

INFLUENCIA DA FERTILIZAÇÃO COM NITROGENIO  
SOBRE AS PROTEINAS DO GLUTEN E A  
QUALIDADE TECNOLÓGICA DAS FARINHAS  
DE DOIS CULTIVARES DE TRIGO

41/92

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

INFLUENCIA DA FERTILIZAÇÃO COM NITROGENIO SOBRE AS  
PROTEINAS DO GLUTEN E A QUALIDADE TECNOLÓGICA DAS

Parceira FARINHAS DE DOIS CULTIVARES DE TRIGO

*Este exemplar corresponde a redação final  
da tese defendida por Doralice Maria Falci-  
rolli Campanolli e aprovada pela Comissão  
Julgadora em 15.12.92*

DORALICE MARIA FALCIROLLI CAMPANOLLI

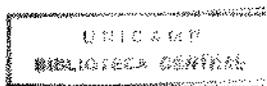
Engenheira de Alimentos

*Celina Raquel de Oliveira Camargo*  
Profa. Dra. CELINA RAQUEL DE OLIVEIRA CAMARGO

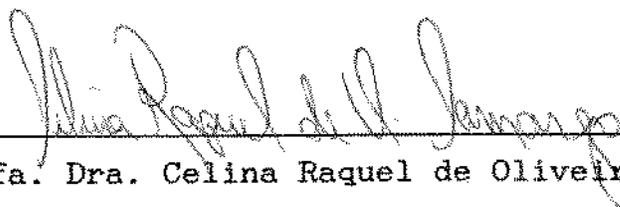
Orientadora

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

Campinas, dezembro de 1992



BANCA EXAMINADORA



---

Profa. Dra. Celina Raquel de Oliveira Camargo  
(orientadora)



---

Dr. Carlos Eduardo de Oliveira Camargo  
(membro)



---

Dr. Valdômiro Carlos Sgarbieri  
(membro)



---

Dr. César Francisco Ciacco  
(membro)

Campinas, 15 de dezembro de 1992.

*Aos meus queridos pais,  
Geraldo e Maria do Carmo.*

## AGRADECIMENTOS

A Profa. Dra. Celina Raquel de Oliveira Camargo pela orientação, dedicação e amizade.

A Faculdade de Engenharia de Alimentos e à Universidade Estadual de Campinas pelas condições oferecidas para realização do curso de mestrado.

Aos professores da Faculdade de Engenharia de Alimentos, especialmente à Dra. Norma Mancilla Diaz (in memoriam), ao Dr. César Francisco Ciacco e ao Dr. Ahmed Atia El-Dash pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia de Alimentos, especialmente à Elizete Aredes, Elena Maria Freitas dos Santos, Nilo Marques, José Cândido da Costa, Kimie Alice Mizota Shiosawa e Roseli Aparecida Ferrari pela cooperação na realização da parte experimental do trabalho.

A Myrian Cristina, ex-estagiária do Laboratório de Tecnologia de Cereais, pela colaboração na execução das análises, pelo interesse e pela amizade.

Ao Márcio Ferraz Cunha e à Marta de Toledo Benassi pelo auxílio na análise estatística dos resultados.

Aos meus colegas do Centro de Tecnologia de Farinhas e Panificação (CTFP) do ITAL pelo interesse e amizade.

A Policarpo Vitti, coordenador do CTFP, pelas condições oferecidas para conclusão deste trabalho e pela ajuda na elaboração da versão do resumo em líg<sup>ua</sup> inglesa.

Ao CNPq, FAPESP, FAEP e ABIA pelo apoio financeiro.

A todos os colegas da Faculdade de Engenharia de Alimentos  
pela convivência sadia e estimulante.

Ao meu esposo e aos meus filhos - Danilo e Maurício - pelo  
amor e alegria.

## INDICE

	Página
Indice de Quadros e Tabelas.....	<i>iv</i>
Indice de Figuras.....	<i>vi</i>
Resumo.....	<i>viii</i>
Summary.....	<i>x</i>
I - INTRODUÇÃO.....	01
II - REVISAO BIBLIOGRAFICA.....	03
1 - As Proteínas da Farinha de Trigo.....	03
1.1 - Classificação e caracterização.....	03
1.1.1 - Albuminas e globulinas.....	04
1.1.2 - Proteínas de reserva.....	05
1.1.2.1 - Gliadinas.....	06
1.1.2.2 - Gluteninas.....	07
1.2 - Fracionamento.....	08
2 - Funcionalidade das Proteínas da Farinha de Trigo na Produção de Pão.....	10
3 - Relação de Frações Específicas do Glúten com as Propriedades Funcionais da Farinha de Trigo.....	12

4 - Efeito da Fertilização com Nitrogênio sobre a Proteína da Farinha de Trigo.....	18
4.1 - Conteúdo de proteína.....	18
4.2 - Composição da proteína.....	19
4.3 - Composição de aminoácidos.....	22
III - MATERIAL E METODOS.....	24
1 - Material.....	24
1.1 - Matéria-prima.....	24
1.2 - Reagentes.....	26
1.3 - Aparelhos e equipamentos.....	26
2 - Métodos.....	27
2.1 - Moagem do Trigo.....	27
2.1.1 - Peso hectolitro.....	27
2.1.2 - Condicionamento dos grãos.....	27
2.1.3 - Processo de moagem.....	28
2.2 - Análises de Composição Química.....	28
2.3 - Fracionamento da Proteína.....	29
2.4 - Avaliação da Qualidade Tecnológica das Farinhas.....	31
2.4.1 - Propriedades de hidratação e mistura.....	31
2.4.2 - Propriedades de extensão de massa.....	32
2.4.3 - Teste de panificação.....	32
2.5 - Análise Estatística.....	33
IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
1 - Moagem do Trigo.....	35
1.1 - Peso hectolitro.....	35
1.2 - Condicionamento do trigo.....	37
1.3 - Moagem do trigo.....	39

2 - Análises de Composição Química.....	41
2.1 - Umidade.....	41
2.2 - Cinzas.....	42
2.3 - Proteína.....	45
2.4 - Glúten.....	46
3 - Fracionamento da Proteína.....	50
3.1 - Fração de albuminas & globulinas.....	50
3.2 - Frações de gliadina e glutenina.....	54
3.3 - Relação entre as frações proteicas.....	56
4 - Avaliação da Qualidade Tecnológica.....	61
4.1 - Propriedades de mistura.....	61
4.2 - Propriedades de extensão da massa.....	71
4.3 - Teste de panificação.....	79
V - CONCLUSOES.....	86
VI - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	89

## INDICE DE QUADROS E TABELAS

	Página
QUADRO 1. Tratamentos de fertilização com nitrogênio aplicados nos experimentos I e II.....	25
TABELA 1. Peso hectolitro das amostras de trigo provenientes dos experimentos I e II.....	36
TABELA 2. Umidade das amostras de trigo provenientes dos experimentos I e II.....	38
TABELA 3. Rendimento em farinha obtido na moagem das amostras de trigo dos experimentos I e II.....	40
TABELA 4. Análises de composição química das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento I.....	43
TABELA 5. Análises de composição química das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento II.....	44
TABELA 6. Composição da proteína das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento I.....	52
TABELA 7. Composição da proteína das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento II.....	53
TABELA 8. Parâmetros farinográficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento I.....	64
TABELA 9. Parâmetros farinográficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento II.....	65

TABELA 10. Parâmetros extensigráficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento I....	74
TABELA 11. Parâmetros extensigráficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento II...	75
TABELA 12. Pontos atribuídos na avaliação dos pães correspondentes ao experimento I.....	80
TABELA 13. Pontos atribuídos na avaliação dos pães correspondentes ao experimento II.....	81

## INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Fracionamento das proteínas da farinha de trigo..	30
FIGURA 2. Conteúdo de proteína total das farinhas provenientes dos experimentos I e II.....	47
FIGURA 3. Relação do conteúdo de glúten com o conteúdo de proteína total para o experimento I.....	48
FIGURA 4. Relação do conteúdo de glúten com o conteúdo de proteína total para o experimento II.....	49
FIGURA 5. Conteúdo de glúten das farinhas provenientes dos experimentos I e II.....	51
FIGURA 6. Relação do conteúdo de proteína nas frações isoladas com o conteúdo de proteína total, para o experimento I.....	57
FIGURA 7. Relação do conteúdo de proteína nas frações isoladas com o conteúdo de proteína total, para o experimento II.....	58
FIGURA 8. Proporção das frações proteicas nas farinhas provenientes dos tratamentos 8 e 11 para os experimentos I e II.....	59
FIGURA 9. Farinogramas das farinhas provenientes do experimento I.....	62
FIGURA 10. Farinogramas das farinhas provenientes do experimento II.....	63
FIGURA 11. Extensigramas das farinhas provenientes do experimento I.....	72

FIGURA 12. Extensigramas das farinhas provenientes do experimento II.....	73
FIGURA 13. Relação do volume do pão com o conteúdo de proteína total da farinha, para o experimento I.	83
FIGURA 14. Relação do volume do pão com o conteúdo de proteína total da farinha, para o experimento II.....	84

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estudar o efeito da fertilização com nitrogênio sobre o conteúdo e a composição da proteína e sobre a qualidade tecnológica da farinha de trigo.

Foram estudadas amostras provenientes de ensaios de fertilização com nitrogênio realizados em dois locais, com cultivares de trigo distintos (IAC-60 e IAC-161). Durante os experimentos foram aplicados 0, 60 ou 120 Kg N/ha, na forma de uréia, em diferentes fases do desenvolvimento da planta, quais sejam, na semeadura e em 20, 40 ou 60 dias após a emergência da planta, totalizando 12 tratamentos.

O conteúdo de proteína total das farinhas variou de 11,44 a 14,49% para o experimento I e de 11,22 a 14,04% para o experimento II. Os tratamentos que tiveram aplicação de maiores doses de nitrogênio em épocas mais próximas à estação de floração da planta apresentaram, em geral, conteúdos de proteína mais altos em relação aos demais, para os dois experimentos.

Os conteúdos de glúten, gliadinas e gluteninas aumentaram linearmente com o conteúdo de proteína total crescente. O aumento das gliadinas foi muito mais acentuado que o das gluteninas, para ambos experimentos. O conteúdo de albuminas mais globulinas não variou com o conteúdo de proteína nos dois experimentos.

A resposta da fertilização com nitrogênio nas propriedades de mistura das farinhas, avaliadas pelo farinógrafo, variou entre os experimentos. Para o experimento I, a maioria dos tratamentos aumentou a força das farinhas, enquanto que, para o experimento II, os mesmos tratamentos, em geral, provocaram sensível enfraquecimento. Os tratamentos 5 (60 Kg N/ha) e 6 (120 Kg N/ha) com mesmo modo de aplicação (1/3 na semeadura e 2/3 a 40 dias da emergência da planta) apresentaram as melhores propriedades de mistura para ambos experimentos, não sendo possível correlacioná-las com o conteúdo de proteína total da farinha.

O efeito da fertilização com nitrogênio nas propriedades de extensão da massa, de acordo com o extensígrafo, foi o aumento da extensibilidade e da energia da massa e a queda do número proporcional com o conteúdo de proteína crescente, para ambos experimentos. As melhores propriedades de extensão foram apresentadas pelos tratamentos 6 e 8 (120 Kg N/ha, 1/3 na semeadura e 2/3 a 60 dias da emergência) que exibiram os maiores conteúdos de proteína total, para ambos experimentos.

A qualidade de panificação das farinhas, avaliada pelo teste de panificação, melhorou com a fertilização com nitrogênio e o aumento do conteúdo de proteína total, particularmente com relação ao volume específico, à estrutura e à textura do miolo, para ambos experimentos. Os tratamentos 6 e 8 apresentaram as melhores performances no teste de panificação.

Não foi possível relacionar as diferenças nas propriedades de mistura e de extensão da massa e na qualidade de panificação, entre farinhas provenientes do mesmo experimento, com os teores de gliadinas e gluteninas totais.

Considerando-se os experimentos I e II, concluiu-se que o tratamento 6 apresentou a melhor qualidade para produção de pão, presumivelmente porque, além de promover grande aumento no teor de proteína total, aumentou a proporção de subunidades de gliadina e glutenina de melhor qualidade tecnológica na composição da proteína da farinha.

## SUMMARY

The aim of this work was to study the effect of nitrogen fertilization on the content and composition of protein and technological quality of wheat flour.

Samples from trials of nitrogen fertilization carried out at two locations using different wheat cultivars (IAC-60 and IAC-161) were studied. During experiments were applied 0, 60 or 120 Kg N/ha, using urea as N source, at different stages of plant development (at sowing and at 20, 40 or 60 days after plant emergency), totalizing 12 treatments.

The total protein content of flours varied from 11.44 to 14.49% for the experiment I, and from 11.22 to 14.04% for the experiment II. Treatments with higher dosage of nitrogen at periods closer to the flowering stage showed, in general, higher protein contents than the others.

The content of gluten, gliadins and glutenins increased linearly with the increase of total protein content. The increase of gliadins was more pronounced than glutenins for both experiments. The content of albumins and globulins did not vary with the increase of protein content in both experiments.

Nitrogen fertilization response in the flour mixing properties, measured in the farinograph, varied between the experiments. In the case of experiment I, most of the treatments increased the flour strength, whereas, in the case of experiment II, there was a weakening. The treatments 5 (60 Kg N/ha) and 6 (120 Kg N/ha) with the same application mode (1/3 at sowing and 2/3 at 40 days after plant emergency) showed the best mixing properties for both experiments. It was not possible to correlate them with the total protein content.

Nitrogen fertilization effect in dough extension properties, according to extensigraphic measurements, was to

increasing on the dough extensibility and energy and the diminishing on the proportional number as protein content increased, for both experiments. The best dough extension properties were demonstrated in the treatments 6 and 8 (120 Kg N/ha, 1/3 at sowing and 2/3 at 60 days after plant emergency) that showed the best protein contents for both experiments.

Baking properties of flours were improved by nitrogen fertilization and increasing of total protein content, particularly as far as bread specific volume, structure and crumb texture are concerned, for both experiments. Treatments 6 and 8 showed the best baking performances.

It was not possible to relate the differences in mixing and dough extension properties and baking quality, between flours from the same experiment, with the total gliadin and glutenin content.

According to the results, it could be concluded that treatment 6 showed the best breadmaking characteristics, probably due to the increasing of total protein content as well as the proportion of gliadin and glutenin subunits of better technological quality in flour protein composition.

## I - INTRODUÇÃO

De uma maneira geral, os trabalhos agronômicos de melhoramento de trigo relacionados com suas proteínas visam principalmente o aumento da quantidade desse componente nos grãos e/ou o melhoramento da sua qualidade nutricional, principalmente no que se refere ao aumento do teor do aminoácido lisina, deficiente nesse cereal (CHEFTEL et alii, 1985).

Ao lado desses relevantes trabalhos agronômicos, é de extrema importância considerar a qualidade tecnológica da proteína (aptidão à panificação). Isso é particularmente importante em países como o Brasil, onde são cultivados trigos moles que produzem, em geral, farinhas fracas e com baixa performance em panificação.

Do ponto de vista tecnológico, a qualidade do trigo depende do conteúdo de proteína, especialmente das proteínas formadoras de glúten (gliadinas e gluteninas), e da qualidade dessas proteínas (BUSHUK, 1985).

A composição da proteína da farinha de trigo tem sido estudada a nível de aminoácidos, a nível de subunidades de gliadina e glutenina separadas por eletroforese ou a nível de quantidades totais de classes de proteínas (albuminas, globulinas, gliadinas e gluteninas) separadas por suas propriedades de solubilidade. Em trabalho recente, não foram encontradas diferenças qualitativas nos componentes da proteína, sendo que diferenças nas quantidades relativas desses componentes dentro de cada classe de proteína não foram evidentes, entre amostras do mesmo cultivar (GRAMA et alii, 1987). Entretanto, segundo diversos trabalhos, dependendo de fatores ambientais, como por exemplo a fertilidade do solo, as quantidades totais de cada classe de proteína podem variar para uma mesma variedade (DOEKES & WENNEKES, 1982; BUSHUK et alii, 1978).

Sabendo-se que a proporção entre as quantidades totais de cada classe de proteína se altera quando o conteúdo de

proteína total varia, tal como quando o trigo é fertilizado com nitrogênio, é de grande interesse conhecer como isso se reflete na qualidade tecnológica da farinha de trigo.

O objetivo desse estudo foi fracionar e quantificar as proteínas de amostras de trigo de dois experimentos de fertilização com nitrogênio e relacioná-las com a qualidade tecnológica da farinha. Foi investigada a resposta da aplicação de diferentes doses de nitrogênio (0, 60 e 120 Kg/ha) em diferentes fases de desenvolvimento da planta.

## II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1 - As Proteínas da Farinha de Trigo

A habilidade da farinha de trigo de formar uma massa viscoelástica, requerida para a produção de pão, depende amplamente das propriedades físico-químicas peculiares de suas proteínas. Os demais constituintes da farinha de trigo, os ingredientes adicionados na formulação e o processamento também influenciam as propriedades funcionais da massa e a qualidade organoléptica do pão. Contudo, a pesquisa tem mostrado que diferenças na qualidade de panificação entre as farinhas de trigo são devido, primariamente, a diferenças nos constituintes da proteína (BUSHUK, 1985).

ELTON & EWART, citados por PYLER (1983a), sugeriram que as propriedades reológicas das proteínas do trigo são determinadas primariamente pela sua estrutura terciária. A composição em aminoácidos dos principais cereais é muito similar, entretanto, somente as proteínas do trigo e, em alguma extensão as proteínas do centeio, possuem propriedades viscoelásticas. Acredita-se que ocorreram mutações na estrutura primária da proteína (sequência dos aminoácidos), que resultaram, após longos períodos de tempo, em estruturas secundárias e terciárias muito diferentes em cada cereal. Presumivelmente, a estrutura que confere propriedades viscoelásticas às proteínas do trigo não ocorre em outros cereais, exceto parcialmente no centeio (PYLER, 1983a).

#### 1.1 - Classificação e caracterização

As proteínas encontradas no trigo podem ser classificadas, de acordo com suas funções, em metabólicas e estruturais ou de reserva.

As proteínas metabólicas - albuminas e globulinas - estão envolvidas no desenvolvimento do grão e no início da germinação (BUSHUK & LEE, citados por CAMPBELL & LEE 1982). Sua principal função no alimento é nutricional, especialmente por apresentarem composição em aminoácidos razoavelmente bem balanceada (EWART, citado por CAMPBELL & LEE 1982).

As proteínas estruturais ou de reserva do trigo - gliadinas e gluteninas - representam a principal fonte de aminoácidos para o desenvolvimento do embrião durante a germinação (CAMPBELL & LEE, 1982). Essas proteínas são as mais importantes do ponto de vista tecnológico, pois desempenham papel-chave na produção de pão. Quando a farinha de trigo é misturada com água para formar a massa, as gliadinas e gluteninas hidratam-se e formam o glúten, que, após o cozimento, torna-se a estrutura do pão (BUSHUK, 1985). Existem diversas teorias sobre a formação do complexo do glúten, embora a sua estrutura ainda não tenha sido elucidada de modo conclusivo. Sabe-se, entretanto, que os principais constituintes do glúten são gliadina e glutenina (CAMPBELL & LEE, 1982).

#### 1.1.1 - Albuminas e globulinas

As albuminas e globulinas representam cerca de 10 a 15 % da proteína total da farinha de trigo (endosperma) e ocorrem em estruturas dobradas compactamente. Elas contêm relativamente altos índices de lisina, arginina e outros aminoácidos carregados, assim como grupos sulfidrila livres ou tióis. Análises de peso molecular indicaram que as albuminas representam os menores componentes da proteína da farinha de trigo, sendo reportado por KASARDA et alii (1978), valores de peso molecular na faixa de 12.000 a 26.250. Quanto às globulinas do trigo, estima-se que tenham pesos moleculares na faixa de 25.000 a 100.000, que é comparável ao das gliadinas (BUSHUK & WRIGLEY, citados por PYLER 1983a).

As albuminas e globulinas também são referidas como proteínas solúveis, pois são proteínas facilmente solubilizadas em água ou soluções salinas neutras diluídas (globulinas). Quando as globulinas ou as albuminas ou ambas foram excluídas da farinha, as características dos pães, avaliadas pelo teste de panificação, foram comparáveis àquelas obtidas com a farinha original, o que levou à conclusão de que as proteínas solúveis não desempenham papel essencial na panificação (HOSENEY et alii, 1969a).

#### 1.1.2 - Proteínas de reserva

As proteínas de reserva, em seu estado nativo, são dobradas compactamente em uma típica estrutura globular. A composição em aminoácidos da maioria das proteínas de reserva é muito similar, sendo que a glutamina ocorre em maior abundância, compreendendo um terço do total de aminoácidos em algumas proteínas. Dentre os aminoácidos presentes nas proteínas de reserva predominam os apolares, sendo que os resíduos de aminoácidos polares ocorrem em quantidades ligeiramente menores e os resíduos com cargas elétricas compreendem somente cerca de 10%. Esse perfil de composição de aminoácidos produz proteínas dobradas compactamente de forma a minimizar a exposição dos resíduos hidrofóbicos em meio aquoso. Em função da relativa ausência de grupos com cargas na superfície, combinada com a presença de áreas hidrofóbicas e de resíduos capazes de formar pontes de hidrogênio, as proteínas de reserva são altamente sensíveis à concentração de sal, de maneira que baixos níveis de sal são suficientes para ocultar as forças de repulsão das proteínas com cargas parecidas, permitindo-lhes interagir umas com as outras e com ácidos orgânicos e lipídios (BERNARDIN, 1978).

### 1.1.2.1 - Gliadina

A gliadina, que constitui aproximadamente 30 a 45% do glúten purificado, é uma mistura altamente heterogênea de proteínas solúveis em etanol 70%. Estudos cromatográficos realizados por HUEBNER & WALL, citados por PYLER (1983b), mostraram que a gliadina consiste de muitos componentes distintos, a maioria dos quais tem peso molecular de cerca de 30.000 a 35.000, podendo variar até 100.000. MECHAM et alii, citados por PYLER (1983b), demonstraram que as gliadinas são formadas por pelo menos 46 subunidades separáveis. As alfa, beta e gama-gliadinas têm peso molecular variando de 30.000 a 40.000. Além disso, há monômeros com peso molecular de 60.000 a 80.000 designados ômega-gliadinas e, finalmente, uma fração de cerca de 5 a 10% da gliadina total, que representa proteínas de peso molecular na faixa de 100.000 a 125.000.

As moléculas de gliadina parecem ser formadas por cadeias polipeptídicas simples, com pontes dissulfeto, quando ocorrem, unindo dois resíduos cisteinil dentro da mesma cadeia (MECHAM, citado por PYLER 1983b).

Em geral, as gliadinas apresentam cerca de 20% de estrutura em alfa-hélice e pouca ou nenhuma beta-estrutura. A estrutura terciária parece ser globular compactamente dobrada. Tal estrutura é consistente com o aumento da solubilidade com a elevação da temperatura e o aumento da viscosidade com a completa destruição da estrutura terciária (BERNARDIN, citado por PYLER 1983b).

Estudos eletroforéticos têm mostrado que os padrões de banda da gliadina variam levemente entre as variedades de trigo. Também, a proporção de gliadina no glúten parece estar sob influência varietal. Segundo PYLER (1983b), essas diferenças podem ser usadas para caracterizar diferentes variedades de trigo.

### 1.1.2.2 - Glutenina

A glutenina tem sido considerada um fator-chave no processo de panificação desde que foi isolada pela primeira vez por OSBORNE em 1907, conforme citado por PYLER (1983b). As proteínas glutenina compreendem cerca de 40% das proteínas do endosperma do trigo, sendo geralmente consideradas para explicar as propriedades viscoelásticas da massa. Tais proteínas são insolúveis em soluções salinas ou etanol 70% neutro, mas podem ser parcialmente extraídas com soluções ácidas diluídas. As gluteninas constituem a fração do glúten de alto peso molecular, o qual pode variar de 100.000 a muitos milhões (PYLER, 1983b). WALL et alii, citados por PYLER (1983b), mostraram que as gluteninas diferem em seu peso molecular dependendo da derivação varietal.

