que outros fatores são constantes para todas as farinhas. É observado que a consistência como é determinada num tempo de mistura ótimo (pico de consistência) e água de absorção padrão farinográfica, podem diferir do início ao fim da fermentação. Algumas massas têm a tendência para encolher e outras, para esticar durante esta fase (POMERANZ & SHELLENBERGER, 1971). FINNEY & SHOGREN (1972) descreveram uma técnica para a determinação de absorção de água usando o Mixógrafo Swanson. Enquanto mixogramas mostram quase invariavelmente um pico definido em tempo de mistura ótima, o pico de consistência em farinogramas é algumas vezes difícil para se determinar. Em farinhas com baixo teor protéico, ocasionalmente resultam em farinogramas com um pico duplo. O primeiro é obviamente devido à rápida absorção de água pelo amido enquanto que o segundo, que frequentemente aparece como um ponto de inflexão, é somente um relato da mistura requerida da farinha. Apesar de algumas imperfeições intrínsecas do Farinógrafo e Mixógrafo, ambos instrumentos são largamente utilizados em laboratórios de cereais. Mixógrafos são preferidos por laboratórios de panificação principalmente por causa de requerer amostra de farinha em menor quantidade; Farinógrafo é mais utilizado por laboratórios de moinhos. Entretanto, uma das maiores fontes de erros é o grau da interpretação humana obtida em ambos instrumentos, por simples registro análogos (RASPER, 1976).

2.5.2.2. Testes de Carga-Extensão da Massa

Vários instrumentos comerciais estão disponíveis para testes de rotina da avaliação da qualidade da massa sob grandes deformações. Das curvas registradas, várias características tais como resistência à extensão, extensibilidade e energia necessária para ruptura da massa, podem ser computadas. Dentre estes aparelhos, o Extensógrafo Brabender e o Alveógrafo são os mais comumente utilizados.

2.5.2.2.1. Extensógrafo

O Extensógrafo foi desenvolvido por volta de 1936 para complementar o Farinógrafo e têm sido particularmente útil no estudo do efeito de vários melhoradores químicos nas propriedades reológicas de massa (RASPER, 1976).

É possível usar o método extensográfico como um teste físico padrão para qualidade de farinha, mas existem ainda alguns problemas em desenvolver um método mais apropriado para preparação da amostra e avaliação das curvas registradas (MULLER e HLYNKA, 1964). Existem algumas dúvidas: se é mais correto manter constante a consistência da massa ou a absorção de água, tempo de mistura constante ou mistura para consistência máxima etc. Nenhuma unanimidade tem sido alcançada com respeito à avaliação dos extensogramas. Os dados reportados pelo extensograma com o objetivo de controle são geralmente: extensibilidade, resistência máxima à extensão, resistência à extensão, energia e número proporcional. Várias tentativas têm sido feitas para usar o Extensógrafo em estudos fundamentais e transformar os dados extensográficos em termos reológicos (MULLER et al 1961, 1962, 1963; BLOKSMA 1962, 1967; HEAPS et al 1968 citados por RASPER, 1976).

O extensograma resulta num gráfico que descreve o comportamento dinâmico da massa no momento da distensão. A avaliação da qualidade da farinha de trigo com base na área sob a curva (energia) deveria ser um dos mais confiáveis indicadores. Porém, frequentemente, isto não tem sido confirmado na prática. Isto ocorre porque extensogramas largos, porém, muito baixos, podem ter áreas idênticas ou maiores que extensogramas resultantes de massas com maior resistência à extensão, mas com menor extensibilidade. A resistência à extensão não tem valor matemático. Como o grau de resistência depende do declive da curva, a interpretação do dado quantitativo para a razão entre resistência e extensibilidade é também inseguro. Com base no valor da razão (R/E) nada se conclui sobre o tipo e formato do extensograma. Há também a possibilidade de que algumas amostras de farinhas de trigo dêem valores idênticos desta razão, embora apresentem diferenças qualitativas consideráveis (BALINT et al, 1991).

EL-DASH (1982) sugeriu que, para a produção de pão francês, são necessários valor médio-alto para extensibilidade e valor alto para o parâmetro de resistência à extensão.

2.5.2.2.2. Alveógrafo

O Chopin Alveógrafo é mais popular na Europa que na América do Norte (CHOPIN, 1927,1957, 1966). O instrumento consiste de três partes: misturador, insuflador de bolha e manômetro registrador.

Embora o alveograma nos forneça dados relevantes para predizer a qualidade da farinha, seus índices são baseados em correlações entre o comportamento da massa durante o processo de fabricação dos produtos finais e os diferentes gráficos produzidos, o que, em muitos casos, considerando-se outras características

qualitativas da amostra, como porcentual de amido danificado, granulometria da farinha e porcentual de absorção de água, pode não expressar o verdadeiro potencial qualitativo do trigo (BETTGE et al, 1989).

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentadas exemplos de classificação de qualidade do glúten segundo valores de W, parâmetro que indica a força do glúten. A Tabela 5 faz parte da portaria nº 167, de 29 de julho de 1994, emitida pela legislação brasileira.

Tabela 4: Classificação da força do glúten determinada pelo alveograma.

Classificação	Força geral do glúten (10^{-4} J)
muito fraca	≤ 50
fraca	51 - 100
média	101 - 200
média-forte	201 - 300
forte	301 - 400
muito forte	≥ 401

Fonte: WILLIAMS, P et al. (1988)

Tabela 5: Classificação da força do glúten determinado pelo alveograma segundo legislação brasileira.

Classes	W (10^{-4} J)
melhorador	280 (mínimo)
superior	200 (mínimo)
intermediário	140 (mínimo)
comum	-

Fonte: Portaria 167 (BRASIL, 1994)

A cada uso industrial recomendam-se determinados valores dos índices de alveografia. No Brasil, pela recente exigência em termos de qualidade industrial de trigo, não houve profundos estudos dos padrões de qualidade requeridos pelos produtos finais.

O primeiro Alveógrafo produzido usava massas com absorção de água baixa e constante, sendo conveniente apenas para as farinhas mais fracas da Europa. Com farinhas fortes os resultados eram bastante discrepantes. Testes de farinha usando a

razão de água-farinha constante com estes instrumentos foram questionados por muitos pesquisadores (BENNET & COPPOCK, 1956; MAES & PIROTTE, 1957 citados por RASPER, 1976). Mais tarde o aparelho foi modificado para massas usando razão de água-farinha variável, mas com consistência constante (CHOPIN 1966). SHOGREN et al (1963) modificou o procedimento para testar pequenas amostras de farinhas de trigo duro de inverno e encontrou uma alta correlação entre o pico do alveograma e volume do pão.

Qualquer um destes medidores de carga-extensão podem ser usados para testes de relaxação estrutural, o qual têm sido útil no estudo do efeito de vários melhoradores nas propriedades físicas da massa (DEMPSTER & HLYNKA 1952; DEMPSTER et al 1953, 1954, 1955; HLYNKA 1955,1957; HLYNKA & BARTH 1955; MULLER & BARRON,1958; HLYNKAS & MATSUO 1959; TSEN 1965).

Medidas de relaxação estrutural representam as mudanças na massa durante o “período de descanso”, que compreende o intervalo de tempo entre a modelagem e a laminação.

2.5.2.3. Testes de Viscosidade

O terceiro passo no processo da avaliação física de farinha ou massa, baseado no conceito “tri físico de panificação”, é a medida das mudanças de viscosidade numa pasta de farinha, à temperaturas acima da temperatura de gelatinização do amido presente nela. Os dados obtidos a partir desta medida não somente relatam as características de gelatinização durante o forneamento, mas são também bons indicadores da atividade diastásica da farinha (RASPER, 1976).

A viscosidade é um fator importante no controle da qualidade da farinha e do pão. O uso adequado de α -amilase na tecnologia de cereais permite a modificação da qualidade de determinadas farinhas e a obtenção de diversos produtos, com características melhoradas ou modificadas. A α -amilase influencia a viscosidade e a maciez da massa. A disponibilidade de grânulos de amido danificado é fator limitante, uma vez que a enzima atua apenas sobre o amido danificado (BARRET, 1975). Pesquisas realizadas por LEACH (1965) mostraram que a viscosidade é afetada pelo tipo e quantidade de amido danificado na moagem e também pela concentração e temperatura de inativação da enzima α -amilase. REED & THORN (1971) reportaram estudos sobre o efeito deteriorativo na textura de massas devido ao alto conteúdo de α -amilase. Pesquisando farinhas de trigo comercializadas no Brasil, EL-DASH (1978) encontrou baixas viscosidades máximas, que foram causadas pelo alto teor de α -amilase. BROWN & HARREL (1944) demonstraram que a deterioração na qualidade do pão estava associada a uma diminuição na viscosidade da pasta.

O Método AACC 22-12 (1983) é o mais comumente utilizado para a determinação da atividade de α -amilase e faz uso do Viscoamilógrafo Brabender, que testa a suspensão de farinha-água. A presença da α -amilase é determinada pelo abaixamento do pico de viscosidade. No caso de baixa atividade enzimática, a curva de viscosidade será bem elevada, indicando presença de amido danificado disponível para a formação de gel viscoso. Alta viscosidade propiciará pão de miolo mais seco e baixa viscosidade, pão de miolo mais úmido (BARRET, 1975).

EL-DASH (1982) citou que o conteúdo de α -amilase recomendado para o fabrico de pão francês é de 400 a 600 Unidades Amilográficas (UA), determinado no Viscoamilógrafo Brabender.

Mais recentemente foi desenvolvido o Rapid Visco-Analyser (RVA) pelo instituto australiano CSRIO, com o objetivo de examinar rapidamente pequenas quantidades de amostras de trigo durante a colheita, verificando a atividade da α -amilase. Neste equipamento a atividade da α -amilase é detectada através da redução da viscosidade da mistura por hidrólise do amido modificado, que é gelatinizado durante o teste (SHASHIKUMAR et al, 1993).

2.5.2.4. Avaliação dos Testes Reológicos de Massa

Testes reológicos proporcionam excelentes informações sobre algumas importantes características de massa e as mudanças ocorrendo nela durante seu processamento. Eles têm, entretanto, algumas limitações devido ao fato de medirem somente certas propriedades em estágios específicos do desenvolvimento da massa e processo de panificação, os dados obtidos não podem ser usados como indicadores da qualidade total de panificação do material testado. Nenhum dos testes têm se mostrado suficientemente apropriados para substituir o teste de panificação, o qual até agora continua sendo o único teste satisfatório para performance de panificação de farinha. Outra limitação resulta da complexidade reológica da massa que faz qualquer comparação de resultados obtidos sobre diferentes condições de deformação extremamente difícil. É bastante surpreendente que, apesar desta complexidade, algumas correlações positivas foram encontradas entre dados medidos por diferentes instrumentos (AITKEN et al, 1944; JOHNSON et al 1946a,b; SIBBIT et al 1953; MILLER et al 1956).

É claro que os mecanismos de testes reológicos de massa discutidos aqui podem proporcionar valiosa informação suplementar para o teste de panificação e dar uma boa idéia sobre as características da farinha, quando usado com algumas reservas e dentro de suas limitações.

Também pode ser notado que com o advento das novas técnicas de panificação, alguns requerimentos de qualidade de farinha têm mudado e sido

ajustado para atender à nova tecnologia. Isto inevitavelmente pede por modificações nas interpretações dos dados obtidos por testes reológicos reconhecidos para fazê-los significativos, a fim de selecionar farinhas adequadas, promovendo máxima eficiência e operações de panificação avançadas (TRUM & ROSE, 1964).

A confusão causada pelo uso dos muitos testes reológicos deve-se, em parte, ao fato de que a farinha de trigo normalmente não é processada em sua forma pura, como é usada nas determinações do Farinógrafo, no Viscoamilógrafo e, parcialmente, no Extensógrafo. A farinha de trigo é quase sempre processada na forma de mistura complexa com adição de várias substâncias químicas e outros ingredientes. O Farinógrafo e o Viscoamilógrafo usam sistemas farinha-água, enquanto que o Extensógrafo, sistema farinha-água-sal. As informações obtidas dos farinogramas, extensogramas e viscoamilogramas são obtidas com uma massa simples, na suposição implícita de que todas as farinhas respondem aos ingredientes do processamento do mesmo modo e na mesma magnitude, ignorando diferenças nas reações e interações entre os vários compostos químicos de farinhas de qualidades variadas e os dos ingredientes do processamento. Apesar de o efeito pronunciado dos ingredientes nas características do farinograma, extensograma e viscoamilograma ter sido exaustivamente investigado por muitos pesquisadores, nenhum resultado obtido foi até agora aplicado aos testes de qualidade de farinha (EL-DASH, 1978).

2.5.3. Teste Experimental de Panificação

Apesar da informação útil dada pelos muitos testes reológicos de massa, a última palavra quanto à qualidade da farinha ainda continua sendo o teste de panificação.

Neste teste todos os elementos de qualidade são unificados e resumidos num único valor. Para todos os fins práticos, é o único teste que pode avaliar a combinação de influências de todos os elementos da qualidade da farinha. Desde 1925, o teste de panificação vem sendo considerado e vários métodos foram desenvolvidos na tentativa de se ter um teste seguro, padronizado e oficial. Estes métodos foram apresentados como Métodos 10-10 e 10-11 dos Métodos Aprovados da AACC e publicados pela Associação em 1962. Porém, devido à falta de definição científica de vários parâmetros (consistência da massa na qual o teste é feito, absorção de água, tempo de mistura) e da dependência da opinião subjetiva do operador, os métodos oficiais aparecem raramente em artigos científicos de químicos cerealistas (EL-DASH, 1978).

Com o objetivo de diminuir as deficiências observadas nos métodos oficiais, EL-DASH (1978) desenvolveu um teste de panificação que leva em consideração as

reações e interações dos constituintes da farinha com os ingredientes do processamento. Todos os dados obtidos no sistema, tais como absorção de água, consistência e especificações de mistura para o desenvolvimento do glúten são objetivos. O sistema é reprodutível e sensível aos ingredientes do processamento e capaz de diferenciar farinhas de trigo de qualidades diferentes. Além disso, como no sistema o volume específico do pão é considerado o fator mais importante de avaliação de qualidade do mesmo, e sendo o sistema totalmente mecanizado, os resultados obtidos são objetivos e independentes da opinião do operador.

2.5.4. Testes Reológicos de Glúten

2.5.4.1. Considerações Sobre a Extração do Glúten

A lavagem de glúten tem sido um procedimento comum desde o final do século XVIII, quando BECCARI (1750) observou que glúten poderia ser extraído da farinha de trigo. A lavagem de glúten é praticado com dois propósitos: o peso do glúten é usado como um índice do conteúdo de proteína e, suas propriedades físicas podem dar ao operador experiente, uma indicação sobre a qualidade da farinha. Em 1924, DILL & ALSBERG estudando a extração de glúten, fizeram algumas considerações sobre o processo de lavagem. Quando uma farinha de trigo é amassada e esta massa é deixada descansar por algum tempo, é possível retirar a maior parte do amido e constituintes solúveis sob um fluxo de água, restando depois um glúten coeso.

Observações sobre o processo de lavagem de glúten sugerem que existam importantes fatores que devem ser considerados, tais como a duração do período de descanso da massa, período de descanso do glúten, temperatura, duração do período de lavagem, manipulação mecânica, natureza da água de lavagem, qualidade de glúten e quantidade de glúten.

É sabido que depois que a farinha é amassada, um certo período de tempo é necessário para que o glúten se recupere do stress.

DILL & ALSBERG (1924) citaram estudos sobre o desenvolvimento de glúten em massa, cuja conclusão foi que o glúten não se desenvolve e não deve ser lavado de farinhas que tenham sido submetidas a altas temperaturas. Suspeita-se que haja ação de enzimas nessas condições e coagulação de gluteninas.

O tempo requerido para desenvolver o glúten é provavelmente apenas o tempo necessário para permitir que a água e os componentes da farinha, particularmente glutenina e gliadina, estabeleçam equilíbrio próprio.

É comum a observação que o rendimento de glúten úmido aumenta com o aumento da temperatura da água de lavagem.

A manipulação durante a lavagem de glúten deve ser feita cuidadosamente a fim de se obter uma massa uniforme.

Provavelmente o fator de lavagem de glúten que tem sido menos controlado por diferentes investigadores é a natureza da água de lavagem. Água de torneira quase invariavelmente é usada. No entanto a temperatura de água de torneira deve ser na faixa de 5 a 25°C. Seu conteúdo de sólidos deve variar de praticamente 0 a 500 ppm. A maioria dos especialistas concordam que água destilada não deve ser usada.

WOOD & HARDY (1909), citados no trabalho de DILL & ALSBERG (1924) acreditavam que por causa do conteúdo de ácido carbônico é que água destilada dispersava o glúten. Eles notaram que glúten resultantes de lavagem com água destilada fervida tinham propriedades diferentes daqueles obtidos de água de torneira.

2.5.4.2. Ensaio Reológicos Usando o Glúten

2.5.4.2.1. Testes de Carga-Extensão do Glúten

Um dos primeiros instrumentos desenvolvidos para testar glúten diretamente foi descrito por KRESS (1924). O pesquisador iniciou seus experimentos acreditando que a qualidade do glúten podia ser bem expressa observando-se os seguintes fatores: a força requerida para esticar, a distância para esticar antes de romper e se a ruptura ocorre abruptamente ou de modo gradual; as características físicas devem ser observadas e descritas, utilizando termos tais como granular, leve e pegajoso. O instrumento opera sobre uma fina camada de glúten que é esticada por uma esfera de aço em velocidade constante de 10 cm/min até um determinado ponto. A força requerida e a extensão são registradas pelo braço do equipamento. A distância é medida em centímetros (cm) e a força, em gramas (g).

KRESS (1924) não ficou satisfeito com os resultados do equipamento e concluiu que era necessário mais tempo para usá-lo e treinar operadores, a fim de que os resultados pudessem expressar as mesmas características de modo padronizado.

Em 1927, JAMES & HUBER usaram o equipamento descrito por KRESS (1924) para medir as propriedades de glúten extraídos de diferentes amostras e submetidas a vários tratamentos. Estes pesquisadores testaram amostras de 1,5g de glúten lavado e arredondado da forma esférica. A boia de glúten foi deixada em descanso de 10 a 12 horas em água a 15°C. Após removerem a água, o corpo de prova foi colocado entre as placas e testado imediatamente. As amostras foram testadas em duplicatas, usando duas peças do mesmo glúten. A média da variação

das duplicatas foi em torno de 5%. O método de lavagem usou 10g de farinha de trigo para formar a massa, que foi deixada em descanso 1 hora antes da lavagem.

Em 1946, HLYNKLA e ANDERSON utilizaram o "Stretchometer", equipamento que fazia medidas de extensibilidade de glúten cru e sua resistência à extensão. Um disco de glúten, com diâmetro interno e externo entre 35 a 50 mm, pesando cerca de 3 g, foi estampado para resultar num disco de 3 mm de espessura, que foi congelado. Depois de ficar na água a 25°C por 30 minutos, o disco é dobrado para formar 4 cordões suspensos por uma balança, e esticado para baixo por um pino que se move a 40 cm/min. Quando o motor é ligado, os quatro cordões de glúten são simultaneamente esticados. A distância que o glúten estica antes de romper é notado através da posição do ponteiro sobre a escala à direita, e a resistência à extensão é medida por uma balança. A escala vertical é graduada de 0 a 40 cm e a balança, de 0 a 150g. O fracasso em obter melhor reprodutibilidade para as medidas do "Stretchometer" foi sem dúvida devido à dificuldade de preparar duplicatas de discos de glúten que invariavelmente esticassem e rompessem da mesma maneira. Se testes em quadruplicata são feitos, o erro padrão é reduzido pela metade, e com tal replicação diferenças de cerca de 4% em extensibilidade e resistência podem ser demonstradas. Na prática têm sido encontrado que a precisão obtida com testes em duplicata é adequado para a maioria das investigações, porque o principal erro experimental é maior no preparo do glúten do que no teste em si.

Resistência e extensibilidade foram inversamente relacionadas, mas não houve correlação com o conteúdo de glúten das farinhas de trigo ou com o volume específico dos pães. Nenhuma relação significativa foi encontrada entre propriedade de glúten e conteúdo de proteína ou volume específico das farinhas de trigo porque amostras com valores diferentes de resistência e de proteína resultaram em pães com performance de panificação semelhantes, ou seja, os volumes específicos apresentaram valores aproximados.

O efeito de congelamento sobre as propriedades de glúten não pode ser realmente determinado por causa da dificuldade de preparar discos similares a partir de glúten não congelados. Parece perigoso assumir que este efeito seja negligenciável, embora provavelmente tais efeitos não sejam maiores que efeitos de aquecimento ou de permanência de glúten em água durante um longo tempo.

Deste trabalho nenhuma significativa relação foi encontrada entre propriedades de glúten e conteúdo protéico ou volume de pão de farinhas.

Em 1953, UDY usou a balança de Jolly para estudar cilindros de glúten purificados. Os cilindros foram congelados e facilmente cortados em formatos uniformes. O pesquisador concluiu que glúten ficaram mais resistentes depois de descanso, ao contrário do que ocorrem em massas, que enfraquecem e amolecem

depois de um certo tempo. O tempo de descanso de 1 hora antes de ensaiar foi considerado o mais adequado nas determinações.

Em 1978, MATSUO utilizou um equipamento para avaliar a força de glúten de 12 variedades de trigo duro, 1 variedade de trigo vermelho de primavera e 3 amostras compostas, representando graus de outras classes de trigos. O pesquisador menciona que em termos de qualidade de produto final, a força do glúten é somente um dos muitos fatores de contribuição. O aparelho foi considerado útil para o propósito de selecionar variedades de trigos em programa desenvolvido no Canadá.

2.5.4.2.2. Testes de Penetração do Glúten

Em 1943, BAKER et al relataram experimentos realizados com glúten, a fim de estudar os efeitos de diferentes tratamentos. Foi utilizado o equipamento de BAKER modificado. Este possuía uma esfera de 1 mm de diâmetro, que foi usada para penetrar uma bola de glúten através de uma força aplicada por um motor. Um estampador especial para o glúten foi desenvolvido, para que as condições de testes em diferentes amostras fossem as mais constantes possíveis. O glúten foi obtido a partir de uma massa contendo 200 g de farinha. A lavagem foi feita na presença de dióxido de carbono em 2 litros de solução salina 3,5%. Depois da extração, o glúten ficou em descanso durante 30 minutos, foi enrolado e pesou 23g. Foi feita 6 penetrações no corpo de prova e a força requerida foi medida em gramas. Outros experimentos foram realizados para verificar a influência de ingredientes e aditivos no glúten.

2.5.4.2.3. Testes de Cisalhamento do Glúten

SIETZ & DORFNER (1987), analisando as tentativas de testes de carga-extensão aplicados sobre o glúten, chegaram à conclusão de que os problemas de reprodutibilidade destes testes ocorriam basicamente por causa de dois fatores: a dificuldade de se conseguir um corpo de prova homogeneamente moldado e de prendê-lo ou afixá-lo no dispositivo de deformação. Por isso, estes problemas foram resolvidos na própria escolha do sistema de medição que foi o de cisalhamento.

MOHS et al (1939) e SIETZ & DORFNER (1987), reportaram uma técnica para usar o Glutógrafo Brabender, que desenhava um "glutograma" representando extensão do glúten e a força requerida para distendê-la até sua ruptura.

O equipamento dispõe de duas placas serrilhadas, paralelas e separadas por uma distância definida. Entre estas placas encontra-se o corpo de prova, que é deformado mediante o giro de uma placa móvel sobre a outra, que é fixa, provocando o cisalhamento. Não é necessário pesar o corpo de prova. Observou-se

no trabalho de SIETZ & DORFNER (1987) que entre o peso e a qualidade do glúten quase não existe uma inter-relação, e portanto, a partir do teor do glúten não se pode tirar uma conclusão sobre a qualidade do mesmo. O resultado pode ser expresso de diversas maneiras, sendo as mais usuais, o tempo de cisalhamento e ângulos de relaxação e deformação. A reprodutibilidade foi considerada boa, sendo que resultados de dez replicatas de 2 amostras de glúten diferentes apresentaram coeficiente de variação em torno de 12%. Os pesquisadores comentaram que, na prática, os problemas com a reprodutibilidade, ou seja, a comparabilidade entre os resultados provenientes de diversos laboratórios, serão menos dependentes dos aparelhos do que da forma de preparação das amostras de ensaio.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Trigo

Foram utilizadas 59 amostras de trigo, das quais 36 se apresentaram em forma de grão, sendo de várias procedências (argentino, americano, canadense, e brasileiro), fornecidas pelos moinhos Braswey S/A Ind. e Com., Sadia Concórdia S/A Ind. e Com. e Pastificio Selmi S/A. Outras 23 amostras de trigo foram cedidas em forma de farinha pela Companhia Campineira de Alimentos. As amostras foram identificadas utilizando-se os números de 1 a 9, todas as letras do alfabeto em maiúsculo (A-Z) e minúsculo (a-z), a fim de facilitar a identificação das mesmas.

3.1.2. Reagentes

Todos os reagentes utilizados nos experimentos apresentaram especificações de qualidade e pureza requeridas pela metodologia da análise empregada.

3.1.3. Aparelhos e Equipamentos

Para a realização das análises, foram utilizados vidrarias e instrumentos comuns de laboratório. Além disso, os seguintes equipamentos foram utilizados:

- AQQ (Analisador de Qualidade de Glúten) - Patente nº PI 9401844-8 (CHANG, 1994)
- Balança analítica, marca Mettler Toledo, mod. AB204
- Balança semi-analítica, marca Mettler Toledo, mod. PB3002
- Computador tipo PC-386
- Extensógrafo, marca Brabender
- Farinógrafo, marca Brabender
- Fatiadora elétrica
- Forno elétrico doméstico, marca Layr
- Macro e Micro Kjeldahl, marca Tecnal, mod. TE036-E - valvulado
- Moinho Quadrumat Senior Brabender
- Paquímetro
- Viscoamilógrafo, marca Brabender

3.2. Métodos

3.2.1. Moagem

Os trigos em grãos recebidos pelos moinhos foram condicionados a 14% de umidade, deixados em repouso por dois dias e moídos em moinho experimental Quadrumat Senior, onde foram obtidas as farinhas de quebra e redução. Estas farinhas foram homogeneizadas e deixadas em repouso por um período mínimo de uma semana, antes de serem analisadas.

3.2.2. Proteínas

Foi utilizado o método AACC 46-13 (AACC, 1983), usando fator 5,7 para a conversão do nitrogênio total em proteínas.

3.2.3. Glúten

Foi utilizado o método AACC 38-10 (AACC, 1983)

3.2.4. Testes Reológicos da Massa

3.2.4.1. Farinograma

As características de mistura da massa de farinha e água foram determinadas através do Farinógrafo Brabender, de acordo com o método AACC 54-21 (AACC, 1983), utilizando-se o misturador com capacidade para 300 g de farinha. Os seguintes parâmetros foram avaliados:

Tempo de chegada: é definido como o tempo em minutos requerido para o topo da curva alcançar a linha das 500 unidades farinográficas (UF) após o início de funcionamento do misturador e introdução da água. Este valor é uma medida da razão que a água é incorporada na farinha (SHUEY, 1972).

