



1150003070

T/UNICAMP
M365f
BCCL

FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE MILHO
ELABORADA POR PROCESSO HIDROTÉRMICO:
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS

Por

Fernando Martínez Bustos
Engº Químico, FCQ (UV), 1974

Tese apresentada à
Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola para obtenção
do título de Mestre

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador

1979

Campinas, SP, Brasil

ÍNDICE

	Página
Índice de Tabelas	i
Índice de Figuras	iv
Agradecimentos	vii
Resumo	viii
Summary	x
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
A. Produção e consumo de milho na América Lati- na	3
1. Produção	3
2. Consumo	3
3. Formas de consumo	4
a. "Tortilla"	5
b. "Arepa"	7
c. Polenta	8
B. Moagem de milho	9
1. Estrutura e composição de milho	9
2. Processo de obtenção de "grits" de milho .	10
C. Elaboração de farinha pré-gelatinizada de mi- lho	11
1. Fenômenos de gelatinização e retrogradação	12

	Página
2. Processos industriais de elaboração de farinhas pré-gelatinizadas	14
a. Gelatinização por extrusão	14
b. Gelatinização em secadores de rolos - ("drum dryer")	15
c. Gelatinização em cilindros aquecidos ..	16
3. Processos industriais de elaboração de farinha pré-gelatinizada de milho para a preparação de "tortilla", "arepa" e polenta .	16
a. "Tortilla"	16
b. "Arepa"	17
c. Polenta	18
III. MATERIAIS E MÉTODOS	19
A. Materiais	19
1. Matéria prima	19
2. Reagentes	19
3. Aparelhos e Equipamentos	19
B. Métodos experimentais	20
1. Classificação do "grits"	20
2. Granulometria	20
3. Processo de gelatinização de "grits" de - milho por tratamento com vapor	21
a. Maceração do "grits"	21
i. Maceração à temperatura ambiente .	21
ii. Maceração à temperaturas superiores à ambiente	22
b. Tratamento térmico	22

	Página
c. Secagem	23
d. Moagem	23
4. Preparação de "tortillas"	24
5. Preparação de polenta	25
6. Avaliação sensorial das "tortillas" e das polentas	26
C. Métodos analíticos	27
1. Determinação das propriedades reológicas da massa	27
a. Preparação de misturas de farinha de trigo com farinha de milho	27
b. Determinação da viscosidade das farinhas	27
c. Determinação das propriedades de mistura da massa	29
d. Determinação das propriedades de extensão da massa	31
2. Índices de absorção e solubilidade em água	32
3. Umidade	33
4. Proteína	33
5. Gordura (extrato etéreo)	33
6. Açúcares	33
7. Fibra	33
8. Cinzas	34
9. Aminoácidos	34
a. Determinação de lisina disponível	34

	Página
b. Determinação de triptofano	34
c. Outros aminoácidos	34
10. Vitaminas	35
a. Tiamina (vitamina B ₁)	35
b. Riboflavina (vitamina B ₂)	35
c. Niacina (vitamina B ₃)	35
11. Tocoferóis totais	35
12. Pigmentos totais e β-carotenos	36
13. Estabilidade das farinhas durante armaze- namento	37
a. Teste de atividade enzimática da pero- xidase	37
b. Ácidos graxos livres	38
c. Índice de peróxido	38
14. Determinação da cor do "grits" e da fari- nha	38
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
A. Características da matéria prima	41
1. Características físicas	41
a. Classificação granulométrica	41
b. Viscosidade	44
c. Índice de solubilidade e absorção de água	44
2. Composição química	44
B. Fatores que afetam o processo de gelatiniza- ção do "grits" de milho	47

1. Efeito do tamanho do "grits" e temperatura de maceração na velocidade de absorção de água	47
a. Temperatura ambiente (28-30°C) de maceração	49
b. Temperatura de maceração de 50 e 70°C .	50
i. Temperatura de maceração de 50°C ...	50
ii. Temperatura de maceração de 70°C ..	50
2. Efeito do tempo de tratamento térmico e temperatura de maceração nas características de gelatinização	53
C. Características químicas e tecnológicas da farinha pré-gelatinizada de milho	56
1. Características químicas	56
a. Composição química	57
b. Conteúdo de aminoácidos	57
c. Conteúdo de lisina disponível	62
d. Conteúdo de vitaminas e pigmentos totais	62
2. Características tecnológicas	62
a. Características de viscosidade	64
b. Características de mistura	70
c. Características de extensão	78
d. Características da cor	86
e. Estabilidade durante o armazenamento ..	86
i. Atividade enzimática da peroxidase	90
ii. Desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL)	90
iii. Desenvolvimento de peróxidos	95
3. Aplicações tecnológicas	97
a. Produção de "tortillas"	97

	Página
b. Produção de polenta instantânea	100
V. CONCLUSÕES	105
VI. BIBLIOGRAFIA	108
VII. APÊNDICE	119