A farinha de trigo contém grande quantidade de gluteninas de alto peso molecular insolúveis em ácido acético, que foram encontradas em quantidades muito menores na cevada e no centeio, não ocorrendo no arroz, milho ou sorgo. Na presença de ácido fenol acético, dodecil sulfato de sódio (SDS) ou 2-cloroetanol 70%, essas gluteninas formam um gel e por essa razão são frequentemente chamadas gel proteínas (GRAVELAND et alii, 1982).

A grande estrutura terciária da glutenina é considerada resultado da presença de pontes dissulfeto que formam ligações cruzadas entre cadeias polipeptídicas individuais, formando uma rede molecular com propriedades elásticas semelhantes às da borracha. PENCE & OLCOTT citados por PYLER (1983b), encontraram que o tratamento da glutenina com agentes redutores reduziu marcadamente sua viscosidade e seu peso molecular devido à clivagem das pontes dissulfeto. Os autores, assim, forneceram evidências para o conceito de que a glutenina consiste de cadeias polipeptídicas mantidas juntas por pontes dissulfeto.

A redução da glutenina rende subunidades que, em muitos aspectos, parece com as gliadinas e por muito tempo pensou-

se que as gluteninas podiam ser compostas de subunidades de gliadina. Entretanto, estudos cromatográficos mostraram que as subunidades de gliadina e glutenina diferem de modo substantivo (PYLER 1983b).

A relativa escassez de aminoácidos ácidos ou básicos permite que a glutenina se dissolva somente em solventes ácidos ou básicos, a baixas concentrações de sal (BIETZ & HUEBNER, citados por PYLER 1983b). Por outro lado, a relativa abundância de resíduos hidrofóbicos oferece condições favoráveis para a ligação de lipídios, o que levou OLCOTT & MECHAM, citados por PYLER (1983b), a concluir que as gluteninas são em grande parte complexos proteína-lipídio.

Além das gluteninas, a farinha de trigo também contém uma fração de proteína insolúvel em álcool 70%, em ácido acético e em uréia 5M, porém solúvel em SDS 1,5%. Em relação ao padrão eletroforético (SDS-PAGE) e à composição de aminoácidos, essa fração de proteína é muito similar às proteínas residuais (glutelinas) de outros cereais (GRAVELAND et alii, 1982).

## 1.2 - Fracionamento

As proteínas da farinha de trigo podem ser fracionadas por diversos procedimentos. O clássico método de OSBORNE envolve a extração das albuminas e globulinas da farinha com soluções salinas diluídas, e a extração das gliadinas com etanol 70%, seguida pela solubilização da glutenina no resíduo com ácido ou álcali. O ácido acético é frequentemente usado para solubilizar a glutenina, deixando grande quantidade de proteína como resíduo insolúvel (glutenina insolúvel) (KASARDA et alii, 1976).

HOSENEY et alii (1969b) dissolveram glúten em ácido láctico 0,005 N e coletaram 3 frações; a "fração insolúvel" (centrifugada a 1.000 X g), a fração rica em gliadina

(sobrenadante) e a fração glutenina, separada por ultracentrifugação a 100.000 X g.

MACRITCHIE (1978) fracionou as proteínas do glúten, obtido de farinha de trigo desengordurada, por meio de extração com ácido acético 0,1 M, seguida de centrifugação. O sobrenadante, que constituiu 60% do glúten, foi referido como fração gliadina, enquanto que o resíduo foi chamado de fração glutenina.

PRESTON & TIPPLES (1980) fracionaram as proteínas do glúten em solúveis e insolúveis em ácido, através de sucessivas extrações com ácido acético 0,05 M, seguidas de centrifugação.

GRAVELAND et alii (1982) fracionaram as proteínas da farinha de trigo, obtendo 6 frações designadas de gluteninas I (insolúveis em SDS 1,5%), gluteninas II (insolúveis em etanol 70% e solúveis em uréia 5M + etanol 20%), gluteninas III, gliadinas e albuminas (solúveis em etanol 70%, separadas pelo peso molecular em coluna Sephadex G-100), glutelinas (insolúveis em etanol 70% e em uréia 5M + etanol 20%) e globulinas (insolúveis em etanol 70% e solúveis em soluções salinas diluídas). Foi sugerido que a diferença na solubilidade das frações de glutenina residia em uma diferença de peso molecular.

DOEKES & WENNEKES (1982) separaram as proteínas da farinha de trigo em três frações: albuminas mais globulinas, gliadinas e gluteninas totais. Pelo procedimento foram extraídas, primeiramente, as albuminas, globulinas e gliadinas da farinha, deixando as gluteninas no resíduo. A seguir foram separadas as gliadinas das albuminas e globulinas por meio de diálise contra uma solução salina.

## 2 - Funcionalidade das Proteínas da Farinha de Trigo na Produção de Pão

As proteínas do trigo contribuem marcadamente para a funcionalidade da farinha no processo de produção de pão. A farinha de trigo destinada à panificação deve ter, em primeiro lugar, um conteúdo relativamente alto de proteína e, secundariamente, conter proteínas de qualidade adequada (BUSHUK, 1985).

O conteúdo de proteína pode ser determinado precisamente, porém a qualidade da proteína é extremamente complexa e muito difícil de ser avaliada. Presumivelmente, a qualidade de proteína adequada a cada tipo específico de pão depende de uma complexa combinação de muitas propriedades físicas e químicas (BUSHUK, 1985).

O conteúdo de proteína do trigo depende fortemente de fatores agrônômicos e ambientais, tais como teor de nitrogênio e de umidade do solo e temperatura durante o período de desenvolvimento da planta. Para um conjunto particular de condições de cultivo, algumas variedades produzem mais proteína que outras (BUSHUK, 1985). Assim, o conteúdo de proteína do grão de trigo pode variar entre 7 e 20%, podendo ser encontradas, ocasionalmente, amostras fora desta faixa (CAMPBELL & LEE, 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 alii, 1977). Segundo FINNEY & BARMORE e BUSHUK et alii, citados por TANAKA & BUSHUK (1972), para um dado cultivar, a qualidade de panificação (volume do pão) foi diretamente relacionada com o seu conteúdo de proteína.

A qualidade da proteína, por outro lado, parece ser uma característica genotípica. A inclinação das curvas de regressão que relacionam volume do pão e conteúdo de proteína da

farinha de trigo foi considerada um bom índice da qualidade da proteína para uma determinada variedade de trigo. Foi constatado que cultivares caracterizados por curvas de regressão com alta inclinação apresentaram proteína de qualidade tecnológica mais alta em relação àquelas com inclinações mais baixas (BUSHUK, 1985)

Quando a água é adicionada à farinha de trigo, as proteínas, juntamente com outros constituintes da farinha, hidratam-se rapidamente. Tanto o conteúdo quanto a qualidade da proteína são fatores importantes na determinação da velocidade e da capacidade de absorção de água pela farinha. Pela ação da mistura, as partículas de farinha hidratadas formam uma rede de massa contínua, que pela mistura subsequente se transforma em uma massa desenvolvida com propriedades físicas adequadas à produção de pão. Durante o desenvolvimento da massa, os agregados de proteína, que a princípio parecem ter estrutura física fibrilar são convertidos em filmes contínuos ou membranas com propriedades reológicas adequadas à expansão e à retenção dos gases produzidos durante a fermentação e o cozimento da massa. A transformação de partículas de farinha hidratadas em uma massa desenvolvida depende, em grande extensão, da natureza das proteínas da farinha, especialmente das proteínas do glúten (BUSHUK, 1985).

Quando hidratada, a glutenina forma massa muito dura e borrachenta, enquanto a gliadina produz massa fluida e viscosa. O glúten, por outro lado, exibe propriedades físicas de coesão, elasticidade e fluxo viscoso, combinando, portanto, características dos dois componentes (PYLER, 1973).

A medida objetiva das propriedades físicas da massa envolve diversos instrumentos que registram as características de mistura, hidratação, fermentação e extensão da massa. Pela correlação dos dados obtidos por esses instrumentos com os resultados dos testes de panificação, é possível, frequentemente, chegar a conclusões concernentes à qualidade de panificação da farinha em questão (PYLER, 1973)

As características de mistura e hidratação da farinha e o desenvolvimento do glúten na massa podem ser avaliados em misturadores com registros, tais como o farinógrafo, o mixógrafo ou o reógrafo, 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 extensígrafo Brabender, alveógrafo Chopin ou extensômetro de pesquisa Simon, através da medida de parâmetros como a extensibilidade e a elasticidade. Esses instrumentos medem somente algumas das propriedades que determinam a qualidade de panificação da farinha de trigo; conseqüentemente, a interpretação isolada dos resultados obtidos nesses testes é limitada (BLOKSMA, 1978).

### 3 - Relação de Frações Específicas do Glúten com as Propriedades Funcionais da Farinha de Trigo

O papel preponderante desempenhado pelas proteínas da farinha de trigo como o principal determinante da qualidade de panificação foi estabelecido conclusivamente por FINNEY em 1943, conforme citado por PYLER (1983a). Embora a composição básica das principais proteínas do trigo pareça ser basicamente similar, esse pesquisador foi capaz de demonstrar por estudos de fracionamento da farinha, que o desempenho variável em panificação de diferentes variedades de trigo é imputável primariamente às proteínas do glúten.

Estudos realizados por PRESTON & TIPPLES (1980) apontaram a solubilidade e a distribuição de peso molecular das proteínas do glúten como os mais importantes fatores na determinação da qualidade da farinha.

BUTAKI & DRONZEK (1979a,b) investigaram as propriedades do glúten de quatro variedades de trigo com características de mistura e potencial de panificação diferentes. Segundo os autores, o glúten dos trigos duros foi mais insolúvel em ácido acético diluído em relação aos de variedades de trigo mole.

Também foi encontrado que o glúten dos trigos duros foi mais resistente à extensão e mais tolerante à mistura em relação ao dos trigos mais moles. Pela análise das propriedades de extensão, os autores concluíram que o glúten das farinhas fracas é formado de agregados de proteína pequenos, pouco compactos e que podem ser mais facilmente estendidos. O glúten das farinhas fortes, por outro lado, parece consistir de agregados proteicos grandes, compactos e que são resistentes ao estiramento.

As gliadinas são consideradas, geralmente, como tendo pouco ou nenhum efeito sobre as propriedades de mistura da massa. Porém, PRESTON et alii, citados por PYLER (1983b), trabalhando com sistemas sintéticos de massa contendo glutenina, gliadina, amido e água, encontraram que frações de gliadina com pesos moleculares variáveis tiveram efeitos significativos sobre as propriedades de mistura das massas testadas. Gliadinas de alto peso molecular mostraram maior efeito fortalecedor sobre a massa que gliadinas de peso molecular mais baixo, presumivelmente, por sua maior área superficial favorecer a associação com as gluteninas e outros constituintes no sistema massa.

Segundo MACRITCHIE, citado por CHAKRABORTY & KHAN (1988b), o baixo peso molecular das proteínas gliadina diminuiu a força da massa e a estabilidade à mistura.

Não foi encontrada relação entre composição da gliadina e qualidade de panificação da farinha de diferentes variedades de trigo, o que, segundo BUSHUK (1985), não significa que a fração de gliadina não contribua para a qualidade básica de panificação da farinha de trigo, mas sim, que ela não está relacionada às diferenças na qualidade de panificação, especialmente no volume do pão, entre os cultivares.

Em recentes revisões feitas por MACRITCHIE, POMERANZ e BUSHUK, citadas por CHAKRABORTY & KHAN (1988b), foi enfatizada a quantidade extensiva de trabalhos conduzidos sobre as propriedades das proteínas do glúten através de técnicas de fracionamento por solubilidade. Entretanto, poucos pesquisadores relacionaram frações

específicas do glúten com as diferenças observadas na qualidade de panificação das farinhas (CHAKRABORTY & KHAN, 1988b).

Estudos de panificação realizados por HOSENEY et alii (1969b) mostraram que, quando a farinha de trigo é reconstituída, após fracionamento proteico, usando ácido láctico 0,005 N, a fração insolúvel não desempenhou papel específico em panificação, enquanto que a fração proteica rica em gliadinas controlou o volume do pão e as proteínas glutenina governaram os requerimentos de mistura da farinha de trigo.

Porém, em outro estudo de panificação com reconstituição da farinha, foi concluído que as diferenças na qualidade de panificação das farinhas de trigo se devem à fração de glutenina (MACRITCHIE, 1978). Segundo MACRITCHIE (1980), diferenças no potencial de volume do pão, aparentemente, não estão relacionadas a um balanço ótimo entre gliadina e glutenina.

PRESTON & TIPPLES (1980), após o fracionamento das proteínas do glúten, encontraram que o efeito de fortalecimento da massa foi devido, principalmente, à fração solúvel em ácido acético 0,05 M, sendo que as proteínas dessa fração aumentaram o volume do pão, enquanto que as proteínas do glúten insolúveis nessas condições apresentaram o efeito contrário. Os autores sugeriram que as proteínas insolúveis em ácido (glutenina) que desagregam durante a mistura são de maior importância na determinação da qualidade de panificação do que as proteínas do glúten mais insolúveis e resistentes à desagregação.

ORTH & BUSHUK (1972) fracionaram as proteínas de 26 variedades de trigo com qualidades de panificação diferentes, usando um procedimento modificado de OSBORNE, e obtiveram resultados contrários aos citados por PRESTON & TIPPLES (1980). Os resultados de ORTH & BUSHUK (1972) não mostraram uma relação simples entre as quantidades de albumina, globulina ou gliadina e o volume do pão, dentro da faixa de qualidade de panificação representada pelas 26 variedades. Entretanto, houve uma relação inversa, altamente significativa, do volume com a quantidade de

glutenina solúvel em ácido acético 0,05 M, e uma relação direta com a quantidade de glutenina insolúvel em ácido acético. Com base nesses resultados, os autores concluíram que as diferenças no volume do pão entre as variedades de trigo investigadas resultaram de diferenças nas proteínas glutenina.

TIPPLES et alii (1977) observaram enfraquecimento nas características físicas da massa e deterioração da qualidade do pão em amostras de farinha provenientes de trigos (cultivar Neepawa) com conteúdos muito altos de proteína. Foi encontrado que os tempos de chegada e de desenvolvimento máximo da massa tenderam a aumentar até um valor máximo com o conteúdo de proteína crescente. As amostras com conteúdos proteicos acima desse valor crítico (acima de 17%) tornaram-se notadamente mais fracas, a julgar pela rápida queda da consistência da massa ("breakdown"), bem como pelas bandas mais estreitas apresentadas pelos farinogramas. A extensibilidade da massa aumentou ligeiramente e a resistência da massa à extensão (elasticidade) diminuiu marcadamente com o conteúdo de proteína crescente, de tal forma que o número proporcional e a área sob a curva extensigráfica diminuíram sensivelmente. Esse efeito foi marcante para farinhas com conteúdos de proteína acima de 14% e foi atribuído ao aumento da proporção de gluteninas solúveis em ácido acético com o conteúdo de proteína crescente (BUSHUK et alii 1978).

MARAIS & D'APPOLONIA (1981), usando o mesmo método de fracionamento de ORTH & BUSHUK (1972), porém, um teste de panificação com tempos de mistura e fermentação mais curtos, encontraram que, com níveis ótimos de bromato, o volume do pão correlacionou positivamente com o conteúdo de proteína total, porém, negativamente com a percentagem de proteínas glutenina e residuais.

DOEKES & WENNEKES (1982) estudaram a composição da proteína de 25 amostras de farinha de trigo com conteúdos de proteína crescentes, obtidas de 5 cultivares de qualidade de panificação variável. As proteínas da farinha foram fracionadas em glutenina, gliadina e albuminas & globulinas, por um procedimento

desenvolvido por esses mesmos autores. O conteúdo de cada fração foi correlacionado com o volume do pão, sendo encontrada correlação positiva com o conteúdo de proteína total e com a fração de gliadina.

Os resultados do fracionamento da farinha de duas variedades de trigo com qualidades de panificação distintas, realizado por GRAVELAND et alii (1982) mostraram que a variedade de trigo com boa qualidade para produção de pão apresentou mais glutenina que a variedade com baixa qualidade tecnológica, sendo especialmente rica em gluteninas I (alto peso molecular). Por outro lado, o conteúdo de glutelinas na variedade com baixa qualidade para panificação foi maior, concluindo-se, então, que a diferença no volume do pão entre as duas variedades poderia ser explicada pelas diferenças no conteúdo e na composição molecular das gluteninas por um lado, e no conteúdo de glutelinas por outro.

Na tentativa de esclarecer a controvérsia concernente às propriedades funcionais de frações específicas da proteína do trigo, CHAKRABORTY & KHAN (1988a) isolaram e quantificaram as frações da proteína de três variedades de trigo de diferentes qualidades de panificação pelos procedimentos de CHEN & BUSHUK ( método de OSBORNE modificado), de MACRITCHIE e de HOSENEY et alii e usaram SDS-PAGE para analisar as diferenças na composição dessas frações. Foi concluído que variações nos procedimentos usados para isolar as diferentes frações da proteína do trigo podem resultar em diferenças na composição das classes de proteínas. Os resultados conflitantes relativos à funcionalidade das frações de gliadina e glutenina, portanto, foram atribuídos às diferenças na composição das várias frações.

As propriedades funcionais das várias frações isoladas nesse estudo foram avaliadas através de estudos de panificação com reconstituição (CHAKRABORTY & KHAN, 1988b). Os resultados mostraram que diferenças na composição das frações de proteína, tal como albuminas e globulinas (solúveis em água), gliadinas, gluteninas e resíduo podem resultar em diferenças nas propriedades funcionais e no volume do pão. Entretanto, pela

comparação das frações de proteína obtidas dos diferentes procedimentos de fracionamento, concluiu-se que o volume do pão pareceu estar associado com a fração de glutenina, e que uma certa porção da fração de glutenina combinada com gliadina, foi responsável pela otimização do volume do pão.

GRAMA et alii (1987) citaram diversos estudos sobre associações entre componentes específicos da proteína e qualidade de panificação para trigos europeus e australianos. A análise da qualidade de diversos derivados hexaplóides, desenvolvidos em Israel a partir de um trigo tetraplóide, e cultivados na Nova Zelândia, mostrou que o conteúdo de proteína, a força da massa e a qualidade de panificação estão relacionados com a presença de componentes específicos da proteína. Em particular, foi encontrado que a qualidade de panificação superior do trigo está intimamente associada à presença de subunidades de glutenina de alto peso molecular, o que está de acordo com os resultados encontrados para os trigos europeus.

CAMPBELL et alii (1987) estudaram 71 linhagens de trigo hexaplóide de diversas qualidades e origens, correlacionando os resultados dos testes de qualidade e a composição do glúten. Os autores não encontraram componentes proteicos relacionados à extensibilidade da massa ou ao tempo de desenvolvimento, porém muitas relações altamente significativas, foram obtidas, especialmente entre a resistência à extensão da massa e gliadinas e subunidades de glutenina de alto peso molecular específicas.

Resultados similares foram encontrados por CRESSEY et alii (1987a) em estudo com 60 linhagens de trigo hexaplóide desenvolvidas e cultivadas na Nova Zelândia.

NG & BUSHUK (1988), estudando 26 variedades de trigo para pão, encontraram que variedades de alta qualidade tiveram predominância de subunidades de glutenina específicas. Segundo esses autores, existe evidência substancial de que a maioria das diferenças intervarietais com relação à qualidade de panificação resulta de diferenças quantitativas e qualitativas nas proteínas

gluteninas, e que, aparentemente, diversos aspectos estruturais contribuem para essa variação na funcionalidade. Um dos aspectos moleculares fortemente implicados, com base em evidência estatística, foi a composição das subunidades (bandas eletroforéticas da glutenina reduzida), especialmente dos componentes de alto peso molecular.

#### 4 - Efeito da Fertilização com Nitrogênio sobre a Proteína da Farinha de Trigo

##### 4.1 - Conteúdo de proteína

O nitrogênio foi considerado o principal nutriente que influencia o rendimento em grãos e o conteúdo de proteína do trigo, desde que a umidade do solo não seja um fator limitante (DUBETZ, 1977). TERMAN et alii (1969) encontraram que o principal efeito da aplicação de nitrogênio em cultura de trigo com adequado suprimento de água foi o aumento da produção de grãos, enquanto que o principal efeito desse elemento, em condições de severo déficit hídrico, foi o aumento da porcentagem de proteína dos grãos. Em situações intermediárias, a fertilização com nitrogênio aumentou a produção de grãos e o teor de proteína.

Segundo DUBETZ (1972), quando foi feita aplicação de taxas de nitrogênio relativamente altas em campos irrigados, nem sempre foram obtidas respostas positivas no rendimento em grãos, mas o conteúdo de proteína geralmente foi aumentado com incrementos crescentes de nitrogênio.

A aplicação de nitrogênio através da aspensão de uréia sobre a planta, na época da floração, aumentou marcadamente o conteúdo de proteína do trigo, sem afetar a produção de grãos (FINNEY et alii 1957; DUBETZ 1977).

Examinando o efeito de aplicações de diferentes doses de nitrogênio em diferentes períodos de crescimento da planta, KOENIG (1989) encontrou que o conteúdo de proteína do trigo foi mais consistentemente afetado pela variação na dose de aplicação de nitrogênio do que pela variação na época de aplicação.

#### 4.2 - Composição da proteína

Tem sido amplamente reconhecido que o conteúdo de proteína do trigo pode ser aumentado pela fertilização com nitrogênio. Entretanto, é ainda controverso o efeito da fertilização com nitrogênio sobre os teores das frações proteicas de um dado cultivar, quando o conteúdo de proteína total varia.

PRUGAR & SASEK, citados por DOEKES & WENNEKES (1982), revisaram os pareceres de diversos pesquisadores dos anos 60 sobre a influência da fertilização com nitrogênio na composição da proteína. Segundo esses autores a aplicação de fertilizante nitrogenado provocou grande aumento nas gliadinas, aumento menor nas gluteninas e leve aumento nas albuminas e globulinas, de tal forma que as proporções relativas dessas frações proteicas foram alteradas. Os revisores obtiveram resultados similares com uma ampla gama de composições e aplicações de fertilizantes.

TANAKA & BUSHUK (1972), estudaram a composição da proteína de duas variedades de trigo, a partir de amostras da mesma variedade cultivadas sob idênticas condições de campo, mas diferindo em conteúdo de proteína de acordo com a fertilidade do solo (teor de nitrogênio). Os autores encontraram que as frações proteicas das variedades estudadas variaram proporcionalmente ao conteúdo de proteína total da farinha, ou seja, a composição da proteína não apresentou alteração líquida. Também não foram observadas mudanças nos padrões eletroforéticos das frações proteicas. Foi concluído, portanto, que a alteração do conteúdo de proteína, pela fertilização com nitrogênio, não apresentou qualquer efeito qualitativo sobre a proteína.