Tempo de desenvolvimento: é definido como o tempo, em minutos, desde a primeira adição de água até o desenvolvimento da consistência máxima, medida próximo ao meio minuto. Este valor também é referido como "pico" ou "tempo de pico" e proporciona indicações a respeito do tempo de desenvolvimento ou tempo de mistura da farinha (SHUEY, 1972).

Índice de tolerância à mistura: é definido como a diferença em unidades farinográficas (UF) do topo da curva no pico ao topo da curva medido cinco minutos após o pico (SHUEY, 1972).

Estabilidade: é definida como o tempo entre a entrada do topo da curva na linha de 500 UF até o ponto onde o topo da curva deixa a linha das 500 UF (SHUEY, 1972).

Absorção de água: é definida como a quantidade de água (g/100 g de farinha) requerida para que a massa atinja a consistência máxima de 500 UF durante a mistura (SHUEY, 1972).

3.2.4.2. Extensograma

Foram verificadas as propriedades de extensão da massa obtida pela mistura de farinha-água-sal, através do Extensógrafo Brabender, de acordo com o método AACC 54-10 (AACC, 1983). Os seguintes parâmetros foram avaliados:

Resistência à extensão: é indicada pela altura máxima da curva, em unidades extensográficas (UE) após 5 minutos de estiramento no extensograma (SHUEY, 1972).

Extensibilidade: representa o comprimento da curva, em milímetros, do início da extensão até a ruptura da massa.

Resistência máxima à extensão: é indicada pela altura máxima da curva, em UE.

Energia: representa a área sob a curva do extensograma, em dm^2 .

3.2.4.3. Viscoamilograma

Para avaliar a atividade de α -amilase numa suspensão de farinha e água, foi utilizado o método AACC 22-10 (AACC, 1983). O seguinte parâmetro foi avaliado:

Viscosidade máxima: é definido como o valor máximo alcançado pela curva amilográfica, expresso em unidades amilográficas (UA).

3.2.5. Teste de Panificação

A performance de panificação das farinhas foi determinada segundo teste instrumental de panificação descrito por EL-DASH (1978), com algumas modificações, onde os atributos aroma e gosto não foram considerados. Portanto, a performance do pão foi avaliada através da análise das características internas e externas, com pontuação máxima de 75 pontos. Os seguintes parâmetros foram avaliados:

Características externas do pão (pontuação máxima = 40 pontos): volume específico ($\text{cm}^3/\text{g} \times 3,33$) (20 pontos), cor da crosta (10 pontos), quebra (5 pontos), simetria (5 pontos).

Características internas do pão (pontuação máxima = 35 pontos): características internas da crosta (5 pontos), cor do miolo (10 pontos), estrutura do miolo (10 pontos) e textura do miolo (10 pontos).

A partir da somatória dos pontos atribuídos às características externas (CE) e internas (CI), a performance do pão foi classificada utilizando a adaptação de GOTTSCHALD (1996), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Classificação da qualidade do pão, segundo pontuação total.

Pontuação Total	Qualidade do Pão
< 45	Sofrível
45 - 55	Regular
55 - 65	Boa
> 65	Muito Boa

3.2.6. Uso do AQG para Testes Reológicos do Glúten

3.2.6.1. Descrição do AQG

O Analisador de Qualidade de Glúten (AQG), foi desenvolvido especialmente para ensaiar glúten, com o objetivo de verificar suas propriedades viscoelásticas. Este equipamento consiste de um dinamômetro, capaz de distender a amostra de

glúten até sua ruptura, medindo a força desenvolvida durante o estiramento. O AQG é capaz de calcular o trabalho realizado pela amostra e fornece os resultados em forma de gráficos e tabelas.

Fotos do instrumento, basicamente um dinamômetro, são mostradas na Figura 1. Diagramas simples e detalhados do AQG, assim como o molde para obtenção de glúten cilíndricos, de formato uniforme, são mostrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente. O transdutor de força foi calibrado aplicando-se vários pesos conhecidos, fixados num gancho. A Figura 4 mostra a curva de calibração em milivolts (mV) a qual aumenta à medida que cresce a massa dos pesos fixados. Desta calibração, o sinal (mV) correspondente à grama foi convertido em Newtons.

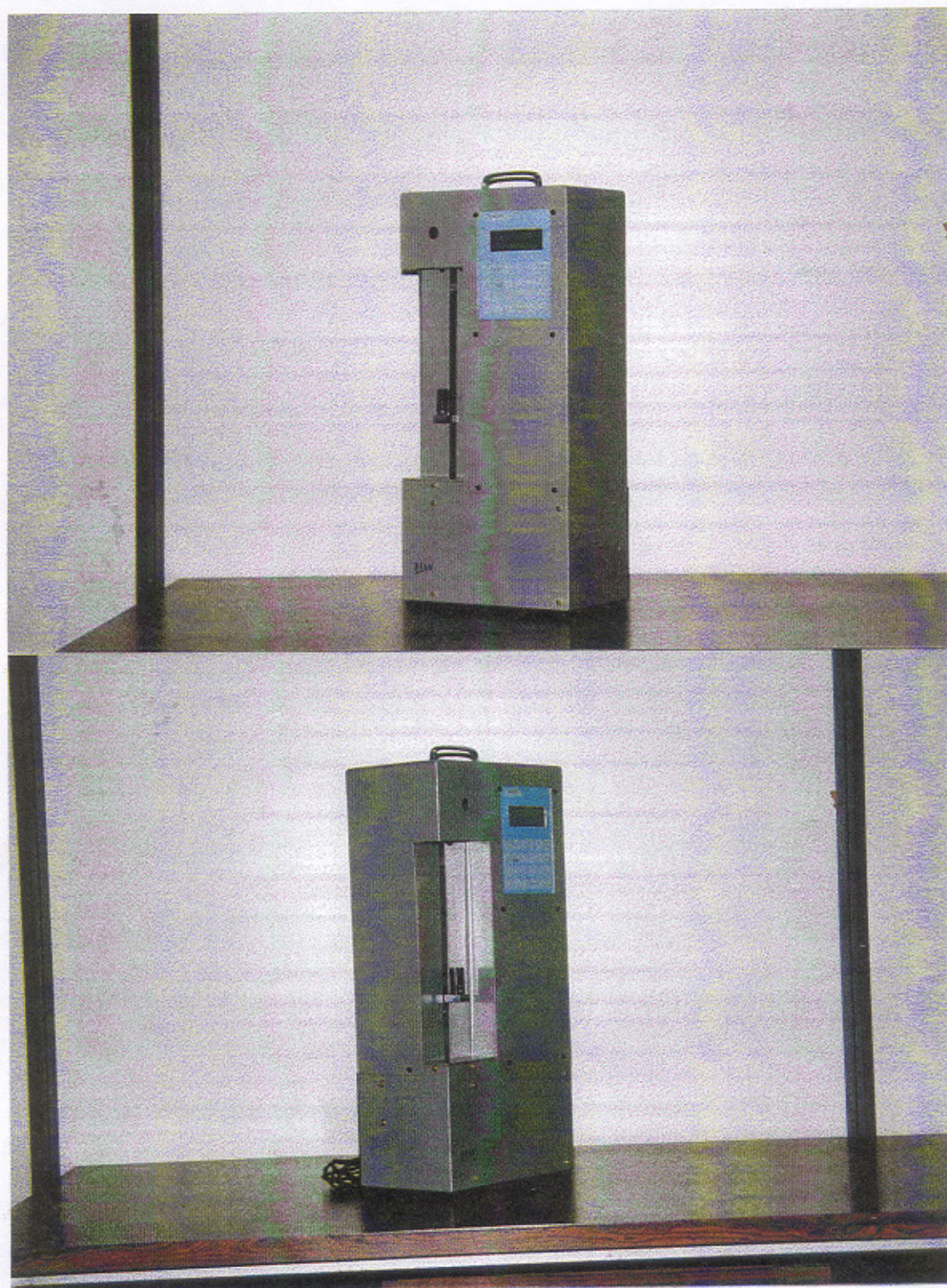


Figura 1: Fotos do Analisador de Qualidade de Glúten - AQQ.

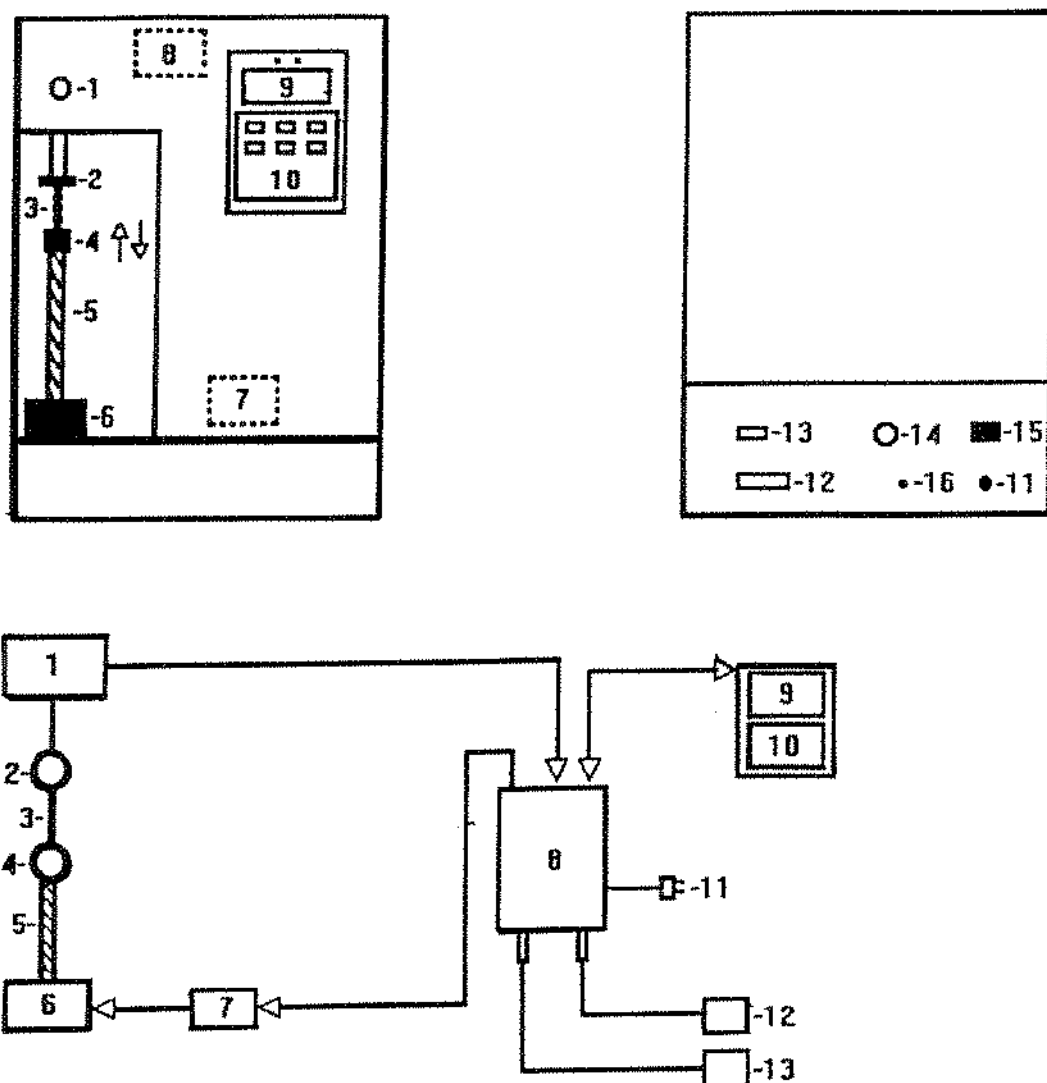


Figura 2: Diagramas simples e detalhados dos constituintes do Analisador de Qualidade de Glúten - AQG.

1. Transdutor de força; 2. Garra superior (fixa); 3. Amostra de glúten; 4. Garra inferior (móvel) em direção vertical; 5. Fuso; 6. Motor de passo; 7. Dinamômetro microprocessado; 8. Microcontrolador; 9. Mostrador de cristal líquido (LCD); 10. "Menu"; 11. Tomada de força (110 volts); 12. Impressora matricial; 13. Computador pessoal PC-XT/AT.

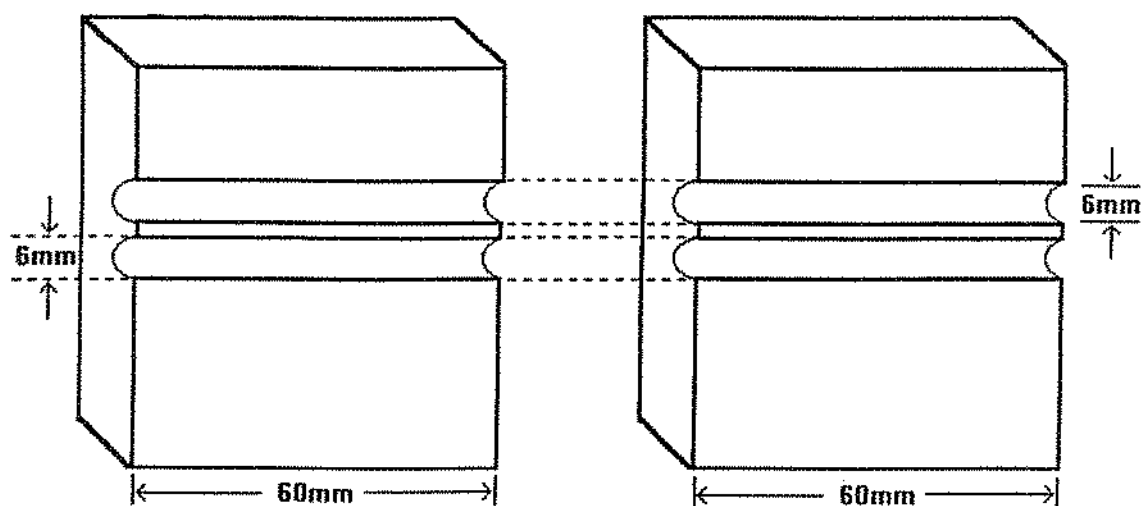


Figura 3: Molde para preparar amostras de glúten na forma cilíndrica, para teste de força.

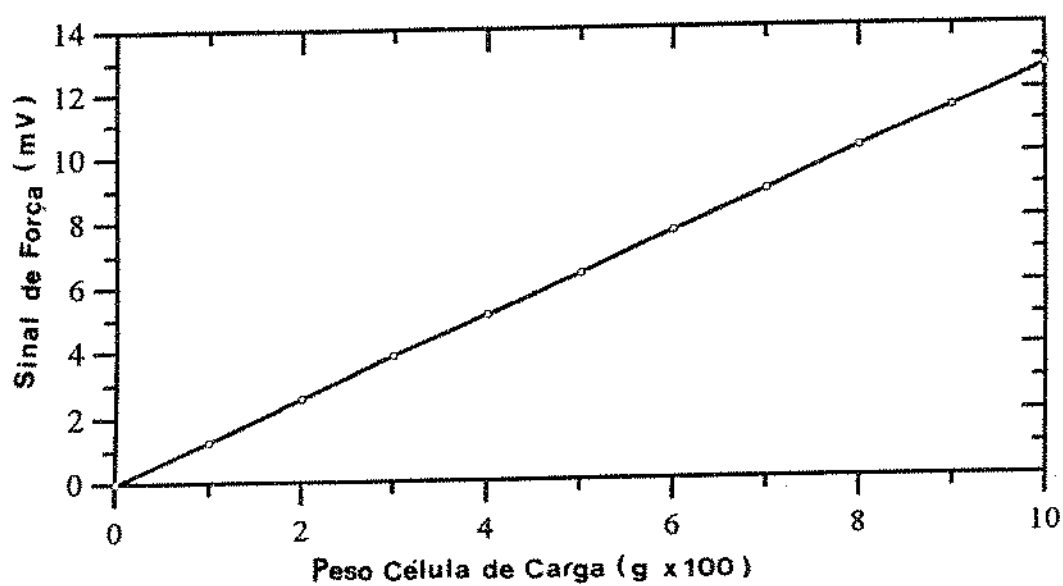


Figura 4: Curva de calibração do sensor de força do AQG com pesos.

3.2.6.2. Método

3.2.6.2.1. Preparação da Amostra de Glúten

A metodologia desenvolvida e utilizada foi a seguinte:

Pesa-se 50g de farinha de trigo em bécker de 500ml e mistura-se com 25ml de água (50%) com auxílio de uma bagueta até formar uma massa consistente e de fácil manipulação.

Esta "bola de massa" é deixada submersa em água durante o período de 30 minutos. Em seguida, coloca-se esta massa em uma peneira de nylon com aproximadamente 1,7 mm de abertura, e lava-se sob um fluxo de água com vazão constante de 10 ml/s, amassando-a suavemente com as mãos até a completa extração do amido, o que se observa pela limpidez da solução de lavagem (esta operação de lavagem leva cerca de 10 minutos). O glúten extraído é colocado no molde específico e deixado por 30 minutos. O molde tem formato "sandwich" e fornece cilindros com $\varnothing = 6\text{mm}$ e $L = 60\text{mm}$. Na sequência, retira-se a massa de glúten do molde, aparando-se as arestas da mesma com o auxílio de uma tesoura, se necessário. Cada amostra de glúten é submetida a ensaios em aparelho AQG.

3.2.6.2.2. Operação no AQG

O aparelho AQG foi usado para avaliar propriedades reológicas do glúten. Na Figura 2 pode-se verificar que a amostra de glúten, cujo formato foi obtido através de molde apropriado (Figura 3), é presa por meio de garras (2, 4). A garra inferior (4) é movida à velocidade constante, e o glúten vai sendo esticado até sua ruptura. A garra superior (2) tem posição fixa e está conectada ao sensor de força (1), que envia os sinais para o microcontrolador (8) do instrumento.

Todos os dados obtidos são mostrados no mostrador de cristal líquido, LCD ("Liquid Crystal Display") (9) e através de um sistema de interface, podem ser transferidos para um microcomputador (13) ou diretamente para impressora (12). As formas de operação do AQG foram controladas por 6 funções selecionadas através de um menu (10) mostrado no controle de console. Os dados obtidos incluem:

Resistência Máxima à Extensão, expressa em Newton (N)

Extensibilidade, expressa em milímetros (mm)

Energia, expressa em joule (J)

3.2.7. Análise Estatística

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi usada por ser uma técnica capaz de reduzir a complexidade dos dados a um pequeno número de combinações lineares, denominados de componentes principais (CP), que detêm tanta informação das variáveis originais quanto possível. Frequentemente um pequeno número de componentes principais é utilizado no lugar das variáveis originais no auxílio de análises gráficas. A ACP é uma técnica que busca descobrir dependências aproximadamente lineares entre as variáveis.

O gráfico da ACP consiste de dois eixos ortogonais que determinam o plano principal, com um conjunto de pontos das amostras e um conjunto de flechas dos testes, que representam os parâmetros analisados. O gráfico da ACP deve ser interpretado cuidadosamente. A correlação linear de Pearson também é fornecida nessa análise estatística.

Foi utilizado o SAS® (1990) para a realização das análises de ACP.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PROTEÍNAS

4.1.1. Conteúdo de Proteína

Por muito tempo, altos conteúdos de proteína têm sido associados com boa qualidade de panificação e, para um cultivar específico, o aumento no conteúdo protéico normalmente resulta em aumento na absorção de água, no volume e na qualidade geral do pão (TIPPLES et al, 1977). A qualidade do produto final depende não apenas da quantidade da proteína, mas também de sua qualidade.

Muitas vezes, uma variedade de trigo apresenta alta quantidade de proteína, mas é de baixa qualidade tecnológica, o que pode ser expresso pelo baixo potencial de panificação. Em alguns casos o resultado inverso pode ser verificado. Portanto, a quantidade de proteína numa farinha não é o fator determinante de sua qualidade tecnológica (GUARIENTI, 1993).

Na Tabela 7 são apresentados os conteúdos de proteína das amostras, que variou de 6,56 a 15,40%, tendo a média de 11,14% (base úmida). As amostras Y e h apresentaram os menores e maiores valores, respectivamente.

Médias semelhantes de conteúdos de proteína foram relatadas nos trabalhos de GAINES et al (1985) e RASPER et al (1986). GAINES et al (1985) analisaram 83 variedades de trigo (*T. Aestivum L.*) e encontraram a faixa de 8,1 a 13,3%, com média de 10,8% na farinha. RASPER et al (1986) citaram 11,4% como média do teor proteico em 49 amostras de trigo.

Já no relato de WILLIAMS et al (1988) foi encontrado um teor médio de proteína de 13,0% em 35 amostras analisadas, cujo valor é superior ao encontrado em nosso trabalho.

Segundo SCHILLER (1984), o teor de proteína ótimo para o fabrico do pão francês situa-se na faixa de 10,5 a 13,0% e portanto, teríamos 62,7% das amostras analisadas atendendo esta especificação. Por outro lado, HALVERSON & ZELENY (1988), recomentaram o nível mínimo de 12,8 % de proteína na farinha para produção de pães fermentados e, desta maneira teríamos apenas as amostras S, W, e, h, l, n, o, p, v, x, atendendo esta recomendação.

Tabela 7: Conteúdo de proteína^a das amostras de farinha de trigo.

Amostra	Proteína (%) ^b	Amostra	Proteína (%) ^b	Amostra	Proteína (%) ^b
1	11,59	L	11,66	f	10,70
2	10,44	M	10,49	g	10,43
3	10,88	N	11,34	h	15,40
4	11,12	O	10,81	i	11,47
5	11,00	P	10,42	j	10,69
6	11,08	Q	12,62	k	10,60
7	11,61	R	9,94	l	13,43
8	7,24	S	13,52	m	12,68
9	7,22	T	10,94	n	13,12
A	9,25	U	11,32	o	12,88
B	12,61	V	9,67	p	12,91
C	8,80	W	12,91	q	11,28
D	8,83	X	10,91	r	9,83
E	11,85	Y	6,56	s	12,56
F	11,07	Z	10,62	t	9,56
G	12,39	a	12,69	u	12,70
H	11,11	b	9,50	v	13,25
I	8,65	c	10,71	w	12,03
J	11,58	d	11,63	x	12,85
K	9,39	e	13,14		

^aMédia de triplicatas^bNitrogênio x 5,7

4.1.2. Conteúdo de Glúten

As proteínas que constituem o glúten têm comprovada contribuição para a qualidade tecnológica do trigo e suas farinhas. Uma vez removido o glúten da farinha, a propriedade de formação de massa viscoelástica é completamente perdida. O glúten, componente responsável pela formação de uma rede tridimensional no processo de panificação, retém o gás carbônico produzido durante a fermentação e faz com que o pão aumente de volume. Uma farinha forte possui, em geral, maior capacidade de retenção de gás carbônico. Uma farinha fraca, por sua vez, apresenta deficiência nesta característica (KENT, 1983). Para a avaliação da qualidade do trigo torna-se necessário verificar os potenciais qualitativo e quantitativo do glúten.

A Tabela 8 apresenta os teores de glúten úmido das amostras. As amostras m e n apresentaram os valores extremos inferior e superior da faixa de conteúdo de glúten úmidos com valores de 21,56 e 49,36% respectivamente.

Médias inferiores foram reportadas por KULKARNI et al (1987) e BAR (1979). KULKARNI et al (1987) encontraram média de 30,45% para conteúdos de glúten úmido, cuja faixa variou de 20,9 a 40,0%. BAR (1979) obteve teor de glúten úmido variando de 24,0 a 33,0%, com média de 28,3% a partir de 10 variedades comerciais de trigos nacionais.

Tabela 8: Conteúdo de glúten úmido^a das amostras de farinha de trigo.

Amostra	Glúten (%)	Amostra	Glúten (%)	Amostra	Glúten (%)
1	43,96	L	44,56	f	40,04
2	35,16	M	35,86	g	38,82
3	34,50	N	41,50	h	43,60
4	35,20	O	33,98	i	41,30
5	38,34	P	34,82	j	42,68
6	43,36	Q	34,80	k	33,30
7	36,90	R	42,44	l	30,48
8	36,38	S	34,34	m	21,56
9	41,42	T	29,04	n	49,36
A	30,28	U	45,28	o	44,58
B	41,96	V	40,76	p	43,00
C	23,94	W	40,36	q	30,38
D	23,50	X	34,80	r	32,94
E	42,32	Y	32,00	s	40,02
F	42,36	Z	41,40	t	41,62
G	39,70	a	40,24	u	30,40
H	40,80	b	43,98	v	35,78
I	28,00	c	40,32	w	31,84
J	36,40	d	44,40	x	38,46
K	37,18	e	42,50		

^aMédia de triplicatas

4.1.3. Avaliação Estatística dos Conteúdos de Proteína e de Glúten

A Tabela 9 apresenta os resultados da Análise de Componentes Principais das variáveis conteúdo de proteína e de glúten úmido das amostras analisadas.

Tabela 9: Análise de Componentes Principais dos parâmetros conteúdos de proteína e de glúten úmido das amostras de farinha de trigo.

COMPONENTES PRINCIPAIS	PROPORÇÃO (%)	VETORES	
		GLUT ^a	PROT ^b
CP1	62,9	0,707107	0,707107
CP2	37,1	-0,707107	0,707107
CP1+CP2	100		

^aConteúdo de glúten úmido

^bConteúdo de proteína (base úmida)

Na Figura 5 está a representação gráfica da ACP, onde cada eixo explica uma porcentagem da variabilidade total existente entre as amostras.

O primeiro Componente Principal (CP1) atribue pesos iguais às variáveis conteúdos de proteína e de glúten úmido, correspondendo a 62,9% da variação total. O segundo Componente Principal (CP2) corresponde à 37,1% da variação total e também atribue pesos iguais às variáveis. Portanto, a somatória de CP1 e CP2 respondem à 100% da variabilidade observada.

Com o objetivo de visualizar melhor a localização de amostras e vetores (variáveis correspondentes), denominou-se de quadrante I aquele situado entre as coordenadas positivas dos eixos. Os demais quadrantes (II, III e IV) seguem em sentido anti-horário.

Na Figura 5 observa-se que ambos vetores, apesar de estarem em diferentes quadrantes, possuem o mesmo ângulo e tamanho entre CP1 e CP2.

De modo geral, pode-se afirmar que no quadrante I, próximas ao vetor conteúdo de proteína (PROT), localizam-se as amostras com maior teor de proteína. São elas as amostras 7, B, G, J, Q, S, W, a, e, h, l, p, s, v, x. Isto pode ser confirmado observando-se os altos teores protéicos das amostras situadas neste quadrante, que variaram de 11,58 a 15,40%. No quadrante IV, ao redor do vetor que representa a variável conteúdo de glúten (GLUT) localizam-se as amostras 1, 5, 6, E, F, H, L, N, R, U, Z, b, c, f, i, j, n, o, que apresentam maior teor de glúten. Da mesma forma pode-se confirmar este resultado observando-se os altos teores de glúten das amostras situadas no quadrante IV, que variaram de 38,34 a 49,36%.