Em estudo sobre o efeito da aplicação de altas doses de nitrogênio sobre um trigo vermelho duro de primavera (cultivar Neepawa), TIPPLES et alii (1977) observaram que conteúdos muito altos de proteína (acima de 17%) foram associados, de uma forma geral, ao enfraquecimento marcante das características físicas da massa e à deterioração da qualidade do pão, o que pareceu indicar que poderiam ocorrer diferenças qualitativas nas proteínas de amostras do mesmo cultivar com diferentes conteúdos de proteína. O exame da proteína através de fracionamento por solubilidade e a análise dos aminoácidos (BUSHUK et alii, 1978) indicaram alterações na proteína que poderiam explicar, ao menos em parte, o decréscimo observado na qualidade de panificação. O aspecto mais significativo dos resultados do fracionamento foi o aumento marcante da proporção de glutenina solúvel em ácido acético com o conteúdo de proteína crescente. Esse aumento foi acompanhado pelo decréscimo correspondente nas proporções de albuminas e proteína residual (glutenina insolúvel), não sendo praticamente alteradas as proporções de globulinas e gliadinas. Em resumo, o decréscimo observado na qualidade de panificação da proteína das amostras examinadas nesse estudo foi atribuído à gradual alteração na solubilidade da glutenina. BUSHUK et alii (1978) concluíram, então, que sob determinadas condições ambientais, como por exemplo, altas doses de nitrogênio no solo, as taxas de síntese dos componentes da proteína do trigo foram afetadas de forma diferente e que, sob condições normais de cultivo, esse efeito não foi observado (TANAKA & BUSHUK, 1972).

DOEKES & WENNEKES (1982) fracionaram a proteína de uma série de amostras de cultivares de trigo fertilizados com nitrogênio em albuminas & globulinas, gliadinas e gluteninas totais. Esse fracionamento mostrou que somente o conteúdo de gliadinas aumentou com o conteúdo de proteína crescente. Independentemente do cultivar ou do conteúdo de proteína total, as amostras apresentaram o mesmo teor de albuminas & globulinas. O conteúdo de glutenina também foi independente do conteúdo de proteína total, mas diferiu entre os cultivares. Ou seja, as proporções de albuminas & globulinas e gluteninas totais diminuíram e apenas a proporção de gliadinas aumentou na composição da

proteína das farinhas com conteúdos crescentes de proteína.

CRESSEY et alii (1987b) estudaram o efeito de diferentes níveis de nitrogênio, aplicado por aspensão de uréia sobre as folhas da planta, separando as proteínas do grão em seus componentes por eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE, subunidades de glutenina reduzida e A-PAGE, subunidades de gliadinas). Foi encontrado que a fertilização com teores crescentes de nitrogênio resultou em aumentos na intensidade dos padrões eletroforéticos da proteína, não sendo aparentes maiores alterações na intensidade relativa dos componentes.

Trabalho recente de investigação sobre o efeito do ambiente nas proteínas de reserva do trigo, através de cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa (RP-HPLC), mostrou que as proporções relativas das proteínas gliadina e glutenina foram afetadas pelo meio. Qualitativamente, os cromatogramas não foram influenciados pelo ambiente, porém, quantitativamente, foram observadas influências pequenas, mas estatisticamente significativas (MARCHYLO et alii, 1990).

Amostras de duas variedades de trigo com conteúdos de proteína de 7 a 13% (base seca) obtidas de ensaio de fertilização com nitrogênio mostraram alta correlação entre rendimento de glúten e conteúdo de proteína da farinha. Para ambas as variedades, a porcentagem de proteínas solúveis em água pareceu diminuir com os índices crescentes da fertilização com nitrogênio (KELFKENS et alii, 1990).

O exame do efeito de aplicações de diferentes doses de nitrogênio em diferentes estágios de crescimento da planta mostrou que a relação gliadina / glutenina da farinha diminuiu com níveis crescentes de aplicação de nitrogênio (KOENIG, 1989).

#### 4.3 - Composição de aminoácidos

Diversos estudos têm mostrado que a fertilização com nitrogênio pode alterar a composição de aminoácidos das proteínas do trigo, estando essas alterações associadas às frações de proteína que aumentam no grão (DUBETZ & GARDINER, 1979).

LARSEN & DISSING NIELSEN, citados por DUBETZ & GARDINER (1979), mostraram que aplicações crescentes de nitrogênio resultaram em aumentos nos teores de ácido glutâmico e prolina e decréscimos em lisina e arginina. Segundo ABROL et alii, citados por DUBETZ & GARDINER (1979), a aplicação de 134 Kg/ha de nitrogênio aumentou apreciavelmente os teores de ácido glutâmico, prolina, fenilalanina e leucina, porém os conteúdos de lisina, valina e treonina diminuíram.

O aumento do conteúdo de proteína do trigo após a aplicação de 46,5 Kg/ha de nitrogênio aumentou os teores de ácido glutâmico, prolina e fenilalanina, mas a maior parte dos outros aminoácidos diminuíram, especialmente lisina (KOLDERUP, citado por DUBETZ & GARDINER 1979).

DUBETZ & GARDINER (1979) estudaram o efeito de diversos tipos de tratamentos com fertilizante nitrogenado sobre a composição de aminoácidos do trigo (cultivar Neepawa). O fertilizante nitrogenado foi aplicado no solo na forma granular em 4 níveis (0, 100, 200 e 300 Kg/ha) ou aspergido sobre a folhagem na forma de uréia em 3 níveis (0, 50 e 100 Kg/ha). Na maioria dos casos, quando ocorreram respostas no conteúdo de aminoácidos, elas foram no primeiro incremento de nitrogênio (100 Kg/ha, granular; 50 Kg/ha, uréia). Em geral, os teores de ácido glutâmico, prolina, fenilalanina, cistina, metionina e tirosina aumentaram e os de lisina, histidina, arginina, ácido aspártico, treonina, glicina, valina e leucina diminuíram após uma ou ambas formas de aplicação de nitrogênio. As porcentagens de cistina e glicina foram afetadas pelo nitrogênio granular, mas não pelo nitrogênio da uréia. Ao contrário, as porcentagens de valina, metionina e tirosina foram

afetadas pelo nitrogênio da uréia, mas não pelo granular. Isso sugeriu que o nitrogênio disponível no estágio de crescimento da floração favoreceu a síntese preferencial de alguns aminoácidos. Os conteúdos de serina, alanina e isoleucina não foram afetados pelo nitrogênio. Cada aminoácido foi significativamente correlacionado com um ou mais aminoácidos. Os resultados do trabalho sugeriram que o estágio de crescimento no momento da aplicação de nitrogênio pode influenciar o teor de certos aminoácidos no grão, como por exemplo a glicina. Correlações altamente positivas entre aminoácidos sugeriram que estes estão intimamente relacionados em proteínas comuns. DUBETZ & GARDINER (1979) mostraram que a fertilização com nitrogênio alterou as proporções das frações de proteína solúvel do grão de trigo, mas não modificou as proporções de aminoácidos nas frações individuais.

Em estudo sobre o efeito de altas taxas de nitrogênio na qualidade da proteína, a análise de aminoácidos mostrou que as proporções de ácido glutâmico, prolina, fenilalanina e tirosina aumentaram com o conteúdo de proteína crescente. Esses resultados foram consistentes com os resultados do fracionamento da proteína por solubilidade, ou seja, maior teor de glutenina e menor de albumina na composição da proteína (BUSHUK et alii, 1978).

### III. MATERIAL E METODOS

#### 1 - Material

##### 1.1 - Matéria-prima

A seção de Arroz e Cereais de Inverno do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) realizou ensaios de modo de aplicação de nitrogênio em cultura de trigo irrigada por aspersão em diversos locais do Estado de São Paulo, no período de 1985 a 1988 (CAMARGO et alii 1990). Para o presente estudo foram tomadas amostras (de aproximadamente 3 kg de grãos) do experimento I instalado no Centro Experimental de Campinas, onde foi empregado o cultivar IAC-60 e do experimento II, na Estação Experimental de Tatuí e que empregou o cultivar IAC-161, ambos realizados em 1987.

Os ensaios consistiram de 20 (vinte) tratamentos com 4 (quatro) repetições cada. Das 20 amostras de trigo tratado (misturas das 4 repetições) foram estudadas 12, cujos tratamentos correspondentes encontram-se sumarizados no Quadro 1. As amostras não estudadas correspondem a tratamentos com aplicações de nitrogênio em 10 e 30 dias após a emergência da planta.

Nos tratamentos 1, 3, 5, 7 e 9 foram aplicados 60 Kg/ha de nitrogênio e nos tratamentos 2, 4, 6, 8 e 10 aplicou-se 120 Kg/ha. Os tratamentos 11 e 12 não receberam nitrogênio, sendo portanto considerados testemunhas. Todos os tratamentos, com exceção do 12, receberam 30 e 90 Kg/ha de potássio e fósforo, respectivamente.

Como fonte de nitrogênio foi utilizada a uréia e como fonte de fósforo e potássio foram empregados superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

QUADRO 1. Tratamentos de fertilização com nitrogênio aplicados nos experimentos I e II.

TRATAMENTO	NITROGENIO				Fósforo	Potássio
	No sulco de plantio	Após emergência da planta			No sulco de plantio	No sulco de plantio
		20 dias	40 dias	60 dias		
Kg/ha						
1	60	0	0	0	90	30
2	120	0	0	0	90	30
3	20	40	0	0	90	30
4	40	80	0	0	90	30
5	20	0	40	0	90	30
6	40	0	80	0	90	30
7	20	0	0	40	90	30
8	40	0	0	80	90	30
9	20	20	20	0	90	30
10	40	40	40	0	90	30
11	0	0	0	0	90	30
12	0	0	0	0	0	0

## 1.2 - Reagentes

Os reagentes utilizados apresentaram as especificações requeridas pela metodologia empregada.

## 1.3 - Aparelhos e Equipamentos

Foram utilizados, além da vidraria e de outros instrumentos comuns de laboratório, os seguintes aparelhos e equipamentos:

- . Divisora Boerner
- . Medidor de volume específico para grãos
- . Moinho para grãos Tecnal TE020
- . Moinho Brabender Quadrumat Senior
- . Balança semi-analítica Mettler P1200
- . Balança analítica Bosch S2000
- . Estufa com circulação forçada de ar Fanem 320-SE
- . Mufla Engro 355L
- . Digestor de proteínas Technicon BD-40
- . Destilador de nitrogênio Tecnal
- . Agitador de tubos Phoenix AT 56
- . Centrífuga refrigerada Fanem FR 22 com multiplicador de velocidade
- . Liofilizador Stokes
- . Farinógrafo Brabender
- . Extensígrafo Brabender
- . Forno elétrico doméstico Layr
- . Planímetro Maho

## 2 - Métodos

### 2.1 - Moagem do Trigo

#### 2.1.1 - Peso hectolitro

As amostras de trigo (cerca de 3 kg) foram inicialmente divididas na divisora Boerner para se obter amostras representativas de menor tamanho (aproximadamente 1 kg). A seguir, as amostras de trigo obtidas foram suspensas em uma moega, da qual escoaram livremente, sendo recolhidas em um recipiente cilíndrico de volume igual a 1 litro. O excesso de grãos foi retirado passando-se uma régua junto à boca do recipiente. O valor do peso hectolitro foi obtido multiplicando-se por 100 o peso do trigo (em quilos) contido no recipiente.

#### 2.1.2 - Condicionamento dos grãos

As unidades empregadas no condicionamento foram 14 e 15%, respectivamente para as amostras dos experimentos I e II.

A quantidade de água a ser adicionada aos grãos para se atingir a unidade do condicionamento, foi calculada através da Fórmula 1.

$$a = \frac{U_f - U_i}{100 - U_f} \cdot A, \quad (1)$$

onde:

a = quantidade de água adicionada (g)

$U_i$  = unidade dos grãos de trigo (%)

$U_f$  = umidade do condicionamento (%)

A = peso da amostra (g)

A água do condicionamento foi adicionada ao trigo gradativamente sob agitação contínua. A amostra condicionada foi guardada em sacos plásticos e deixada em repouso por 48 horas, para homogeneização da umidade, antes do início da moagem.

### 2.1.3 - Processo de moagem

As amostras de trigo dos experimentos I e II, após o condicionamento, foram submetidas à moagem em moinho experimental de rolos Brabender, modelo Quadrumat Senior. Foram usadas as seções de quebra e redução e o sistema de peneiragem do moinho. Ao final da moagem foram obtidos quatro produtos: a farinha de quebra (partículas menores que 150 micra), a farinha de redução (menores que 195 micra), o farelo (maiores que 500 micra) e o farelinho (maiores que 195 e menores que 500 micra). O farelinho foi remoído na seção de redução do moinho, passando novamente pelo sistema de peneiragem, que separou mais uma fração de farinha de redução. As farinhas usadas nos testes foram compostas pela mistura das farinhas de quebra e redução correspondentes a cada amostra.

### 2.2 - Análises de Composição Química

Os conteúdos de umidade das amostras de trigo e de farinha, e os teores de cinzas, proteínas e glúten das farinhas de trigo foram determinados de acordo com os métodos da American Association of Cereal Chemists (AACC, 1976) 44-15A, 08-01, 46-13 e 38-10, respectivamente.

### 2.3 - Fracionamento da Proteína

Os conteúdos de gluteninas, gliadinas e albuminas & globulinas das farinhas foram determinados pelo método de fracionamento de DOEKES & WENNEKES (1982), descrito a seguir, e esquematizado na Figura 1.

Uma amostra de 2 g de farinha de trigo foi suspensa em 12 ml de etanol 70% durante 5 minutos com o auxílio de um agitador de tubos. A suspensão obtida foi então centrifugada por 20 minutos a 6.000 x g. O mesmo procedimento foi repetido mais duas vezes, sendo que na terceira extração foi usado etanol 40% preparado com Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M. Os processos de extração e centrifugação foram realizados sob temperatura controlada de 25 ± 1°C. O resíduo resultante da terceira extração (fração 1) consistiu basicamente de amido e gluteninas da farinha de trigo.

Os três extratos de etanol foram coletados no mesmo recipiente e essa mistura foi dialisada a 4°C contra três sucessivas porções de 10 litros de uma solução de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,4 M por 18 horas. A seguir, o precipitado obtido foi recuperado por centrifugação a 1.600 x g por 30 minutos. Esse precipitado (fração 2) consistiu essencialmente das gliadinas da farinha de trigo. O sobrenadante foi dialisado contra água e parcialmente evaporado. Essa suspensão (fração 3) consistiu principalmente das albuminas e globulinas (além de outros componentes solúveis) da farinha de trigo.

As três frações obtidas foram liofilizadas e pesadas. O conteúdo de proteína de cada fração foi determinado pelo método AACC 46-13, usando-se o fator 5,7 para conversão do teor de nitrogênio em proteína.

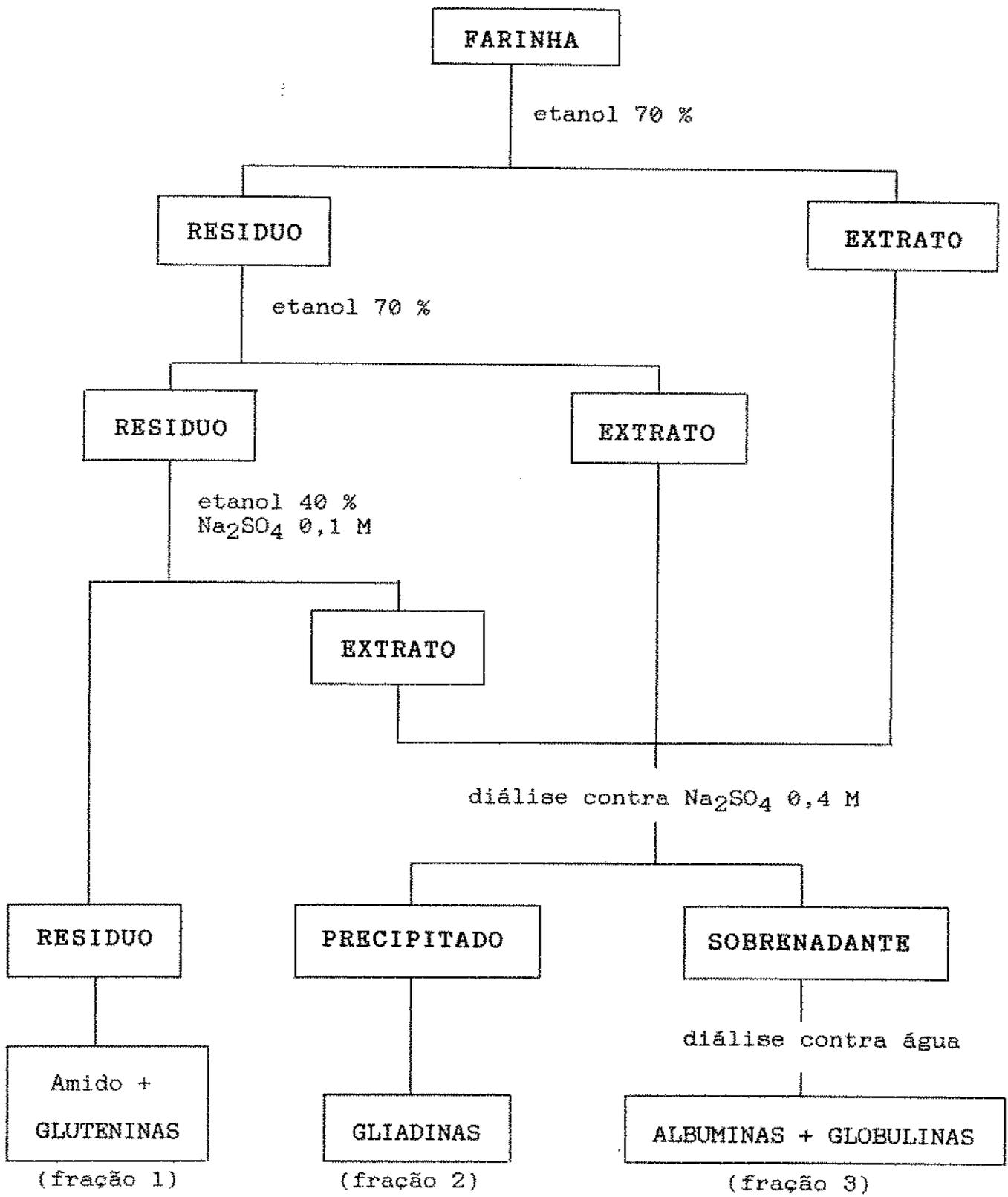


FIGURA 1. Fracionamento das proteínas da farinha de trigo.

## 2.4 - Avaliação da Qualidade Tecnológica das Farinhas

### 2.4.1 - Propriedades de hidratação e mistura

As propriedades de hidratação e mistura das farinhas foram determinadas pelo teste de farinógrafo de acordo com o método da AACC 54-21. Os parâmetros usados para a avaliação dos farinogramas foram os seguintes:

- Absorção de água: quantidade de água (g/ 100 g de farinha) necessária para que a massa atinja a consistência máxima de 500 unidades farinográficas (U.F.) durante a mistura (o centro da banda deve coincidir com a linha das 500 U.F. no ponto máximo da curva farinográfica).
- Tempo de chegada: tempo (min) desde o início da adição de água até que o topo da curva farinográfica alcance a linha das 500 U.F..
- Tempo de desenvolvimento: tempo (min) desde o início da adição de água até que a curva atinja o ponto máximo, medido imediatamente antes da primeira indicação de queda.
- Tempo de saída : tempo (min) desde o início da adição de água até que o topo da curva deixe a linha das 500 U.F..
- Estabilidade: intervalo de tempo (min) do ponto onde o topo da curva atinge a linha das 500 U.F. até o ponto onde o topo da curva deixa a referida linha. É igual à diferença entre tempo de saída e tempo de chegada.
- Índice de tolerância à mistura: diferença (em U.F) entre o topo da curva no ponto máximo e o topo da curva 5 minutos após o ponto máximo.

#### 2.4.2 - Propriedades de extensão da massa

As propriedades de extensão da massa foram determinadas pelo teste de extensígrafo segundo método da AACCC 54-10. O extensígrama foi avaliado com base nos seguintes parâmetros:

- Extensibilidade (E): distância (mm) do início ao final da curva.

- Resistência à extensão ou elasticidade (R): altura da curva extensigráfica, em unidades extensigráficas (U.E.), a 50 mm do seu início.

- Resistência máxima (R<sub>m</sub>): altura máxima da curva (em U.E.).

- Número proporcional ( $D = R / E$ ): relação entre a resistência à extensão e a extensibilidade.

- Energia (A): área (cm<sup>2</sup>) medida sob a curva extensigráfica com o auxílio de um planímetro.

#### 2.4.3 - Teste de panificação

A qualidade de panificação das farinhas foi determinada pelo teste de panificação de El-Dash (1978), segundo o qual a temperatura e a consistência da massa são controladas e a absorção de água e o tempo de mistura são determinados instrumentalmente. A formulação do pão foi a seguinte:

Farinha	100 %
Fermento	3 %
Sal	2 %
Açúcar	5 %
Gordura	3 %
Ácido ascórbico	90 ppm

A quantidade de água adicionada no processo de mistura variou entre as farinhas (de acordo com a absorção de água) e foi baseada em uma consistência de 500 U.F. no ponto máximo. A mistura dos ingredientes foi realizada na misturadora do farinógrafo até o desenvolvimento ótimo da massa, definido pela queda de 10 U.F. na consistência após o desenvolvimento máximo. Após a mistura, foram moldados 2 (dois) pedaços de massa de 175 g cada na unidade modeladora do extensígrafo. Após a fermentação por 95 minutos em uma cabine a 30°C e umidade relativa de 85-90%, dentro de formas de alumínio retangulares ligeiramente untadas com gordura, as massas foram submetidas ao cozimento a 200°C por 20 minutos. Os pães foram resfriados a temperatura ambiente por 1 hora, quando, então, foram submetidos à avaliação de suas características externas, internas, aroma e gosto, através da atribuição de pontos. A avaliação foi feita comparativamente, tomando-se como padrão o pão correspondente ao tratamento 11 (sem nitrogênio). A farinha correspondente ao tratamento 12 (sem qualquer fertilização) não foi avaliada pelo teste de panificação.

## 2.5 - Análise Estatística

Os resultados das análises de composição química e de peso hectolitro foram submetidas a uma análise de variância simples (delineamento completamente casualizado com duas ou três repetições). Foram feitas comparações pelo teste de Tukey entre os tratamentos aplicados em cada experimento.

Foram feitas correlações simples do peso hectolitro com o rendimento em farinha, e do conteúdo de proteína com o peso

hectolitro, o rendimento em farinha, o conteúdo de glúten, os parâmetros farinográficos e extensigráficos, o volume do pão e o total de pontos obtidos pelos pão na avaliação de suas características físicas, para os tratamentos de 1 a 11. Os valores dos coeficientes de correlação ( $r$ ) foram comparados com valores críticos (SNEDECOR & COCHRAN, 1967) para o nível de significância de 5% . Os coeficientes significativos a 5% foram grafados como  $r^*$ .

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1 - Moagem do Trigo

#### 1.1 - Peso hectolitro

A Tabela 1 mostra os resultados da determinação do peso hectolitro das amostras de trigo dos dois experimentos.

O peso hectolitro (peso do trigo em Kg por hectolitro) é um dos mais simples critérios de qualidade do trigo, sendo considerado um fator importante em todos os sistemas de classificação de trigo. A importância primária do peso hectolitro reside no fato de que ele indica, grosso modo, o rendimento em farinha que pode ser obtido após a moagem dos grãos (ZELENY 1978).

Os pesos hectolitros das amostras de trigo usadas nesse trabalho apresentaram diferenças significativas, a nível de 5%, situando-se entre 72,63 e 75,95, para o experimento I, e entre 78,22 e 82,25, para o experimento II.

Pode-se observar pela análise dos dados da Tabela 1 que as amostras fertilizadas com nitrogênio tiveram, em geral, valores de peso hectolitro menores em relação às amostras não fertilizadas (11 e 12), nos dois experimentos. A queda dos valores de peso hectolitro para os tratamentos que tiveram aplicação de nitrogênio, foi provavelmente devido à alteração na composição química dos grãos. As farinhas das amostras fertilizadas com nitrogênio apresentaram maiores teores de proteína (Tabelas 4 e 5) e, conseqüentemente, menores teores de amido em relação às amostras não tratadas (11 e 12). Como o peso específico da proteína é menor que o do amido, isso explicaria o menor peso hectolitro apresentado pelas amostras tratadas com nitrogênio. De fato, o peso hectolitro e o conteúdo de proteína apresentaram correlações negativas nos dois experimentos ( $r = -0,49$ , para os experimentos I e II).

TABELA 1. Peso hectolitro das amostras de trigo provenientes dos experimentos I e II.

AMOSTRA	Peso hectolitro (Kg/hl) <sup>1</sup>	
	Experimento I	Experimento II
1	74,06 b,c	80,02 c,d
2	73,73 c	79,39 d
3	73,12 d	81,74 a
4	72,67 d	78,22 e
5	72,87 d	81,51 a
6	72,83 d	81,46 a,b
7	74,47 b	80,69 b,c
8	73,82 c	79,41 d
9	72,63 d	81,72 a
10	72,67 d	79,56 d
11	75,77 a	82,25 a
12	75,95 a	81,04 b

(1) Média de três repetições; valores acompanhados de letras iguais são estatisticamente iguais

Além disso, outro fator que possivelmente contribuiu para a variação do peso hectolitro foi a diferença nos conteúdos de umidade dos grãos (Tabela 2).

Foi observado ainda que as amostras do experimento II apresentaram valores de peso hectolitro superiores aos do experimento I (aproximadamente 80 e 73, em média, respectivamente). Esses resultados provavelmente estão associados ao maior tamanho e formato mais alongado característico dos grãos do cultivar IAC-161, o que permitiu melhor acomodação dos mesmos no recipiente usado no teste, em relação aos grãos de menor tamanho e de formato ovóide característico do cultivar IAC-60.

## 1.2 - Condicionamento do trigo

A Tabela 2 mostra os resultados da determinação do conteúdo de umidade dos grãos das amostras correspondentes aos dois experimentos. A partir desses valores foi calculada a quantidade de água a ser adicionada ao trigo para se obter a umidade do condicionamento.

O aumento da umidade do grão, até um certo nível, torna mais fácil a separação do farelo e endosperma, pois modifica as propriedades mecânicas do grão, tornando o farelo mais elástico e menos quebradiço que o endosperma, permitindo assim, a separação de ambos através de peneiras.

A umidade do condicionamento pode variar de 14 a 17%, de acordo com a dureza dos grãos, sendo que trigos mais duros e vitreos normalmente exigem maiores umidades no condicionamento (EL-DASH, 1982).

TABELA 2. Umidade das amostras de trigo provenientes dos experimentos I e II.

AMOSTRA	Umidade (%) <sup>1</sup>	
	Experimento I	Experimento II
1	11,75	11,65
2	11,86	11,64
3	11,65	11,62
4	11,03	10,71
5	11,10	10,90
6	11,49	10,69
7	11,98	11,65
8	10,38	11,35
9	11,60	11,13
10	10,83	11,08
11	10,23	11,31
12	11,44	11,54

(1) Média de duas repetições.

Embora a dureza das amostras não tenha sido determinada objetivamente, foi verificado que os grãos do cultivar IAC-161, provenientes do experimento II, apresentaram aspecto mais vítreo e dureza maior quando quebrado entre os dentes, em relação àqueles do cultivar IAC-60, provenientes do experimento I.

Assim, as amostras do cultivar IAC-60 foram condicionadas a 14% de umidade, enquanto que as do cultivar IAC-161, a 15%.

### 1.3 - Moagem do trigo

A Tabela 3 mostra os rendimentos em farinha obtidos após a moagem dos grãos de trigo provenientes dos experimentos I e II.

Não foi objetivo desse trabalho estudar a resposta dos tratamentos de fertilização com nitrogênio no potencial de extração de farinha dos cultivares de trigo estudados. Foi feita uma única moagem das amostras, para obtenção das farinhas usadas em testes posteriores, não sendo avaliados os rendimentos em farinha.

No entanto, foi possível observar, em ambos experimentos, diferenças no rendimento em farinha entre amostras submetidas a diferentes tratamentos de fertilização com nitrogênio, provenientes do mesmo experimento. Analogamente ao peso hectolitro, essas variações provavelmente estão associadas às diferenças observadas na composição química das farinhas, que serão discutidas posteriormente, especialmente com relação aos teores de umidade e de proteína (Tabelas 4 e 5).

Foi observado ainda que os rendimentos em farinha obtidos no moinho usado foram baixos para todas as amostras, quando comparados com rendimentos obtidos em moinhos industriais (da ordem de 75 a 80%). Os moinhos industriais, entretanto, apresentam um

TABELA 3. Rendimento em farinha obtido na moagem das amostras de trigo provenientes dos experimentos I e II.

AMOSTRA	Rendimento em farinha (%)	
	Experimento I	Experimento II
1	61,0	56,9
2	58,8	60,2
3	55,7	59,7
4	56,0	58,5
5	52,7	59,7
6	53,1	58,9
7	60,6	55,9
8	57,6	57,2
9	59,9	60,8
10	56,7	61,0
11	57,2	59,0
12	59,3	65,5

diagrama de moagem maior, com diversas seções de quebra e redução, purificadores e distância regulável entre os rolos, ajustada conforme o tipo de trigo. O moinho usado nesse estudo não possui purificadores, apresentando apenas duas seções de moagem, uma de quebra e outra de redução e distância fixa entre os rolos. Nestas condições, não são esperados rendimentos acima de 65%. Apesar disso, as conclusões desse trabalho relativas às características das farinhas são válidas, pois foram formuladas a partir de um estudo comparativo.

Foi verificado também que os rendimentos em farinha das amostras do experimento II foram, em geral, superiores aos do experimento I, quando comparadas amostras correspondentes ao mesmo tratamento.

As correlações entre peso hectolitro e rendimento em farinha foram positivas para ambos os experimentos ( $r = +0,57$ , para o experimento I e  $r = +0,19$ , para o experimento II), porém não foram significativas. Desta forma, ficou evidente que o peso hectolitro teve relativamente pouca influência sobre o rendimento em farinha, como também foi observado por ZELENY (1978) para trigos com peso hectolitro acima de 73.

## 2 - Análises de Composição Química

Nas Tabelas 4 e 5 são encontrados os resultados das análises de umidade, cinzas, proteína e glúten das farinhas das amostras de trigo provenientes dos experimentos I e II, respectivamente.

### 2.1 - Umidade

O conteúdo de umidade das farinhas variou de 12,78 a 14,75% para o experimento I e de 13,06 a 15,00% para o experimento

## II.

As farinhas apresentaram teores de umidade médios de 13,54% e 14,17%, respectivamente para os experimentos I e II. Essa diferença foi decorrente, principalmente, da maior umidade usada no condicionamento das amostras provenientes do experimento II, e também podem estar associadas às diferentes condições de temperatura e umidade relativa durante os processos de moagem.

### 2.2 - Cinzas

Os teores de cinzas das farinhas correspondentes aos experimentos I e II, apresentados nas Tabelas 4 e 5 respectivamente, diferiram significativamente a nível de 5%, situando-se na faixa de 0,60 a 0,69%, para o experimento I, e de 0,61 a 0,71%, para o experimento II. As diferenças significativas observadas nos teores de cinzas entre os tratamentos de cada experimento estão, provavelmente, associadas à falta de limpeza adequada dos grãos para remoção da matéria mineral proveniente do solo.

O conteúdo de cinzas no grão de trigo encontra-se usualmente na faixa de 1,4 a 2,0%, enquanto que o farelo contém de 5 a 10% e o endosperma entre 0,3 e 0,5%. Portanto, a matéria mineral concentra-se principalmente nas camadas mais externas do grão e, portanto, quanto maior for o grau de extração de uma farinha, ou seja, quanto mais farelo for incorporado à farinha, maior será o seu teor de cinzas (EL-DASH et alii, 1982). Os teores máximos de cinzas permitidos pela legislação brasileira para farinhas comerciais são 0,45 e 1,00%, em relação à matéria seca, respectivamente para as farinhas especial e comum, sendo permitido o grau de extração máximo de 78% (Resolução 12/78 do CNNPA). Os teores de cinzas encontrados nas farinhas estudadas estão, portanto, dentro dos limites estabelecidos para farinha comum.

TABELA 4. Análises de composição química das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento I.

AMOSTRA	Umidade <sup>1</sup> %	Cinzas <sup>2</sup> %	Proteína <sup>2</sup> %	Glúten <sup>2</sup> %
1	13,38	0,69 a	12,35 g	14,05 f
2	13,10	0,66 b,c,d	12,77 e,f	14,45 e
3	12,78	0,63 e	12,90 e,f	14,41 e,f
4	13,61	0,63 e	13,40 c,d	14,99 d
5	13,35	0,60 f	13,10 d,e	14,74 d,e
6	13,13	0,60 f	14,30 a	15,75 a,b
7	13,36	0,68 a,b	13,76 b	15,42 b,c
8	13,58	0,65 c,d,e	14,49 a	15,97 a
9	13,52	0,67 a,b,c	12,73 f	14,37 e,f
10	13,89	0,64 d,e	13,55 b,c	15,11 c,d
11	14,75	0,65 c,d,e	11,44 h	12,79 g
12	14,09	0,67 a,b,c	11,55 h	12,76 g

(1) Média de duas repetições.

(2) Resultados em base seca; média de três repetições; valores acompanhados de letras iguais são estatisticamente iguais.

TABELA 5. Análises de composição química das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento II.

AMOSTRA	Umidade <sup>1</sup> %	Cinzas <sup>2</sup> %	Proteína <sup>2</sup> %	Glúten <sup>2</sup> %
1	14,77	0,62 c,d	11,51 f,g	11,63 g
2	15,00	0,65 b	12,73 c,d	13,19 c
3	13,90	0,65 b	11,73 f	11,85 f
4	13,84	0,62 c,d	12,89 b,c	13,32 b,c
5	14,66	0,65 b	12,42 e	12,61 e
6	14,62	0,64 b,c	13,16 b	13,46 b
7	13,51	0,61 d	13,10 b	13,38 b
8	13,06	0,62 c,d	14,04 a	14,42 a
9	13,90	0,66 b	12,61 d,e	12,84 d
10	14,30	0,66 b	12,90 b,c	13,42 b
11	14,91	0,64 b,c	11,22 h	11,34 h
12	13,61	0,71 a	11,44 g,h	11,39 h

(1) Média de duas repetições.

(2) Resultados em base seca; média de três repetições; valores acompanhados de letras iguais são estatisticamente iguais.

Considerando que o grau de extração obtido foi da ordem de 60% (Tabela 3), os teores de cinzas encontrados nas farinhas correspondentes a ambos experimentos foram ligeiramente altos. Isso ocorreu devido às limitações do equipamento de moagem experimental utilizado, especialmente a ausência de um sistema adequado de limpeza para os grãos.

### 2.3 - Proteína

Com relação ao conteúdo de proteína das farinhas, os valores encontrados para ambos os experimentos apresentaram diferenças significativas a nível de 5% entre os tratamentos, e situaram-se na faixa de 11,44 a 14,49%, para o experimento I, e de 11,22 a 14,04%, para o experimento II (Tabelas 4 e 5, respectivamente). Portanto, foi concluído que os tratamentos de fertilização com nitrogênio afetaram o conteúdo de proteína das farinhas provenientes dos dois experimentos.

Todos os tratamentos com nitrogênio apresentaram teores de proteína superiores às testemunhas (tratamentos 11 e 12), o que está de acordo com as observações de diversos pesquisadores, segundo os quais o conteúdo de proteína do trigo foi aumentado quando foi feita a fertilização com nitrogênio (FINNEY et alii 1957, TERMAN et alii 1969 e DUBETZ 1972, 1977).

Todos os tratamentos com aplicação de 120 Kg N/ha apresentaram teores de proteína maiores, quando comparados àqueles com mesmo modo de aplicação que receberam 60 Kg N/ha. No entanto, os tratamentos 7, 5, 3 e 9, para o experimento I, e 7 e 9, para o experimento II, que receberam 60 Kg N/ha, apresentaram conteúdos de proteína comparáveis ou mesmo superiores aos apresentados por alguns tratamentos com aplicação de 120 Kg N/ha. Isso demonstrou que o conteúdo de proteína da farinha de trigo foi afetado não somente pela dose de nitrogênio aplicada, mas também pelo modo de aplicação do nitrogênio. Acredita-se que em função do período em que o nitrogênio foi disponível para a planta, ocorreu maior ou

menor síntese de proteína nos grãos. Foi também observado que, de uma forma geral, os tratamentos que forneceram maior teor de nitrogênio para a planta em épocas mais próximas à estação da floração, proporcionaram maiores aumentos no conteúdo de proteína. Como mostra a Figura 2, o tratamento 8, correspondente à maior dose de nitrogênio (80 Kg/ha) aplicada 60 dias após a emergência da planta, no início da floração, foi o que apresentou os maiores conteúdos de proteína para os experimentos I (14,49%) e II (14,04%). Esses resultados estão de acordo com DUBETZ (1977), segundo o qual o nitrogênio foi mais eficiente para aumentar o conteúdo de proteína do trigo quando aplicado na estação de floração, do que quando aplicado na semeadura.

#### 2.4 - Glúten

Quanto ao conteúdo de glúten, os valores encontrados para os dois experimentos apresentaram diferenças significativas a nível de 5% entre os tratamentos, situando-se na faixa de 12,76 a 15,97%, para o experimento I, e de 11,34 a 14,42%, para o experimento II (Tabelas 4 e 5, respectivamente). Foi concluído então que os teores de glúten das farinhas foram afetados pelos tratamentos de fertilização com nitrogênio.

Analogamente ao conteúdo de proteína, todas as amostras que foram submetidas aos tratamentos com nitrogênio apresentaram teores de glúten maiores em relação às testemunhas. Foi observado que as farinhas com maiores teores de proteína apresentaram também maiores teores de glúten (Figuras 3 e 4), indicando que a fertilização com nitrogênio propiciou, principalmente, o aumento das proteínas formadoras de glúten. Essa constatação está de acordo com as observações de KELFKENS et alii (1990), segundo os quais o rendimento de glúten e o conteúdo de proteína mostraram alta correlação em ensaio de fertilização com nitrogênio. No presente estudo, ambos os experimentos apresentaram correlações altamente significativas para teor de glúten e conteúdo de proteína ( $r^* = +0,99$ , para os dois experimentos).

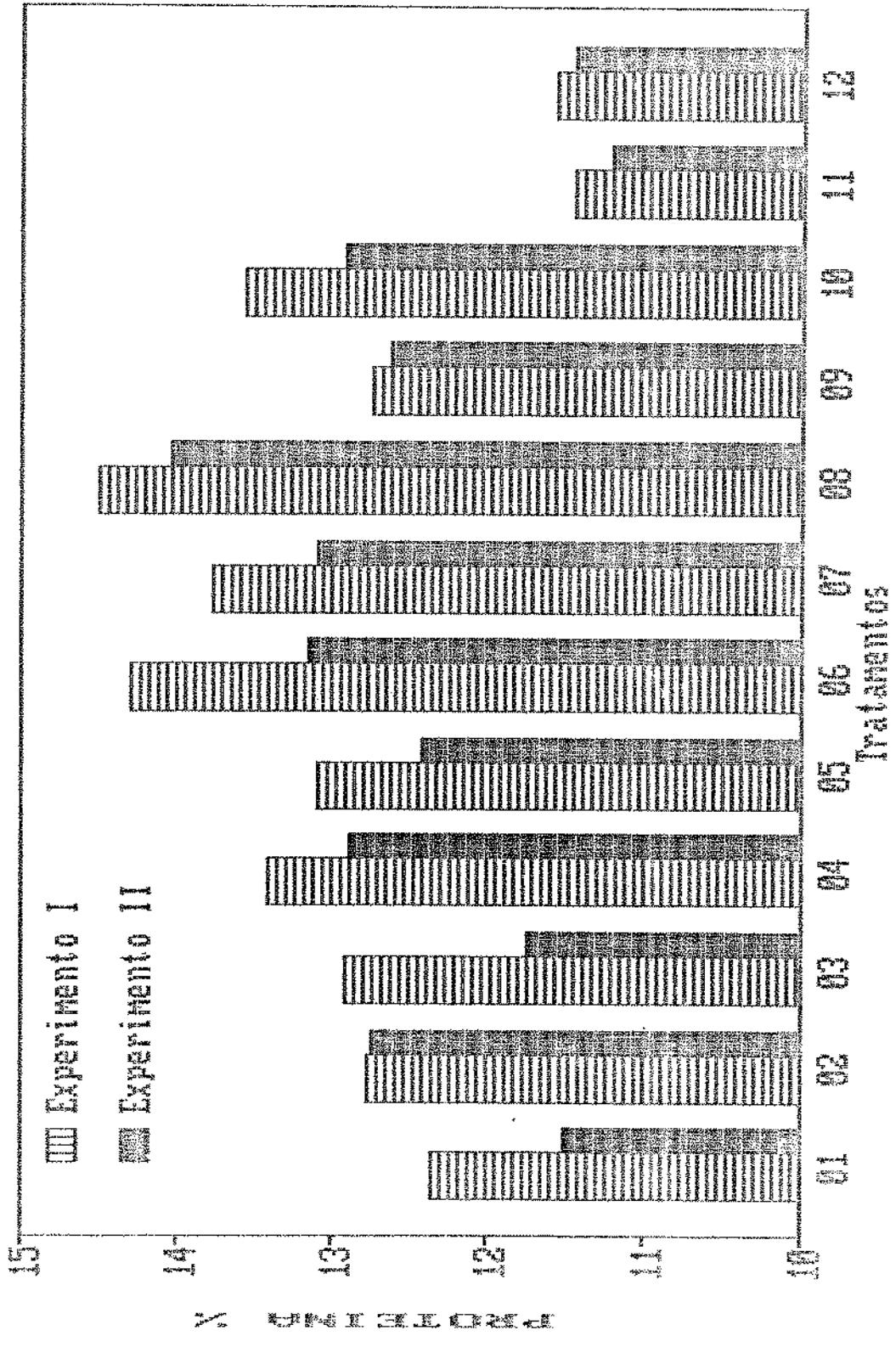


FIGURA 2. Conteúdo de proteína total das farinhas provenientes dos experimentos I e II.

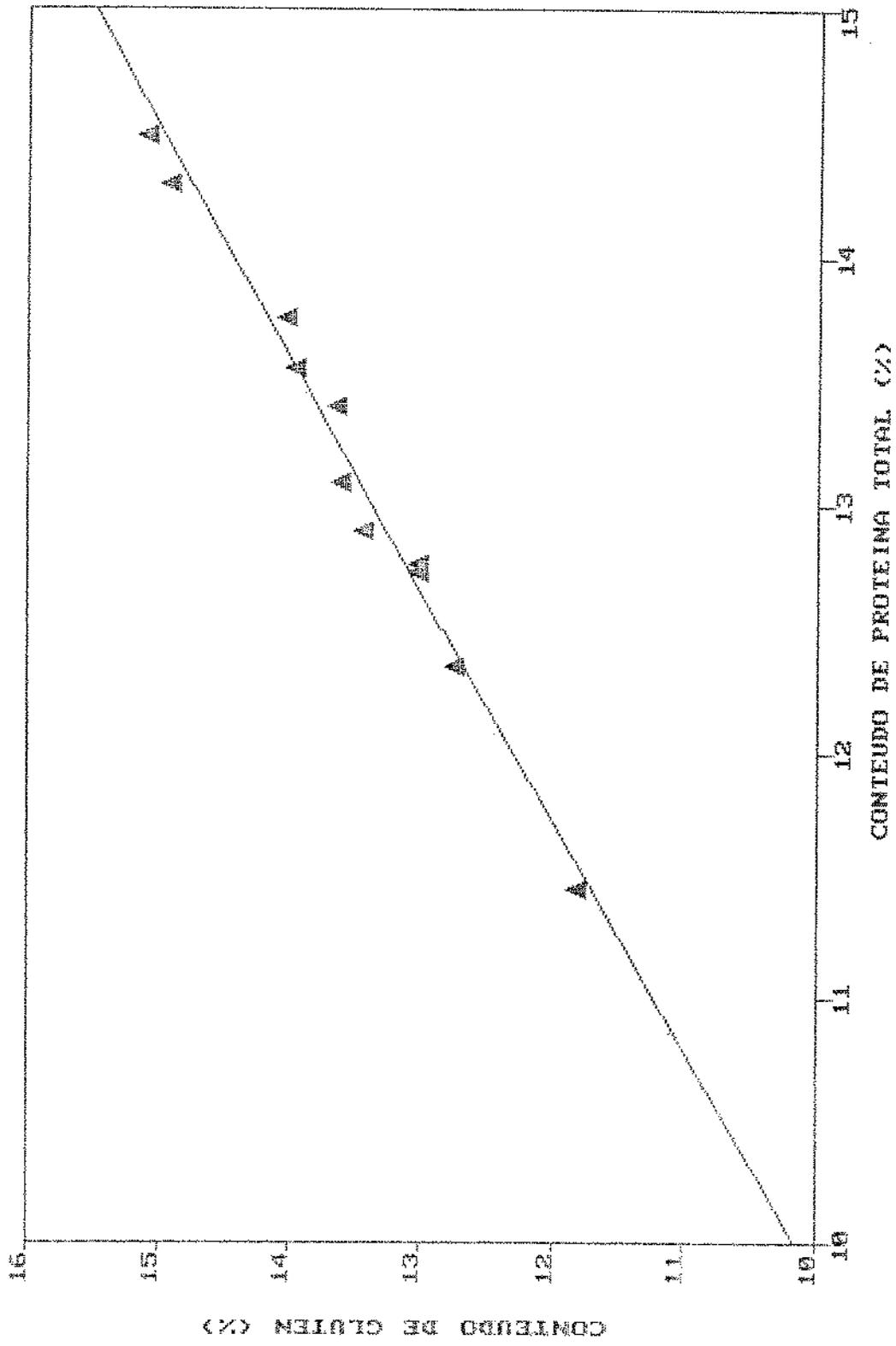


FIGURA 3. Relação do conteúdo de glúten com o conteúdo de proteína total para o experimento I.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

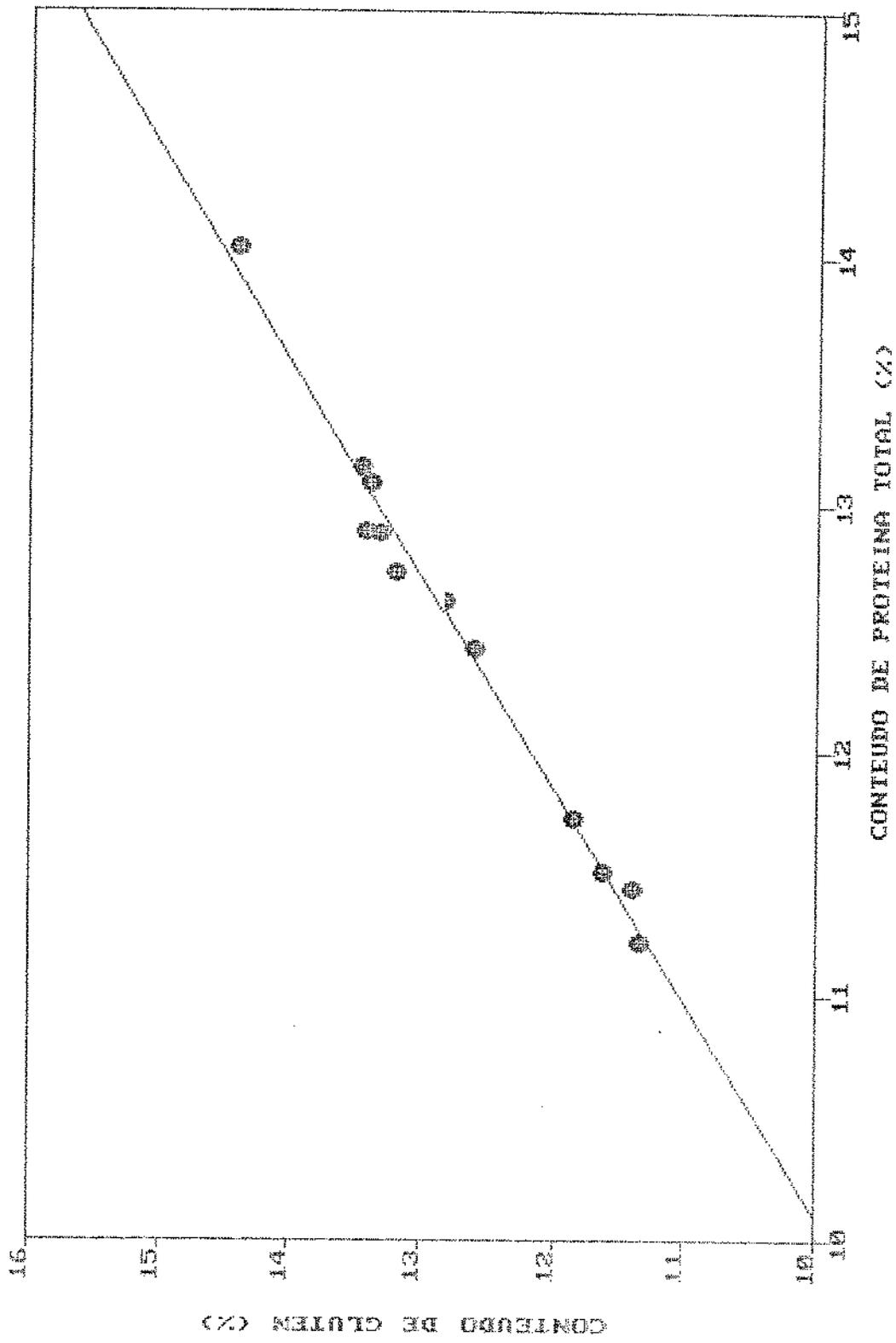


FIGURA 4. Relação do conteúdo de glúten com o conteúdo de proteína total para o experimento II.