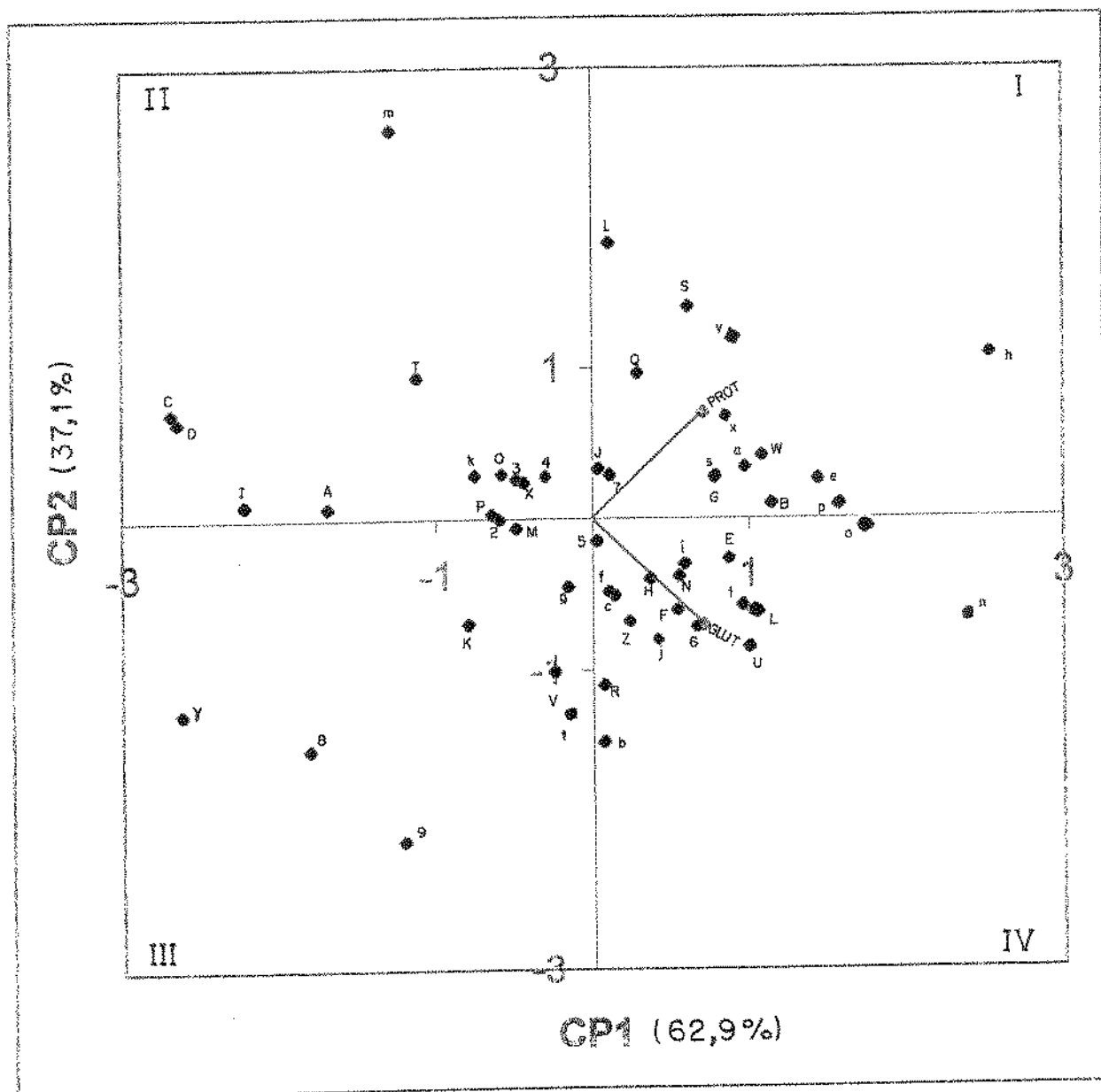


Figura 5: Representação gráfica da ACP das amostras, segundo conteúdos de proteína (PROT) e de glúten (GLUT).

Observando-se o eixo CP1 da Figura 5, verificamos que as amostras e, h, n, o, p apresentaram os maiores pesos para ambas variáveis estudadas, o que é confirmado através dos altos teores de proteína e de glúten, que variaram nas faixas de 12,88 a 15,40% e 42,50 a 44,58%, respectivamente.

Sabendo-se que amostras próximas entre si são similares em relação aos parâmetros julgados e que, por outro lado, quando distantes, diferem entre si, podemos entender o comportamento das amostras em estudo.

Embora tanto as amostras C, D, I (localizadas no quadrante II) quanto 8, 9, Y (localizadas no quadrante III) terem apresentado baixos pesos nas variáveis conteúdo de proteína e de glúten, o segundo grupo caracterizou-se basicamente por seus valores inferiores de proteína (6,56 a 7,22%). Da mesma forma, a amostra m (localizada no quadrante II) destacou-se das demais devido ao seu teor de glúten inferior (21,56%).

4.2. VISCOSIDADE

A Tabela 10 apresenta os resultados do parâmetro viscosidade máxima, compreendendo a faixa de 170 a 1000 U.A. (limite máximo de detecção), sendo o limite inferior dado pela amostra 2.

Das amostras analisadas neste trabalho, notou-se que 76,0% delas apresentaram viscosidade máxima acima de 1000 U.A., mostrando que estas farinhas possuem baixa atividade de α -amilase, fator que pode interferir negativamente na performance de panificação, resultando em pães com miolo seco, crosta pálida, denso e de baixo volume.

Esta ampla faixa está de acordo com resultados semelhantes reportados por TOSELLO (1979), que analisou 86 amostras de farinhas comerciais no ano de 1978, cuja faixa variou entre 160 e 1000 U.A.

O mesmo pôde ser observado em trabalho de REGO (1982), que analisou 6 cultivares e obteve uma faixa compreendida entre 150 e 800 U.A.

As enzimas amilolíticas desempenham algumas funções importantes na fabricação do pão, particularmente durante a etapa de fermentação e assamento.

Normalmente, a farinha contém cerca de 2% de açúcares, que correspondem à quantidade adequada de substrato para o fermento, durante a primeira hora de fermentação. Entretanto, quando o tempo de fermentação é maior, torna-se necessário quantidades de açúcares adicionais para fornecer mais metabólitos ao fermento. A carência de açúcar poderá resultar em uma menor produção de gás pelo fermento, acarretando um volume reduzido no pão, assim como, a obtenção de um pão com coloração pálida na crosta. A função das enzimas amilases é, portanto a de prover a massa com uma adição suplementar de açúcares, quando os açúcares originais da farinha são esgotados.

Tabela 10: Viscosidade máxima das amostras^a de farinha de trigo.

Amostra	Viscosidade máxima (U.A.)	Amostra	Viscosidade máxima (U.A.)	Amostra	Viscosidade máxima (U.A.)
1	1000	L	1000	f	1000
2	170	M	1000	g	1000
3	1000	N	1000	h	1000
4	1000	O	1000	i	560
5	1000	P	1000	j	920
6	1000	Q	1000	k	1000
7	1000	R	1000	l	1000
8	1000	S	1000	m	280
9	1000	T	1000	n	1000
A	640	U	660	o	1000
B	1000	V	1000	p	1000
C	1000	W	1000	q	1000
D	580	X	740	r	1000
E	370	Y	730	s	1000
F	1000	Z	1000	t	1000
G	1000	a	860	u	940
H	1000	b	1000	v	1000
I	1000	c	940	w	1000
J	1000	d	1000	x	1000
K	720	e	1000		

^aO Limite de medição de Viscosidade Máxima foi de 1000 U.A.

A α -amilase atua nos grãos de amido danificados presentes na farinha, produzindo dextrinas. A β -amilase então ataca as dextrinas para produzir a maltose, que é metabolizada pelo fermento.

JOHNSON & MILLER (1949) relataram que o volume de pão aumentou quando a concentração de α -amilase foi aumentada em 20 vezes com relação à concentração normal encontrada na farinha. CAUVAIN & CHAMBERLAIN (1988) observaram uma elevada expansão em farinhas suplementadas, que continuavam a expandir-se por maior período de tempo. A atividade de α -amilase é determinada através de uma análise com o Viscoamilógrafo. Um decréscimo no valor da viscosidade da suspensão da farinha ocorre devido ao aumento da atividade de α -amilase, que produz moléculas de menor peso molecular dos componentes de amido. Alta concentração de α -amilase em farinhas exerce efeito deletério, pois se for elaborado pães com a mesma, estes apresentarão baixa qualidade de panificação, resultado de crosta escura, miolo pegajoso, gomoso e às vezes, produtos ocios internamente.

Segundo PRATT (1971), o padrão de viscosidade usado para o controle da qualidade da farinha de trigo americano no método convencional da produção de pão de forma, é de 475 a 625 U.A. e portanto, apenas as amostras { A, D, i } teriam a quantidade ótima de α -amilase dentro deste padrão.

4.3. PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA MASSA

4.3.1. Farinograma

O Farinógrafo é tido como um dos instrumentos mais utilizados para a avaliação da propriedade da massa da farinha de trigo durante o estágio da mistura. Esta propriedade pode ser interpretada através do farinograma, que registra o torque, o qual mede a plasticidade e mobilidade da massa durante o teste.

A Tabela 11 apresenta os resultados dos principais parâmetros dos farinogramas obtidos das amostras analisadas.

4.3.1.1. Tempo de Desenvolvimento

O tempo de desenvolvimento da massa consiste no intervalo de tempo, em minutos, que a massa leva para atingir o ponto de máxima consistência (500 Unidades Farinográficas - UF). Em termos práticos, o tempo de desenvolvimento é um indicativo do tempo que o profissional de panificação dispõe para determinar o percentual de absorção de água da farinha, de forma a deixar a massa com a consistência ótima para o fabrico do pão. Valores baixos de tempo de desenvolvimento geralmente indicam farinhas fracas, onde a massa exige menor energia de mistura para o desenvolvimento da estrutura da rede de glúten. Uma redução no tempo de desenvolvimento ocorre provavelmente devido à baixa qualidade da proteína da farinha. Casos onde tem-se valores altos de tempo de desenvolvimento, geralmente indicam farinhas fortes, cuja massa exige maior energia para ser misturada e possuem maiores tempos de tolerância à mistura.

Observando-se os resultados do parâmetro tempo de desenvolvimento (TD) na Tabela 11, verificou-se uma faixa ampla, abrangendo valores de 1,0 a 11,0 minutos, com média de 4,5 minutos. Os valores dos extremos inferior e superior resultaram das amostras D e p, respectivamente.

A média de 2,4 minutos, cujo valor é inferior ao valor médio encontrado em nossa pesquisa, foi reportada nos trabalhos de WILLIANS et al (1988) e de BAR (1979). WILLIANS et al (1988) estudaram 35 amostras de trigos branco mole de primavera (*T. aestivum* L.), enquanto BAR (1979) pesquisou 10 amostras.

TOSELLO (1979) relatou uma faixa de TD entre 3,5 a 6,0 minutos, com média de 4,85 minutos, quando pesquisou 85 amostras de farinha de trigo no ano de 1978. Esta média, apesar de superior, se aproximou muito ao resultado obtido neste trabalho (4,5 minutos).

Tabela 11: Resultados dos principais parâmetros dos farinogramas^a.

Amostra	ABS ^b (%)	TD ^c (min.)	EST ^d (min.)	IT ^e (UF) ^f	Amostra	ABS ^b (%)	TD ^c (min.)	EST ^d (min.)	IT ^e (UF) ^f
1	53,0	2,5	4,0	120	V	60,5	9,5	14,0	40
2	59,0	3,5	4,5	80	W	58,5	2,5	5,0	80
3	56,5	8,0	14,0	40	X	66,2	1,5	4,0	70
4	55,7	3,5	5,0	100	Y	65,5	5,5	9,0	50
5	56,3	5,5	8,5	50	Z	61,5	3,0	3,5	120
6	49,0	2,0	3,5	100	a	62,0	3,5	6,5	70
7	54,3	2,0	2,5	150	b	64,7	5,0	7,0	50
8	56,0	7,0	14,5	30	c	59,5	2,0	11,5	40
9	57,8	3,5	14,5	30	d	62,5	4,5	7,5	70
A	56,0	7,0	10,5	50	e	60,5	5,5	9,0	40
B	60,0	6,0	15,0	20	f	65,5	3,5	9,0	40
C	55,0	1,5	3,0	80	g	63,4	6,0	8,5	70
D	54,5	1,0	2,5	100	h	62,5	7,0	9,0	40
E	59,0	2,5	2,0	160	i	62,8	6,0	10,0	50
F	58,5	1,5	2,0	140	j	65,0	7,0	13,0	30
G	58,0	3,0	10,5	30	k	65,3	5,0	11,0	30
H	55,7	3,0	4,0	90	l	62,9	5,0	13,5	30
I	52,7	1,5	5,0	70	m	64,5	5,5	11,5	20
J	57,4	1,5	5,5	60	n	64,0	7,5	12,5	30
K	56,2	3,0	5,5	90	o	64,5	6,5	13,0	40
L	58,0	4,0	5,5	60	p	58,4	11,0	20,0	10
M	57,5	6,0	11,0	40	q	56,6	2,0	4,0	50
N	57,5	2,5	2,5	120	r	57,6	7,5	11,5	30
O	61,5	6,0	13,0	30	s	64,2	4,0	11,5	30
P	61,5	6,5	14,0	20	t	64,5	2,0	6,0	60
Q	62,5	6,5	17,5	20	u	60,5	1,5	7,0	50
R	62,9	6,5	11,5	40	v	65,2	6,0	12,5	30
S	58,5	9,5	22,0	20	w	60,0	2,5	11,5	30
T	58,0	1,5	10,0	50	x	65,0	6,0	10,0	50
U	60,7	3,0	3,0	100					

^aMédia de duplicatas^bAbsorção de água^cTempo de desenvolvimento^dEstabilidade^eÍndice de tolerância^fUnidades Farinográficas

4.3.1.2. Absorção de Água

O parâmetro absorção de água é um indicativo da quantidade de água requerida para a massa apresentar boa consistência para o fabrico do pão. Ela é influenciada pelos componentes da farinha e tamanho das partículas. Embora uma alta absorção de água pela farinha seja desejável, pois resulta num maior rendimento em produtos de panificação, a adição de água deve ser ajustada a um nível ótimo para que a massa tenha boa maquinabilidade no processo e retenha gás liberado durante a fermentação e o cozimento. Um dos principais componentes da farinha que afetam a absorção de água é o glúten (PRATT, 1971).

Na Tabela 11, o parâmetro absorção de água (ABS) das amostras variou na faixa de 49,0 a 66,2%, com média de 59,9%. O limite inferior foi obtido na amostra 6 (11,08% de proteína e 43,36% de glúten) e o limite superior foi obtido da amostra X (10,91% de proteína e 34,80% de glúten). A média resultante assemelhou-se à reportada nos estudos de REGO (1982), que foi de 59,1%.

Pesquisando 10 variedades de trigo nacional, BAR (1979) reportou média inferior (56,9%), enquanto que TOSELLO (1979), estudando 85 amostras relatou média superior (62,4%).

4.3.1.3. Estabilidade

A estabilidade é definida como a diferença de tempo, em minutos, entre o ponto do topo da curva que intercepta a linha das 500 Unidades Farinográficas (UF) e o ponto do topo da curva que deixa a mesma linha. A estabilidade dá um indicativo da resistência que a massa possui ao tratamento mecânico e ao tempo do processo fermentativo na fabricação do pão. Valores altos de estabilidade geralmente indicam farinhas fortes, enquanto que valores baixos, farinhas fracas.

Na Tabela 11, verifica-se que os resultados obtidos para o parâmetro estabilidade (EST), variou de 2,0 e 22,0 minutos, com média de 9 minutos. O extremo inferior foi obtido nas amostras E (11,85% de proteína e 42,32% de glúten) e F (11,07% de proteína e 42,36% de glúten) e o extremo superior, nas amostras S (13,52% de proteína e 34,34% de glúten) e p (12,91% de proteína e 43,00% de glúten).

A média encontrada neste trabalho foi muito superior às reportadas pelos pesquisadores BAR (1979) e TOSELLO (1979). BAR (1979) reportou valores de 1,0 a 4,0 minutos, com média de 1,7 minutos enquanto que TOSELLO (1979) encontrou valores de 4,0 a 12,0 minutos, com média de 6,11 minutos.

4.3.1.4. Índice de tolerância

É a diferença em Unidades Farinográficas (UF) do topo da curva no pico ao topo da curva medido 5 minutos após atingido o pico máximo. Este índice fornece informações sobre a maior ou a menor tolerância da massa durante a mistura. Em geral, as farinhas que tem boa tolerância à mistura possuem valor baixo de índice de tolerância. Quanto mais alto é o índice de tolerância, mais fraca é a farinha.

Observou-se, através da Tabela 11, que os valores encontrados para o parâmetro índice de tolerância (IT), compreenderam a faixa de 10 a 160 U.F., com média de 58 U.F., sendo que a amostra p (12,91% de proteína e 43,00% de glúten) representa o extremo inferior e a amostra E (11,85% de proteína e 42,32% de glúten), o extremo superior, respectivamente.

O resultado obtido como média neste trabalho foi semelhante ao valor encontrado por REGO (1982), que reportou média de 57 U.F., enquanto que foi superior quando comparada à média obtida por TOSELLO (1979), que foi de 36 U.F.

4.3.1.5. Classificação de Qualidade pelo Farinograma.

Segundo a classificação proposta por WILLIAMS et al (1988), que leva em conta a interpretação de parâmetros farinográficos tais como o tempo de desenvolvimento da massa (TD), estabilidade (EST) e índice de tolerância (IT), tem-se apenas 5,1% de amostras classificadas como farinhas fortes (amostras S, V e p), 3,4% classificadas como farinhas fracas (amostras 7 e E) e a maioria, ou seja, 91,5% das amostras classificadas como farinhas de força média.

Por outro lado, segundo a classificação do trigo no Brasil (BRASIL, 1994) que considera a estabilidade (EST) como um dos parâmetros mais importantes, tem-se que, das amostras analisadas, 61,0% pertencem à classe Superior. Nas demais amostras, encontramos 15,25% pertencentes à classe Melhorador (amostras 3, 8, 9, B, P, Q, S, V, p), 8,47% que são classificadas como Comuns (amostras 7, D, E, F, N) e 15,25% como Intermediário (amostras 1, 2, 6, C, H, U, X, Z, q).

Na Tabela 12 está ilustrado a classificação das amostras estudadas segundo critérios da legislação brasileira (BRASIL, 1994) e WILLIAMS et al (1988). Através da Tabela 12, verificamos que a legislação brasileira é mais abrangente.

Utilizando-se a classificação de qualidade tecnológica de farinha, sugerida por EL-DASH (1982) e observando-se apenas os parâmetros de estabilidade e tempo de desenvolvimento, teríamos apenas 10 amostras (3, 8, A, M, S, g, h, j, n, r) adequadas para o fabrico de pão francês.

Tabela 12: Classificação utilizando parâmetros farinográficos, segundo critérios descritos pela legislação brasileira^a (BRASIL, 1994) e WILLIAMS^b et al (1988):

Amostras	Classificação	
	LB ^a	WS ^b
S, V, p	Melhorador	Forte
3, 8, 9, B, P Q	Melhorador	Média
4, 5, A, G, I, J, K, L, M, O, R, T, W, Y, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, r, s, t, u, v, w, x	Superior Superior Superior	Média Média Média
1, 2, 6, C, H, U, X, Z, q	Intermediária	Média
D, F, N	Comum	Média
7, E	Comum	Fraca

4.3.1.6. Avaliação Estatística dos Parâmetros do Farinograma

O resultado da ACP dos parâmetros farinográficos das amostras analisadas encontram-se na Tabela 13. Sua representação gráfica está apresentada na Figura 6.

Tabela 13: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros dos farinogramas das amostras de farinha de trigo.

COMPONENTES PRINCIPAIS	PROPORÇÃO (%)	VETORES			
		ABS ^a	TD ^b	EST ^c	IT ^d
CP1	68,0	0,320730	0,515719	0,574892	-0,548330
CP2	20,6	0,925580	-0,300802	-0,229096	0,018286
CP1+CP2	88,6				

^a Absorção de água

^b Tempo de desenvolvimento

^c Estabilidade

^d Índice de tolerância

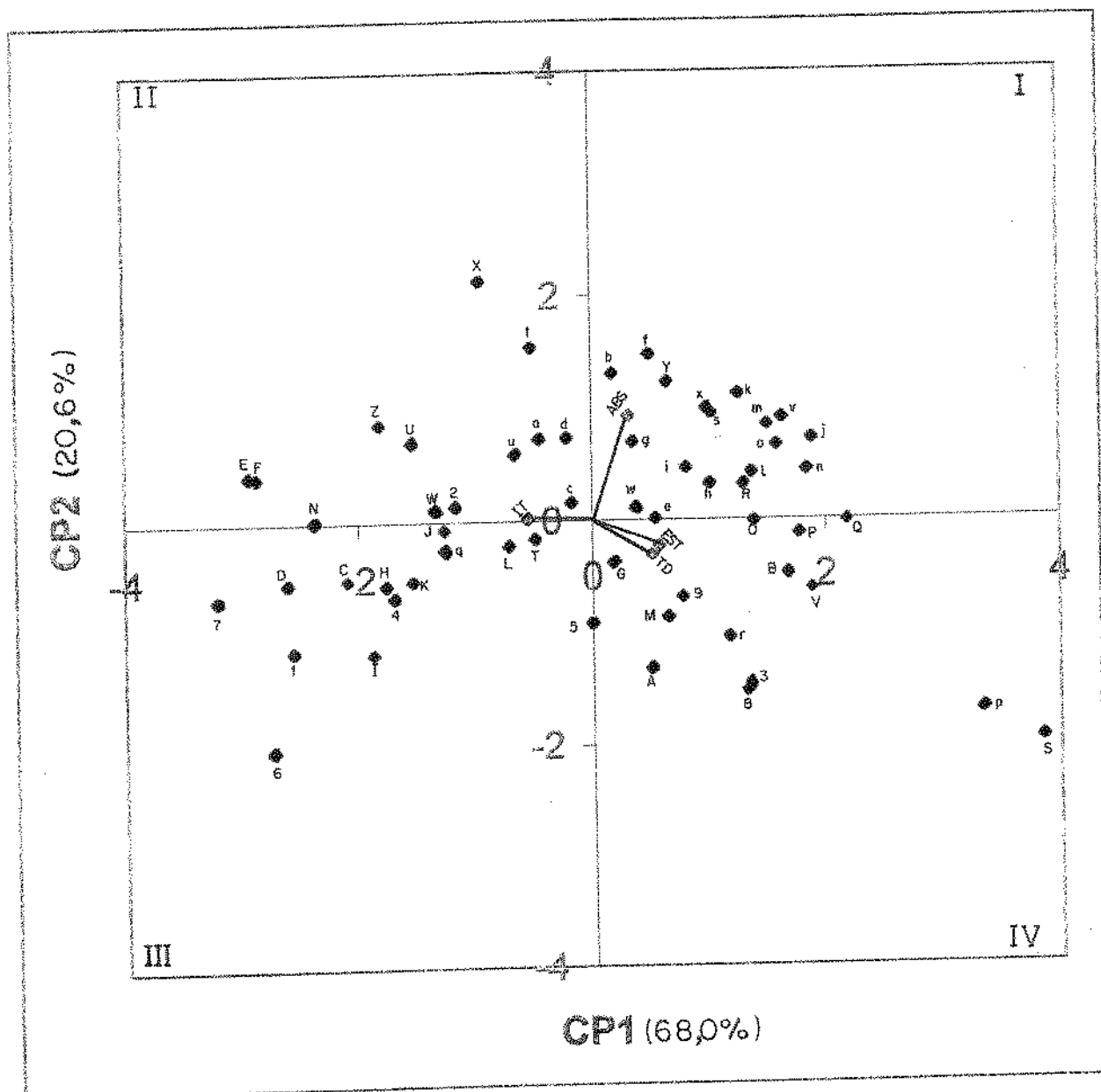


Figura 6: Representação gráfica da ACP dos parâmetros* dos farinogramas das amostras.

*ABS, EST, TD, IT= absorção de água, estabilidade, tempo de desenvolvimento da massa e índice de tolerância, respectivamente, medidos no Farinógrafo.

O primeiro componente principal (CP1) correspondeu a 68,0% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) respondeu à 20,6% das observações iniciais. Logo, a somatória dos dois eixos explicou 88,6% da variação total. O restante da variação (11,4%) ocorreu devido a outros fatores que não foram considerados, pois os dois primeiros eixos já explicaram a maior parte da variabilidade.

Verifica-se que o vetor da variável absorção de água (ABS) localiza-se no primeiro quadrante e forma menor ângulo com o eixo de CP2, enquanto que o vetor índice de tolerância (IT) encontra-se no segundo quadrante e quase coincide com o eixo de CP1. Observa-se que os vetores que representam as variáveis responsáveis pela estabilidade (EST) e tempo de desenvolvimento da massa (TD) situaram-se quase centralizados entre CP1 e CP2, no quarto quadrante.

Os vetores que formam menor ângulo com um determinado eixo (CP) e que, quando decompostos naquele eixo, apresentam-se como um vetor longo, tem maior importância, pois explicam a variabilidade observada naquele eixo.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu pesos semelhantes e maiores para as variáveis estabilidade (EST), índice de tolerância (IT) e tempo de desenvolvimento da massa (TD), respectivamente. Para a variável absorção de água (ABS) foi atribuído um peso menor. O vetor IT, que praticamente coincide com o eixo CP1, exerce maior importância neste eixo, enquanto que os vetores EST e TD possuem tamanhos e ângulos semelhantes com relação aos eixos CP1 e CP2.

O segundo componente principal (CP2) atribui um peso maior à variável ABS, que exerce maior importância neste eixo e cujo vetor resultante forma ângulo menor com o CP2.

Amostras próximas entre si são semelhantes nos parâmetros julgados, enquanto que amostras distantes umas das outras indicam diferenças entre elas. A localização de cada amostra indica qual atributo se apresenta em maior intensidade naquela amostra.

Observando-se o eixo CP2 da Figura 6, verificou-se que as amostras b, f, k, m, s, t, v, x, X, Y, caracterizaram-se basicamente por possuírem os maiores pesos com relação à variável absorção de água, que variou na faixa de 64,2 a 66,2%. Geralmente, altos valores de absorção de água estão associados à maiores rendimentos dos produtos finais. Por outro lado, a amostra 6 (situada no quadrante III) caracterizou-se por possuir o menor peso para a variável absorção de água (49,0%), que pode indicar baixo rendimento nos produtos finais.

De modo geral, as amostras situadas nos quadrantes I (R, Y, b, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, s, v, w, x) e IV (3, 5, 8, 9, A, B, G, M, O, P, Q, S, V, r, p), possuem características farinográficas superiores, relacionadas principalmente com os altos valores dos parâmetros tempo de desenvolvimento da massa (TD) e

estabilidade (EST). Farinhas de trigo com melhores qualidades farinográficas podem resultar em massas com boas propriedades de manuseio. Já as amostras situadas nos quadrantes II (2, a, c, d, u, t, E, F, N, U, X, W, Z) e III (1, 4, 6, 7, C, D, H, I, J, K, L, T, q), de um modo geral, possuem propriedades farinográficas inferiores, devido principalmente aos baixos valores das variáveis tempo de desenvolvimento da massa (TD) e estabilidade (EST) aliados aos altos valores da variável índice de tolerância (IT), que estão relacionados com baixa qualidade tecnológica, que podem indicar massas com pouca tolerância mecânica.