Foi observado ainda que as farinhas correspondentes ao experimento I apresentaram teores de glúten muito superiores às aquelas correspondentes ao experimento II, quando comparadas amostras provenientes do mesmo tratamento (Figura 5). Para as farinhas correspondentes ao experimento II, os conteúdos de glúten e de proteína foram próximos, o que normalmente ocorre para a maioria das farinhas de trigo. No entanto, para as farinhas correspondentes ao experimento I, o conteúdo de glúten foi superior ao conteúdo de proteína, o que possivelmente é uma indicação de menor teor de proteínas solúveis nas farinhas provenientes desse experimento.

### 3 - Fracionamento da Proteína

Nas Tabelas 6 e 7 são encontrados os resultados das análises de fracionamento proteico das farinhas provenientes dos experimentos I e II, respectivamente. Foi observado que a composição da proteína das farinhas nos dois experimentos diferiu marcadamente em função dos tratamentos.

#### 3.1 - Fração de albuminas & globulinas

O conteúdo de albuminas & globulinas variou de 0,93 a 1,08%, no experimento I, e de 2,11 a 2,16%, no experimento II. As variações observadas entre os tratamentos em ambos experimentos não foram significativas e ficaram dentro do erro experimental. Portanto, foi concluído que o teor de albuminas & globulinas não foi influenciado pelos tratamentos de fertilização com nitrogênio. Os resultados obtidos concordam parcialmente com aqueles obtidos por DOEKES & WENNEKES (1982), que encontraram que o teor de albuminas & globulinas de farinhas provenientes de cultivares de trigo fertilizados com nitrogênio não variou com o conteúdo de proteína crescente, sendo também independente do cultivar.

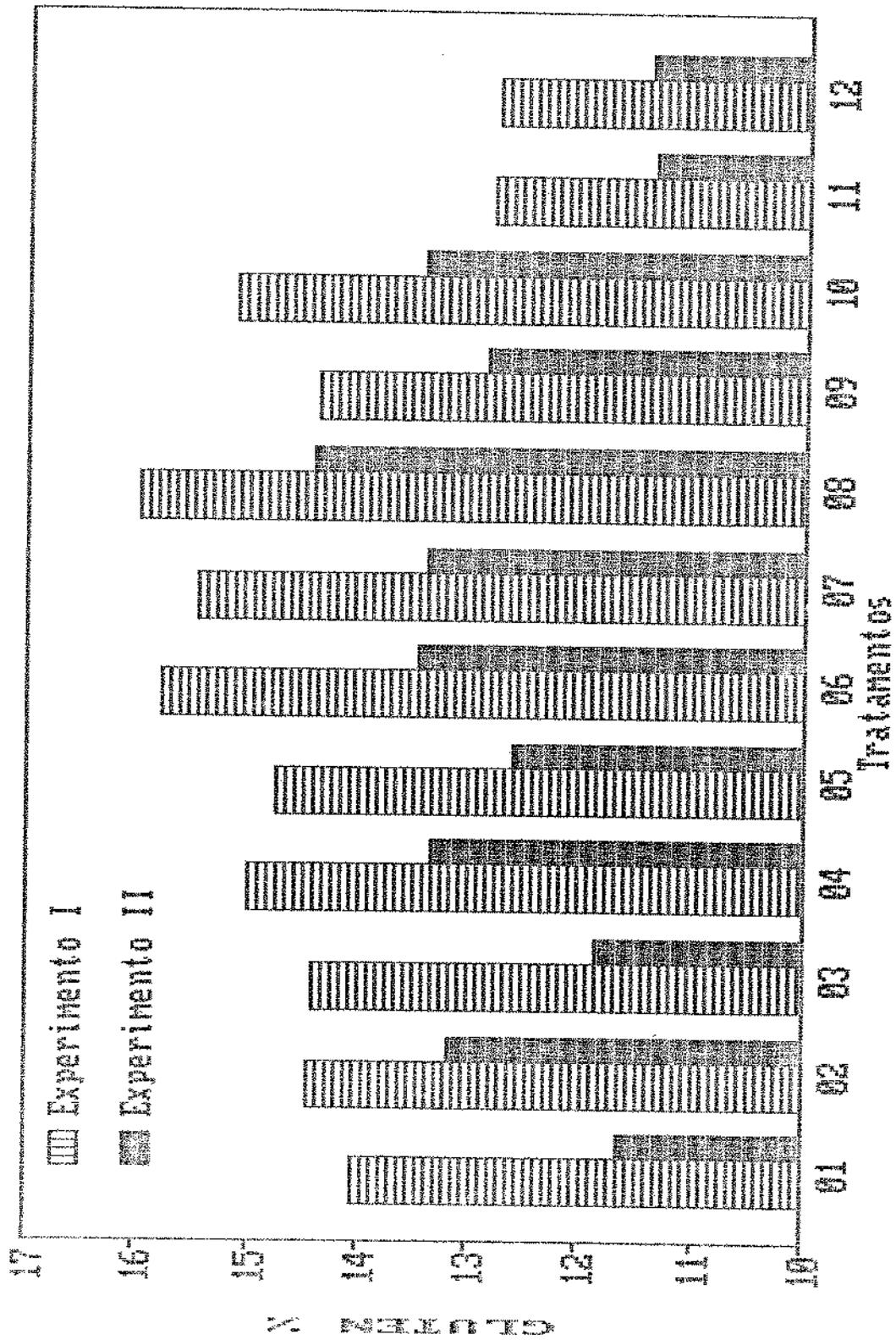


FIGURA 5. Conteúdo de glúten das farinhas provenientes dos experimentos I e II.

TABELA 6. Composição da proteína das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento I.

AMOSTRA <sup>1</sup>	PROTEINA <sup>2</sup> (%)							
	FARINHA	FRAÇÕES <sup>3</sup>						Total <sup>4</sup>
		Albuminas&	Globulinas	Gliadina	Glutenina			
1 j	12,35 g	0,95 a	6,15 f	5,09 c			12,19	
2 i	12,77 e,f	1,03 a	6,46 d,e	5,10 c			12,59	
3 f,g	12,90 e,f	1,04 a	6,47 d,e	5,27 b			12,78	
4 d,e	13,39 c,d	1,01 a	6,83 b,c	5,36 b			13,20	
5 e,f	13,10 d,e	0,93 a	6,62 c,d	5,37 b			12,92	
6 b	14,30 a	1,03 a	7,61 a	5,47 b			14,21	
7 c	13,76 b	1,07 a	7,05 b	5,49 b			13,61	
8 a	14,49 a	1,04 a	7,53 a	5,76 a			14,33	
9 g,h	12,73 f	0,96 a	6,28 e,f	5,35 b			12,59	
10 c,d	13,55 b,c	1,05 a	6,91 b	5,46 b			13,42	
11 l	11,44 h	1,08 a	5,16 g	5,07 c			11,31	
12 l	11,55 h	1,01 a	5,35 g	5,10 c			11,46	

- (1) Amostras acompanhadas de letras iguais apresentam composição e conteúdo de proteína estatisticamente iguais.  
 (2) Valores acompanhados de letras iguais são estatisticamente iguais.  
 (3) Média de duas repetições.  
 (4) Representa a soma das frações proteicas recuperadas.

TABELA 7. Composição da proteína das farinhas obtidas das amostras de trigo provenientes do experimento II.

		PROTEINA <sup>2</sup> (%)								
AMOSTRA <sup>1</sup>	FARINHA	FRAÇÕES <sup>3</sup>								
		Albuminas&		Gliadina		Glutenina		Total <sup>4</sup>		
		Globulinas								
1	i,j	11,51	f,g	2,15	a	4,38	d	4,86	f	11,39
2	d,e	12,73	c,d	2,15	a	5,10	c	5,30	b	12,55
3	h	11,73	f	2,16	a	4,41	d	5,03	e	11,60
4	c,d	12,89	b,c	2,16	a	5,27	c	5,29	b,c	12,72
5	f,g	12,42	e	2,11	a	5,05	c	5,11	d,e	12,27
6	b	13,16	b	2,13	a	5,59	b	5,32	b	13,04
7	b	13,07	b	2,12	a	5,55	b	5,31	b	12,98
8	a	14,04	a	2,15	a	6,28	a	5,46	a	13,89
9	d,e	12,61	d,e	2,16	a	5,09	c	5,18	c,d	12,43
10	c,d	12,90	b,c	2,14	a	5,27	c	5,34	b	12,75
11	l	11,22	h	2,12	a	4,18	d	4,77	f	11,07
12	j,l	11,44	g,h	2,15	a	4,27	d	4,84	f	11,26

- (1) Amostras acompanhadas de letras iguais apresentam composição e conteúdo de proteína estatisticamente iguais.  
 (2) Valores acompanhados de letras iguais são estatisticamente iguais.  
 (3) Média de duas repetições.  
 (4) Representa a soma das frações proteicas recuperadas.

Os teores de albuminas & globulinas das farinhas dos cultivares utilizados nesse estudo foram independentes do conteúdo de proteína total, porém, cada experimento apresentou teores de albuminas & globulinas bem distintos, quais sejam 1,02 e 2,14%, em média, para os experimentos I e II, respectivamente. Isso sugeriu que o teor dessa fração proteica é uma característica genotípica de cada cultivar

O teor de albuminas & globulinas mais baixo apresentado pelo experimento I em relação ao experimento II é consistente com o maior rendimento em glúten apresentado pelo primeiro.

A proporção de albuminas & globulinas, em relação à proteína total, diminuiu com o conteúdo de proteína crescente. Para o experimento I, a proporção dessas proteínas caiu de 9,5% (tratamento 11, sem nitrogênio) para 7,3% (tratamento 8, com 120 Kg N/ha), enquanto que, para o experimento II, caiu de 18,9% (tratamento 11) para 15,3% (tratamento 8). BUSHUK *et alii* (1978) e KELFKENS *et alii* (1990) relataram que a proporção de albuminas diminuiu com o conteúdo de proteína crescente em ensaios de fertilização com nitrogênio.

### 3.2 - Frações de gliadina e glutenina

O conteúdo de gliadina das farinhas variou de 5,16 a 7,61%, para o experimento I, e de 4,18 a 6,28%, para o experimento II, em função dos tratamentos de fertilização com nitrogênio aplicados.

Para o experimento I, os teores de gliadina apresentados pelos tratamentos de fertilização com nitrogênio (1 a 10) foram superiores àqueles apresentados pelos tratamentos sem fertilização com nitrogênio (11 e 12), diferindo significativamente destes a nível de 5%. Os tratamentos 6 e 8 apresentaram teores de gliadina mais altos em relação aos demais, diferindo significativamente dos mesmos a nível de 5%.

Para o experimento II, apenas os teores de gliadina das amostras correspondentes aos tratamentos 1 e 3 não apresentaram diferença significativa em relação àqueles correspondentes aos tratamentos sem fertilização com nitrogênio (11 e 12). O tratamento 8 apresentou o maior teor de gliadina, que diferiu significativamente dos demais a nível de 5%.

O teor de gliadina e o conteúdo de proteína total apresentaram uma alta correlação linear positiva ( $r^* = +0,99$ , para ambos os experimentos), ou seja, o teor de gliadina aumentou linearmente com o aumento do conteúdo de proteína total das farinhas.

O conteúdo de glutenina das farinhas variou de 5,07 a 5,76%, para o experimento I, e de 4,77 a 5,46%, para o experimento II, em função dos tratamentos de aplicação de nitrogênio.

O tratamento 8 apresentou os maiores teores de glutenina para ambos experimentos, sendo que estes diferiram significativamente daqueles apresentados pelos demais tratamentos, a nível de 5%. Apenas os teores de glutenina das amostras correspondentes aos tratamentos 1 e 2, para o experimento I, e ao tratamento 1, para o experimento II, não apresentaram diferença significativa em relação àqueles correspondentes aos tratamentos sem fertilização com nitrogênio.

Os coeficientes de correlação calculados para teor de glutenina e conteúdo de proteína total foram  $r^* = +0,89$  e  $r^* = +0,96$  para os experimentos I e II, respectivamente. Portanto, analogamente ao conteúdo de gliadina, o teor de glutenina aumentou linearmente com o conteúdo de proteína total.

### 3.3 - Relação entre as frações proteicas

Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas curvas que relacionam o conteúdo de proteína em cada uma das frações isoladas e o conteúdo de proteína total das farinhas, para os experimentos I e II, respectivamente. Os coeficientes angulares (inclinações) das curvas obtidas foram 0,20 e 0,26 para o conteúdo de glutenina e 0,78 e 0,74 para o conteúdo de gliadina, respectivamente para os experimentos I e II. Foi concluído portanto que, embora as farinhas provenientes dos dois experimentos tenham apresentado teores distintos de cada fração proteica, quando comparados resultados correspondentes ao mesmo tratamento, as taxas de aumento de cada fração em função do conteúdo de proteína crescente foram próximas.

Comparando-se as curvas obtidas para cada fração proteica, foi observado que, para ambos os experimentos, a taxa de aumento apresentada pela fração de gliadina foi maior que a apresentada pela fração de glutenina, e que a fração de albuminas & globulinas praticamente não variou com o conteúdo de proteína crescente. Portanto, houve alteração nas proporções das três frações proteicas em relação à proteína total, com o aumento do conteúdo de proteína, de tal forma que a proporção de gliadinas aumentou, ocorrendo, paralelamente, queda nas proporções de gluteninas e de albuminas & globulinas.

A Figura 8 ilustra a proporção relativa das frações proteicas nas farinhas com o menor e o maior conteúdo de proteína, correspondentes aos tratamentos 11 e 8 respectivamente, para os experimentos I e II. Foi concluído, então, que a fertilização dos cultivares em estudo com nitrogênio promoveu aumentos mais acentuados nas proteínas gliadina, alterando, assim, a composição relativa das proteínas das farinhas. Os resultados das análises de fracionamento proteico mostraram que os 12 tratamentos estudados geraram 9 composições proteicas estatisticamente diferentes, quando considerado o experimento I, enquanto que, quando considerado o experimento II, ocorreram 7 composições proteicas estatisticamente diferentes (Tabelas 6 e 7, respectivamente).

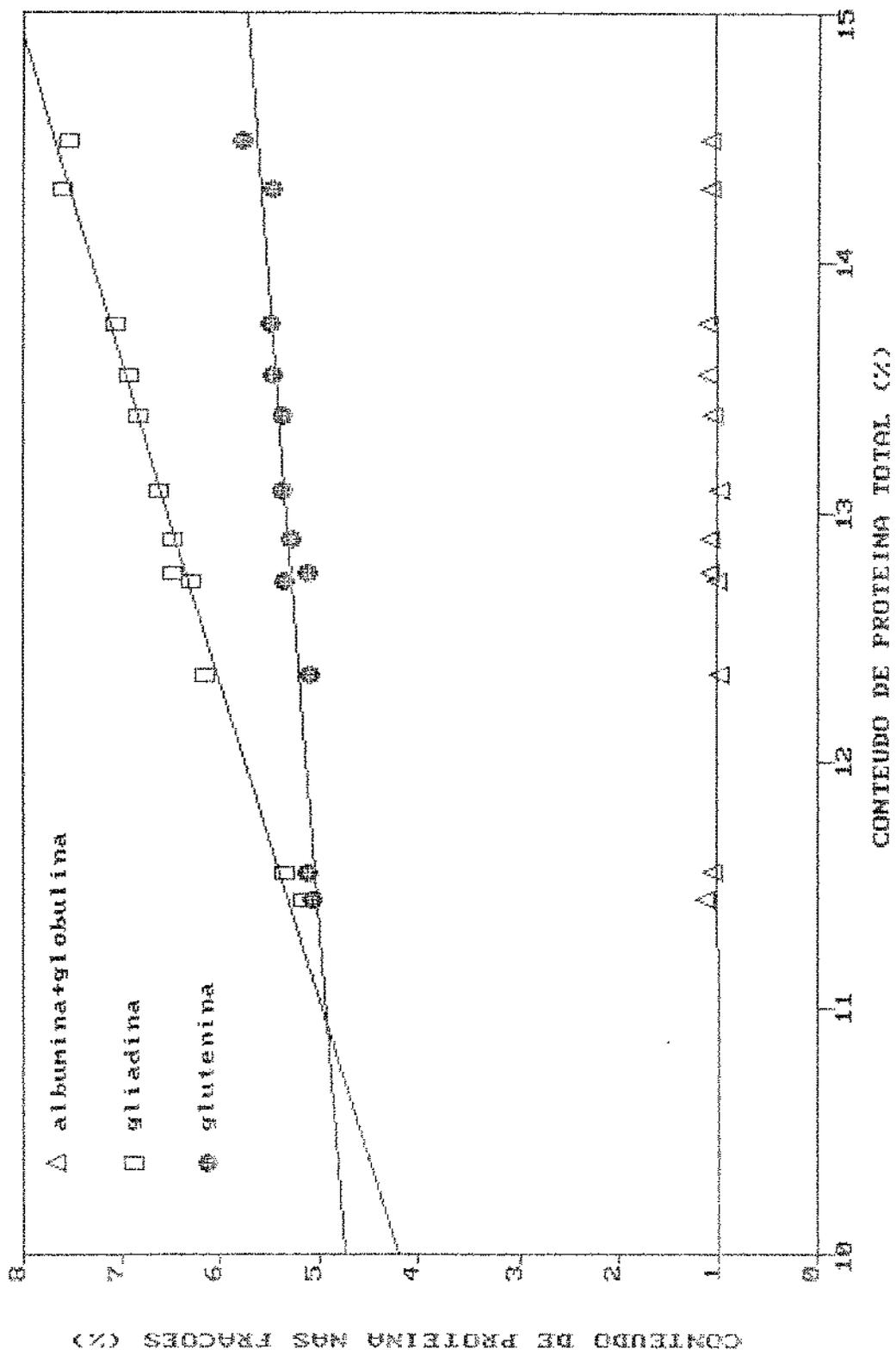


FIGURA 6. Relação do conteúdo de proteína nas frações isoladas com o conteúdo de proteína total, para o experimento I.

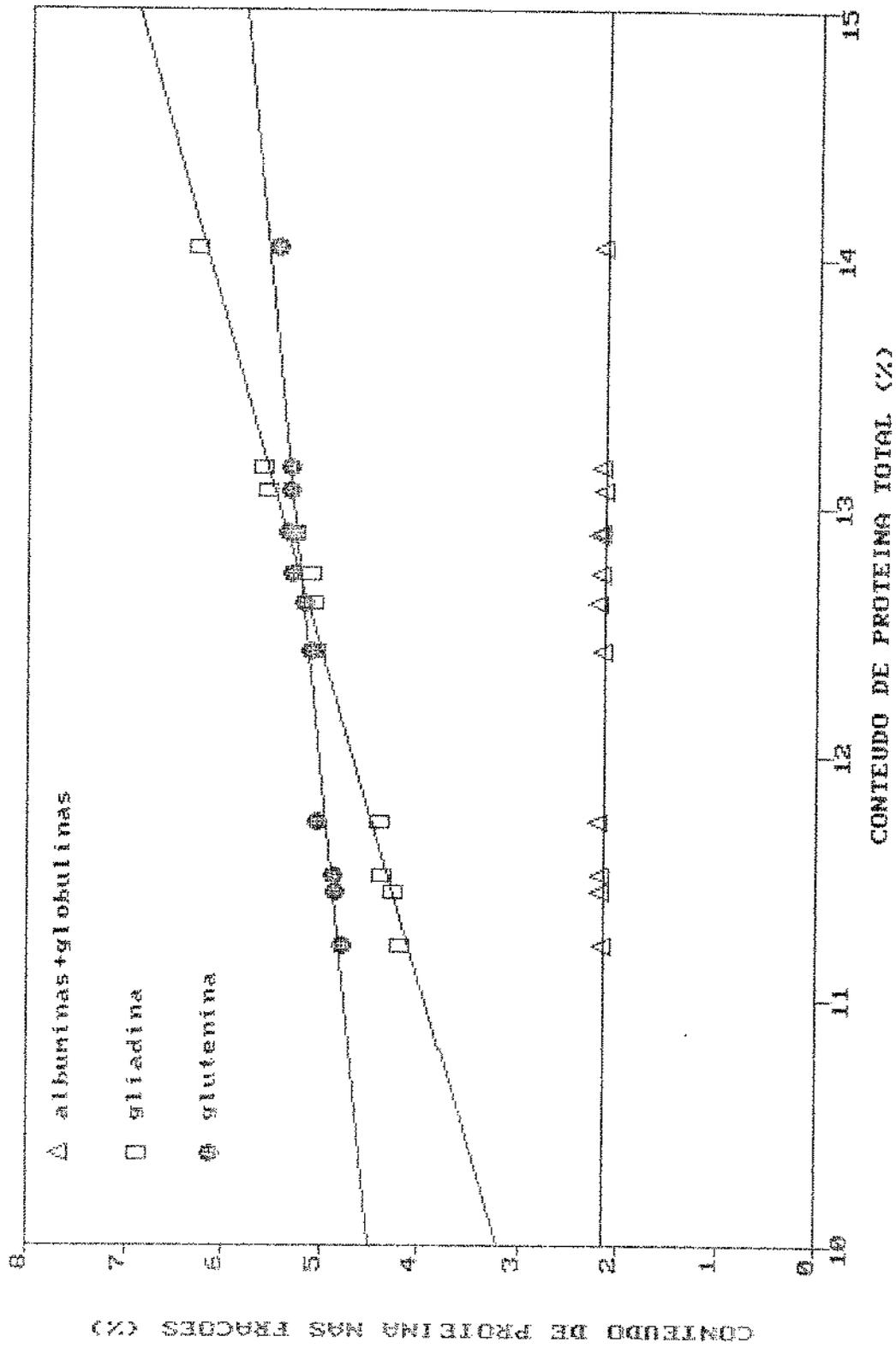
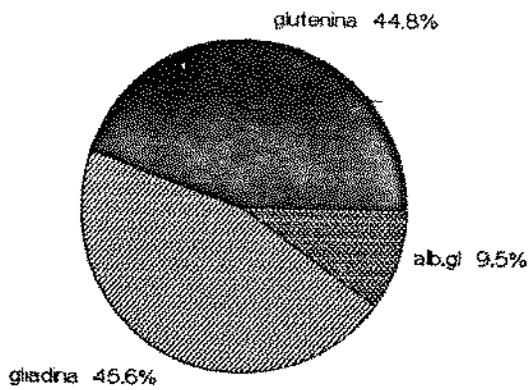
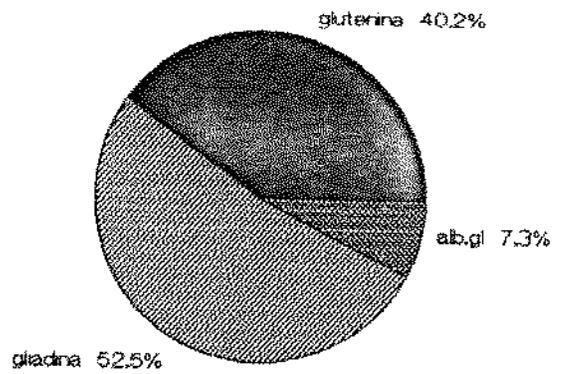


FIGURA 7. Relação do conteúdo de proteína nas frações isoladas com o conteúdo de proteína total, para o experimento II.