As amostras B, O, P, Q, V, situadas no quadrante IV, possuem comportamento farinográfico semelhantes entre si, pois apresentaram altos pesos das variáveis tempo de desenvolvimento da massa (TD) e estabilidade (EST), sendo suas faixas de 6,0 a 9,5 minutos e 13,0 a 17,5 minutos, respectivamente. As amostras p, S (situadas no quadrante IV), apresentaram os maiores pesos para a variável estabilidade, cujos valores foram 20,0 e 22,0 minutos, respectivamente. Em contrapartida, as amostras 7, E, F tiveram comportamento oposto, visto que possuem características farinográficas inferiores, resultado da combinação dos altos pesos de índice de tolerância (IT) que variou de 140 a 160 UF e os baixos valores das variáveis tempo de desenvolvimento da massa (TD) e estabilidade (EST).

4.3.2. Extensograma

As propriedades de extensão das massas são determinadas pelo Extensógrafo Brabender, através da aplicação de uma força constante sobre a massa de farinha de trigo. O gráfico resultante, o extensograma, descreve o comportamento dinâmico da massa no momento da distensão.

A Tabela 14 apresenta os resultados dos parâmetros extensográficos das amostras analisadas.

4.3.2.1. Resistência à Extensão

Na Tabela 14, observa-se que a variável resistência à extensão, nos tempos de 45, 90 e 135 minutos (RE1, RE2 e RE3), apresentou resultados nas faixas de 135 a 570, 120 a 585 e 115 a 550 Unidades Extensográficas (U.E.), sendo as médias 304, 335 e 336 U.E., respectivamente. De modo geral observou-se que, à medida em que ocorreu maior tempo de repouso (principalmente de 45 para 90 minutos), o valor de resistência à extensão aumentou, indicando um fortalecimento da massa. Os extremos inferior e superior foram representados pelas amostras F e B respectivamente, em RE1, RE2 e RE3. Analisando-se os valores do parâmetro resistência à extensão (RE) obtidos para 45, 90 e 135 minutos, observou-se que as amostras analisadas tiveram médias superiores às

obtidas por REGO (1982), que relatou os valores médios de 120, 235 e 298 U.E. em seu trabalho.

Tabela 14: Resultados dos principais parâmetros dos extensogramas^a.

Amostra	Resistência à Extensão ^b (U.E.) ^f			Resistência Máxima à Extensão ^c (U.E.) ^f			Extensibilidade ^d (mm)			Energia ^e (dm ²)		
	RE1	RE2	RE3	RME1	RME2	RME3	EXE1	EXE2	EXE3	A1	A2	A3
1	170	175	190	310	345	388	231	235	221	0,93	1,02	1,07
2	170	145	130	240	230	205	164	176	186	0,48	0,50	0,47
3	380	430	465	620	725	785	182	171	177	1,45	1,51	1,74
4	270	230	245	300	310	330	162	167	155	0,64	0,67	0,61
5	285	355	360	463	545	555	191	183	174	1,13	1,26	1,22
6	170	200	200	285	330	335	192	185	185	0,67	0,74	0,75
7	150	160	185	205	233	265	233	206	208	0,58	0,66	0,72
8	420	505	510	710	840	875	178	163	160	1,59	1,68	1,64
9	470	515	465	695	765	740	180	170	177	1,71	1,65	1,65
A	285	310	370	475	535	625	187	176	171	1,12	1,14	1,30
B	570	585	545	778	870	880	171	163	163	1,82	1,84	1,80
C	355	440	530	490	655	778	157	152	150	1,14	1,22	1,39
D	315	415	410	440	550	588	154	148	148	0,84	1,04	1,00
E	145	135	130	190	205	210	216	224	241	0,57	0,61	0,65
F	135	120	115	150	140	130	178	193	170	0,36	0,34	0,31
G	340	295	320	520	490	495	198	183	183	1,34	1,12	1,15
H	185	200	180	255	285	260	189	182	174	0,64	0,66	0,57
I	330	440	510	490	675	745	166	165	154	1,01	1,38	1,40
J	430	450	405	635	675	655	181	170	178	1,54	1,39	1,45
K	275	305	285	373	425	425	180	170	169	0,89	0,92	0,85
L	325	320	335	355	420	440	147	157	155	0,72	0,85	0,88
M	265	225	215	405	430	395	202	197	198	1,07	1,00	0,93
N	165	150	140	210	190	180	184	181	173	0,52	0,45	0,39
O	337	387	447	518	608	673	179	175	162	1,20	1,33	1,37
P	295	350	383	472	563	582	190	179	177	1,09	1,21	1,32
Q	283	330	327	435	513	525	186	181	185	1,02	1,17	1,23
R	377	407	360	523	598	560	169	166	161	1,14	1,24	1,11
S	340	390	395	465	488	650	182	171	164	1,11	1,29	1,29
T	305	420	455	418	583	633	173	150	146	0,93	1,19	1,21
U	155	150	145	220	193	180	204	217	169	0,44	0,54	0,39
V	465	510	550	575	670	753	167	153	150	1,30	1,31	1,42
W	200	190	170	325	305	290	176	167	161	0,69	0,63	0,55
X	295	325	305	460	545	543	175	157	173	0,99	1,00	1,15
Y	230	240	230	335	395	390	200	187	183	0,88	0,93	0,90
Z	180	145	150	225	215	200	181	176	174	0,53	0,46	0,43
a	230	235	235	350	353	365	216	211	191	1,03	0,98	0,88
b	255	210	215	373	345	358	196	195	193	0,89	0,84	0,87
c	370	383	380	575	600	590	187	180	181	1,41	1,37	1,37
d	345	335	360	515	508	560	185	164	164	1,23	1,01	1,10
e	395	420	415	535	583	580	170	166	161	1,20	1,25	1,16
f	250	225	230	323	315	308	191	179	178	0,86	0,73	0,72
g	240	200	185	340	333	310	194	186	186	0,85	0,76	0,80
h	320	340	380	435	475	410	164	162	168	0,94	0,99	1,10
i	420	560	520	620	800	743	168	146	145	1,30	1,43	1,28
j	355	390	360	518	560	550	167	145	158	1,07	0,97	1,00
k	310	298	270	465	453	480	173	158	180	1,02	0,88	1,07
l	315	355	370	440	518	578	162	162	165	0,94	1,08	1,18
m	353	463	490	480	623	658	156	141	133	0,97	1,08	1,07
n	443	520	440	605	698	653	148	148	154	1,12	1,31	1,20
o	290	303	303	438	458	465	224	201	197	1,30	1,22	1,16
p	400	403	385	635	650	633	174	170	170	1,50	1,45	1,33
q	395	550	530	560	760	730	151	138	142	1,01	1,19	1,23
r	365	435	470	515	585	635	168	135	145	1,09	1,03	1,15
s	270	305	275	370	403	315	179	178	160	0,87	0,96	0,67
t	295	320	280	383	425	407	163	154	167	0,82	0,84	0,85
u	320	425	420	463	610	605	173	157	164	1,01	1,21	1,24
v	308	360	340	478	560	567	209	192	210	1,34	1,41	1,54
w	325	370	415	450	555	613	170	163	158	1,02	1,15	1,20
x	340	410	410	475	548	555	183	173	162	1,18	1,25	1,13

^aMédia de duplicatas

^bRE1, RE2, RE3: resistência à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.

^cRME1, RME2, RME3: resistência máxima à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.

^dEXE1, EXE2, EXE3: extensibilidade aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.

^eA1, A2, A3: energia aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.

^fUE: Unidades Extensográficas

4.3.2.2. Extensibilidade

Na Tabela 14, verifica-se que o parâmetro extensibilidade, nos tempos de 45, 90 e 135 minutos, (EXE1, EXE2 e EXE3) apresentou resultados nas faixas entre 147 a 233, 135 a 235 e 133 a 241 mm, sendo as médias 181, 173 e 171 mm, respectivamente. De modo geral, percebe-se que quanto maior o tempo de repouso, menor a extensibilidade da massa devido ao aumento da elasticidade.

No tempo de 45 minutos, os extremos inferiores e superiores foram obtidos a partir das amostras L e 7, respectivamente. No tempo de 90 minutos, estes extremos foram obtidos através das amostras r e 1. Já no tempo de 135 minutos, as amostras m e E representaram os extremos inferior e superior, respectivamente. Analisando-se os valores do parâmetro extensibilidade para 45, 90 e 135 minutos, observa-se que as médias obtidas para as amostras estudadas foram superiores com relação às médias relatadas no trabalho de REGO (1982) e em contrapartida, foram inferiores quando comparadas às médias obtidas por GOTTSCHALD (1996).

4.3.2.3. Resistência Máxima à Extensão

Na Tabela 14, a variável resistência máxima à extensão nos tempos de 45, 90 e 135 minutos (RME1, RME2 e RME3) apresentou resultados nas faixas de 150 a 778, 140 a 870 e 130 a 880 U.E., sendo as médias de 439, 496 e 507 U.E., respectivamente.

Os extremos inferior e superior nos três tempos estudados foram obtidos a partir das amostras F e B, respectivamente.

Verificando-se os valores do parâmetro resistência máxima à extensão nos tempos de 45, 90 e 135 minutos, observa-se que as médias obtidas para as amostras analisadas foram superiores em relação às relatadas por GOTTSCHALD (1996), que obteve 344, 356 e 367 U.E. respectivamente.

4.3.2.4. Energia

Na Tabela 14 verificou-se que o parâmetro energia nos tempos de 45, 90 e 135 minutos (A1, A2 e A3) apresentou resultados nas faixas de 0,36 a 1,82, 0,34 a 1,84 e 0,31 a 1,80 dm^2 , com médias de 1,017, 1,056 e 1,061 dm^2 , respectivamente. Os extremos inferior e superior nos três tempos estudados foram obtidos a partir das amostras F e B, respectivamente.

Verificando-se os valores do parâmetro energia para 45, 90 e 135 minutos, observou-se que as médias obtidas para as amostras analisadas foram superiores às médias obtidas por REGO (1982), que obteve 0,3018; 0,4803 e 0,3887 dm^2 respectivamente.

4.3.2.5. Classificação de Qualidade pelo Extensograma.

Através dos resultados extensográficos de resistência à extensão e extensibilidade obtidos pelas amostras, observou-se que é muito difícil enquadrá-las segundo a classificação de JOHNSON et al (1946), que é muito rigorosa e específica. Porém, pode-se dizer que a amostra B, que obteve o melhor desempenho extensográfico no tempo de 135 minutos (545 U.E. e 163 mm), aproxima-se da classe de "farinha para pães" (560 U.E. e 190 mm). Já a amostra F, que apresentou o pior desempenho extensográfico (115 U.E. e 170 mm), aproxima-se da classe "farinhas para biscoitos" (220 U.E. e 150 mm).

Apesar de pesquisadores usarem os parâmetros extensográficos para auxiliar na determinação da qualidade da farinha de trigo, a maioria deles não os define em termos de valores e/ou faixas específicas. EL-DASH (1982), por exemplo, definiu que para a produção de pão francês, a farinha de trigo deve apresentar extensibilidade média-alta e alta resistência à extensão, mas não sugere valores numéricos destes parâmetros.

4.3.2.6. Avaliação Estatística dos Parâmetros do Extensograma.

A Análise de Componentes Principais dos parâmetros dos extensogramas e sua representação gráfica encontram-se na Tabela 15 e Figura 7, respectivamente.

O primeiro componente principal (CP1) correspondeu a 75,4% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) correspondeu à 18,7%. A soma dos eixos resultou em 94,1%, o que explicou a maior parte da variação total.

Na Figura 7, verifica-se que os vetores das variáveis resistência à extensão e resistência máxima à extensão formaram menores ângulos com o eixo CP1, e portanto, exerceram maior importância neste eixo sendo que os vetores RE1, RME1, RME2 e RME3 situam-se no quadrante I e os vetores RE2 e RE3 localizam-se no quadrante IV.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu pesos semelhantes para as variáveis extensográficas RE1, RE2, RE3, RME1, RME2 e RME3 e seus vetores possuem tamanhos e ângulos semelhantes com relação aos eixos CP1 e CP2.

Verifica-se que as variáveis responsáveis pela extensibilidade (EXE1, EXE2 e EXE3) situam-se no quadrante II, formam ângulos menores com CP2, onde exercem maior influência por terem maior peso neste eixo. Os vetores das variáveis EXE1 e EXE3 são praticamente idênticos.

Tabela 15: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros dos extensogramas das amostras de farinha de trigo.

VETORES ^a	CP1 ^b	CP2 ^c
RE1	0,319343	0,009451
RE2	0,325614	-0,047305
RE3	0,320484	-0,049031
RME1	0,319110	0,121077
RME2	0,327640	0,057765
RME3	0,323118	0,064778
EXE1	-0,172509	0,534243
EXE2	-0,224031	0,457837
EXE3	-0,186942	0,505853
A1	0,282778	0,306692
A2	0,303185	0,250457
A3	0,298194	0,255676

^a RE1, RE2 e RE3: resistência à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

RME1, RME2 e RME3: resistência máxima à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

EXE1, EXE2 e EXE3: extensibilidade aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

A1, A2 e A3: energia aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.

^bProporção = 75,4%

^cProporção = 18,7%

As variáveis resultantes da energia (A1, A2 e A3) possuem pesos semelhantes e situaram-se no quadrante I, centralizados entre os eixos CP1 e CP2.

Analisando-se a Figura 7, pode-se identificar quais atributos estão presentes em maiores intensidades nas amostras.

De modo geral, as amostras localizadas no quadrante I (3, 5, 8, 9, A, B, G, J, O, S, c, d, p, v) possuem as melhores características extensográficas, resultado de valores superiores, que indicam bom equilíbrio entre extensibilidade e elasticidade, fundamental durante as fases de fermentação e assamento da massa. Desse grupo, destacam-se as amostras 3, 8, 9, B (quadrante I), que possuem os melhores resultados extensográficos. Normalmente, altos valores das variáveis extensibilidade (EXE) e resistência à extensão (RE) indicam massa de farinha de trigo extensível, elástica, que tolera longos tempos de fermentação.

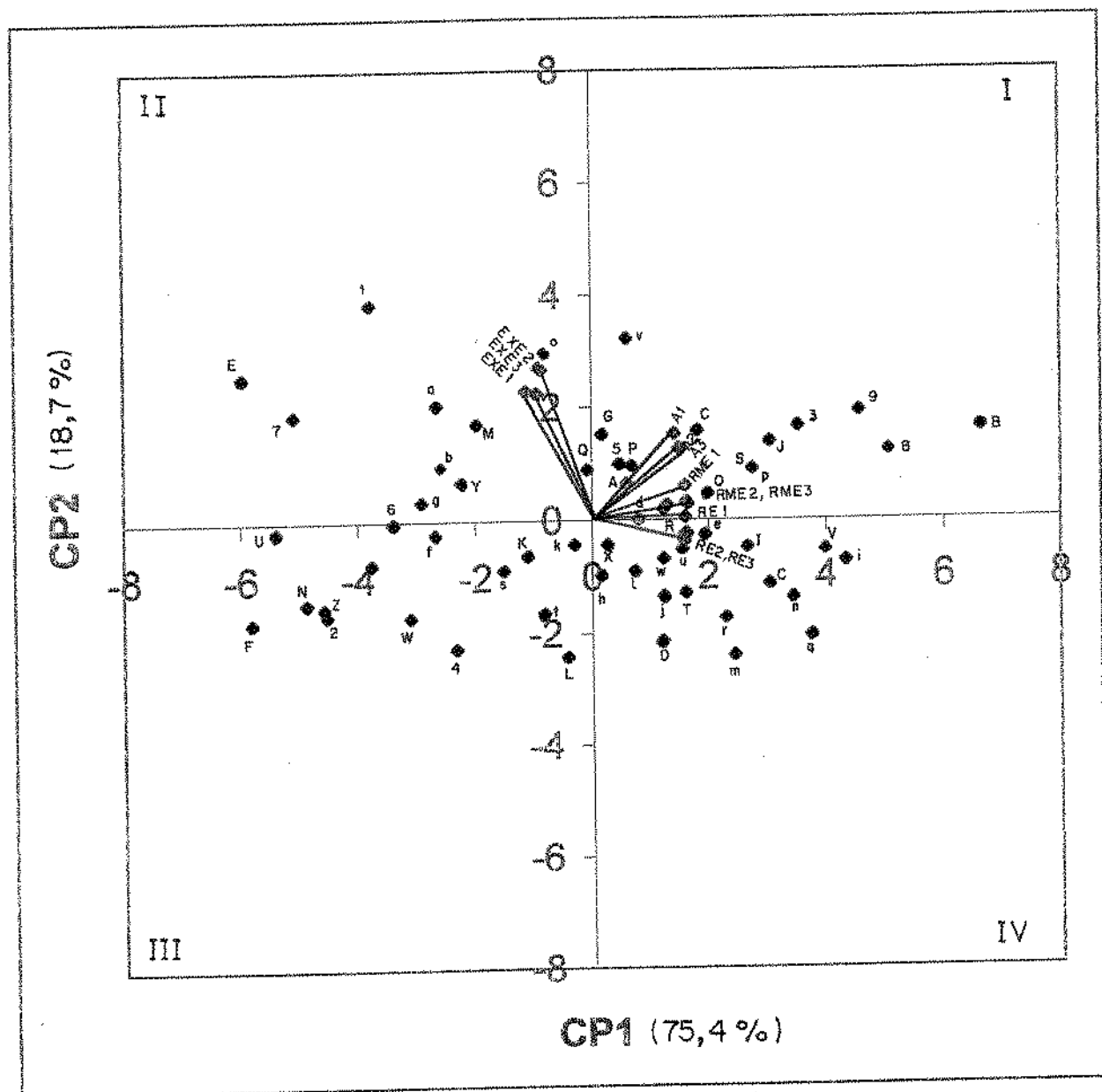


Figura 7: representação gráfica da ACP dos parâmetros* dos extensogramas das amostras.

*RE1, RE2, RE3= resistência à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;
 RME1, RME2, RME3= resistência máxima aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;
 EXE1, EXE2, EXE3= extensibilidade aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;
 A1, A2, A3= energia aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente, medidos no Extensógrafo.

OBS: para melhor visualização dos vetores, foi usado o fator 5 para multiplicar as suas coordenadas de localização

Observando-se as amostras do quadrante IV (C, D, I, R, V, X, T, e, i, h, j, l, m, n, q, r, u, w), verificou-se que, embora as variáveis referentes à resistência à extensão (RE1, RE2, RE3) e resistência máxima à extensão (RME1, RME2, RME3) também estejam presentes em maiores intensidades, o mesmo não ocorre com as outras variáveis referentes à extensibilidade (EXE1, EXE2, EXE3) e energia (A1, A2, A3), onde seus pesos possuem desde valores baixos a intermediários. Estas respostas, quando combinadas, podem indicar um desequilíbrio entre as propriedades de extensibilidade e elasticidade da massa de farinha de trigo em estudo. Este desequilíbrio pode ser prejudicial durante as fases de fermentação e assamento, indicando massa pouco extensível. As amostras C, I, V, n, i, q (quadrante IV), ilustram bem esta tendência quando verificamos seus resultados extensográficos.

As amostras 4, t, L, localizadas no quadrante III, podem resultar em massas pouco elásticas e extensíveis, não apresentando condições adequadas para o desenvolvimento do glúten, como indicam seus baixos valores extensográficos.

As variáveis referentes à extensibilidade estão presentes em maiores intensidades nas amostras 1, 7, E, M, Q, Y, a, b, g, o, localizadas no quadrante II, como mostra seus altos valores (186 a 233mm). Desse grupo, destacamos as amostras 1, 7, E, que por possuírem os maiores valores de extensibilidade, indicam massas extremamente extensíveis.

As amostras F, N, U, Z, 2 (quadrante III) caracterizam-se por possuírem comportamentos semelhantes entre si e com relação aos baixos valores das variáveis energia, resistência à extensão e resistência máxima à extensão. Por esta razão, suas características extensográficas foram inferiores, pois a alta extensibilidade aliada à baixa elasticidade, podem indicar massas fracas e com tempo curto de fermentação.

4. PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO GLÚTEN

4.4.1. Analisador de Qualidade de Glúten - AQG

O protótipo desenvolvido, denominado Analisador de Qualidade de Glúten - AQG, tem por finalidade fornecer dados sobre as propriedades do glúten, através dos parâmetros resistência máxima à extensão (RMP), extensibilidade (EXP) e energia (ENP).

4.4.2. Reprodutibilidade do Analisador de Qualidade do Glúten

Os experimentos foram conduzidos para estudar a sensibilidade referente à reprodutibilidade dos dados do AQG. A precisão da performance do AQG foi avaliada através de testes realizados em quatro replicatas, de onde obteve-se os valores médios de cada parâmetro, o desvio padrão (DP) e o coeficiente de

variação (CV), que estão registrados na Tabela 16. Obteve-se valores de DP e CV %, respectivamente, e tais resultados foram considerados satisfatórios.

Tabela 16: Valores médios dos parâmetros resistência máxima à extensão (RMP), extensibilidade (EXP) e energia (ENP) obtidos de glúten úmidos extraídos das amostras de farinha de trigo e medidos no AQQ.

Amostra	MÉDIA			DESVIO PADRÃO			COEFICIENTE DE VARIAÇÃO		
	RMP (N)	EXP (mm)	ENP (10^{-3}) J	RMP	EXP	ENP	RMP (%)	EXP (%)	ENP (%)
i	1,37	86	74	0,066	1,920	1,653	4,900	2,239	2,256
2	1,00	125	81	0,038	4,437	3,699	3,804	3,542	4,581
3	1,51	96	85	0,025	0,961	0,866	1,688	1,000	1,025
4	0,86	125	66	0,041	2,861	2,861	4,787	2,293	4,352
5	0,87	93	48	0,048	6,457	3,905	5,551	6,924	8,221
6	0,81	112	58	0,046	6,344	4,637	5,700	5,690	7,994
7	0,79	158	83	0,055	4,657	6,494	7,034	2,952	7,849
8	0,97	88	55	0,036	3,767	4,847	3,788	4,292	8,814
9	1,36	108	94	0,097	3,674	7,583	7,130	3,402	8,066
A	1,19	92	65	0,085	1,639	4,527	7,155	1,787	6,966
B	1,73	87	93	0,060	4,153	5,612	3,472	4,801	6,035
C	1,69	66	70	0,075	3,631	4,969	4,408	5,523	7,123
D	1,07	70	46	0,038	4,323	2,278	3,606	6,198	4,924
E	0,79	155	82	0,039	2,061	2,947	4,949	1,334	3,628
F	0,28	181	34	0,011	3,762	0,707	4,066	2,067	2,080
G	1,65	75	76	0,082	1,500	6,016	4,979	2,013	7,889
H	0,84	116	61	0,030	4,815	4,146	3,571	4,142	6,767
I	1,30	77	60	0,012	2,550	4,062	0,942	3,311	6,770
J	1,44	107	92	0,052	7,648	4,493	3,604	7,148	4,897
K	0,88	91	53	0,041	1,920	2,121	4,685	2,104	4,002
L	0,70	151	65	0,026	4,528	3,767	3,642	2,998	5,773
M	1,32	106	85	0,031	2,487	4,252	2,362	2,352	5,056
N	0,51	136	44	0,007	2,861	2,773	1,386	2,108	6,266
O	1,48	137	139	0,055	9,354	9,858	3,729	6,828	7,105
P	1,45	115	105	0,005	5,679	13,553	6,931	4,960	12,877
Q	1,23	123	101	0,099	8,786	6,103	8,052	7,128	6,073
R	1,22	99	77	0,055	5,761	6,557	4,550	5,804	8,516
S	1,34	110	45	0,059	7,361	2,291	4,384	6,707	2,425
T	0,98	75	46	0,075	5,523	1,871	7,692	7,364	4,067
U	0,80	109	54	0,057	5,874	5,309	7,114	5,389	9,877
V	1,14	89	64	0,033	8,842	6,139	2,940	9,907	9,555
W	0,72	130	60	0,026	7,778	5,590	3,634	5,983	9,395
X	1,38	94	78	0,071	3,269	1,920	5,143	3,469	2,470
Y	0,86	133	70	0,080	4,153	6,057	9,260	3,134	8,622
Z	0,68	98	44	0,063	5,362	5,679	9,242	5,499	13,050
a	0,95	161	95	0,047	5,629	3,491	4,991	3,491	5,665
b	1,42	152	142	0,110	10,271	13,026	7,814	6,757	9,190
c	1,32	115	102	0,023	5,612	8,496	1,729	4,880	8,350
d	0,78	114	59	0,049	4,924	3,269	6,256	4,339	5,518
e	0,99	100	60	0,105	10,452	4,603	10,684	10,505	7,704
f	1,37	151	139	0,063	7,089	11,584	4,590	4,710	8,319
g	0,97	96	58	0,072	3,700	4,301	7,470	3,864	7,416
h	1,21	134	107	0,046	7,632	10,084	3,787	5,717	9,402
i	1,07	100	72	0,047	8,467	5,356	4,443	8,446	7,413
j	1,00	79	53	0,058	5,612	3,571	5,788	7,104	6,801
k	1,17	128	97	0,037	6,364	6,538	3,155	4,972	6,775
l	1,43	104	97	0,015	7,980	7,119	1,036	7,692	7,356
m	0,70	52	24	0,038	3,571	1,090	5,526	6,933	4,588
n	1,06	84	56	0,083	4,969	4,323	7,772	5,863	7,685
o	1,10	165	118	0,052	8,584	2,947	4,724	5,210	2,503
p	1,10	123	82	0,088	7,361	8,983	7,969	6,000	10,987
q	1,05	82	53	0,114	6,595	1,785	10,860	8,043	3,384
r	1,06	99	66	0,022	3,536	3,674	2,109	3,571	5,567
s	0,92	137	77	0,054	11,300	2,121	5,888	8,263	2,755
t	1,01	130	84	0,068	6,344	2,586	6,712	4,862	3,051
u	1,21	84	63	0,104	6,576	5,590	8,618	7,876	8,944
v	0,73	165	79	0,088	5,890	2,500	11,958	3,564	3,145
w	1,13	129	90	0,045	6,727	10,034	4,007	5,235	11,118
x	1,39	131	116	0,022	5,179	7,280	1,574	4,352	6,276

4.4.3. Resistência Máxima à Extensão

Na Tabela 16, verificamos que os valores de resistência máxima à extensão (RMP) do glúten medida através do AQG forneceu resultados nas faixas de 0,28 a 1,73 N, com média de 1,09 N. Os valores dos extremos inferior e superior foram dados pelas amostras F e B, respectivamente. Estas mesmas amostras representaram os extremos de resistência máxima à extensão (RME) obtidos pelo Extensógrafo Brabender, mostrado na Tabela 14. As faixas de Desvio Padrão e de Coeficiente de Variação foram de 0,007 a 0,114 (média = 0,054) e 0,942 a 11,958% (média = 5,243 %), respectivamente.