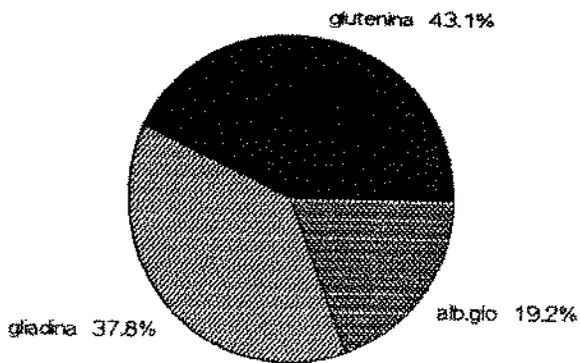
**EXPERIMENTO I Tratamento 11**  
Proteína total = 11,44%



**EXPERIMENTO I Tratamento 8**  
Proteína total = 14,49%



**EXPERIMENTO II Tratamento 11**  
Proteína total = 11,22%



**EXPERIMENTO II Tratamento 8**  
Proteína total = 14,04%

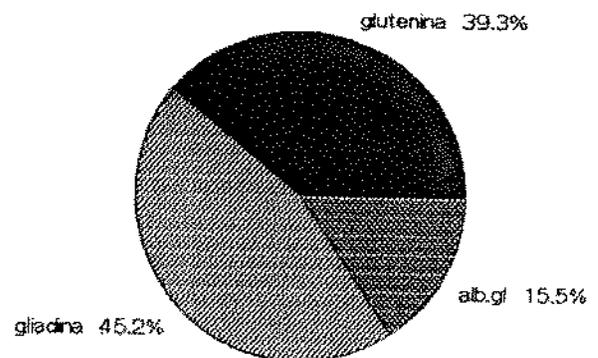


FIGURA 8. Proporção das frações proteicas nas farinhas provenientes dos tratamentos 8 e 11, para os experimentos I e II.

Esse resultado contrastou com observações de TANAKA & BUSHUK (1972), que encontraram que todas as frações proteicas variaram proporcionalmente ao conteúdo de proteína total da farinha, sem alteração na composição da proteína. BUSHUK et alii (1978) encontraram que a proporção de glutenina solúvel em ácido acético aumentou marcadamente com o conteúdo de proteína crescente e que esse aumento foi acompanhado por decréscimo correspondente nas proporções de albumina e proteína residual (glutenina insolúvel em ácido acético), enquanto que as proporções de globulinas e gliadinas não se alteraram. KOENIG (1989) encontrou que a relação gliadina: glutenina diminuiu com taxas crescentes de aplicação de nitrogênio.

Entretanto, os resultados obtidos no presente estudo foram similares aos reportados por outros pesquisadores. DOEKES & WENNEKES (1982) encontraram que somente as gliadinas aumentaram com o conteúdo de proteína total crescente; as quantidades de glutenina e albuminas & globulinas não se alteraram. PRUGAR & SASEK, citados por DOEKES & WENNEKES (1982), revisaram os pareceres de diversos pesquisadores dos anos 60 e encontraram que a fertilização com nitrogênio proporcionou grande aumento nas gliadinas, aumento menor nas gluteninas e leve aumento nas albuminas & globulinas.

Acredita-se que os resultados contraditórios encontrados por diversos pesquisadores foram devido às diferenças nos métodos de fracionamento usados para separar quantitativamente as proteínas da farinha do trigo, em gluteninas, gliadinas e albuminas & globulinas. Além disso, os diferentes tipos de tratamentos usados com relação a doses e modos de aplicação do nitrogênio, os cultivares estudados e as condições ambientais dos experimentos devem ter influenciado sensivelmente os resultados encontrados nos diversos trabalhos.

## 4 - Avaliação da Qualidade Tecnológica das Farinhas

### 4.1 - Propriedades de hidratação e mistura

Os farinogramas das farinhas correspondentes às amostras de trigo provenientes dos experimentos I e II são apresentados nas Figuras 9 e 10, respectivamente. Os valores correspondentes aos parâmetros farinográficos são apresentados nas Tabelas 8 e 9, respectivamente para os experimentos I e II.

Foi observado que as absorções de água foram mais altas para as farinhas correspondentes ao experimento II em relação ao experimento I, para todos os tratamentos.

Com relação aos tempos de chegada, as farinhas do experimento II tiveram, em geral, valores mais altos que as do experimento I, o que deve estar associado à maior quantidade de água absorvida e à menor velocidade de absorção de água, decorrente da maior granulometria (maior proporção de farinha de redução) das farinhas do experimento II.

Comparando-se os farinogramas das farinhas dos dois experimentos foi observado que ambos apresentaram propriedades de mistura distintas. As curvas farinográficas das farinhas do experimento I apresentaram bandas mais largas em relação às do experimento II, o que é característico de farinha de trigo com glúten mais elástico.

Para o experimento I, as farinhas correspondentes às amostras de trigo não fertilizadas com nitrogênio (tratamentos 11 e 12) apresentaram baixos tempos de desenvolvimento e médios valores de estabilidade e de MTI. De acordo com o perfil dos farinogramas apresentados e segundo valores-padrão apresentados por PRATT (1978), ambas foram classificadas como de força média a fraca.

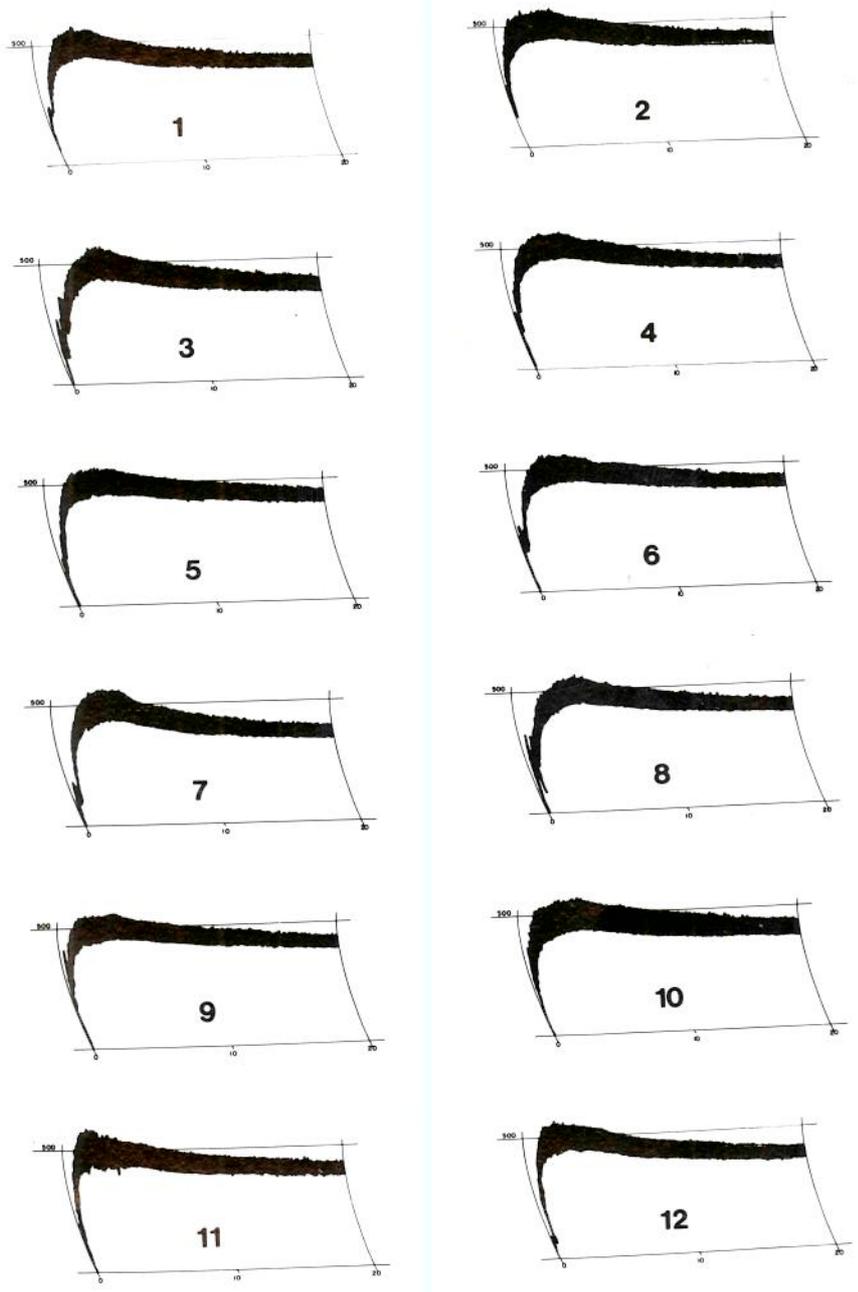


FIGURA 9. Farinogramas das farinhas provenientes do experimento I.

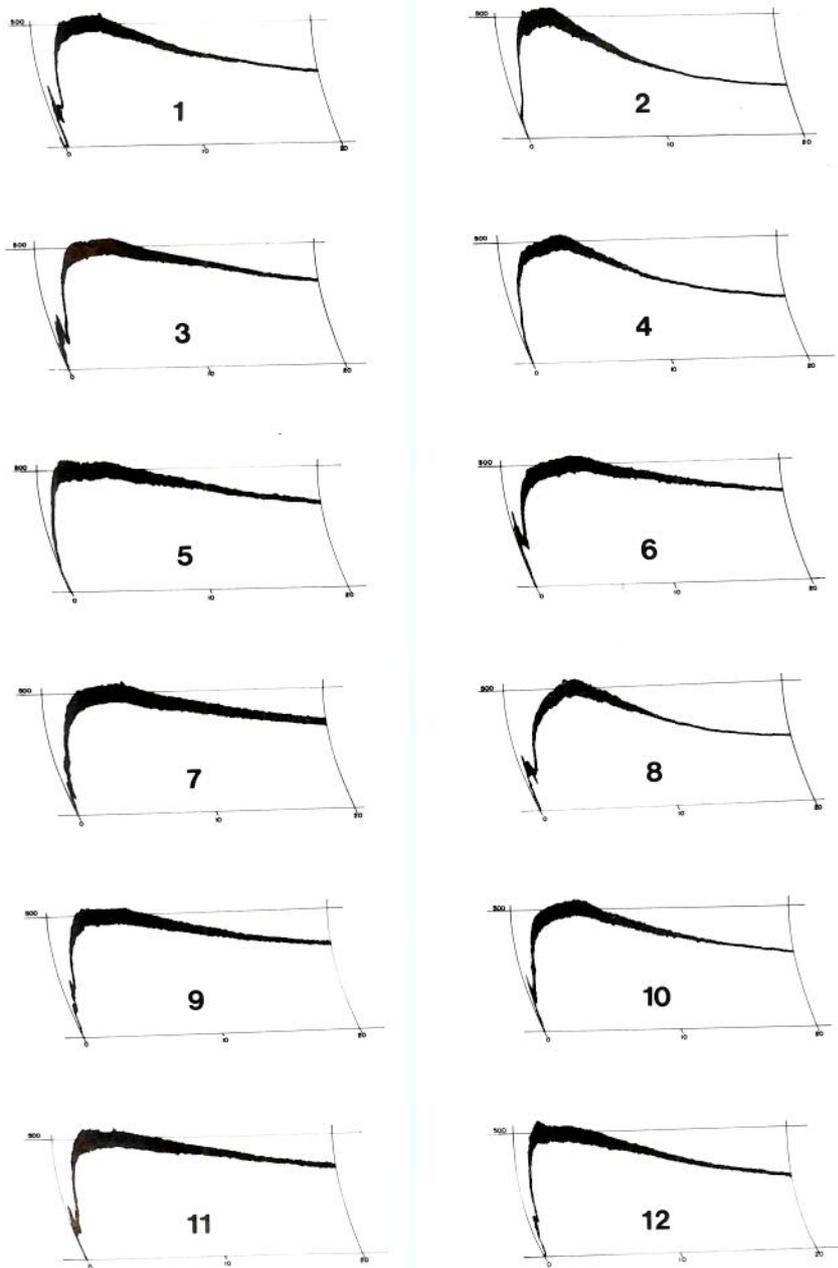


FIGURA 10. Farinogramas das farinhas provenientes do experimento II.

TABELA 8. Parâmetros farinográficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento I.

AMOSTRA	Absorção de água (%)	Tempo Chegada (min)	Tempo Desenv. (min)	Estabil. (min)	Tempo Saída (min)	M.T.I. <sup>1</sup> (U.F.)
1	50,1	1,0	3,5	6,0	7,0	70
2	49,6	1,0	4,0	8,5	9,5	60
3	48,7	2,0	4,0	6,0	8,0	70
4	49,7	1,5	4,0	7,5	9,0	60
5	50,0	1,0	4,0	9,5	10,5	50
6	50,4	1,5	4,5	9,0	11,0	40
7	52,5	1,5	4,0	5,0	6,5	90
8	51,2	2,0	4,0	6,5	8,5	50
9	49,3	1,0	4,0	8,5	9,5	50
10	50,7	1,0	4,0	9,0	10,0	60
11	50,1	0,5	1,5	6,5	7,0	70
12	50,6	1,0	2,0	7,0	8,0	50

(1) M.T.I. - Índice de tolerância à mistura; U.F. - unidades farinográficas.

TABELA 9. Parâmetros farinográficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento II.

AMOSTRA	Absorção de água %	Tempo Chegada (min)	Tempo Desenv. (min)	Tempo Estabil. (min)	Tempo Saída (min)	M.T.I. <sup>1</sup> (U.F.)
1	63,1	1,5	4,0	4,0	5,5	110
2	63,5	1,5	4,0	3,5	5,0	190
3	60,8	2,0	5,5	5,0	7,0	80
4	64,3	2,5	4,5	3,0	5,5	140
5	62,9	1,0	4,5	6,0	7,0	60
6	63,2	2,5	5,0	5,0	7,5	60
7	61,4	2,0	5,5	5,5	7,5	70
8	63,3	3,5	5,0	3,0	6,5	130
9	63,3	2,0	5,5	5,0	7,0	80
10	63,9	2,5	4,5	4,0	6,5	100
11	62,7	2,0	5,0	5,5	7,5	50
12	62,5	1,5	4,0	4,5	6,0	80

(1) M.T.I. - Índice de tolerância à mistura; U.F. - unidades farinográficas.

Para o experimento II, as farinhas correspondentes às amostras 11 e 12 apresentaram tempos de desenvolvimento superiores e estabilidades ligeiramente inferiores em relação ao experimento I. A farinha correspondente à amostra 11, fertilizada com fósforo e potássio, apresentou características de mistura superiores às da farinha correspondente à amostra 12, sem qualquer fertilização. Entretanto, segundo o perfil geral dos farinogramas, ambas apresentaram força de média a baixa.

Comparando-se os farinogramas das farinhas correspondentes às amostras 11 e 12 com os das farinhas obtidas das amostras fertilizadas com nitrogênio, foi observado que as propriedades de mistura, para ambos os experimentos, foram afetadas pela fertilização com nitrogênio.

As farinhas do experimento I apresentaram, para a maioria dos tratamentos de fertilização com nitrogênio, aumentos marcantes no tempo de desenvolvimento e na estabilidade, em relação às farinhas obtidas das amostras 11 e 12. As farinhas do experimento II apresentaram valores de tempo de desenvolvimento e de estabilidade similares àqueles das farinhas obtidas das amostras 11 e 12 e valores de índice de tolerância à mistura (MTI) mais altos, o que denotou queda mais acentuada na consistência da massa após o desenvolvimento ótimo do glúten. Desta forma, pode-se concluir que os experimentos I e II apresentaram respostas diferentes aos tratamentos aplicados.

A análise dos farinogramas relativos ao experimento I mostrou que os tratamentos 2, 4, 9, 10 e, especialmente, os tratamentos 5 e 6 apresentaram melhores propriedades de mistura em relação aos tratamentos 11 e 12, sendo as farinhas provenientes desses tratamentos classificadas como de força média.

Para o experimento II, os tratamentos 1, 2, 4, 8 e 10 apresentaram propriedades inferiores aos tratamentos 11 e 12, sendo as farinhas provenientes desses tratamentos classificadas como fracas.

De acordo com os parâmetros farinográficos usados na avaliação das propriedades de mistura das farinhas, concluiu-se que, no experimento I, a fertilização com nitrogênio proporcionou, para a maioria dos tratamentos estudados, o fortalecimento das farinhas, enquanto que, no experimento II, os mesmos tratamentos provocaram enfraquecimento. Através da análise conjunta dos parâmetros farinográficos obtidos foi constatado que os tratamentos 5 (60 Kg N/ha) e 6 (120 Kg N/ha), com mesmo modo de aplicação (1/3 na semeadura e 2/3 a 40 dias da emergência da planta) apresentaram em relação aos demais, as melhores propriedades de mistura para ambos experimentos.

Foram feitas correlações entre os parâmetros farinográficos e o conteúdo de proteína das farinhas obtidas das amostras provenientes dos experimentos I e II.

O tempo de chegada e o conteúdo de proteína correlacionaram em ambos os experimentos ( $r^* = +0,71$  e  $r^* = +0,63$ , respectivamente para os experimentos I e II).

Para o experimento I, o tempo de desenvolvimento apresentou correlação significativa com o conteúdo de proteína ( $r^* = +0,77$ ). Entretanto, para o experimento II, que apresentou farinhas com conteúdo proteico numa faixa muito próxima à das farinhas do experimento I, o tempo de desenvolvimento e o conteúdo de proteína não correlacionaram ( $r = +0,11$ ).

Para as farinhas de ambos os experimentos, a estabilidade não correlacionou com o conteúdo de proteína ( $r = +0,14$  e  $r = -0,43$ , respectivamente para os experimentos I e II). O coeficiente de correlação negativo para o experimento II indicou relação inversa entre a estabilidade e o conteúdo de proteína, ou seja, uma tendência de queda na estabilidade com o aumento do conteúdo de proteína, para esse experimento.

Os experimentos I e II também não apresentaram correlações significativas para índice de tolerância à mistura (MTI) e conteúdo de proteína ( $r = -0,34$  e  $r = +0,32$ ,

respectivamente para os experimentos I e II). Analogamente à estabilidade, o experimento II apresentou tendência de queda na tolerância à mistura (aumento dos valores de MTI) com o conteúdo de proteína crescente. De fato, algumas das amostras que apresentaram os maiores conteúdos de proteína, apresentaram os maiores valores de MTI, ou seja, menor tolerância à mistura.

Portanto, com o aumento do conteúdo de proteína, as amostras do experimento I apresentaram aumentos sensíveis e diretamente proporcionais ao teor de proteína no tempo de desenvolvimento, não apresentando tendência definida quanto à estabilidade e a tolerância à mistura; as amostras do experimento II apresentaram tendência de queda na estabilidade e MTI, não apresentando tendência definida quanto ao tempo de desenvolvimento. Visto que esses parâmetros farinográficos são indicativos da qualidade do glúten, foi suposto que a proteína do cultivar utilizado no experimento I (IAC-60) tem qualidade tecnológica superior em relação ao empregado no experimento II (IAC-161), o que, posteriormente, foi confirmado pelo teste de panificação.

O rápido "breakdown" apresentado por algumas amostras do experimento II foi também observado por TIPPLES et alii (1977) em amostras do cultivar Neepawa com conteúdos proteicos muito elevados (acima de 17%) provenientes de um ensaio de fertilização com altas doses de nitrogênio. O fracionamento da proteína das farinhas mostrou aumento na proporção da fração de glutenina solúvel em ácido acético com o conteúdo de proteína crescente (BUSHUK et alii, 1978).

No presente estudo, a fração de glutenina não foi fracionada nas condições usadas pelos autores acima citados e, portanto, não foi possível relacionar o rápido "breakdown" apresentado por algumas amostras do experimento II a um aumento no teor de glutenina solúvel em ácido acético. As análises de fracionamento proteico efetuadas no presente estudo (vide item IV.3) mostraram que, para ambos experimentos, os tratamentos de fertilização com nitrogênio proporcionaram um ligeiro aumento nas gluteninas (possivelmente, solúveis em ácido acético) e um grande

aumento nas gliadinas das farinhas, com o aumento do conteúdo de proteína.

Segundo MACRITCHIE, citado por CHAKRABORTY & KHAN (1988b), o baixo peso molecular das proteínas gliadinas diminuiu a força da massa e a estabilidade à mistura. Entretanto, PRESTON et alii, citados por PYLER (1983b), encontraram que frações de gliadina com pesos moleculares variáveis tiveram efeitos significativos sobre as propriedades de mistura da massa, sendo que gliadinas de peso molecular mais alto mostraram maior efeito fortalecedor.

Com base nas observações do último autor e no aumento marcante apresentado pela fração de gliadina com o conteúdo de proteína crescente nos dois experimentos deste estudo, pode-se supor que as diferenças nas respostas relativas às propriedades de mistura da farinha, estão associadas, principalmente, a diferenças de ordem qualitativa nas subunidades de gliadina dos cultivares empregados em cada experimento.

Foi observado que farinhas provenientes do mesmo experimento com conteúdos de proteína total e teores de gliadina e glutenina estatisticamente iguais (Tabelas 6 e 7) apresentaram, em geral, propriedades de mistura diferentes. Acredita-se, portanto, que as propriedades de mistura das farinhas estudadas não foram governadas pelo conteúdo de proteína total ou pelos teores de gliadinas e gluteninas totais. Supõe-se que tais propriedades sejam determinadas por subunidades específicas dessas frações proteicas. Resultados conclusivos poderiam ser obtidos através de análises eletroforéticas das frações de gliadina e glutenina das farinhas, que não foram objeto desse estudo.

Segundo GRAMA et alii (1987), não foram encontradas diferenças qualitativas nos componentes da proteína (subunidades de gliadina e glutenina) de farinhas provenientes do mesmo cultivar, e não foram evidentes diferenças nas quantidades relativas desses componentes. Entretanto, estudando a composição proteica de farinhas com conteúdos de proteína crescentes, provenientes do

mesmo cultivar e obtidas pela fertilização com doses crescentes de nitrogênio, BUSHUK et alii (1978) encontraram maior proporção de gluteninas solúveis em ácido acético em farinhas com altos conteúdos de proteína, o que mostrou alteração na composição da fração de glutenina pela fertilização com nitrogênio.

Os resultados do presente estudo sugerem que a fertilização com nitrogênio alterou, além das quantidades totais, a composição das frações de gliadina e glutenina das farinhas em ambos experimentos, o que poderia ter determinado diferenças nas propriedades de mistura entre farinhas provenientes do mesmo experimento.