4.4.4. Extensibilidade

Na Tabela 16, verifica-se que os resultados do parâmetro extensibilidade (EXP) do glúten medida através do AQG apresentou a faixa dada por 52 a 181 mm, com média de 112 mm. Os valores dos extremos inferior e superior foram dados pelas amostras m e F, respectivamente.

O extremo inferior m também foi obtido na medição de extensibilidade (EXE) dado pelo Extensógrafo Brabender, no tempo de 135 minutos, mostrado na Tabela 14. As faixas de Desvio Padrão e de Coeficiente de Variação foram 0,961 a 11,300 (média = 5,442) e 1,000 a 10,505% (média = 4,994 %), respectivamente.

4.4.5. Energia

A energia (ENP) medida através do AQG forneceu a faixa de (24 a 142) x 10^{-3} J, com média de 75 x 10^{-3} J, como mostra a Tabela 16. Os seus extremos inferior e superior foram representados pelas amostras m e b, respectivamente. As faixas de Desvio Padrão e de Coeficiente de Variação foram 0,707 a 13,553 (média = 4,991) e 0,1025 a 13,050% (média = 6,496 %), respectivamente.

4.4.6. Avaliação Estatística dos parâmetros do AQG

A Análise de Componentes Principais dos parâmetros provenientes do AQG estão na Tabela 17 e sua representação gráfica encontra-se na Figura 8.

Tabela 17: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia obtidos de glúten úmidos extraídos das amostras de farinha de trigo.

COMPONENTES PRINCIPAIS	PROPORÇÃO (%)	VETORES		
		RMP ^a	EXP ^b	ENP ^c
CP1	53,7	0,583598	0,270432	0,76568
CP2	44,1	-0,569569	0,808399	0,148601
CP1+ CP2	97,8			

^aResistência máxima à extensão

^bExtensibilidade

^cEnergia

O primeiro componente principal (CP1) correspondeu a 53,7% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) correspondeu à 44,1% das observações iniciais. A soma dos eixos explicou 97,8% da variação total das observações iniciais.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu maior peso para a variável da energia (ENP), seguindo-se da variável resistência máxima à extensão (RMP) e o menor peso, para a variável extensibilidade (EXP). Verifica-se que o parâmetro de resistência máxima à extensão, RMP, teve seu vetor situado no quadrante IV, centralizado entre os eixos CP1 e CP2. O vetor correspondente à variável ENP formou menor ângulo com o eixo CP1, e portanto, exerce maior influência neste eixo. Verifica-se, através da Figura 8, que a variável responsável pela extensibilidade (EXP) situou-se no primeiro quadrante, tendo formado menor ângulo com CP2 e exercendo maior influência neste eixo.

De modo geral, pode-se dizer que as amostras situadas no quadrante IV (i, 3, 9, B, C, G, J, M, P, R, X, c, l), apresentaram os maiores pesos para a variável resistência máxima à extensão (RMP), o que pode ser verificado através de seus altos valores, que estão na faixa de 1,22 a 1,73 N. Dessas amostras destacaram-se B, C, G por terem obtido os maiores valores referentes à variável resistência máxima à extensão, cuja faixa foi de 1,65 a 1,73 N.

Da mesma forma, pode-se dizer que as variáveis energia (ENP) e extensibilidade (EXP) estão presentes em maiores intensidades nas amostras localizadas no quadrante I (2, 7, O, Q, a, b, f, h, k, o, p, t, x, w), o que pode ser conferido através de seus altos valores referentes à estas variáveis, que estão nas faixas de 0,082 a 0,142J e 123 a 165 mm, respectivamente. Observando-se o eixo CP1 da Figura 8, verificamos que os maiores valores para a variável energia (ENP) são encontrados nas amostras b, f, O, que também possuem altos valores para as demais variáveis.

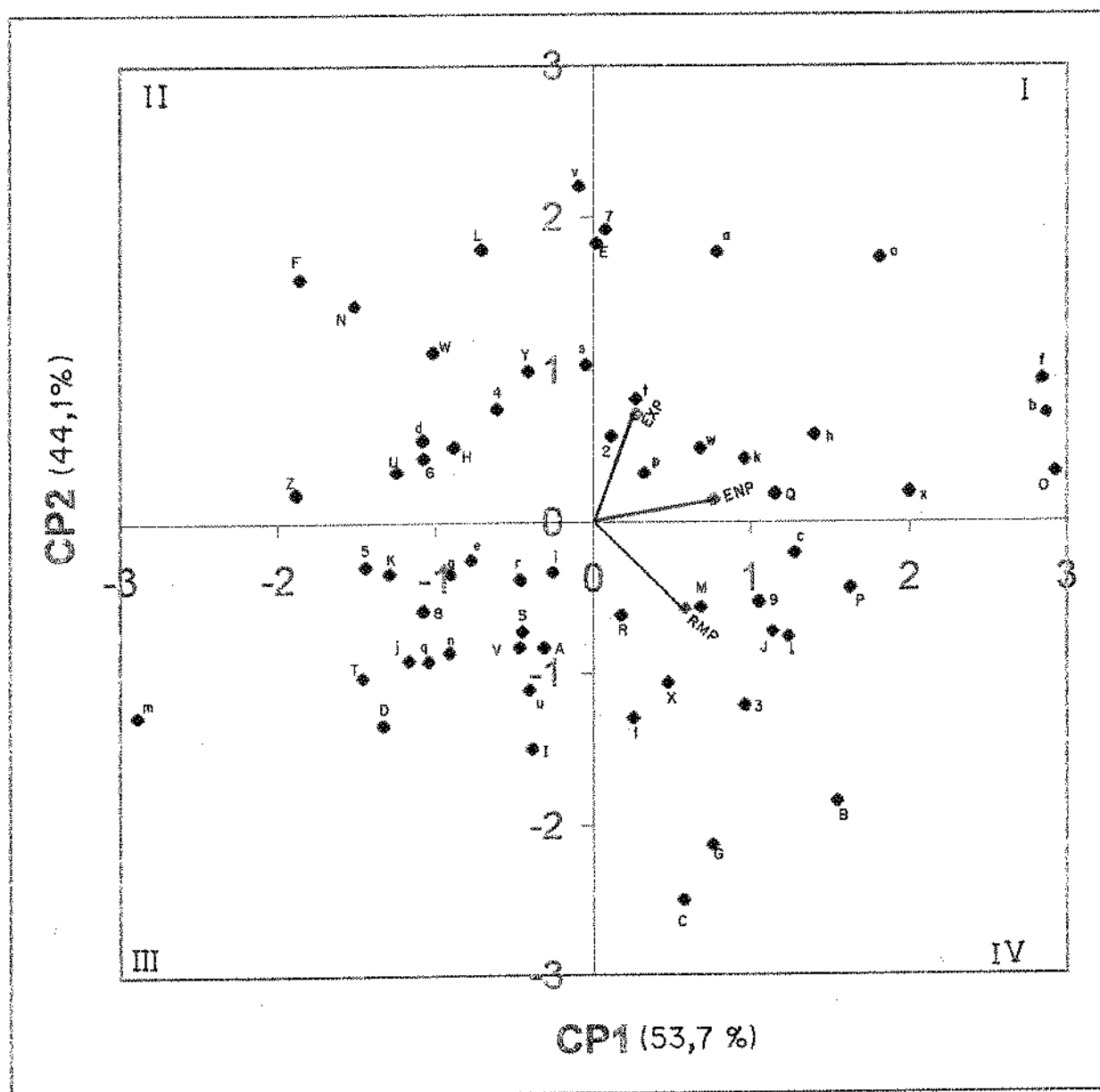


Figura 8: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* do AQG.

*RMP, EXP, ENP= resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia, respectivamente, medidos no AQG.

Ainda na Figura 8, observando-se o eixo CP2, verificamos que a variável extensibilidade (EXP) esteve em maior intensidade nas amostras 7, E, a, o, situadas no quadrante I, e nas amostras F, L, N, v, localizadas no quadrante II, cuja faixa variou de 136 a 181 mm. A amostra F, além de possuir o maior peso na variável extensibilidade (181 mm), possui o menor peso do parâmetro resistência à extensão (0,28 N).

Em contrapartida, a amostra m possui os menores pesos para as variáveis extensibilidade (52 mm) e energia (0,024 J).

4.5. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE INSTRUMENTOS REOLÓGICOS

4.5.1. Avaliação Estatística entre Extensógrafo e AQQ

A Análise de Componentes Principais dos parâmetros provenientes do AQQ e Extensógrafo e sua representação gráfica estão na Tabela 18 e Figura 9.

Tabela 18: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros do AQQ e Extensógrafo obtidos das amostras de farinha de trigo.

VETORES ^a	CP1 ^b	CP2 ^c
RE1	0,307140	0,014029
RE2	0,312609	-0,056403
RE3	0,309054	-0,053268
RME1	0,308500	0,095395
RME2	0,316666	0,029278
RME3	0,313368	0,031889
EXE1	-0,163654	0,422877
EXE2	-0,213107	0,375375
EXE3	-0,177022	0,431658
A1	0,273839	0,253198
A2	0,293502	0,194204
A3	0,290052	0,205793
RMP	0,187519	0,295860
EXP	-0,185638	0,231973
ENP	0,018897	0,437299

^a RE1, RE2 e RE3: resistência à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

RME1, RME2 e RME3: resistência máxima à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

EXE1, EXE2 e EXE3: extensibilidade aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

A1, A2 e A3: energia aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.

RMP, EXP e ENP: resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia medidos no AQQ.

^bProporção = 64,4%

^cProporção = 19,3%

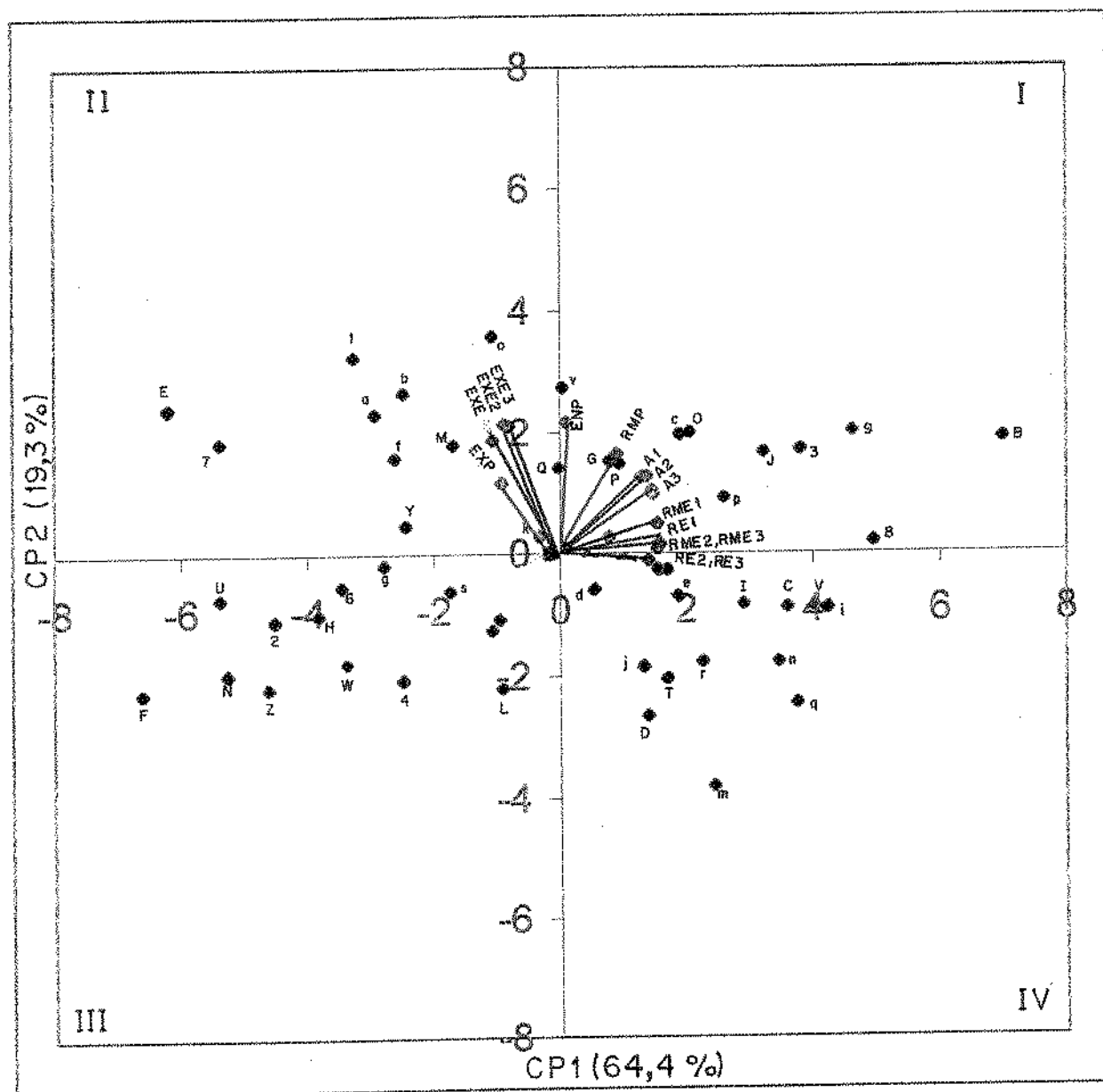


Figura 9: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* do Extensógrafo e AQG.

* RE1, RE2 e RE3: resistência à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;
 RME1, RME2 e RME3: resistência máxima à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;
 EXE1, EXE2 e EXE3: extensibilidade aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;
 A1, A2 e A3: energia aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.
 RMP, EXP e ENP: resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia medidos no AQG.

OBS: para melhor visualização dos vetores, foi usado o fator 5 para multiplicar as suas coordenadas de localização

O primeiro componente principal (CP1) correspondeu a 64,4% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) respondeu à 19,3% das observações iniciais. Portanto, CP1 e CP2 explicaram 83,7% da variação total das observações.

De modo geral, através da Figura 9, verifica-se que a maioria dos vetores resultantes de parâmetros similares mas obtidos de diferentes equipamentos, localizaram-se no mesmo quadrante. Em outras palavras, significa que variáveis que medem atributos semelhantes encontram-se próximas entre si e portanto, mostram uma tendência similar com relação às medidas reológicas, independente do equipamento que foi utilizado. Isto pode ser verificado facilmente na Figura 9 quando, por exemplo, o parâmetro extensibilidade é analisado: todos os vetores localizaram-se no quadrante II, independentemente se foi obtido do AQG (EXP) ou do Extensógrafo (EXE1, EXE2, EXE3). Além disso, o primeiro componente principal (CP1) atribuiu pesos semelhantes para todos os vetores extensográficos analisados.

As variáveis de energia, obtidas pelo extensograma (A1, A2, A3) e através do AQG (ENP), situaram-se no quadrante I. Pesos semelhantes tiveram as variáveis A1, A2 e A3 e seus vetores situaram-se entre os eixos CP1 e CP2, sendo que A2 e A3 praticamente se sobrepuseram. Já o vetor ENP formou menor ângulo com o eixo CP2.

Na Figura 9 verifica-se que, as variáveis de resistência à extensão (RE) e resistência máxima à extensão (RME) formaram menores ângulos com o eixo CP1, sendo que os vetores RE1, RME1, RME2 e RME3 situaram-se no quadrante I e os vetores RE2 e RE3 localizaram-se no quadrante IV. Já o parâmetro de resistência máxima à extensão do AQG (RMP), teve seu vetor situado no quadrante I, porém, centralizado entre os eixos CP1 e CP2.

De um modo geral, pode-se dizer que no eixo CP1, as variáveis mais importantes foram representadas por RE e RME, enquanto que no CP2, foram ENP e EXE.

4.5.2. Avaliação Estatística entre Farinógrafo e AQG

A Análise de Componentes Principais dos parâmetros provenientes do AQG e Farinógrafo está na Tabela 19 e sua representação gráfica encontra-se na Figura 10.

O primeiro componente principal (CP1) correspondeu a 44,7% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) respondeu à 23,1% das observações iniciais. Portanto, CP1 e CP2 explicaram 67,8% da variação total das observações.

Tabela 19: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros do AQG e Farinógrafo obtidos das amostras de farinha de trigo.

VETORES ^a	CP1 ^b	CP2 ^c
ABS	0,283665	0,386444
TD	0,422873	-0,138118
EST	0,516729	-0,126259
IT	-0,515159	0,145999
RMP	0,350947	-0,096320
EXP	-0,043567	0,707575
ENP	0,288536	0,533280

^aABS, TD, EST e IT: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância, respectivamente, medidos no Farinógrafo;

RMP, EXP e ENP: resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia, respectivamente, medidos no AQG.

^bProporção = 44,7%

^cProporção = 23,1%

Na Figura 10, observa-se que o vetor absorção de água (ABS) e energia (ENP) situaram-se no quadrante I. No quadrante II estão localizados os vetores índice de tolerância (IT) e extensibilidade (EXP). Os demais vetores, ou seja, tempo de desenvolvimento (TD), estabilidade (EST) e resistência máxima à extensão (RMP) situaram-se no quadrante IV.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu maiores pesos para as variáveis estabilidade (EST) e índice de tolerância (IT). Já o segundo componente principal (CP2), atribuiu maiores pesos para os parâmetros extensibilidade (EXP) e energia (ENP). Portanto, de modo geral, pode-se dizer que no eixo CP1 os parâmetros mais importantes foram EST e IT, enquanto que no eixo CP2, destacaram-se os parâmetros EXP e ENP.

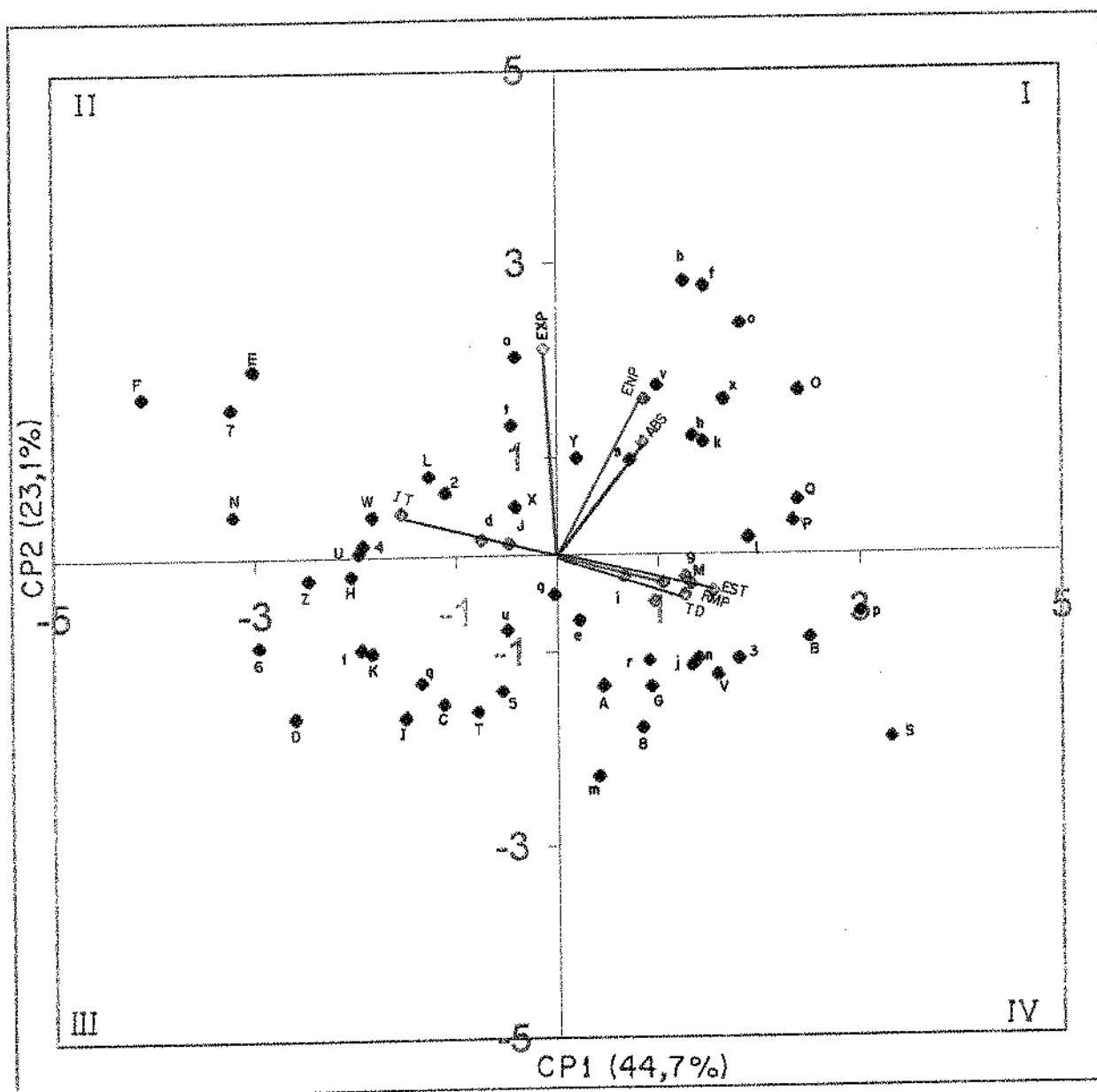


Figura 10: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* do Farinógrafo e AQG.

*ABS, TD, EST e IT: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância, respectivamente, medidos no Farinógrafo; RMP, EXP e ENP: resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia, respectivamente, medidos no AQG.

OBS: para melhor visualização dos vetores, foi usado o fator 3 para multiplicar as suas coordenadas de localização

4.5.3. Correlação linear entre AQQ, Extensógrafo e Farinógrafo

Na Tabela 20 estão descritas as correlações lineares entre os parâmetros dos instrumentos AQQ, Extensógrafo e Farinógrafo.

Tabela 20: Correlação linear^a entre os parâmetros do AQQ, Farinógrafo e Extensógrafo obtidos das amostras de farinha de trigo.

Parâmetros ^b	RMP	EXP	ENP	ABS	TD	EST	IT
RE1	0,5272	-0,4532	0,1049	0,1365	0,4127	0,6050	-0,7177
RE2	0,4518	-0,5353	-0,0152	0,0625	0,3313	0,5307	-0,6631
RE3	0,4884	-0,5520	-0,0018	-0,0221	0,3197	0,5043	-0,6367
RME1	0,5799	-0,4686	0,1496	0,0881	0,4248	0,6530	-0,7397
RME2	0,5397	-0,5470	0,0581	0,0190	0,3328	0,5680	-0,6806
RME3	0,5667	-0,5614	0,0358	-0,0523	0,3593	0,5706	-0,6527
EXE1	-0,0533	0,4331	0,2763	-0,0439	-0,0581	-0,0960	0,3287
EXE2	-0,1198	0,5136	0,2516	-0,1131	-0,1403	-0,2326	0,4637
EXE3	-0,0087	0,5036	0,3626	-0,0208	-0,1107	-0,1524	0,3840
A1	0,6150	-0,3075	0,2852	0,0929	0,4335	0,6843	-0,6982
A2	0,6071	-0,3930	0,2001	0,0079	0,4145	0,6745	-0,6940
A3	0,6511	-0,3995	0,2249	-0,0132	0,3879	0,6341	-0,6625
RMP	1,0000	-0,3342	0,5839	0,0437	0,1833	0,4102	-0,5079
EXP	-0,3342	1,0000	0,4706	0,2641	-0,0329	-0,0970	0,2369
ENP	0,5839	0,4706	1,0000	0,3644	0,0817	0,2666	-0,2983

^ap < 0,05

^b RE1, RE2 e RE3: resistência à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

RME1, RME2 e RME3: resistência máxima à extensão aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

EXE1, EXE2 e EXE3: extensibilidade aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente;

A1, A2 e A3: energia aos 45, 90 e 135 minutos, respectivamente.

ABS, TD, EST e IT: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância, respectivamente, medidos no Farinógrafo;

RMP, EXP e ENP: resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia medidos no AQQ.

Comparando-se variáveis semelhantes nos equipamentos Extensógrafo e AQQ e, através da observação da Tabela 20, verifica-se que RMP apresentou correlação linear significativa ($p < 0,05$) frente aos parâmetros de resistência à extensão RE1, RE2 e RE3, na faixa de 0,4518 a 0,5272, e com relação aos parâmetros resistência máxima à extensão, RME1, RME2 e RME3, na faixa de 0,5397 a 0,5799. Do mesmo modo, observando-se os parâmetros referentes à extensibilidade, encontramos a correlação linear significativa ($p < 0,05$) variando de 0,4331 a 0,5136 resultantes entre EXP do AQQ e EXE1, EXE2, EXE3 do Extensógrafo. As menores correlações lineares encontradas em variáveis semelhantes desses instrumentos ocorreu com relação às medidas de energia (ENP e A1, A2, A3), que variou entre 0,2001 a 0,2852. Porém, analisando-se

ainda a correlação linear entre os parâmetros do Extensógrafo e AQG, percebe-se que a maior faixa resultou entre variáveis diferentes, obtidas entre RMP e A1, A2, A3 (0,6071 a 0,6511).

Analisando-se os parâmetros farinográficos (ABS, TD, EST, IT) com relação às variáveis dadas pelo AQG (RMP, EXP, ENP), nota-se que a melhor correlação linear ocorreu entre EST e RMP (0,4102).

4.6. TESTE DE PANIFICAÇÃO

EL-DASH (1978) desenvolveu um método denominado teste experimental de panificação com a finalidade de classificar farinhas de trigos de acordo com suas qualidades tecnológicas.

4.6.1. Avaliação das Características Externas

Um dos fatores mais importantes para o julgamento de um pão é o seu volume. Este depende de uma série de fatores, não só da formulação e manipulação, como também da qualidade dos ingredientes, especialmente da farinha, que se encontra em maior proporção. O volume específico representa o volume médio de um grama de pão e é usado como índice de qualidade geral do pão. A cor da crosta, resultado do desenvolvimento da reação de Maillard durante o tratamento térmico da massa no forno, a ausência de quebra devido a uma farinha fraca ou manipulação incorreta da massa e os defeitos de simetria resultantes do tipo de processamento, são os outros fatores considerados no julgamento das características externas dos pães, além do escore volume. As características externas dos pães produzidos a partir das amostras estudadas estão apresentados na Tabela 21.

A somatória das características externas dos pães variou entre 23,2 (amostra X) e 37,9 (amostra M) para um máximo de 40 pontos. Estes resultados foram superiores aos relatados por GOTTSCHALD (1996) que, estudando 9 linhagens de trigo, encontrou a faixa de 22,0 a 31,7 pontos. O escore VO (volume específico x 3,33) dos pães variou entre 9,2 (amostra X) e 19,2 (amostra G), conforme mostra a Tabela 21.

As amostras 3, 6, 8, A, G, M, g e j apresentaram os maiores volumes específicos (acima de 5,0 cm³/g), enquanto que as amostras C, D, T, X e u apresentaram os menores valores (abaixo de 3,6 cm³/g). Porém, a maioria das amostras analisadas, ou seja, cerca de 78%, resultaram em pães com volumes específicos situados numa faixa intermediária (3,6 a 5,0 cm³/g). As amostras com maiores volumes específicos citadas anteriormente apresentaram melhores características com relação à cor da crosta, quebra e simetria e conseqüentemente, obtiveram altas pontuações (acima de 34,0) nas somatórias de

suas características externas (CE), resultantes de pães simétricos e com superfícies regulares. As características externas das amostras que tiveram os menores volumes específicos caracterizaram-se por formatos assimétricos, superfícies irregulares e bordas caídas, acarretando baixas pontuações (abaixo de 25,0).

Tabela 21. Características externas^a dos pães.

Amostra	VO ^b	CCR ^c	QUE ^d	SIM ^e	CE ^f	Amostra	VO ^b	CCR ^c	QUE ^d	SIM ^e	CE ^f
1	15,9	8,0	4,5	4,0	32,4	V	14,5	8,5	4,5	5,0	32,5
2	13,4	7,0	2,0	2,0	24,4	W	13,0	8,0	3,5	4,0	28,5
3	17,0	8,0	5,0	4,5	34,5	X	9,2	8,0	2,5	3,5	23,2
4	15,6	8,0	4,0	5,0	32,6	Y	13,6	8,5	3,0	4,5	29,6
5	16,1	10,0	4,5	5,0	35,6	Z	14,2	8,5	4,5	4,0	31,2
6	17,6	7,5	4,0	4,0	34,1	a	13,6	8,5	4,5	4,5	31,1
7	13,0	7,5	3,0	5,0	27,5	b	14,5	9,5	4,5	4,5	33,0
8	18,3	9,0	5,0	5,0	37,3	c	13,9	9,5	4,5	4,6	32,5
9	15,4	8,5	4,5	5,0	33,4	d	13,5	9,5	4,5	4,8	32,3
A	18,0	7,5	4,0	4,5	34,0	e	12,6	9,5	4,0	4,6	30,7
B	15,6	9,0	4,5	5,0	34,1	f	15,4	9,0	4,0	4,5	32,9
C	10,1	8,0	3,0	3,0	24,1	g	17,3	8,0	4,5	4,5	34,3
D	11,8	7,0	2,0	3,0	23,8	h	16,4	8,5	4,0	4,5	33,4
E	15,5	8,0	3,0	3,5	30,0	i	15,7	9,0	4,0	4,5	33,2
F	12,9	7,0	2,0	3,0	24,9	j	17,1	9,0	4,0	4,5	34,6
G	19,2	8,0	5,0	5,0	37,2	k	15,6	9,0	4,0	4,5	33,1
H	15,8	8,0	4,5	4,5	32,8	l	13,6	9,0	4,0	4,0	30,6
I	14,7	8,0	4,5	4,5	31,7	m	15,5	8,0	4,5	4,0	33,0
J	16,2	9,0	4,5	5,0	34,7	n	16,2	9,0	4,5	4,5	34,2
K	16,2	9,0	4,5	4,5	34,2	o	15,8	9,0	4,5	4,5	33,8
L	14,3	7,0	3,5	4,5	29,3	p	16,4	8,0	4,5	4,5	33,4
M	18,9	9,0	5,0	5,0	37,9	q	13,5	8,0	4,0	4,0	29,5
N	14,1	8,0	3,5	3,5	29,1	r	15,6	8,0	4,0	4,5	32,1
O	12,3	9,0	4,0	4,5	30,8	s	15,3	9,0	4,0	4,5	32,8
P	13,8	9,0	4,5	5,0	32,3	t	15,7	9,0	4,0	4,5	33,2
Q	13,2	8,5	4,0	4,5	30,2	u	10,9	7,0	3,0	3,5	24,4
R	13,5	9,0	4,5	4,0	32,0	v	15,8	9,0	4,5	4,0	33,3
S	13,0	9,5	4,0	4,5	31,0	w	16,5	8,0	4,5	4,5	33,5
T	10,3	8,0	2,5	4,0	24,8	x	13,1	8,0	3,0	4,0	28,1
U	12,5	8,0	3,5	3,5	27,5						
Pontuação Máxima	20,0	10,0	5,0	5,0	40,0		20,0	10,0	5,0	5,0	40,0

^aMédia de duplicatas

^bVolume específico x 3,33

^cCor da crosta

^dQuebra

^eSimetria

^fCaracterísticas externas

O resultado da Análise de Componentes Principais das características externas dos pães e sua representação gráfica estão apresentados na Tabela 22 e Figura 11.

Tabela 22: Análise dos Componentes Principais das características externas dos pães das amostras analisadas.

COMPONENTES PRINCIPAIS	PROPORÇÃO (%)	VETORES			
		VO ^a	CCR ^b	QUE ^c	SIM ^d
CP1	67,9	0,454176	0,418295	0,566350	0,545895
CP2	20,3	-0,658529	0,750014	-0,054287	0,029505
CP1+CP2	88,2				

^a Volume específico x 3,33

^b Cor da crosta

^c Quebra

^d Simetria

O primeiro componente principal (CP1) explicou a maior parte da variabilidade entre as amostras (67,9%) e o segundo componente principal (CP2) respondeu a 20,3%. Juntos, CP1 e CP2 foram responsáveis por 88,2% da variabilidade total.

No primeiro componente principal (CP1), os vetores mais importantes foram quebra (QUE) e simetria (SIM), porque formaram menores ângulos com este eixo. Já no segundo componente principal (CP2) a variabilidade das amostras deveu-se principalmente aos vetores cor da crosta (CCR) e volume específico x 3,33 (VO). Na Figura 11, observa-se que os vetores CCR e SIM situaram-se no quadrante I, enquanto que os outros vetores (QUE e VO) localizaram-se no quadrante IV.

De modo geral, pode-se dizer que as amostras situadas nos quadrantes I (5, a, b, c, d, e, f, i, k, n, o, s, t, v, B, J, K, O, P, R, S, V, Z) e IV (1, 3, 4, 6, 8, 9, g, h, j, p, r, m, w, A, G, H, I, M) apresentaram pães com as melhores características externas, o que pode ser evidenciado através dos altos valores de CE, mostrado na Tabela 21, que estão na faixa de 30,7 a 37,9 pontos, para a pontuação máxima de 40. Dentro deste grupo, destacamos as amostras 8, G, M (situadas no quadrante IV), que possuem os maiores volumes específicos e obtiveram a pontuação máxima nas variáveis quebra e simetria.

O oposto pode ser dito das amostras situadas nos quadrantes II (l, x, C, Q, T, U, W, X, Y) e III (q, u, 2, 7, D, E, F, L, N), que obtiveram baixas pontuações para CE (23,2 a 30,6 pontos, numa pontuação máxima de 40), mostrado na Tabela 21.

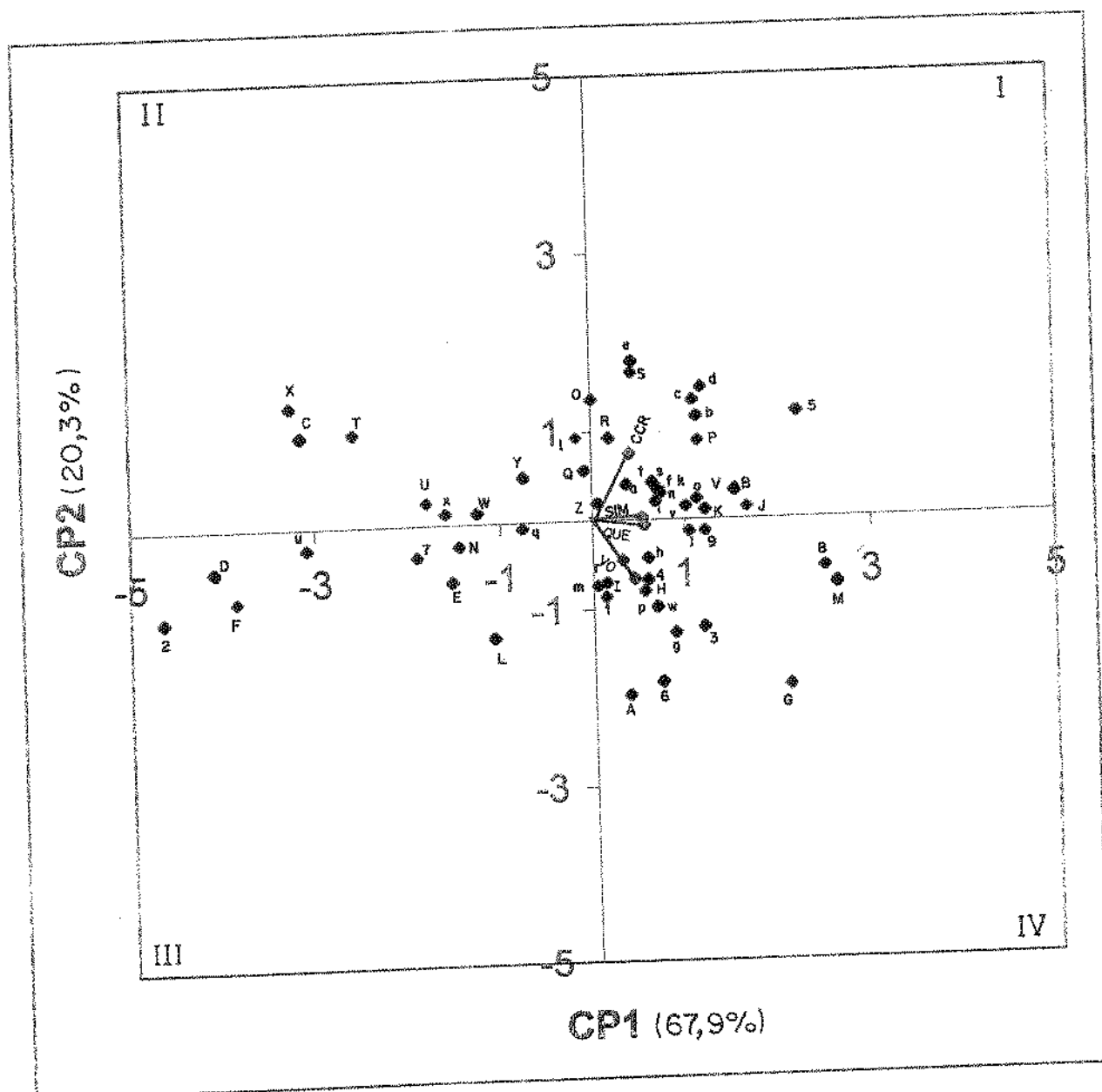


Figura 11: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* das características externas do teste de panificação.

*CCR, QUE, SIM, VO = cor da crosta, quebra, simetria e volume específico x 3,33, respectivamente.

As amostras C, T, X (situadas no quadrante II) tiveram comportamento semelhante às amostras 2, D, F (situadas no quadrante III), pois apresentaram pães com características externas pouco desejáveis. Porém, o primeiro grupo destacou-se em função de seus menores pesos na variável volume específico, como mostrou a Tabela 21.

4.6.2. Avaliação das Características Internas

São vários os fatores que contribuem para o julgamento das características internas dos pães, tais como a cor do miolo, a textura e as características da crosta. Todos estes fatores dependem da qualidade da farinha, ingredientes e processamento.

As características internas dos pães produzidos a partir das amostras estudadas estão apresentados na Tabela 23.

A somatória das características internas das amostras variou entre 22,0 (amostra 2) e 32,5 (amostra S) para um máximo de 35 pontos. CAMARGO et al (1993), que estudou o cultivar IAC-24, encontrou valor de características internas igual ao valor do extremo superior descrito neste trabalho.

Tabela 23. Características internas^a dos pães.

Amostra	CAC ^b	CMI ^c	EMI ^d	TEX ^e	CI ^f	Amostra	CAC ^b	CMI ^c	EMI ^d	TEX ^e	CI ^f
1	4,0	7,0	7,5	8,5	27,0	V	4,0	7,0	8,0	8,0	27,0
2	3,0	7,0	6,0	6,0	22,0	W	3,5	8,0	7,5	7,5	26,5
3	4,0	8,5	8,5	9,0	30,0	X	3,0	8,0	6,5	8,0	25,5
4	4,0	7,5	7,5	7,5	26,5	Y	3,5	6,5	7,0	7,5	24,5
5	4,0	8,0	8,0	8,5	28,5	Z	3,0	6,5	7,0	7,5	24,0
6	3,5	7,5	7,5	8,0	26,5	a	4,0	7,5	7,5	8,0	27,0
7	3,5	8,0	7,5	7,5	26,5	b	4,5	6,5	7,5	8,0	26,5
8	4,5	8,5	9,0	9,0	31,0	c	4,5	7,5	7,5	8,0	27,5
9	5,0	9,0	9,0	9,0	32,0	d	4,5	7,0	7,0	8,5	27,0
A	3,5	8,0	8,0	8,0	27,5	e	4,5	7,0	7,0	8,0	26,5
B	4,5	8,5	8,5	8,5	30,0	f	4,5	7,0	8,0	8,0	27,5
C	3,5	8,0	7,5	7,5	26,5	g	3,5	6,0	8,0	8,5	26,0
D	3,0	8,5	6,0	8,0	25,5	h	4,0	6,5	8,0	8,0	26,5
E	4,0	7,0	7,0	7,5	25,5	i	4,5	7,5	8,0	8,0	28,0
F	3,0	7,0	6,0	7,5	23,5	j	4,0	7,5	8,0	8,0	27,5
G	4,0	8,5	9,0	9,0	30,5	k	4,5	7,5	8,0	7,5	27,5
H	3,5	8,0	7,5	8,0	27,0	l	4,0	8,0	8,0	7,5	27,5
I	3,5	8,0	8,0	8,5	28,0	m	4,0	6,5	8,0	7,5	26,0
J	4,5	8,5	8,0	8,5	29,5	n	4,5	6,0	8,0	7,5	26,0
K	3,5	8,0	7,5	8,0	27,0	o	4,5	8,0	8,0	8,0	28,5
L	3,5	8,5	7,0	7,5	26,5	p	3,5	9,0	9,0	8,5	30,0
M	3,5	8,5	8,0	8,5	28,5	q	3,5	8,0	7,5	7,0	26,0
N	3,5	8,0	7,0	7,5	26,0	r	3,5	8,5	9,0	8,0	29,0
O	4,0	7,0	7,5	7,5	26,0	s	4,0	8,0	8,0	8,0	28,0
P	4,5	8,0	8,0	7,5	28,0	t	4,0	8,5	8,5	8,5	29,5
Q	4,0	7,0	7,0	7,0	25,0	u	3,0	7,0	7,5	7,5	25,0
R	4,5	6,5	7,0	7,0	25,0	v	4,0	8,0	8,0	9,0	29,0
S	5,0	10,0	9,0	8,5	32,5	w	4,0	8,0	8,0	7,5	27,5
T	3,5	6,5	6,0	7,0	23,0	x	4,0	6,5	6,5	7,0	24,0
U	3,5	6,5	7,0	7,0	24,0						
Pontuação Máxima	5,0	10,0	10,0	10,0	35,0		5,0	10,0	10,0	10,0	35,0

^aMédia de duplicatas^bCaracterística da crosta^cCor do miolo^dEstrutura do miolo^eTextura do miolo^fCaracterísticas internas

O resultado da Análise de Componentes Principais das características internas dos pães e sua representação gráfica estão apresentados na Tabela 24 e Figura 12.

Tabela 24: Análise dos Componentes Principais das características internas dos pães das amostras analisadas.

COMPONENTES PRINCIPAIS	PROPORÇÃO (%)	VETORES			
		CAC ^a	CMI ^b	EMI ^c	TEX ^d
CP1	59,4	0,389826	0,455840	0,581880	0,549237
CP2	22,4	0,784151	-0,603276	0,068440	-0,128376
CP1+CP2	81,8				

^aCaracterística da crosta

^bCor do miolo

^cEstrutura do miolo

^dTextura do miolo

O primeiro componente principal (CP1) explicou a maior parte da variabilidade entre as amostras (59,4%), enquanto que o segundo componente principal (CP2) respondeu a 22,4%. Juntos, CP1 e CP2 responderam por 81,8% da variabilidade total.

No primeiro componente principal (CP1), os vetores mais importantes foram estrutura do miolo (EMI) e textura do miolo (TEX), porque formaram menores ângulos com este eixo. Já no segundo componente principal (CP2) a variabilidade das amostras deveu-se principalmente aos vetores característica da crosta (CAC) e cor do miolo (CMI).

Os vetores CAC e EMI estão localizados no quadrante I, enquanto que os outros vetores (TEX e CMI) estão situados no quadrante IV.

De um modo geral, pode-se dizer que as amostras situadas nos quadrantes I (1, 8, 9, a, c, d, f, j, i, k, o, s, B, J, P, V) e IV (3, 5, A, G, I, M, S, l, p, r, t, v, w) resultaram em pães com as melhores características internas, o que pode ser confirmado verificando-se os altos valores de CI, mostrado na Tabela 23, que estão na faixa de 27,0 a 32,5 pontos para uma pontuação máxima de 35. Neste grupo, podemos destacar as amostras 8, 9, G, S, que obtiveram as maiores pontuações. Comportamento oposto tiveram as amostras situadas nos quadrantes II (4, b, e, g, h, m, n, x, E, O, Q, R, T, U, X, Y) e III (2, 6, 7, D, F, H, K, L, N, Z, q, u), pois apresentaram características internas de baixa qualidade, resultado

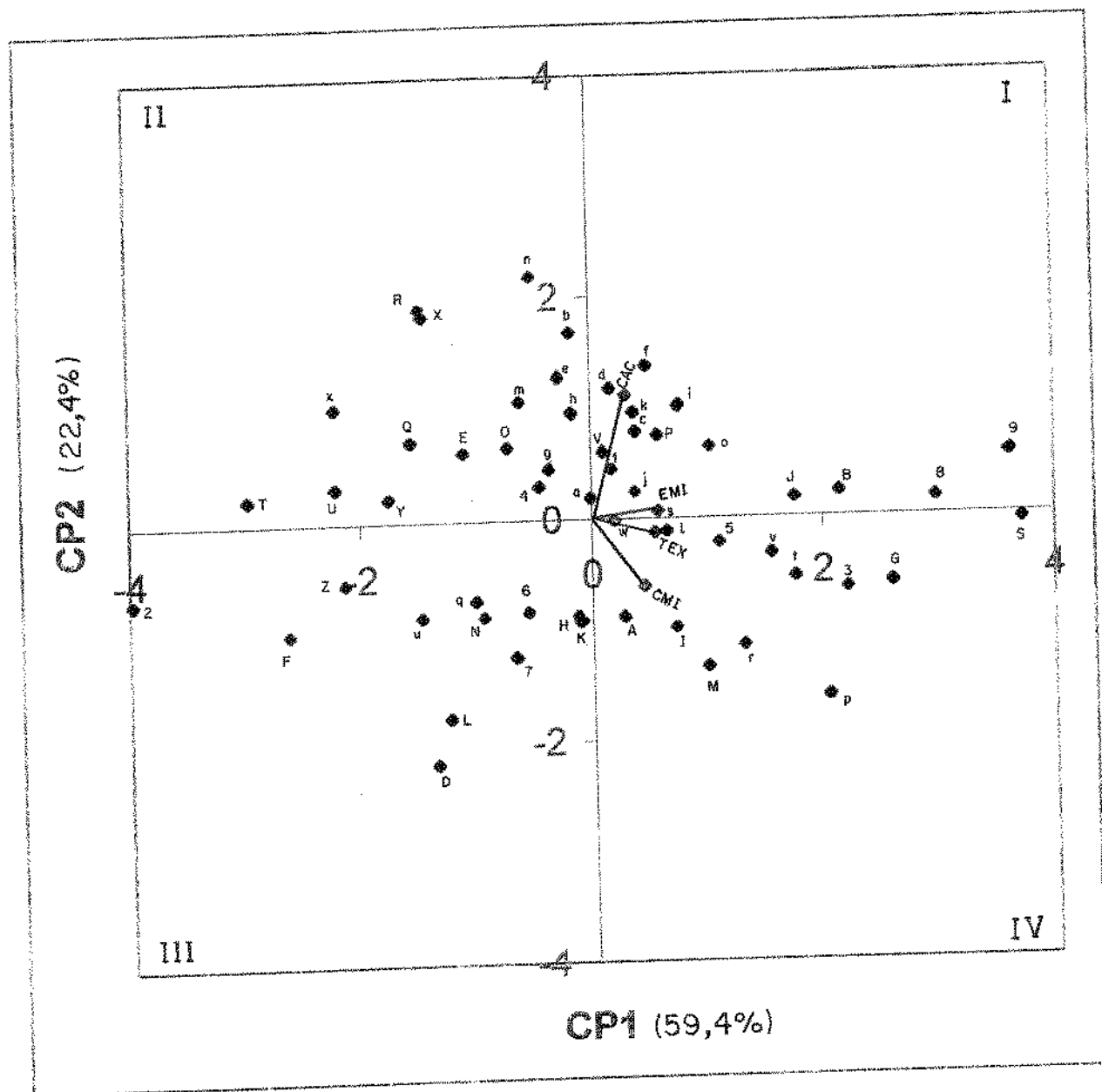


Figura 12: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* das características internas de panificação.

*CAC, CMI, EMI, TEX= características da crosta, características do miolo, estrutura do miolo e textura do miolo, respectivamente.

das menores pontuações obtidas para CI, observados na Tabela 23, que estão na faixa de 22,0 a 27,0 para uma pontuação máxima de 35 pontos. Dentre este grupo, destacamos as amostras 2, F, T, que obtiveram pontuações inferiores.

4.6.3. Avaliação Global do Teste de Panificação

A Tabela 25 apresenta a avaliação final das amostras submetidas ao teste de panificação, em ordem decrescente de pontuação total (TOT). A pontuação total (TOT) foi obtida somando-se os valores de CE e CI, fornecidos pelas características externas e internas respectivamente.

A pontuação total obtida pelas amostras estudadas variou entre 46,4 (amostra 2) e 68,3 (amostra 8) para um máximo de 75 pontos possíveis.

De acordo com classificação adaptada da qualidade do pão, sugerida por GOTTSCHALD (1996) e citada na Tabela 6, em função da pontuação total, temos que as amostras 2, 7, C, D, F, T, U, W, X, Y, u e x foram classificadas como REGULARES (entre 45 e 55 pontos) e encontram-se no final da Tabela 25; as amostras 8, 9, G e M foram consideradas como sendo MUITO BOAS (mais de 65 pontos) e por isso são as primeiras na Tabela 25; as demais amostras, ou seja, 76,3% delas, pertencem à classe das farinhas BOAS (entre 55 e 65 pontos) e estão espalhadas no centro da Tabela 25.

TABELA 25. Avaliação global do teste de panificação^a, em ordem decrescente de pontuação total (TOT):

Amostra	CE ^b	CI ^c	TOT ^d	Amostra	CE ^b	CI ^c	TOT ^d
8	37,3	31,0	68,3	b	33,0	26,5	59,5
G	37,2	30,5	67,7	V	32,5	27,0	59,5
M	37,9	28,5	66,4	l	32,4	27,0	59,4
9	33,4	32,0	65,4	d	32,3	27,0	59,3
3	34,5	30,0	64,5	4	32,6	26,5	59,1
J	34,7	29,5	64,2	a	31,1	27,0	58,1
5	35,6	28,5	64,1	l	30,6	27,5	58,1
B	34,1	30,0	64,1	m	33,0	26,0	58,0
S	31,0	32,5	63,5	e	30,7	26,5	57,2
p	33,4	30,0	63,4	R	32,0	25,0	56,0
r	33,2	29,5	62,7	L	29,3	26,5	55,8
v	33,3	29,0	62,3	O	30,8	26,0	55,8
o	33,8	28,5	62,3	q	29,5	26,0	55,5
j	34,6	27,5	62,1	E	30,0	25,5	55,5
A	34,0	27,5	61,5	Z	31,2	24,0	55,2
K	34,2	27,0	61,2	Q	30,2	25,0	55,2
i	33,2	28,0	61,2	N	29,1	26,0	55,1
r	32,1	29,0	61,1	W	28,5	26,5	55,0
w	33,5	27,5	61,0	Y	29,6	24,5	54,1
s	32,8	28,0	60,8	7	27,5	26,5	54,0
k	33,1	27,5	60,6	x	28,1	24,0	52,1
6	34,1	26,5	60,6	U	27,5	24,0	51,5
f	32,9	27,5	60,4	C	24,1	26,5	50,6
g	34,3	26,0	60,3	u	24,4	25,0	49,4
P	32,3	28,0	60,3	D	23,8	25,5	49,3
n	34,2	26,0	60,2	X	23,2	25,5	48,7
c	32,5	27,5	60,0	F	24,9	23,5	48,4
h	33,4	26,5	59,9	T	24,8	23,0	47,8
H	32,8	27,0	59,8	2	24,4	22,0	46,4
I	31,7	28,0	59,7				
Pontuação Máxima	40,0	35,0	75,0		40,0	35,0	75,0

^aMédia de duplicatas

^bCaracterísticas externas

^cCaracterísticas internas

^dPontuação total

Os resultados da Análise de Componentes Principais da avaliação global do teste de panificação e sua representação gráfica, estão apresentados na Tabela 26 e Figura 13, respectivamente.

Tabela 26: Análise de Componentes Principais da avaliação global do teste de panificação.

COMPONENTES PRINCIPAIS	PROPORÇÃO (%)	VETORES		
		CE ^a	CI ^b	TOT ^c
CP1	88,3	0,569496	0,547484	0,613136
CP2	11,6	-0,633915	0,767370	-0,096408
CP1+CP2	99,9			

^aCaracterísticas externas

^bCaracterísticas internas

^cPontuação total

O primeiro componente principal (CP1) explica a maior parte da variação entre as amostras (88,3%) e o segundo componente principal (CP2) responde a 11,6%. Juntos, os eixos responderam por 99,9% da variabilidade total.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu pesos semelhantes para todas as variáveis. Porém, o vetor mais importante foi pontuação total (TOT), porque formou menor ângulo com este eixo. Já no segundo componente principal (CP2) a variabilidade das amostras deveu-se principalmente aos vetores CE e CI, referentes às características externas e características internas, respectivamente.

De um modo geral, pode-se dizer que as amostras localizadas nos quadrantes I (3, 8, 9, B, G, I, J, P, S, o, p, r, s, t, v) e IV (1, 4, 5, 6, A, H, K, M, V, b, c, d, f, g, h, i, j, k, n, w) resultaram em pães com as melhores características tecnológicas, o que pode ser averiguado através dos resultados da pontuação total (TOT) que registrou valores na faixa de 59,1 a 68,3 para a pontuação máxima de 75 pontos. As amostras 8, G tiveram comportamento semelhante entre si e destacaram-se das demais devido às suas superiores performances no teste de panificação, cujas pontuações totais alcançaram 68,3 e 67,7, respectivamente. Embora as pontuações totais das amostras 9, M também tenham sido altas (65,4 e 66,4, respectivamente), quando observamos o eixo CP2, verificamos que a variável das características internas estiveram presentes em maiores intensidades na amostra 9, enquanto que na amostra M, estiveram presentes em maiores intensidades as variáveis das características externas.