Presumivelmente, o modo de aplicação de nitrogênio correspondente aos tratamentos 5 e 6 aumentou a proporção de subunidades de gliadinas e gluteninas com boas propriedades de mistura (fortalecedoras) na composição das farinhas das amostras provenientes de ambos experimentos.

Podemos afirmar que as diferenças apresentadas pelas farinhas provenientes dos experimentos I e II nas propriedades de mistura estão associadas, em grande parte, a diferenças na composição da proteína, visto que as mesmas apresentaram diferentes conteúdos de gluteninas, gliadinas e albuminas & globulinas (Tabelas 6 e 7). Além disso, acredita-se que existam diferenças de caráter qualitativo nos componentes da proteína das farinhas provenientes de cada experimento, pois foram empregados diferentes cultivares. Esse fator impossibilitou a comparação de amostras dos dois experimentos, mesmo no caso de apresentarem proporções similares de gluteninas, gliadinas e albuminas & globulinas totais.

Os resultados mostraram que a resposta dos tratamentos de fertilização com nitrogênio nas propriedades de mistura das farinhas foi altamente dependente da qualidade da proteína do cultivar empregado, e sugerem que farinhas provenientes de cultivares que apresentam proteína com baixa qualidade de panificação tenham suas propriedades de mistura prejudicadas com o aumento do conteúdo de proteína, enquanto que, cultivares com

proteínas de boa qualidade de panificação tenham suas propriedades de mistura melhoradas.

#### 4.2 - Propriedades de extensão da massa

Nas Figuras 11 e 12 encontram-se os extensigramas das farinhas provenientes dos experimentos I e II, respectivamente, relativos ao tempo de descanso de 135 minutos. Os valores dos parâmetros extensigráficos correspondentes aos tempos de descanso de 45, 90 e 135 minutos são apresentados nas Tabelas 10 e 11 para as farinhas provenientes dos experimentos I e II, respectivamente.

Comparando-se os extensigramas das farinhas dos dois experimentos foi observado que ambos apresentaram características de extensão de massa distintas. As farinhas correspondentes às amostras do experimento I não fertilizadas com nitrogênio (tratamentos 11 e 12) apresentaram valores de resistência à extensão médios e extensibilidades altas, indicativos de farinha de força média. A adição de níveis adequados de agentes oxidantes às massas seria recomendado para melhorar suas propriedades viscoelásticas no sentido de adequá-las à produção de pães de qualidade satisfatória.

As farinhas correspondentes às amostras não tratadas do experimento II apresentaram valores de resistência à extensão médios e extensibilidades baixas. A amostra 11, fertilizada com fósforo e potássio, apresentou, em relação à amostra 12 (sem qualquer fertilização), melhores propriedades de extensão de massa, particularmente com relação à resistência à extensão. De qualquer forma, de acordo com seus parâmetros extensigráficos, as farinhas das amostras 11 e 12 foram classificadas como fracas, com propriedades de extensão de massa não adequadas à produção de pão de qualidade satisfatória.

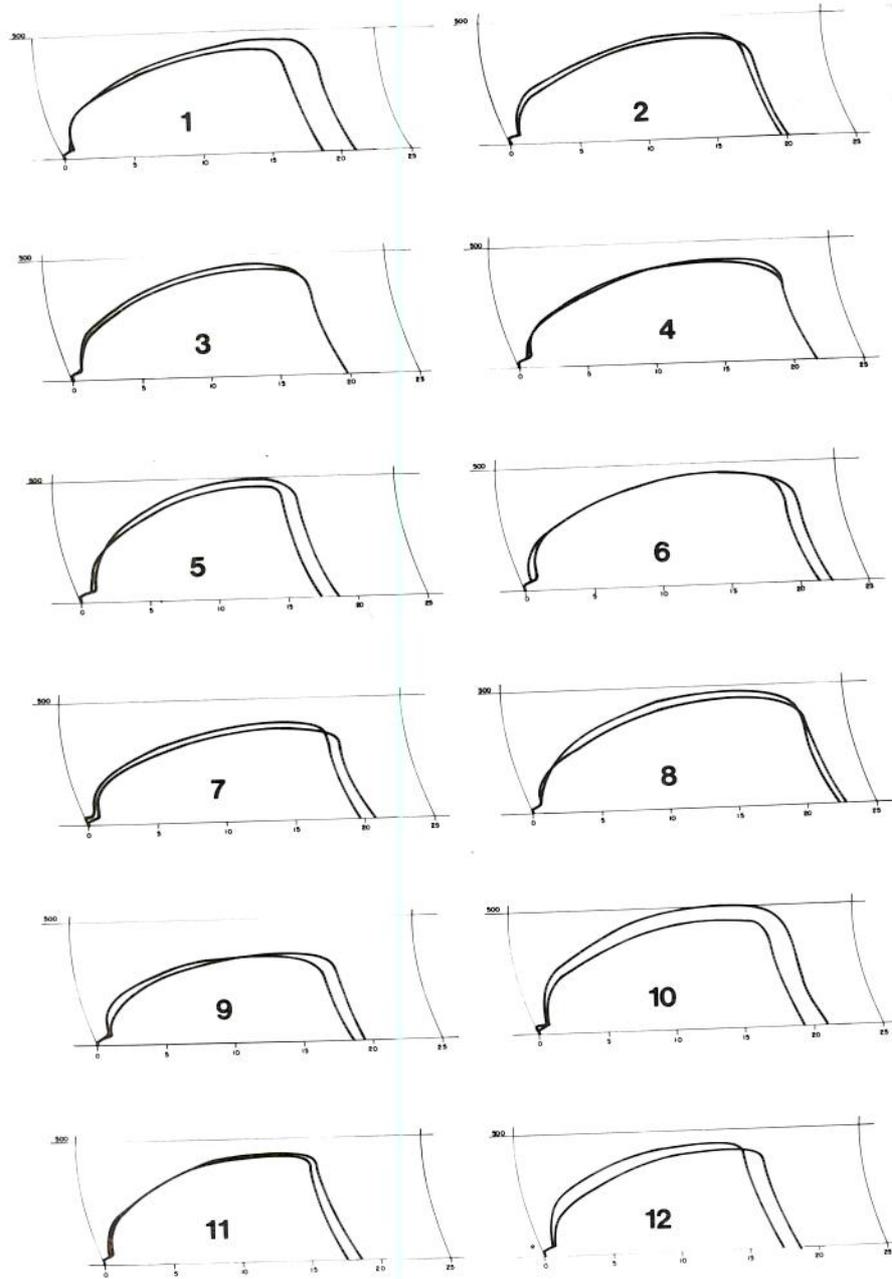


FIGURA 11. Extensigramas das farinhas provenientes do experimento I.

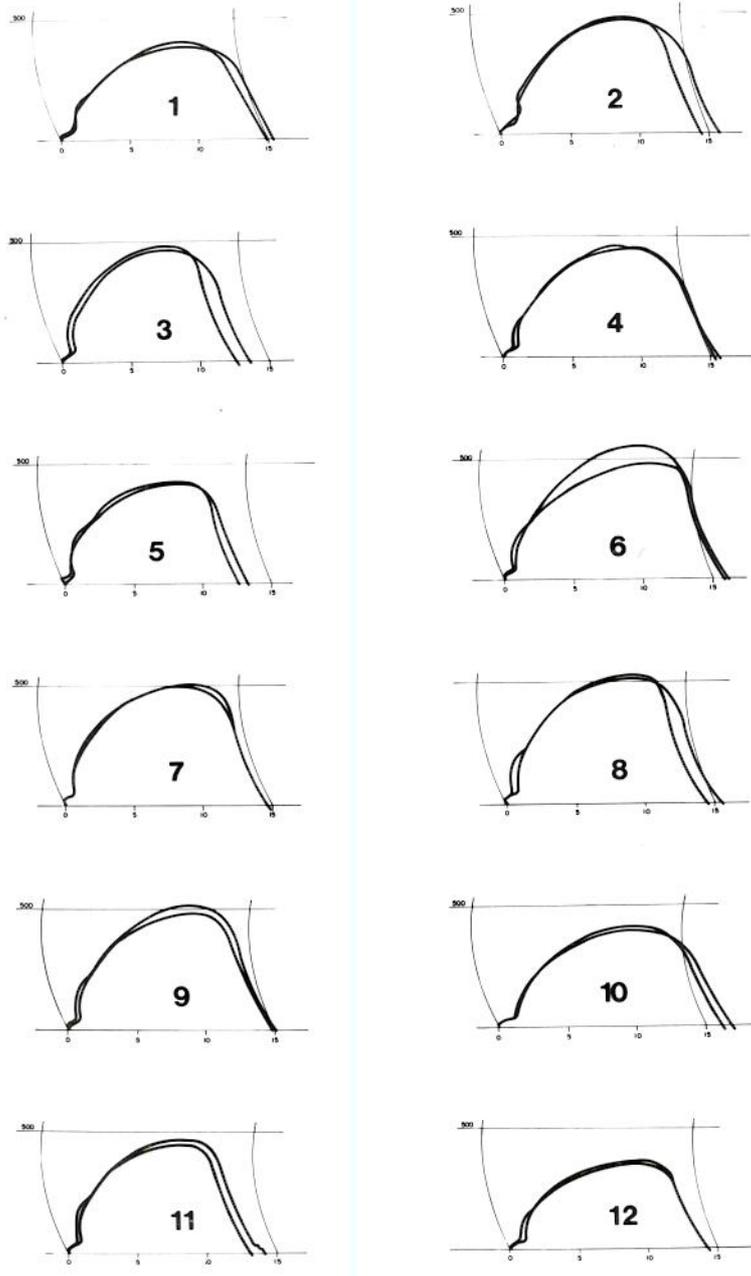


FIGURA 12. Extensigramas das farinhas provenientes do experimento II.

TABELA 10. Parâmetros extensigráficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento I.

AMOSTRA	Resistência à extensão (U.E.)			Extensibilidade (mm)			Resistência máxima (U.E.)			Número Proporcional			Energia (cm <sup>2</sup> )		
	45	90	135	45	90	135	45	90	135	45	90	135	45	90	135
1	285	290	285	213	205	200	420	445	440	1,34	1,42	1,43	124	123	116
2	265	270	275	203	193	200	425	420	430	1,31	1,40	1,38	111	106	112
3	295	275	280	210	205	200	445	450	445	1,41	1,35	1,41	124	122	109
4	255	250	255	215	217	216	425	415	415	1,19	1,16	1,18	121	118	120
5	285	295	300	193	185	180	470	465	475	1,48	1,61	1,67	117	110	110
6	290	275	300	213	204	220	465	430	460	1,37	1,35	1,36	130	117	137
7	260	275	260	215	215	205	410	415	395	1,21	1,28	1,28	119	120	107
8	270	290	285	217	213	227	435	445	465	1,25	1,36	1,26	124	129	138
9	290	310	260	191	185	197	420	430	365	1,52	1,67	1,32	106	105	94
10	285	310	320	206	189	204	470	470	475	1,36	1,66	1,58	125	115	129
11	290	280	300	189	176	182	440	440	445	1,52	1,65	1,65	111	107	106
12	290	280	300	189	176	182	415	415	435	1,54	1,61	1,67	103	92	104

TABELA 11. Parâmetros extensiográficos das farinhas correspondentes às amostras do experimento II.

AMOSTRA	Resistência à extensão (U.E.)			Extensibilidade (mm)			Resistência Máxima (U.E.)			Número Proporcional			Energia (cm <sup>2</sup> )		
	45	90	135	45	90	135	45	90	135	45	90	135			
1	285	290	290	159	153	150	380	390	390	1,79	1,90	1,94	78	73	71
2	310	310	335	160	154	150	440	475	475	1,95	2,02	2,23	87	92	88
3	390	385	380	142	132	132	480	490	470	2,75	2,92	2,88	87	80	76
4	315	300	325	152	167	152	450	455	455	2,07	1,80	2,14	86	92	82
5	340	350	345	143	142	135	430	440	440	2,38	2,46	2,56	78	80	74
6	345	335	340	162	173	160	495	495	510	2,13	1,94	2,13	102	108	101
7	355	365	370	148	145	148	490	520	495	2,40	2,52	2,50	89	92	91
8	370	385	370	159	163	150	505	535	515	2,33	2,36	2,47	103	107	95
9	375	360	345	154	149	149	510	500	495	2,44	2,42	2,32	98	91	88
10	300	310	270	163	162	165	445	470	410	1,84	1,91	1,64	88	90	79
11	350	370	355	143	140	137	425	475	460	2,45	2,64	2,59	78	83	75
12	280	265	265	151	154	143	355	355	350	1,85	1,72	1,85	67	67	60

Comparando os extensigramas das amostras não tratadas com as que foram fertilizadas com nitrogênio, foi observado que as propriedades de extensão das massas para ambos experimentos foram afetadas pelos tratamentos de fertilização com nitrogênio.

Para o experimento I, as farinhas provenientes dos tratamentos de fertilização com nitrogênio apresentaram, em geral, ligeira queda na resistência à extensão e aumento marcante na extensibilidade, em relação às amostras 11 e 12. Desta forma, os valores do número proporcional, que relaciona resistência à extensão com extensibilidade da massa, foram sensivelmente diminuídos, exceto para o tratamento 5. Foi observado ainda que apenas o tratamento 9 apresentou queda na elasticidade da massa durante o descanso, como indicou a redução do número proporcional com o aumento do tempo de descanso. Para os demais tratamentos, esse valor permaneceu praticamente constante ou aumentou durante o descanso da massa.

Como indicado pelo aumento dos valores de energia (área sob a curva extensigráfica), a força das farinhas do experimento I provenientes dos tratamentos de fertilização com nitrogênio aumentou em relação àquelas provenientes dos tratamentos 11 e 12, com exceção do tratamento 9. Os maiores valores de energia foram apresentados pelos tratamentos 4, 6, 8 e 10.

Quanto às amostras do experimento II provenientes dos tratamentos de fertilização com nitrogênio, foi observado que, em geral, a extensibilidade aumentou e a resistência à extensão sofreu pequenas variações em relação ao valor apresentado pela amostra 11, o que, de uma maneira geral, levou à queda do número proporcional. Apenas os tratamentos 9 e 10 apresentaram queda na elasticidade da massa durante o descanso. Para os demais tratamentos o número proporcional, em geral, aumentou com o aumento do tempo de descanso.

A maioria das farinhas provenientes dos tratamentos de fertilização com nitrogênio tiveram a força aumentada, como

indicaram os valores de energia, notadamente os tratamentos 6, 8 e 9.

De uma maneira geral, para o experimento I, os tratamentos 2, 5, 7 e 9 apresentaram propriedades viscoelásticas comparáveis ao tratamento 11. Todas as demais amostras apresentaram propriedades superiores, especialmente as amostras 6 e 8, o que indica melhor performance em panificação, em relação a amostra 11.

Para o experimento II, os tratamentos 1, 5 e 10 apresentaram propriedades de extensão de massa comparáveis ao tratamento 11. Os demais tratamentos apresentaram propriedades superiores, especialmente os tratamentos 6 e 8.

Portanto, de maneira geral, a resposta dos tratamentos de fertilização com nitrogênio, avaliada pelas propriedades de extensão da massa, foi o fortalecimento das farinhas.

A análise conjunta das propriedades de extensão de massa apresentadas pelas amostras dos experimentos I e II, revelou que os tratamentos 6 e 8 apresentaram as melhores características viscoelásticas para ambos experimentos.

Alguns parâmetros extensigráficos apresentaram correlações significativas com o conteúdo de proteína e, portanto, com as frações proteicas que aumentaram nas farinhas.

Para o experimento I, a extensibilidade correlacionou positivamente com o conteúdo de proteína ( $r^* = +0,80$ ); para o experimento II, também apresentou correlação positiva, porém não significativa ( $r = +0,55$ ). Como a fração proteica que mais aumentou nas farinhas com o conteúdo de proteína crescente foi a de gliadina, conforme constatado por análises de fracionamento proteico (item IV.3) pode-se supor que essas proteínas conferiram maior extensibilidade às massas correspondentes às amostras do experimento I. Essa suposição é consistente com a característica de fluidez apresentada pelas gliadinas (PYLER,

1973).

O aumento da extensibilidade da massa também foi observado por TIPPLES et alii (1977) em amostras do cultivar Neepawa provenientes de um ensaio de fertilização com altas doses de nitrogênio. O exame da proteína das amostras através de fracionamento por solubilidade, entretanto, indicou aumento na proporção de gluteninas solúveis em ácido acético com o conteúdo de proteína crescente (BUSHUK et alii, 1978).

A energia apresentou correlações significativas com o conteúdo de proteína para os dois experimentos ( $r^* = +0,70$ , para experimento I e  $r^* = +0,79$ , para o experimento II), indicando aumento da força da massa com o aumento do conteúdo de proteína.

Quanto à resistência da massa à extensão, a resistência máxima e o número proporcional, não foram encontradas correlações significativas em ambos os experimentos.

Foi constatado, para os dois experimentos, que farinhas com conteúdos de gliadinas e gluteninas totais estatisticamente iguais apresentaram, em geral, propriedades de extensão de massa diversas, especialmente com relação à resistência à extensão. Acredita-se, portanto, que as diferenças nas propriedades de extensão entre as farinhas não foram governadas pelas quantidades totais de gliadinas e gluteninas das farinhas, mas sim, por subunidades específicas dessas frações proteicas.

As características extensigráficas que melhoraram nas farinhas provenientes de ambos experimentos em função dos tratamentos de fertilização com nitrogênio foram a extensibilidade e a energia, que apresentaram correlações significativas com o conteúdo de proteína. Nesse sentido, os tratamentos 6 (120 Kg N/ha, 1/3 na semeadura e 2/3 a 40 dias da emergência) e 8 (120 Kg N/ha, 1/3 na semeadura e 2/3 a 60 dias da emergência), que apresentaram os maiores conteúdos de proteína, exibiram as melhores propriedades de extensão de massa para os experimentos I e II.

#### 4.3 - Teste de panificação

Os resultados da avaliação de qualidade dos pães correspondentes aos experimentos I e II encontram-se nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Os pães foram avaliados através da atribuição de pontos às suas características externas, internas, aroma e gosto, tomando-se como padrão o pão correspondente ao tratamento 11.

Considerando-se o experimento I, foi observado que os melhores pães foram apresentados pelos tratamentos 5, 10, 4, 8 e 6, em ordem crescente de pontuação. Embora o tratamento 2 tenha apresentado conteúdo de proteína e volume do pão superior ao padrão, o total de pontos relativos à qualidade de panificação foi ligeiramente inferior ao padrão, devido às baixas pontuações referentes aos parâmetros simetria e características internas da crosta.

Quanto ao experimento II, os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 9 apresentaram pães ligeiramente superiores ao padrão, sendo os melhores pães aqueles apresentados pelos tratamentos 5, 10, 7, 6 e 8, em ordem crescente de pontuação.

Portanto, os tratamentos com os maiores conteúdos de glúten, melhores propriedades de mistura e de extensão de massa, apresentaram, em geral, melhor qualidade de panificação, para ambos experimentos, especialmente quanto ao volume, estrutura e textura do miolo.

Embora os experimentos I e II tenham sido realizados em locais distintos, empregando-se cultivares de trigo diferentes, as respostas aos tratamentos de fertilização com nitrogênio com relação à qualidade de panificação foram similares, particularmente para os tratamentos 5, 6, 8 e 10 que apresentaram qualidade de panificação notadamente superior ao padrão nos dois experimentos.

TABELA 12. Pontos atribuídos na avaliação dos pães correspondentes às amostras do experimento I.

CARACTERÍSTICAS DO PAO	AMOSTRA											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Valor máximo											
<b>Características externas</b>												
volume	20	14,8	15,5	14,9	15,9	15,0	16,6	15,4	17,1	14,8	16,1	14,6
cor da crosta	10	9,0	9,0	10,0	9,5	10,0	10,0	9,0	9,0	9,0	9,5	9,0
quebra	5	3,5	2,5	3,5	4,5	4,0	4,5	2,5	4,0	2,5	4,0	3,0
simetria	5	4,5	3,0	4,5	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,5	4,5
<b>Características internas</b>												
característ. da crosta	5	3,5	2,5	3,5	4,0	4,0	4,0	3,5	4,0	3,5	4,0	4,0
cor do miolo	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
estrutura do miolo	10	7,5	6,5	6,5	9,0	7,5	9,0	7,5	8,5	7,5	8,5	7,5
textura do miolo	10	8,0	7,0	8,0	9,0	9,0	8,0	9,0	8,5	9,0	8,0	7,0
<b>Aroma e gosto</b>												
aroma	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
gosto	15	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Contagem total	100	85,8	81,0	85,9	91,9	89,5	92,1	85,9	91,9	84,3	89,6	84,6

TABELA 13. Pontos atribuídos na avaliação dos pães correspondentes às amostras do experimento II.

CARACTERÍSTICAS DO PAO	AMOSTRA											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Valor máximo											
<b>Características externas</b>												
volume	20	14,2	15,6	14,3	15,3	14,8	15,4	15,3	16,1	14,9	15,7	14,7
cor da crosta	10	8,0	8,0	7,0	7,5	7,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	7,0
quebra	5	3,5	2,5	3,5	2,5	3,0	4,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,5
simetria	5	4,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,5
<b>Características internas</b>												
característ. da crosta	5	3,0	4,0	4,0	3,0	3,5	4,0	3,5	4,5	4,5	4,5	3,0
cor do miolo	10	9,0	9,0	9,0	9,5	9,5	10,0	9,0	9,5	10,0	9,5	10,0
estrutura do miolo	10	6,5	5,0	6,5	6,5	7,0	6,5	7,0	6,0	6,5	6,0	5,0
textura do miolo	10	6,0	7,0	7,0	7,0	7,5	8,0	8,0	8,0	5,5	7,0	5,0
<b>Aroma e gosto</b>												
aroma	10	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
gosto	15	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Contagem total	100	79,2	79,6	80,3	80,8	82,3	85,9	85,3	86,1	80,9	83,7	77,7

O volume do pão e o conteúdo de proteína apresentaram correlações significativas para ambos os experimentos ( $r^* = +0,87$ , para o experimento I, e  $r^* = +0,89$ , para o experimento II). O total de pontos obtidos pelos pães, indicativo da qualidade global de panificação das farinhas, também correlacionou com o conteúdo de proteína ( $r^* = +0,70$  e  $r^* = +0,84$ , respectivamente para os experimentos I e II).

Nas Figuras 13 e 14 são apresentadas as curvas de regressão linear relativas ao volume do pão contra o conteúdo de proteína total das farinhas provenientes dos experimentos I e II, respectivamente. Os coeficientes angulares (inclinações) apresentados pelas curvas foram 0,82 e 0,63, respectivamente para os experimentos I e II. Segundo BUSHUK (1985), quanto maior esse coeficiente, melhor é a qualidade de panificação da proteína de uma dada variedade. Portanto, a melhor performance em panificação das farinhas provenientes do experimento I em relação às do experimento II poderia ser explicada pelo maior conteúdo de glúten e pela melhor qualidade da proteína das amostras correspondentes à cada tratamento. A qualidade dos pães correspondentes às amostras do experimento I foi superior aos do experimento II, particularmente na aparência externa da crosta, e na cor, estrutura e textura do miolo, sendo também ligeiramente superiores com relação ao volume específico.

Visto que o teor da fração de gliadina aumentou acentuadamente com o aumento do conteúdo de proteína, como mostraram as análises de fracionamento proteico (item IV.3), tornou-se evidente a influência do aumento do conteúdo de gliadina na melhora do volume do pão e da qualidade global de panificação, nos dois experimentos. HOSENEY et alii (1969b) e DOEKES & WENNEKES (1982) também observaram aumento no volume do pão com proporções crescentes de gliadinas na farinha de trigo.