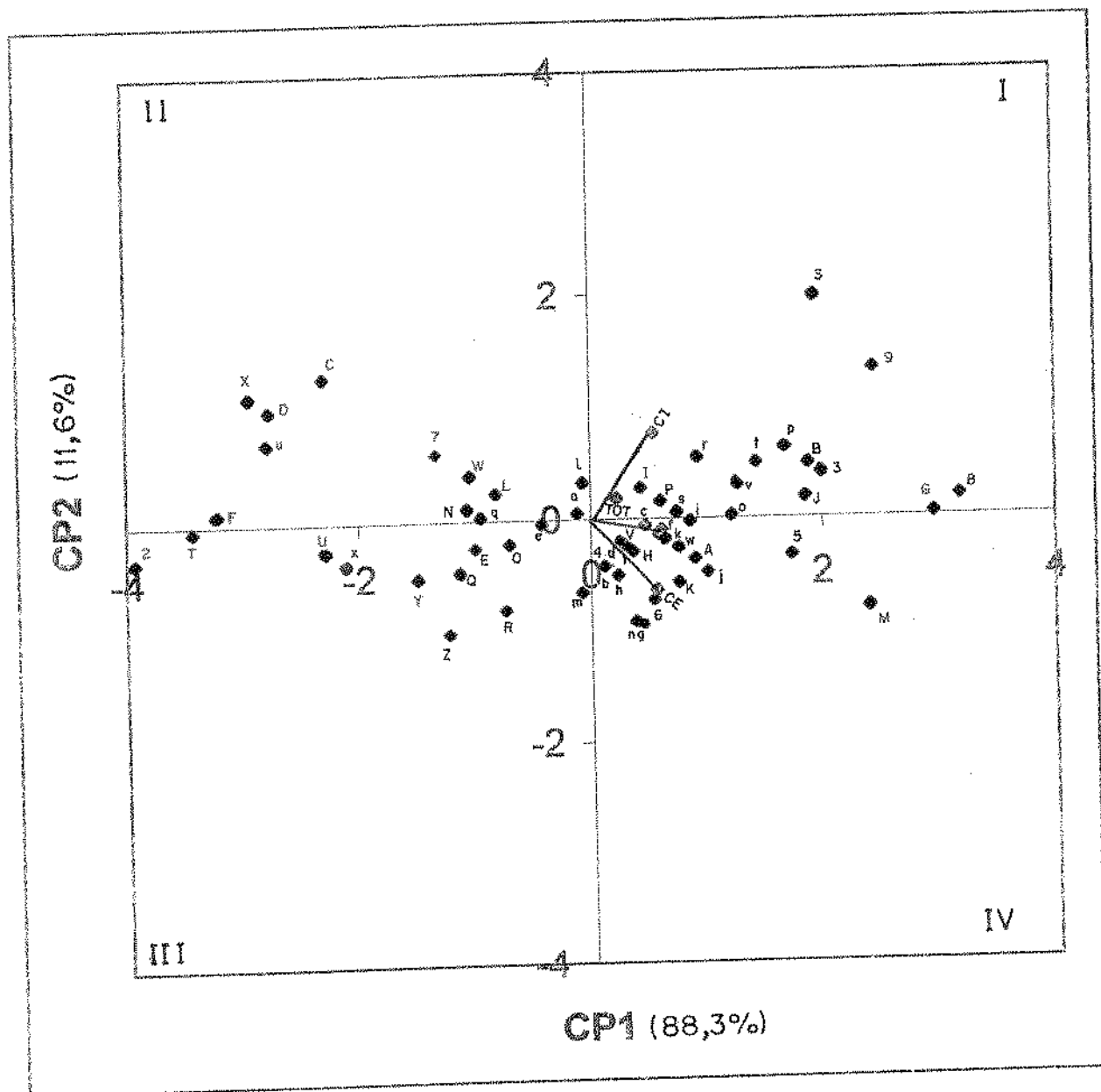


Figura 13: Representação gráfica da ACP da avaliação global das amostras segundo parâmetros* do teste de panificação.

*CE, CI, TOT = características externas, características internas e pontuação total, respectivamente.

■ Amostras REGULARES

● Amostras MUITO BOAS

As amostras localizadas nos quadrantes II (7, C, D, F, L,N, X, W, a, l, q, u) e III (2, E, O, Q, R, T, U, Y, Z, e, m, x) resultaram, de modo geral, em pães com características inferiores, o que pode ser evidenciado pelos valores baixos da pontuação total (TOT), que foram de 46,4 a 58,1 para uma pontuação máxima de 75 pontos. Embora tanto as amostras 2, T, F quanto X, D, C, u tenham características inferiores também, o primeiro grupo destacou-se por possuir os menores valores da pontuação total, que estão na faixa de 46,8 a 48,4 pontos.

Observando-se a localização das amostras classificadas segundo GOTTSCHALD (1996), verifica-se que as farinhas REGULARES, representadas por 2, 7, C, D, F, T, U, W, X, Y, x, u, encontram-se nos quadrantes II e III, e caracterizam-se basicamente por terem baixos pesos nas variáveis do teste de panificação, que refletiram em performances inferiores e por isso encontram-se no final da Tabela 25. Por outro lado, as amostras 8, 9, G (quadrante I) e M (quadrante IV), que representam farinhas MUITO BOAS caracterizam-se por possuírem altos pesos nos parâmetros do teste de panificação, que resultaram nas melhores performances e por esta razão, localizam-se no início da Tabela 25.

Por outro lado, observando-se na Figura 13 a localização das amostras classificadas segundo legislação brasileira, como mostrado na Tabela 12, verifica-se que farinhas tipo MELHORADOR, representadas por 3, 8, 9, B, P, Q, S, p, encontram-se concentradas no quadrante I, com exceção da amostra Q (localizada no quadrante III). Verifica-se que, com exceção das amostras Q e P, as demais encontram-se no início da Tabela 25, o que confirma a boa performance no teste de panificação através das altas pontuações totais (TOT). Ainda na Figura 13, verifica-se que as farinhas tipo COMUM, representadas por 7, E, D, F, N encontram-se situadas no quadrante II, exceto a amostra E (quadrante III). Estas amostras encontram-se dissipadas no final, o que confirma seus inferiores valores de pontuações totais.

4.7. ANÁLISE ENTRE RESPOSTAS REOLÓGICAS E PERFORMANCE DE PANIFICAÇÃO

4.7.1. Avaliação Estatística dos parâmetros do Extensógrafo e do Teste de Panificação

Os resultados da Análise de Componentes Principais dos parâmetros extensográficos e do teste de panificação realizados com as amostras encontram-se na Tabela 27 e sua representação gráfica está na Figura 14.

Tabela 27: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros^a extensográficos e do teste de panificação

VETORES	CP1 ^b	CP2 ^c
RE3	0,419086	-0,374207
RME3	0,448511	-0,297282
EXE3	-0,161440	0,471885
A3	0,451453	-0,155806
CE	0,306601	0,474962
CI	0,401903	0,304862
TOT	0,371217	0,453995

^aRE3, RME3, EXE3 e A3: resistência à extensão, resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia, respectivamente, medidos aos 135 minutos no Extensógrafo;

CE, CI e TOT: características externas, características internas e pontuação total

^bProporção = 55,1%

^cProporção = 30,4%

O primeiro componente principal (CP1) correspondeu a 55,1% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) respondeu à 30,4% das observações iniciais. Logo, a somatória dos eixos explicou 85,6% da variação total.

O vetor da variável resistência à extensão (RE3) e da resistência máxima à extensão (RME3) situam-se no quadrante IV, entre os eixos CP1 e CP2. A variável energia (A3) também localizou-se no quadrante IV, mas formou menor ângulo com o eixo CP1.

O vetor representativo da extensibilidade (EXE3) localizou-se no quadrante II e formou menor ângulo com o eixo CP2.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu pesos maiores para as variáveis energia (A3), resistência máxima à extensão (RME3), resistência à extensão (RE3), sendo que o vetor A3 formou menor ângulo com o eixo CP1, enquanto que os vetores RME3 e RE3 localizaram-se quase centralizados entre os eixos CP1 e CP2.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu pesos menores para todos os vetores representativos dos parâmetros provenientes do teste de panificação (TOT, CE, CI), que situaram-se no quadrante I. Portanto, as amostras situadas no quadrante I (3, 5, 8, 9, A, G, J, M, P, S, c, h, j, o, p, t) representam as farinhas com melhores características tecnológicas, o que pode ser verificado através da alta pontuação total delas, que encontrou-se na faixa de 59,9 a 68,3.

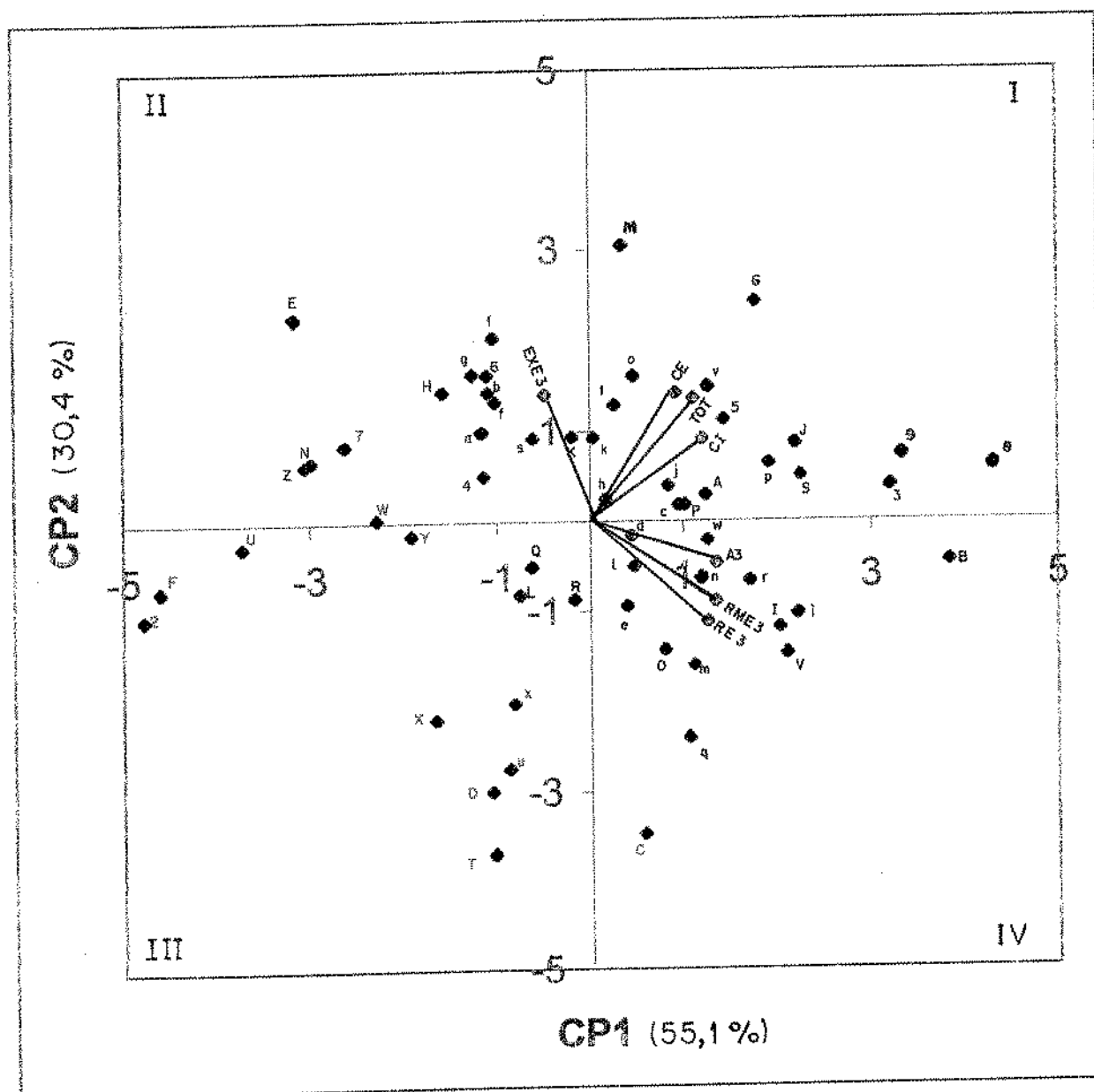


Figura 14: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* do Extensógrafo e da avaliação global do teste de panificação.

*RE3, RME3, EXE3 e A3: resistência à extensão, resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia, respectivamente, medidos aos 135 minutos no Extensógrafo;

CE, CI e TOT: características externas, características internas e pontuação total, respectivamente

■ Amostras REGULARES

■ Amostras MUITO BOAS

OBS: para melhor visualização dos vetores, foi usado o fator 3 para multiplicar as suas coordenadas de localização

Verificando-se a Figura 14, nota-se que as amostras com maiores volumes específicos (acima de $5,0 \text{ cm}^3/\text{g}$) estão distribuídas pelo primeiro e segundo quadrantes, sendo que as amostras 3, 8, A, G, M, j, encontram-se no quadrante I e as amostras 6, g, estão no quadrante II. Já as amostras com menores volumes específicos (C, D, T, X, u), ou seja, valores inferiores a $3,6 \text{ cm}^3/\text{g}$, situam-se quadrante III, exceto a amostra C que se encontra no quadrante IV. Apesar disso, a amostra C tem sua localização próxima às demais amostras de baixos volumes específicos.

De modo mais amplo, utilizando-se a classificação de qualidade citada por GOTTSCHALD (1996), teríamos a maioria das amostras REGULARES (2, 7, C, D, F, T, U, X, W, Y, u, x) concentradas no quadrante III, exceto as amostras 7, C e W. As amostras classificadas como MUITO BOAS (8, 9, G, M) estão concentradas no quadrante I. Segundo a classificação citada por GOTTSCHALD (1996), as amostras que representam forças opostas situam-se em locais distantes no gráfico, sendo facilmente identificadas. Amostras com forças similares ficaram agrupadas entre si.

Analisando-se as amostras sob o ponto de vista da legislação brasileira (conforme citado na Tabela 12), verificamos que as farinhas tipo MELHORADOR (3, 8, 9, B, P, Q, S, V, p) estão localizadas, em sua grande maioria, no quadrante I. As exceções são as amostras Q (quadrante III) e B, V (quadrante IV). Já as farinhas da classe COMUM (7, E, D, F, N) encontram-se dissipadas entre os quadrantes II (7, E, N) e III (D, F).

4.7.2. Avaliação Estatística dos Parâmetros do Farinógrafo e do Teste de Panificação

A Análise de Componentes Principais dos parâmetros farinográficos e do Teste de Panificação resultantes das amostras encontram-se na Tabela 28 e sua representação gráfica, na Figura 15.

Tabela 28: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros^afarinográficos e do teste de panificação das amostras.

VETOR	CP1 ^b	CP2 ^c
ABS	0,110684	-0,623281
TD	0,380532	-0,269376
EST	0,434347	-0,273325
IT	-0,397072	0,328300
CE	0,395131	0,320646
CI	0,395454	0,344417
TOT	0,429078	0,367468

^aABS, TD, EST e IT: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância, respectivamente, medidos no Farinógrafo;

CE, CI e TOT: características externas, características internas e pontuação total

^bProporção = 57,6%

^cProporção = 22,5%

O primeiro componente principal (CP1) corresponde a 57,6% da variação total e o segundo componente principal (CP2) responde à 22,5% das observações iniciais. Sendo assim, a somatória de CP1 e CP2 explica 80,1% da variação total.

O primeiro componente principal (CP1) atribuiu pesos semelhantes para todas as variáveis, com exceção da absorção de água (ABS). O mesmo ocorreu com relação aos pesos atribuídos com relação ao segundo componente principal (CP2).

Os vetores das variáveis absorção de água (ABS), tempo de desenvolvimento da massa (TD) e estabilidade (EST) situam-se no quadrante IV. O vetor da variável absorção de água (ABS) formou menor ângulo com o eixo CP2 e os vetores TD e EST, que possuem tamanhos e ângulos semelhantes, encontram-se centralizados entre os dois eixos. O vetor índice de tolerância (IT) localiza-se no quadrante II. Os outros vetores que representam os parâmetros do teste de panificação, ou seja, pontuação total (TOT), características externas (CE) e características internas (CI) localizam-se no quadrante I. Portanto, as amostras localizadas no quadrante I (3, 5, 8, 9, A, B, G, J, c, r, t, w) representam as farinhas com melhores características tecnológicas.

Verificando-se a Figura 15, nota-se que as amostras com maiores volumes específicos (acima de 5,0 cm³/g) estão distribuídas pelo primeiro, segundo e quarto quadrantes. As amostras 3, 8, A, G, M, encontram-se no quadrante I e as amostras 6, G e j situam-se nos quadrantes II e IV, respectivamente. Já as amostras com menores volumes específicos (abaixo de 3,6 cm³/g) situam-se, nos quadrantes II (amostras C e D) e III (amostras X, T, u).

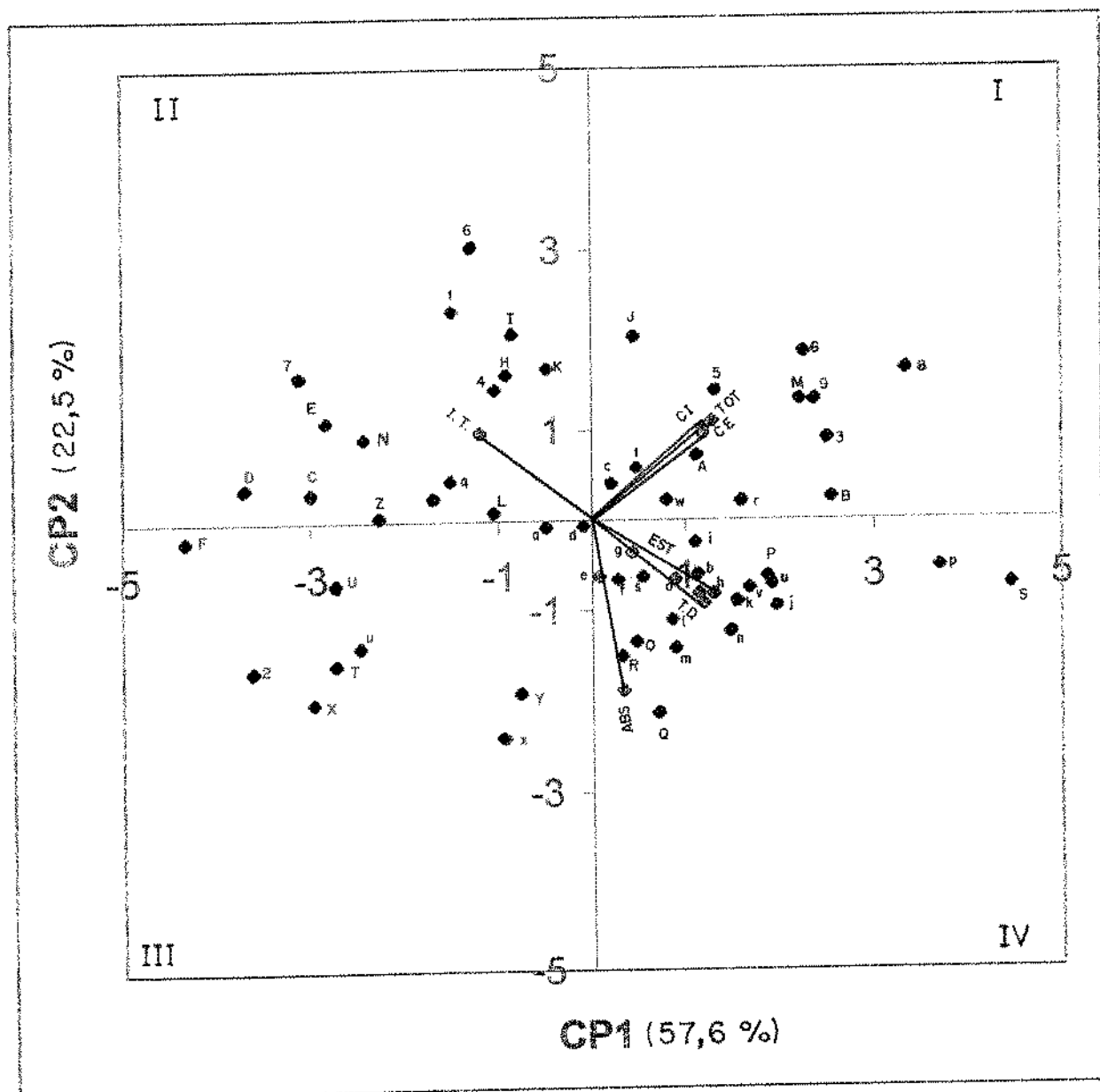


Figura 15: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* do Farinógrafo e da avaliação global do teste de panificação.

*ABS, TD, EST e IT: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância, respectivamente, medidos no Farinógrafo;

CE, CI e TOT: características externas, características internas e pontuação total, respectivamente

■ Amostras REGULARES

● Amostras MUITO BOAS

OBS: para melhor visualização dos vetores, foi usado o fator 3 para multiplicar as suas coordenadas de localização

Utilizando-se a classificação de qualidade citada por GOTTSCHALD (1996), teríamos as amostras REGULARES (2, 7, C, D, F, T, U, X, W, Y, u, x) concentradas entre os quadrantes II e III, enquanto que as amostras classificadas como MUITO BOAS (8, 9, G, M) estão concentradas no quadrante I. Nota-se que as amostras que representam forças opostas situam-se em locais distantes no gráfico da ACP, sendo facilmente identificadas. Amostras com propriedades similares ficaram agrupadas entre si.

Analisando-se as amostras sob o ponto de vista da legislação brasileira (conforme Tabela 12), observamos que as farinhas da classe MELHORADOR (3, 8, 9, B, P, Q, S, V, p) estão distribuídas pelos quadrantes I (3, 8, 9, B) e IV (P, Q, S, V, p), enquanto que as amostras da classe COMUM (7, E, D, F, N) estão situadas no quadrante II, exceto a amostra F (quadrante III).

4.7.3. Avaliação Estatística dos Parâmetros do AQG e do Teste de Panificação

A Análise de Componentes Principais dos parâmetros do Protótipo e do Teste de Panificação, resultantes das amostras encontram-se na Tabela 29. Sua representação gráfica está na Figura 16.

Tabela 29: Análise dos Componentes Principais dos parâmetros^a do AQG e do teste de panificação das amostras.

VETOR	CP1 ^b	CP2 ^c
RMP	0,311831	0,273205
EXP	-0,065258	0,574232
ENP	0,217728	0,737496
CE	0,512928	-0,143180
CI	0,520547	-0,106931
TOT	0,563056	-0,140645

^a RMP, EXP e ENP: resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia medidos no AQG.

CE, CI e TOT: características externas, características internas e pontuação total.

^b Proporção = 48,1%

^c Proporção = 24,9%

O primeiro componente principal (CP1) corresponde a 48,1% da variação total, enquanto que o segundo componente principal (CP2) responde à 24,9% das observações iniciais. Logo, a somatória de CP1 e CP2 explica 73,0% da variação total das observações iniciais.

Os vetores das variáveis resistência máxima à extensão (RMP) e energia (ENP) situaram-se no primeiro quadrante.

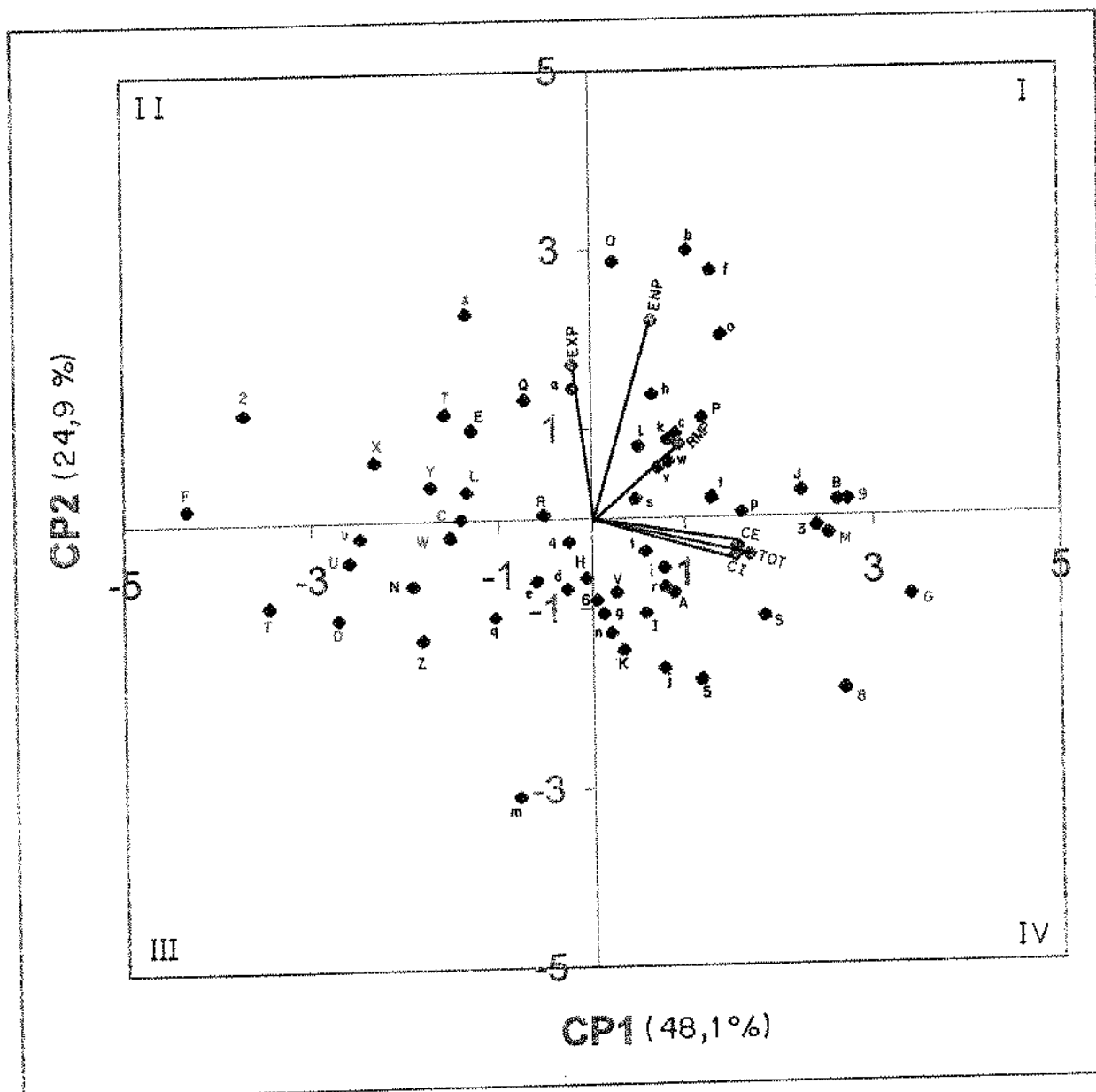


Figura 16: Representação gráfica da ACP das amostras segundo parâmetros* do AQG e da avaliação global do teste de panificação.

*RMP, EXP e ENP: resistência máxima à extensão, extensibilidade e energia medidos no AQG.
CE, CI e TOT: características externas, características internas e pontuação total, respectivamente.

- Amostras REGULARES
- Amostras MUITO BOAS

OBS: para melhor visualização dos vetores, foi usado o fator 3 para multiplicar as suas coordenadas de localização

O vetor da extensibilidade (EXP) localiza-se no quadrante II, enquanto que os outros vetores dos parâmetros do teste de panificação (TOT, CE, CI), que situaram-se no quadrante IV. Portanto, as amostras situadas no quadrante IV (1, 3, 5, 8, A, G, I, K, M, V, g, i, j, r, n) representam as farinhas com melhores características tecnológicas.

Verificando-se a Figura 16, notou-se que todas as amostras com maiores volumes específicos (acima de $5,0 \text{ cm}^3/\text{g}$) estão concentradas no quadrante IV (3, 6, 8, A, G, M, g, j). Já as amostras com menores volumes específicos (acima de $3,6 \text{ cm}^3/\text{g}$) situam-se nos quadrantes II e III, próximas ao eixo CPI. As amostras C e X situam-se no quadrante II, enquanto que as amostras D, T e u, no quadrante III.

Segundo a classificação de qualidade citada por GOTTSCHALD (1996), teríamos as amostras REGULARES (2, 7, C, D, F, T, U, X, W, Y, u, x) concentradas nos quadrante II e III, enquanto que as amostras classificadas como MUITO BOAS (8, 9, G, M) estão concentradas no quadrante IV, com exceção da amostra 9. Observa-se que, as amostras que representam forças opostas situam-se em locais distantes no gráfico, sendo facilmente identificadas, enquanto que as amostras com forças similares ficaram agrupadas próximas entre si.

Analisando-se as amostras sob a ótica da legislação brasileira (conforme Tabela 12), observamos que as farinhas da classe MELHORADOR (3, 8, 9, B, P, Q, S, V, p) estão situadas principalmente nos quadrantes I (9, B, P, p) e IV (3, 8, S, V), com exceção da amostra Q (situada no quadrante II). As amostras da classe COMUM (7, E, D, F, N) estão distribuídas nos quadrantes II (7, E, F) e III (D, N).

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, podemos concluir que:

1. No estudo comparativo entre o AQG e os equipamentos tradicionais (Farinógrafo e Extensógrafo):
 - A Análise de Componentes Principais entre o Extensógrafo e o AQG (Figura 9) mostrou que a maioria das variáveis que medem atributos semelhantes encontraram-se próximas entre si e portanto, mostraram desempenhos similares nas medidas reológicas.
 - No quadrante I localizaram-se as variáveis de energia obtidas pelo Extensógrafo (A1, A2, A3) e através do AQG (ENP). Também se situaram nesse quadrante as variáveis de resistência máxima à extensão obtidas pelo Extensógrafo (RME1, RME2, RME3) e através do AQG (RMP).
 - No quadrante II localizaram-se as variáveis de extensibilidade obtidas pelo Extensógrafo (EXE1, EXE2, EXE3) e através do AQG (EXP).
 - A Análise de Componentes Principais entre o Extensógrafo e o AQG explicou maior variação total das observações (83,7%) do que entre o Farinógrafo e o AQG (67,8%).
 - A melhor correlação linear entre parâmetros similares ocorreu entre as variáveis de resistência máxima à extensão obtidas do Extensógrafo (RME1, RME2 e RME3) e através do AQG (RMP), que variou de 0,5397 a 0,5799 ($p < 0,05$).
 - A melhor correlação linear observada entre parâmetros do Extensógrafo e do AQG ocorreu entre as variáveis de resistência à máxima à extensão (RMP) e energia (A1, A2, A3), respectivamente, que variou de 0,6071 a 0,6511 ($p < 0,05$).
 - A correlação linear entre os parâmetros de extensibilidade do AQG (EXP) e do Extensógrafo (EXE1, EXE2 e EXE3) variou de 0,4331 a 0,5136 ($p < 0,05$).
2. O Teste de Panificação diferenciou as amostras, que foram classificadas segundo a performance resultante. Sendo assim, as amostras 2, 7, C, D, F, T, U, X, W, Y, u e x foram classificadas como REGULARES (45 a 55 pontos), as amostras 8, 9, G e M foram classificadas como MUITO BOAS (maior que 65 pontos) e as demais amostras, ou seja, 76,3% delas, foram classificadas como BOAS (55 a 65 pontos).

3. Através da Análise de Componentes Principais entre respostas reológicas e performance de panificação, verificou-se que, tanto as metodologias dos equipamentos tradicionais (Farinógrafo e Extensógrafo) quanto a proposta neste trabalho (AQG) conseguiram diferenciar as farinhas com propriedades tecnológicas diferentes.
4. O estudo do uso dos equipamentos reológicos (AQG, Farinógrafo e Extensógrafo) indicou que a metodologia desenvolvida e descrita neste trabalho mostrou-se útil para avaliar a qualidade da farinha de trigo através das propriedades reológicas do glúten.
5. A reprodutibilidade dos resultados obtidos através do AQG foi considerada boa (coeficiente de variação médio $\leq 5\%$) e poderá ser melhorado com a padronização do método de isolamento do glúten.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods, 8 ed. St. Paul, 1983, v. 1-2.
- ABERHAM, H. Short report on the Brabender three phase system Bericht über die Getreidechemiker-Tagung v.6, p.189-190, 1971.
- AITKEN, T. R.; FISHER, M. H. & ANDERSON, J. A. Effect of protein content and grade on farinograms, extensograms and alveograms. Cereal Chem. v.21, p.465, 1944.
- BAKER, J. C. & MIZE, M. D. Gas occlusion during mixing. Cereal Chem. v.23, p.39-51, 1946.
- BAKER, J. C.; MIZE, M. D. & PARKER, H. K. Measurement and significance of gluten quality Cereal Chem. v. 20, p.506-516, 1943.
- BALINT, L.; MOMIROVIC, J.; HORVATIC, M. & VEDRINA, I. New approach to the extensogram interpretation. Die Nahrung v.35, n. 7, p. 721-730, 1991.
- BARRET, F. F. Enzyme uses in the milling and baking industries In: REED, G. Ed. Enzymes in Food Processing, Academic Press, New York, p.301-330, 1975.
- BECKWITH, A. C. & WALL, J. S. Redution and reoxidation of wheat glutenin. Biochem. Biophys. Acta, v.130, p.155, 1966.
- BECKWITH, A. C.; WALL, J. S. & DIMLER, R. J. Amide groups and interaction sites in wheat gluten proteins, part I: effects of amide-ester conversion. Arch. Biophys., v.112, p.16, 1965.
- BENNET, R. & COPPOCK, J. B. M. Four testing. I. A comparison of the Brabender extensograph, Chopin alveograph and Simon extensometer methods of testing bread flours with particular reference to the effect of various forms of flour treatment. J. Sci. Food Agr. V.7, p. 754-764, 1956.
- BETTGE, A.; RUBENTHALER, G. L.; POMERANZ, Y. Alveograph algorithms to predict functional properties of wheat in bread and cookie baking. Cereal Chem., v.66, n.2, p.81-86, 1989.

- BLOKSMA, A. H. Rheology and chemistry of dough. In: Wheat Chemistry and Technology, Pomeranz, Y. Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn., 1971.
- BLOKSMA, A. H. Slow creep of wheat flour doughs. Rheol. Acta v.2, p.217-230, 1962.
- BLOKSMA, A. H. Detection of changes in modulus and viscosity of wheat flour doughs by the "work technique" of Muller et al. J. Sci. Food Agr. V.18, p. 49-51, 1967.
- BRABENDER, C. W. The physical evaluation of flour performance. Baker's Digest, v.30, n. 2, p. 37-40, p. 68, 1956.
- BRABENDER, C. W. Physical dough testing. Cereal Sci. Today v. 10, p. 291-304, 1965.
- BRABENDER, C. W. & PAGENSTEDT, B. Flour testing and dough rheology. Biscuit Maker and Plant Baker v. 46, n. 1, p. 24-32, 1957.
- BRASIL, Portaria nº 167, de 29 julho de 1994. Aprova a Norma de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação (Trigo *Triticum aestivum* L.); texto legal. Porto Alegre: EMATER/RS, 1994. 11p.
- BROWN, R. O. & HARREL, C. G. The use of the amilograph in the cereal laboratory. Cereal Chem., St. Paul, v. 21, n. 5, p. 360-369, 1944.
- BUSHUK, W. Rheology: theory and application to wheat flour dough. In: Rheology of Wheat Products, American Association Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, p 1-26, 1985.
- CAMPBELL, W. P. & LEE, J. W. Structure and function in some components of the wheat grain. Lebensmittel Wissenschaft und Technology v. 15, n.1, p 1-4, 1982.
- CHANG, Y.K. Analizador de qualidade de glúten (AQG). Patente n. PI 9401844-8, 1994.

- CHARM, S. E. The nature and role of fluid consistency in food engineering applications. In: Advances in Food Research, v.II, C. O. Chichester, E. M. Mrak, and G. F. Stewart (editors). Academic Press, New York, 1962.
- CHEFTEL, J. C. et al. Proteinas Alimentarias, Ed. Acribia, Zaragoza, 1989, 347p.
- CHEN, J. & D'APPOLONIA, B. L. Alveograph studies on hard red spring wheat flour. Cereal Foods World, v.30, n.12, p.862-867, Dec. 1985.
- CHOPIN, M. Determination of baking value of wheat by measure of specific energy of deformation of dough. Cereal Chem.,v. 4, p. 1-13, 1927.
- CHOPIN, M. On the article of E. Maes and A. Pirotte relating to the hydration of dough in the alveograph. Bull. Ecole Meunerie Belge v.19, p.43-48, 1957.
- CHOPIN, M. The ceredyn, an instrument for measuring water absorption of flour. Bull. Anciens Eleves Ecole Franc. Meunerie v.37, p. 37-42, 1966.
- DEMPSTER, C. J. & HLYNKA, I. Quantitative extensograph studies of relaxation of internal stresses in non-fermenting bromated and unbromated doughs. Cereal Chem.,v. 29, p. 39-43, 1952.
- DEMPSTER, C. J. & HLYNKA, I. & ANDERSON, J. A. Extensograph studies of structural relaxation in bromated and unbromated doughs mixed in nitrogen. Cereal Chem. v.30, p.492-503, 1953.
- DEMPSTER, C. J. & HLYNKA, I. & ANDERSON, J. A. Extensograph studies of the improving action of oxygen in dough. Cereal Chem. v.31, p.240-249, 1954.
- DEMPSTER, C. J. & HLYNKA, I. & ANDERSON, J. A. Influence of temperature on structural relaxation in bromated and unbromated doughs mixed in nitrogen. Cereal Chem. v.32,p. 241-254, 1955.
- DILL, D. B & ALSBERG, C. L. Some considerations of gluten washing problem. Cereal Chem., v.1, n.5, p.222- 245, 1924.
- EL-DASH, A. A. Molecular structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concept. Proceedings of the First Brasilian Congress on Proteins. Ed. UNICAMP, p.513-530, 1991.

- EL-DASH, A. A. Análise e desenvolvimento de um novo sistema de testagem da qualidade tecnológica da farinha. Dissertação para Livre Docência, UNICAMP, 1978.
- EL-DASH, A. A. ; CAMARGO, C. R. O. & DIAZ, N. M. Fundamentos da Tecnologia de Panificação, Série Agroindustrial, v. 6, 1982.
- EL-DASH, A. A. & CAMARGO, C. R. O. Qualidade do trigo: tipos de trigo e sua classificação. ABIP. v. 1, n 3, p. 88, 1978.
- FINNEY, K. F. & SHOGREN, M. D. A ten-gram mixograph for determining and predicting functional properties of wheat flours. Baker's Digest v.46, n 2,p. 32-42, p.77, 1972.
- FINNEY, K. F.; YAMAZAKI, W. T.; YOUNGS, V. L.; RUBENTHALER, G. L. Quality of hard, soft and durum wheats. In: HEYNE, E. G. , ed. Wheat and wheat improvement 2 ed. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, 1987.p.677-748 (ASA. Agronomy, 13).
- FIFIELD, C. C.; WEAVER, R. & HAYES, J. F. Bread loaf volume and protein content of hard red spring wheats. Cereal Chem. 27: 383 (1950).
- GEDDES, W. F.; AITKEN, T.R. & FISHER, M. H. The relation between the normal farinogram and the baking strength of Western Canadian wheat. Cereal Chem. 17: 528, 1940.
- GREENWOOD, G. T. & EWART, J. A. D. Hypothesis for the struture of glutenin in relation to rheological properties of gluten and dough. Cereal Chemistry, 52 (2): 146-153, 1975.
- GILLES, K. A.& SIBBITT, L. D. Quality. Chap.6 In: Wheat production and utilization, ed by George E Inglett, the AVI Publishing Company, Inc, 1974.
- GOTTSCHALD, S. K. B. Caracterização da qualidade de novos genótipos de trigo obtidos do cruzamento de um cultivar de trigo comum (T. Aestivum L.) com uma linhagem de trigo duro (T. Durum L.), Campinas, UNICAMP - FEA, 1996, 96p. Tese de mestrado

- GUARIENTI, E. M. Qualidade Industrial de Trigo. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1993. 27p.
- HEAPS, P. W.; WEBB, T.; RUSSEL EGGIT, P. W. & COPPOCK, J. B. M. The rheological testing of wheat glutens and doughs. Chem. Ind. London, 2, n 32, 1095-1096, 1968.
- HELM, E. R. & BARMORE, M. A. Breeding wheat for quality. Advan. Agron. 17: 85, 1965.
- HLYNKA, I. Structural relaxation in dough. Baber's Digest. 29, n.2, 27-30, 1955.
- HLYNKA, I. The effect of complexing agents on the bromate reaction in dough. Cereal Chem. 34, 1-15, 1957.
- HLYNKA, K & ANDERSON, J. A. A machine for measuring the extensibility and resistance to extension of gluten. Cereal Chemists 23(2): 115-134, 1946.
- HLYNKA, I. & BARTH, F. W. Chopin alveograph studies. II. Structural relaxation in dough. Cereal Chem. 32, 472-480, 1955.
- HLYNKA, I. & MATSUO, R. R. Quantitative relation between structural relaxation and bromate in dough. Cereal Chem. 36, 312-317, 1959.
- HOLAS, J. & TIPPLES, K. H. Factors affecting farinograph and baking absorption. I. Quality characteristics of flour streams. Cereal Chemistry, v.55, n.5, p.637-652, Sep/Oct., 1988.
- HOSENEY, R.C.; LINEBACK, D.R. & SEIB, P.A. Role of starch in baked foods. The Baker's Digest, Chicago, v.51, n.1, p.38-48, 57, 1977.
- JAMES, T. R. & HUBER, L. X. A study of the physical properties of washed gluten. Cereal Chemistry. 4: 449-460, 1927.
- JOHNSON, J. A.; SHELLENBERGER, J. A. & SWANSON, C. O. Farinogram and mixograms as a means of evaluating flours for specific uses. Cereal Chem. 23, 388-399, 1946a.

- JOHNSON, J. A.; SHELLENBERGER, J. A. & SWANSON, C. O. Extensograph studies of commercial flours and their relation to certain other physical dough tests. Cereal Chem. 23, 400-409, 1946b.
- KASARDA, D. D.; BERNARDIN, J. E. & NIMMO, C. C. Wheat proteins. Chap. 4 In: Advanced Cereal Science and Technology, v.1, Pomeranz, Y ed., American Association of Cereal Chemists, 1976.
- KENT-JONES, D. W. & AMOS, A. J. Modern Cereal Chemistry. Food Trade Press, London, 1967.
- KRESS, C. B. Gluten quality. Cereal Chemistry, v.1, n.5, 247-250, 1924.
- KOLSTER, P & VEREIJKEN, J. M. 1993. Evaluation HMW glutenin subunits to improve bread-making quality of wheat. Cereal Foods World. 38(2):76
- LARMOUR, R. K.; WORKING, E. B. & OFELT, C. W. Quality tests on hard red winter wheats. Cereal Chem. 16, 733-752, 1939.
- LEACH, H. W. Gelatinization of starch. In: WHISTLER, R. L. & PASCHALL, E. F. Starch: chemistry and technology. New York, Academic Press, 1965.
- LORENZ, K. J. & KULP, K. Handbook of Cereal Science and Technology. Ed. Marcel Dekker, New York, 1991, 882p.
- MAES, E. & PIROTTE, A. Chopin Alveograph: constant or variable hydration? Getreide Mehl 7, n 1, 1-2, 1957.
- MATSUO, R. R. Note on a method for testing gluten strength. Cereal Chemistry 55(2) 259-262, 1978.
- MATZ, S. A. Flour. Chap.1 In: Bakery: Technology and Engineering, The I Publishing Company, Inc. 1960.
- MANDARINO, J. M. G. Componentes do trigo: características físico-químicas, funcionais e tecnológicas. Londrina, EMBRAPA -CNPSO, 1994. 36p.

- MacMASTERS, M. M. ; HINTON, J. J. C. & BRADBURY, D. Microscopic Structure and Composition of the Wheat Kernel. In: Wheat Chemistry and Technology. Pomeranz, Y (ed.), 2 ed Monogr. Ser., Vol III, St. Paul, Minnesota, 1971.
- MILLER, B. S., HAYS, B. & JOHNSON, J. A. Correlation of farinograph, mixograph, sedimentation and baking data for hard red winter wheat flour samples varying in quality. Cereal Chemistry. 33, 277-290, 1956.
- MILLER, B. S. & JOHNSON, J. A. A review of methods for determining the quality of wheat and flour for breadmaking. Kansas Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 76, 1954.
- MILLER, B. S. & JOHNSON, J. A. Testing wheat for quality. Baker's Digest, 6, 1956.
- MITA, T. & BOHLIN, L. Shear Stress Relaxation of Chemically Modified Gluten. Cereal Chemists 60(2): 93-97, 1983.
- MOHS, K.; SCHMIDT, E. A. & FRANK, H. V. Die Bestimmung der Kleberdehnbarkeit mittels des Glutographen. Z. Ges. Getreide u. Mühlenw 26:23-30, 1939.
- MULLER, H. G. Dough rheology studies I. Early history till 1900. Brot Geback 18, 117-121, 1964.
- MULLER, H. G. & BARRON, L. F. Some modifications of the design and use of the "Research" water absorption meter in relation to consistency measurements of single doughs. J. Sci. Food Agr. 9, 638-644, 1958.
- MULLER, H. G. & HLYNKA, I. Brabender extensograph techniques. Cereal Sci. Today 9, 422-425, 1964.
- MULLER, H. G. Dough rheology studies II. Empirical consistency measurements. Brot Geback 20, 51-54, 1966.
- MULLER, H. G.; WILLIAMS, M. V., RUSSEL EGGITT, P. W. & COPPOCK, J. B. M. Fundamental studies on dough with the Brabender extensograph. I. Determination of stress-strain curves. J. Sci. Food Agr. 12, 513-522, 1961.

- MULLER, H. G.; WILLIAMS, M. V., RUSSEL EGGITT, P. W. & COPPOCK, J. B.M. Fundamental studies on dough with the Brabender extensograph. II. Determination of the apparent elastic modulus and coefficient of viscosity of wheat flour dough. J. Sci. Food Agr. 13, 572-580, 1962.
- MULLER, H. G.; WILLIAMS, M. V., RUSSEL EGGITT, P. W. & COPPOCK, J. B.M. Fundamental studies on dough with the Brabender extensograph. III. The work technique. J. Sci. Food Agr. 14, 663-672, 1963.
- MULLER, H. G. Routine rheological tests in the British Food Industry. J. Food Technol. 4, 83-92, 1969.
- OLIVER, J. R. & ALLEN, H. M. 1992. The prediction of bread baking performance using farinograph and extensograph. J.Cereal Science 15:78
- OSBORNE, T.B. The proteins of the wheat kernel. Cargenie Institute of Washington, Washington, D.C., n. 94, p.1-119, 1907.
- PRATT Jr, D. B. Criteria of flour quality. Chapt. 5 In: Wheat Chemistry and Technology, Pomeranz, Y. Editor. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minn. , 1971.
- POMERANZ, Y. Functional properties of food components. Academic Press, New York, 1985, 536 p.
- POMERANZ, Y. Composition and functionality of wheat-flour components. Chap. 12 In: Wheat Chemistry and Technology. Pomeranz, Y. Ed. American Association of Cereal Chemists St. Paul, 1971.
- POMERANZ, Y. Molecular approach to breadmaking: an update and new perspectives. Baker's Digest 8: 72-79, 1983.
- POMERANZ, Y. Modern Cereal Science and Technology, Weinheim: VCH Publishers, New York, 1987, 485p.
- POMERANZ, Y. & SHELLENBERGER, J. A. Bread Science and Technology. Avi Publishing Co., Westport, Conn., 1971.

- PYLER, E. J. Baking Science and Technology. Siebel Publishing Co., Chicago, 1973.
- RASPER, V. F. Texture of dough, pata and baked products. In: de MAN, J. M.; VOISEY, P. W.; RASPER, V. F.; STANLEY, D. W. Rheology and texture in food quality. The Avi Publishing Company, Inc, 1976, p308-354.
- REED, G. & THORN, J. A. Enzymes. In: POMERANZ, Y. Wheat chemistry and technology. 2 ed. St. Paul, AACC, 1971, cap. 9
- REGO, M. M. Qualidade Tecnológica de Trigo (Triticum Vulgare) Comercial Brasileiro. Rio de Janeiro, UFRRJ, 1982, 74p. Tese de mestrado.
- SANDSTEDT, R.M.. The function of starch in the baking of bread. The Baker's Digest, Chicago, p.36-44, 1961.
- SHASHIKUMAR, K.; HAZELTON, J.L.; RYU, G.H.; WALKER, C.E. Predicting wheat sprout damage by near-infrared reflectance analysis. Cereal Foods World, Saint Paul, v.38, n.5, p.364-366, 1993.
- SIBBITT, L.D., HARRIS, R. H. & CONLON, T. J. Some relations between farinograph and mixograph dimensions and baking quality. Baker's Digest 27, n.4, 26-29, 1953.
- SIETZ, W & DOERFNER, H. H. Gluten quality testing - a new method. Getreide, Mehl und Brot 41(1) 16-19, 1987.
- SHEPHERD, K. W. Genetics of wheat endosperm proteins - in retrospect and prospect. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETICS SYMPOSIUM, 7, 1988, Cambridge. Proceedings. Cambridge: Institute of Plant Science Research, 1988. V.2, p. 919-931.
- SCHILLER, G. W. Bakery flour specifications. Cereal Foods World, v. 29, n. 10, p. 647-651, Oct. 1984.
- SHOGREN, M. D.; FINNEY, K. F., BOLTE, L. C. & HOSENEY, R. C. A. modified alveograph method for hard winter wheat flour. Agron. J. 55, 119-21, 1963.

- SHUEY, C. W. The Farinograph Handbook. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn., 1972.
- SWANSON, C. O. & WORKING, E. B. Testing quality of flour by the recording dough mixer. Cereal Chem. 10, 1-29, 1933.
- TANAKA, K. & BUSHUK, W. Effect of protein content and wheat variety on solubility and eletrophoretic properties of proteins. Cereal Chemistry 49 (3): 247-257, 1972.
- TIPPLES, K. H.; DUBETZ, S & IRVINE, G. N. Effects of high rates of nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation II. Milling and baking quality. Canadian Journal of Plant Science 57: 337-350, 1977.
- TIPPLES, K. H.; MEREDITH, J. O. & HOLAS, J. Factors affecting farinograph and baking absorption. II. Relative influence of flour components. Separata de Cereal Chemistry, v.55, n.5, p.652-660, Sept/Oct. 1978.
- TOSELLO, Y. Avaliação dos métodos de processamento e controle de qualidade na indústria de panificação. Campinas, UNICAMP - FEAA, 1979, 97p. Tese de mestrado.
- TSEN, C. C. The improving mechanism of ascorbic acid. Cereal Chem. 42, 86-97, 1965.
- TRUM, G. W. & ROSE, L. C. Practical dough rheology in continuous dough processing. (Abstr.) Cereal Sci. Today 9, 156, 158-160, 186, 1964.
- UDY, D. G. Some viscoelastic properties of wheat gluten. Cereal Chemistry. 30 (5) 353-366, 1953.
- VAN DAM, H. W. & HILLE, J. D. R. Yeast and Enzymes in Breadmaking Cereal Foods World, 37:245, 1992.
- VOISEY, P. W.; MILLER, H. & BYRNE, P. L. The Ottawa electronic recording farinograph. Cereal Sci. Today 16, 125-131, 1971.
- VOISEY, P. W.; MILLER, H. & KLOEK, M. An electronic recording dough mixer. I. The apparatus. Cereal Chem. 43, 408-419, 1966a.

- VOISEY, P. W.; MILLER, H. & KLOEK, M. An electronic recording dough mixer. II. An experimental evaluation. Cereal Chem. 43, 420-432, 1966b.
- VOISEY, P. W.; MILLER, H. & KLOEK, M. An electronic recording dough mixer. III. Additional methods of recording. Cereal Chem. 43, 433-437, 1966c.
- VOISEY, P. W.; MILLER, H. & KLOEK, M. An electronic recording dough mixer. IV. Applications in Farinography. Cereal Chem. 43, 438-446, 1966d.
- VOISEY, P. W.; MILLER, H. & KLOEK, M. An electronic recording dough mixer. V. Measurement of energy used in a mixograph-type mixer. Cereal Chem. 44, 359-373, 1967.
- VOISEY, P. W.; MILLER, H. & KLOEK, M. An electronic recording dough mixer. VI. Differences between mixing bowls. Cereal Chem. 46, 196-202, 1969.
- WATANABE, E.; BELL, A. E. & BROCKMAY, B. E. Rheological studies on wheat flour. II. Relationships between frequency, storage modulus and torque amplitude. Food Control 3(2):102-104, 1992.
- WADHAWAN, C.K. & BUSHUK, W. Studies on vitality of commercial gluten. I. Physical, Chemical and Technological characteristics, Cereal Chem., v.66, n.6, p 456-461, 1989.
- WEIPERT, D. Descriptive and Fundamental Rheometry in a New Light, Cereal Foods World, 37:15, 1992.
- WILLIAMS, P. ; EL-HARAMEIN, F. J.; NAKKOUL, H. & RIHAWI, S. Crop quality evaluation methods and guidelines. 2 ed. Aleppo, Syria: ICARDA, 1988. 145p.
- WOOD, T. B. & HARDY, W. B. Electrolytes and colloids - the physical state of gluten. Proc. Roy. Soc. (London). Series B, v.81, 38-43, 1909.
- ZELNY, L. Criteria of wheat quality. Chap. 2 In: Wheat Chemistry and Technology. Y. Pomeranz, ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn, 1971.

ZIRLIS, A. E. F.; TSUNECHIRO, A.; MONTEIRO, A. V. V. M.; BUENO, C. R. F.; da SILVA, J. R.; MIRANDA, L. C.; BARBOSA, M. Z.; ROCHA, M. B.; GIULIETTI, N.; MARTINS, S. S. Avaliação da safra. Informações econômicas. São Paulo. Instituto de Economia Agrícola, v.24, n.2, p.9-27, 1994.