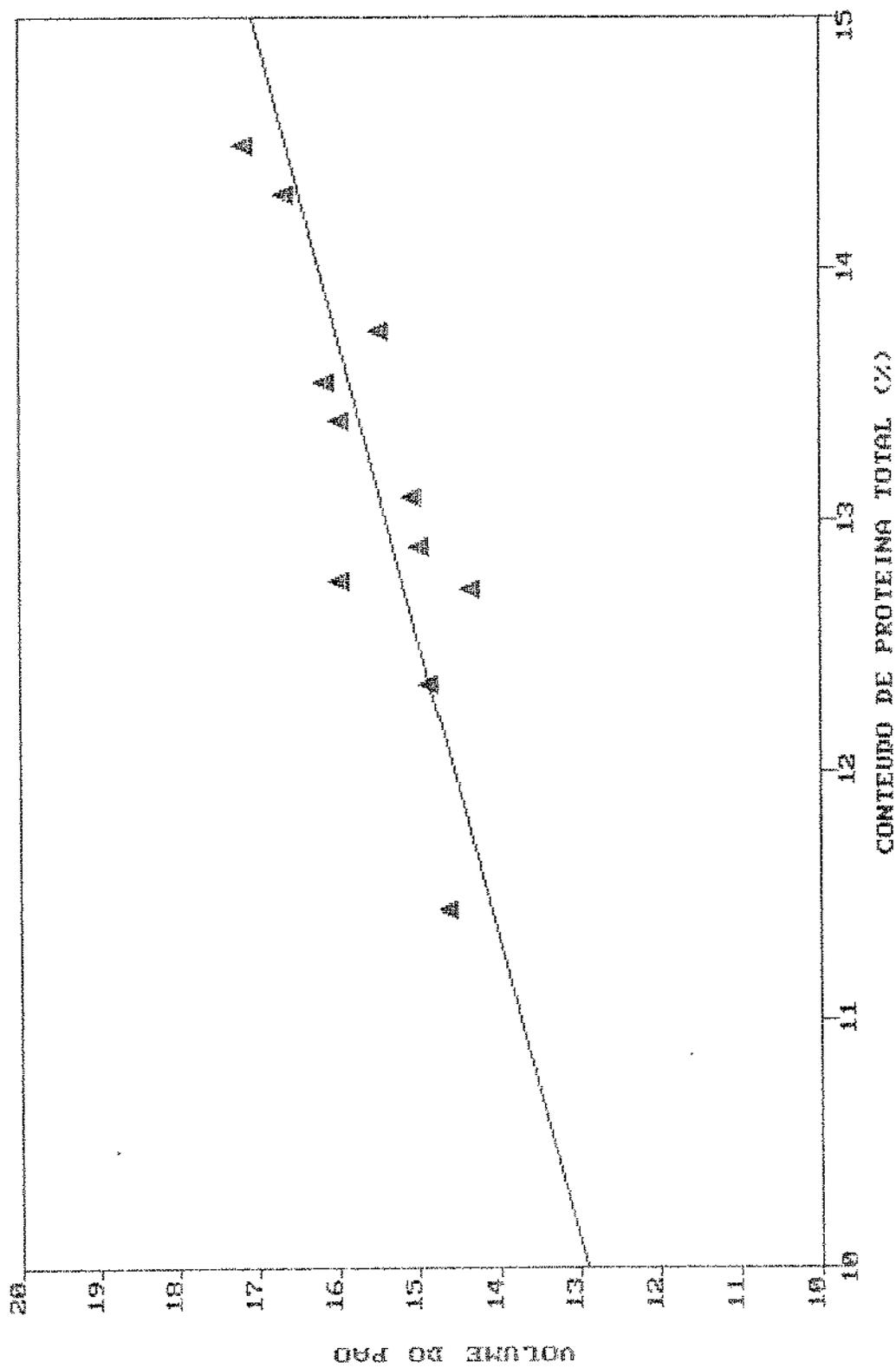


FIGURA 13. Relação do volume do pão com o conteúdo de proteína total da farinha, para o experimento I.

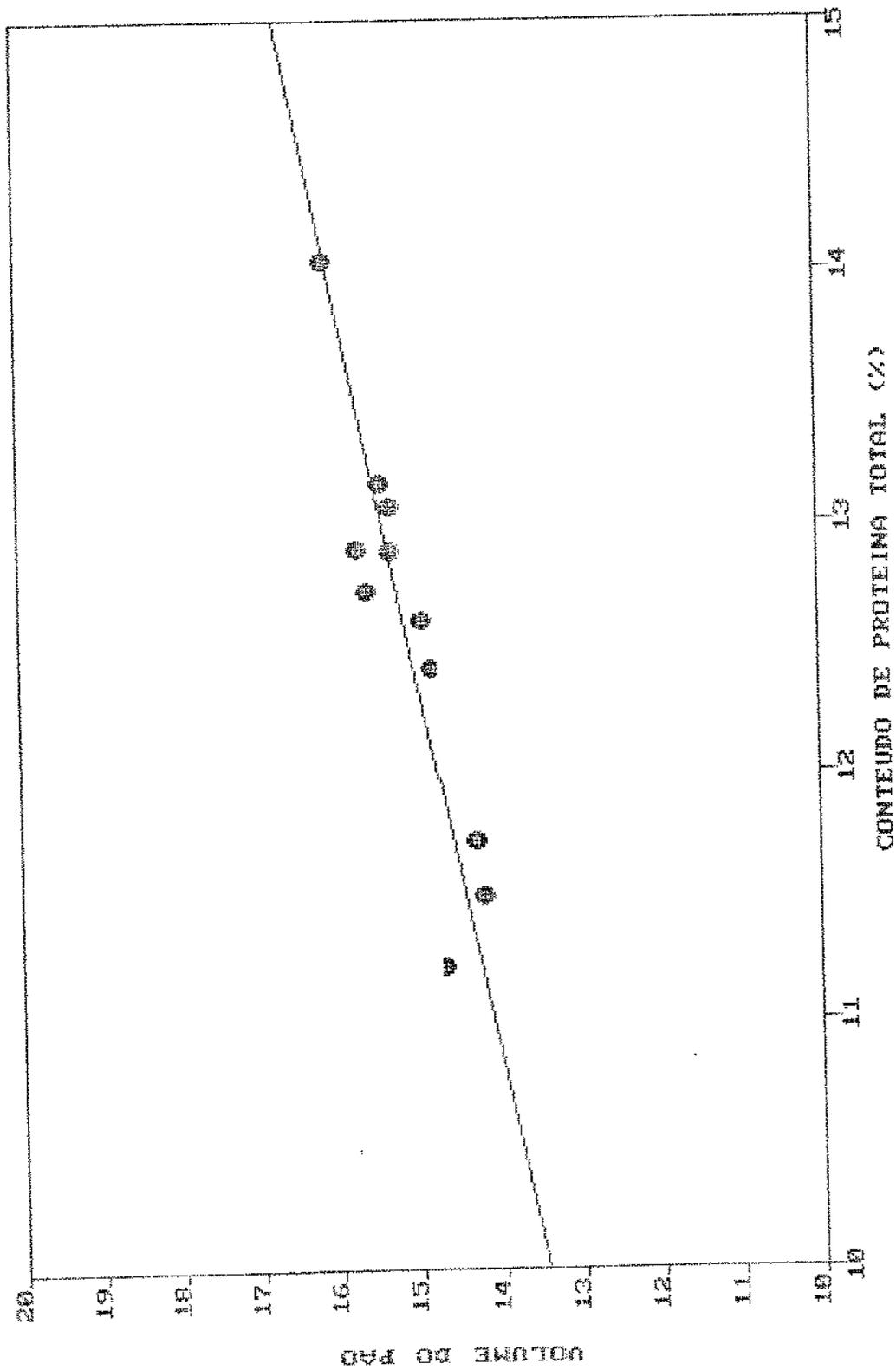


FIGURA 14. Relação do volume do pão com o conteúdo de proteína total da farinha, para o experimento II.

Foi observado ainda que as farinhas provenientes do mesmo cultivar, que apresentaram conteúdos de proteína total, de gliadinas e de gluteninas estatisticamente iguais (Tabelas 6 e 7) exibiram volumes específicos muito próximos, com exceção dos tratamentos 4 e 5, e 7 e 10, para o experimento I. Entretanto, houve diferenças com relação às demais características avaliadas nos pães. Essa observação, juntamente com o que foi encontrado com relação às propriedades de mistura (item IV.4.1) e de extensão da massa (item IV.4.2), sugere que as diferenças na qualidade de panificação entre farinhas provenientes do mesmo experimento, com conteúdo de proteína iguais, não dependeram das quantidades totais de gliadinas e gluteninas das farinhas, mas foram determinadas por subunidades específicas dessas frações proteicas. Supõe-se, portanto, que os diferentes modos de aplicação de nitrogênio, correspondentes aos diversos tratamentos, aumentaram a proporção de diferentes subunidades da proteína dos cultivares estudados, modificando a composição das frações de gliadinas e gluteninas. Segundo os resultados obtidos, os tratamentos que forneceram mais nitrogênio para a planta em épocas mais próximas à estação de floração, ou seja, a 40 ou 60 dias da emergência (Quadro 1), apresentaram, para ambos experimentos, qualidade de panificação superior em relação aos demais tratamentos, com exceção do tratamento 7 para o experimento I. Presume-se, portanto, que esses tratamentos aumentaram a proporção de subunidades de gliadinas e gluteninas com boa qualidade de panificação na composição da proteína das farinhas provenientes dos experimentos I e II.

De acordo com os resultados desse estudo, os tratamentos 6 (120 Kg N/ha, 1/3 na semeadura e 2/3 a 40 dias da emergência) e 8 (120 Kg N/ha, 1/3 na semeadura e 2/3 a 60 dias da emergência da planta) foram os mais eficientes para aumentar o conteúdo e a qualidade da proteína nos experimentos I e II, apresentando, assim, melhor qualidade de panificação em relação aos demais tratamentos.

## V. CONCLUSOES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que:

1 - O peso hectolitro das amostras fertilizadas com nitrogênio foi, em geral, menor em relação às amostras não fertilizadas, para os dois experimentos.

2 - O conteúdo de proteína total das farinhas provenientes das amostras dos experimentos I e II foi aumentado pela fertilização com nitrogênio. Os tratamentos que tiveram aplicação de maiores doses de nitrogênio em épocas mais próximas à época de floração da planta (entre 40 e 60 dias após a emergência) apresentaram, em geral, conteúdos de proteína mais altos em relação aos demais.

3 - As farinhas com maiores teores de proteína apresentaram também maiores teores de glúten, indicando que a fertilização com nitrogênio propiciou, principalmente, o aumento das proteínas formadoras de glúten.

4 - O conteúdo de albuminas & globulinas não foi afetado pela fertilização com nitrogênio, sendo independente do conteúdo de proteína total.

5 - Os conteúdos de gliadinas e de gluteninas aumentaram linearmente com o conteúdo de proteína total crescente.

6 - As taxas de aumento dos conteúdos de gliadinas e de gluteninas em função do conteúdo de proteína total crescente variaram ligeiramente entre os experimentos.

7 - A taxa de aumento do conteúdo de gliadinas foi maior que a do conteúdo de gluteninas para ambos experimentos, havendo alteração nas proporções das frações proteicas em relação à proteína total, com o aumento do conteúdo de proteína. A proporção de gliadinas aumentou, ocorrendo, paralelamente, queda nas

proporções de gluteninas e de albuminas & globulinas.

8 - De acordo com os parâmetros farinográficos usados na avaliação das propriedades de mistura das farinhas, para o experimento I, a maior parte dos tratamentos de fertilização com nitrogênio proporcionaram o fortalecimento da farinha com o conteúdo de proteína crescente, enquanto que, para o experimento II, os mesmos tratamentos provocaram um sensível enfraquecimento (queda da estabilidade e tolerância à mistura). Os tratamentos 5 (60 Kg N/ha) e 6 (120 Kg N/ha), com mesmo modo de aplicação (1/3 na sementeira e 2/3 a 40 dias da emergência da planta), apresentaram, em relação aos demais, as melhores propriedades de mistura para ambos experimentos.

9 - A resposta à fertilização nitrogenada relativa às propriedades de mistura da farinha foi altamente dependente da qualidade tecnológica da proteína do cultivar empregado, sugerindo que farinhas provenientes de cultivares que apresentam proteína de baixa qualidade de panificação tenham suas propriedades de mistura prejudicadas com o aumento do conteúdo de proteína, enquanto que cultivares com proteínas de boa qualidade de panificação tenham suas propriedades de mistura melhoradas.

10 - As características extensigráficas que melhoraram nas farinhas provenientes de ambos experimentos em função dos tratamentos de fertilização com nitrogênio foram a extensibilidade e a energia, que apresentaram correlações significativas com o conteúdo de proteína. Nesse sentido, os tratamentos 6 e 8, que apresentaram os maiores conteúdos de proteína, exibiram as melhores propriedades de extensão de massa para os experimentos I e II.

11 - A resposta aos tratamentos de fertilização com nitrogênio com relação à qualidade de panificação das farinhas foi o aumento do volume do pão e a melhora de outras características físicas (especialmente, estrutura e textura do miolo) com o conteúdo de proteína crescente, para ambos experimentos. Os tratamentos que forneceram mais nitrogênio para a planta em épocas

mais próximas à estação de floração (a 40 ou 60 dias da emergência) apresentaram, em geral, qualidade de panificação superior em relação aos demais tratamentos, para ambos experimentos.

12 - Farinhas provenientes do mesmo experimento, que apresentaram conteúdos estatisticamente iguais de gliadinas e gluteninas, exibiram diferenças nas propriedades de mistura e de extensão da massa e na qualidade de panificação, sugerindo que tais propriedades são governadas por subunidades específicas dessas frações proteicas, as quais tiveram suas proporções alteradas conforme o modo de aplicação de nitrogênio.

13 - Da avaliação da qualidade tecnológica das farinhas provenientes dos dois experimentos, concluiu-se que o tratamento 6 ( 120 Kg N/ha, 1/3 na semeadura e 2/3 a 40 dias da emergência da planta) foi o que apresentou melhor qualidade para a produção de pão, presumivelmente porque, além de promover um grande aumento na proteína total da farinha, aumentou a proporção de subunidades de gliadinas e gluteninas de melhor qualidade tecnológica na composição da proteína da farinha.

## VI- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 - AACC American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 7 ed. St. Paul, 1976. v. 1 e 2.
- 2 - BERNARDIN, J.E. Gluten protein interaction with small molecules and ions - the control of flour properties. Bakers Digest 52(4): 20-23, 1978.
- 3 - BLOKSMA, A.H. Rheology and chemistry of dough. In: POMERANZ, Y. ed. Wheat Chemistry and Technology 3 ed. St. Paul, AACC, 1978. chap. 11, p. 523-584.
- 4 - BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. Cereal Foods World 30 (7): 447-451, 1985.
- 5 - BUSHUK, W.; RODRIGUEZ-BORES, F.J.; DUBETZ, S. Effects of high rates of nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation. III. Protein quality for breadmaking as reflected by various tests. Canadian Journal of Plant Science 58: 923-927, 1978.
- 6 - BUTAKI, R.C. & DRONZEK, B. Comparison of gluten properties of flour wheat varieties. Cereal Chemistry 56 (3): 159-161, 1979a.
- 7 - BUTAKI, R.C. & DRONZEK, B. Effect of protein content and wheat variety on relative viscosity, solubility and electrophoretic properties of gluten proteins. Cereal Chemistry 56 (3): 162-165, 1979b.
- 8 - CAMARGO, C.E.O.; FELICIO, J.C.; FERREIRA F<sup>o</sup>., A.W.P.; FREITAS, J.G.; PETTINELLI Jr., A.; RAMOS, V.J.; KANTHACK, R.A.D. Adubação N, P, K e S para a cultura do trigo no Estado de São Paulo. Boletim Técnico 129, Campinas, Instituto Agrônômico, jun. 1990.

- 9 - CAMPBELL, W.P. & LEE, J.W. Structure and function in some components of the wheat grain. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology* 15 (1): 1-4, 1982.
- 10 - CAMPBELL, W.P.; WRIGLEY, C.W.; CRESSEY, P.J.; SLACK, C.R. Statistical correlations between quality attributes and grain-protein composition for 71 hexaploid wheats used as breeding parents. *Cereal Chemistry* 64 (5): 293-299, 1987.
- 11 - CHAKRABORTY, K. & KHAN, K. Biochemical and breadmaking properties of wheat protein components. I. Compositional differences revealed through quantitation and polyacrylamide gel electrophoresis of protein fractions from various isolation procedures. *Cereal Chemistry* 65 (4): 333-340, 1988a.
- 12 - CHAKRABORTY, K. & KHAN, K. Biochemical and breadmaking properties of wheat protein components. II. Reconstitution baking studies of protein fraction from various isolation procedures. *Cereal Chemistry* 65 (4): 340-344, 1986b.
- 13 - CHEFTEL, J.C.; CUQ, J.L.; LORIENT, D. *Protéines Alimentaires*. ed. Paris, Technique et Documentation Lavoisier, 1985. cap. 6, p. 204-218.
- 14 - CRESSEY, P.J.; CAMPBELL W.P.; WRIGLEY C.W.; GRIFFIN, W.B. Statistical correlations between quality attributes and grain-protein composition for 60 advanced lines of crossbred wheat. *Cereal Chemistry* 64 (5): 299-301, 1987a.
- 15 - CRESSEY, P.J.; MACGIBBON, D.G.; GRAMA, A. Hexaploid wild emmer wheat derivatives grown under New Zealand conditions. 3. Influence of nitrogen fertilisation and stage of grain development on protein composition. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 30: 53-58, 1987b.
- 16 - DOEKES, G.J. & WENNEKES, L.M.J. Effect of nitrogen fertilisation on quantity and composition of wheat flour

protein. Cereal Chemistry 59 (4): 276-278, 1982.

- 17 - DUBETZ, S. Effects of nitrogen on yield and protein content of Manitou and Pitic wheats grown under irrigation. Canadian Journal of Plant Science 52: 887-890, 1972.
- 18 - DUBETZ, S. Effect of high rates of nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation. I. Yield and protein content. Canadian Journal of Plant Science 57: 311-336, 1977.
- 19 - DUBETZ, S & GARDINER, E.E. Effect of nitrogen fertilizer treatments on the amino acid composition of Neepawa wheat. Cereal Chemistry 56 (3): 166-168, 1979.
- 20 - EL-DASH, A.A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. Cereal Chemistry 55 (4): 436-446, 1978.
- 21 - EL-DASH, A.A. Fundamentos da Tecnologia de Moagem. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. cap. 3. (Série Tecnologia Agroindustrial, 05)
- 22 - EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.R.O.; DIAZ, N.A.M. Fundamentos da Tecnologia de Panificação. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. cap. 1 (série Tecnologia Agroindustrial, 06).
- 23 - FINNEY, K.F.; MEYER, J.W.; SMITH, F.W.; FRYER, H.C. Effect of foliar spraying of Pawnee wheat with urea solutions on yield, protein content e protein quality. Agronomy Journal 49: 341-347, 1957.
- 24 - GRAMA, A.; WRIGHT, D.S.C.; CRESSEY, P.J.; LINDLEY, T. Hexaploid wild emmer wheat derivatives grown under New Zealand conditions. 1. Relationship between protein composition and quality parameters. New Zealand Journal of Agricultural Research 30: 35-43, 1987.

- 25 - GRAVELAND, A.; BOSVELD, P.; LICHTENDONK, W.J.; MOONEN, H.H.E.; SCHEEPSTRA, A. Extraction and fractionation of wheat flour proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33 (11): 1117-1128, 1982.
- 26 - HOSENEY, R.C.; FINNEY, K.F.; SHOGREN, M.D.; POMERANZ, Y. Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. II. Role of water solubles. *Cereal Chemistry* 46 (2): 117-125, 1969a.
- 27 - HOSENEY, R.C.; FINNEY, K.F.; SHOGREN, M.D.; POMERANZ, Y. Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. III. Characterization of gluten protein fractions obtained by ultracentrifugation. *Cereal Chemistry* 46 (2): 126-135, 1969b.
- 28 - KASARDA, D.D.; BERNARDIN, J.E.; NIMMO, C.C. Wheat proteins. In: POMERANZ, Y. ed. *Advances in Cereal Science and Technology*. ed. St. Paul, AACC, 1976. v.1, cap.4, p. 158-236.
- 29 - KASARDA, D.D.; NIMMO, C.C.; KOHLER, G.O. Proteins and amino acid composition of wheat fractions. In: POMERANZ, Y. ed. *Wheat Chemistry and Technology*. 3 ed. St. Paul, AACC, 1978. chap. 6, p. 227-225 (Monograph Series, 3).
- 30 - KELFKENS, M. ; PIETRO, J.A.; HAMER R.J.; VAN DER KAMP, J.W. Effects of different nitrogen fertilisation levels on the protein composition of wheat, gluten and wheat processing properties. *Cereal Foods World* 35 (8): 848, 1990.
- 31 - KOENIG, K.B. The effect of nitrogen fertilisation on protein content and bread baking properties of wheat flour. (abstract of thesis) *Food Science and Technology Abstracts* 21 (7): 137, 1989.
- 32 - MACRITCHIE, F. Differences in baking quality between wheat flours. *Journal of Food Technology* 13 (3): 187-194, 1978.

- 33 - MACRITCHIE, F. Studies of gluten protein from wheat flours. *Cereal Foods World* 25 (7): 382-385, 1980.
- 34 - MARAIS, G.F. & D'APPOLONIA, B.L. Factors contributing to baking quality differences in hard red spring wheat. I Bases for different loaf volume potentials. *Cereal Chemistry* 58 (5): 444-447, 1981.
- 35 - MARCHYLO, B.A.; KRUGER J.E.; HATCHER D.W. Effect of environment on wheat storage proteins as determined by quantitative reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry* 67 (4): 372-376, 1990.
- 36 - NG, P.K.W. & BUSHUK, W. Statistical relationships between high molecular weight subunits of glutenin and breadmaking quality of canadian-grown wheats. *Cereal Chemistry* 65 (5): 408-413, 1988.
- 37 - ORTH, R.A. & BUSHUK, W. A comparative study of the proteins of wheat of diverse baking qualities. *Cereal Chemistry* 49 (3): 268-275, 1972.
- 38 - PRATT, D.B.Jr. Criteria of flour quality. In: POMERANZ, Y. ed. *Wheat Chemistry and Technology*. 3 ed. St. Paul, AACC, 1978. chap.5, p. 201-226 (Monograph Series,3).
- 39 - PRESTON, K.R. & TIPPLES, K.H. Effects of acid soluble and acid insoluble gluten proteins on the rheological and baking properties of wheat flours. *Cereal Chemistry* 57 (5):314-320, 1980.
- 40 - PYLER, E.J. *Baking Science & Technology*. ed. Chicago, Siebel Publishing Company, 1973. chap. 3, p. 83-119, v. 1 e chap. 21, p. 834-897, v. 2.
- 41 - PYLER, E.J. Flour proteins. Role in baking performance I. *Bakers Digest* 57 (3): 24-25, 27-28, 33, 1983a.

- 2 - PYLER, E.J. Flour proteins. Role in baking performance II. Bakers Digest 57 (5): 44, 46, 48-50, 1983b.
- 3 - SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. Statistical Methods. 6 ed. Ames, The Iowa State University Press, 1967. p. 557.
- 4 - 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.
- 5 - TERMAN, G.L.; RAMIG, R.E.; DREIER, A.F.; OLSON, R.A. Yield protein relationships in wheat grain, as affected by nitrogen and water. Agronomy Journal 61: 755-759, 1969.
- 6 - 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.
- 7 - ZELENY, L. Criteria of wheat quality. In: POMERANZ, Y. ed. Wheat Chemistry and Technology. 3 ed. St. Paul, AACC, 1978. chap. 2, p. 19-49 (Monograph Series, 3).