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
I - Rendimento do "grits" de milho obtido na classificadora por gravidade	42
II - Classificação granulométrica do "grits" de milho	43
III - Características de viscosidade do "grits" de milho	45
IV - Composição química do "grits" de milho	46
V - Efeito do tempo de tratamento térmico com vapor à 118°C, e temperatura de maceração nas características de viscosidade, índice de absorção e índice de solubilidade em água das farinhas pré-gelatinizadas	54
VI - Composição química da farinha de milho e farinha pré-gelatinizada	58
VII - Conteúdo de aminoácidos em farinha de milho e farinha pré-gelatinizada	59
VIII - Conteúdo de vitaminas e pigmentos totais em farinha de milho e farinha pré-gelatinizada	63

Página

IX	- Efeito da adição de farinha de milho nas características dos amilogramas da farinha de trigo	65
X	- Efeito da adição de farinha de milho pré-gelatinizada nas características dos amilogramas da farinha de trigo	66
XI	- Efeito da adição de farinha de milho nas características dos farinogramas da farinha de trigo	73
XII	- Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada nas características dos farinogramas da farinha de trigo	76
XIII	- Efeito da adição de farinha de milho nas características do extensigrama da farinha de trigo	82
XIV	- Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada nas características do extensigrama da farinha de trigo	83
XV	- Características da cor do "grits" e das farinhas	87

XVI	- Diferença total na cor do "grits" e das farinhas	89
XVII	- Desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) durante armazenamento de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada	92
XVIII	- Desenvolvimento de peróxidos durante armazenamento de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada	96
XIX	- Média obtida na avaliação sensorial das "tortillas"	99
XX	- Média obtida na avaliação sensorial das polentas elaboradas com farinha pré-gelatinizada	102
XXI	- Média obtida na avaliação sensorial das polentas comerciais, comparadas com a elaborada a partir de farinha pré-gelatinizada ...	103

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 - Diagrama de cromaticidade da Comissão Internacional de Iluminação (C.I.E.)	40
2 - Relação entre o tempo de maceração e umidade no "grits" de milho a temperatura ambiente (28-30 °C)	49
3 - Relação entre o tempo de maceração e umidade no "grits" de milho a temperatura de 50°C	51
4 - Relação entre o tempo de maceração e umidade no "grits" de milho a temperatura de 70°C	52
5 - Conteúdo de aminoácidos indispensáveis da farinha pré-gelatinizada comparada com farinha de milho	60
6 - Conteúdo de aminoácidos dispensáveis da farinha pré-gelatinizada comparada com farinha de milho	61
7 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na viscosidade máxima da farinha de trigo	68

8 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada à farinha de milho na viscosidade mínima à temperatura constante de 95 ^o C da farinha de trigo .	69
9 - Efeito da adição de farinha de milho nas características dos farinogramas da farinha de trigo	72
10 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada - nas características dos farinogramas da farinha de trigo	75
11 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na absorção de água da farinha de trigo	77
12 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho no tempo de desenvolvimento - da massa da farinha de trigo	79
13 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na estabilidade da farinha de trigo	80
14 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na extensibilidade da massa .	85

15 - Localização das amostras no diagrama de cromatidade	88
16 - Desenvolvimento de ácidos graxos livres na farinha pré-gelatinizada e farinha de milho	93
17 - Velocidade de desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) durante o armazenamento de farinha de milho	95
18 - Desenvolvimento de peróxidos durante armazenamento de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada	98
19 - Comparação entre processos, convencional e desenvolvido, para a elaboração de "tortillas" ..	101

Com carinho e eterna gratidão

a meus pais e irmãos

AGRADECIMENTOS

- CONACYT - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México
- Dr. André Tosello
- Dr. Fumio Yokoya
- Dr. Emílio Contreras Guzmán
- Dr. César F. Ciacco
- Dra. Maria Amélia Chaib Moraes
- Yolanda Monterrosas
- Ana Lourdes Neves Gândara
- Renato Cruz
- Denis Cantú e esposa
- Marlene Oliveira Pires
- José Pedro Toledo Leite

O autor deseja manifestar sua pessoal gratidão ao Dr. Ahmed A. El-Dash, sua amizade, capacidade e entusiasmo foram sempre um grande incentivo à execução deste trabalho.

O autor agradece aos colegas Nelson de Oliveira, Yoon Kil Chang, Marilena Jucá e Jane Rizzo Palermo, assim como também a todos que, direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A importação de trigo para satisfazer a uma demanda sempre crescente, tem criado pesados ônus para a economia nacional e seu programa de desenvolvimento. Melhorando-se as qualidades tecnológicas de farinhas de produtos regionais, haveria um incentivo para o seu consumo humano e daí se reduziria a dependência do trigo importado.

O presente trabalho é parte de um programa de pesquisa objetivando o desenvolvimento de um processo hidrotérmico - simplificado para a produção de farinha pré-gelatinizada. Os objetivos da presente investigação foram estudar o efeito do processo nos nutrientes da farinha de milho pré-gelatinizada e investigar suas características tecnológicas. O tamanho do "grits" de milho e a temperatura de maceração mostraram ter influência no tempo de maceração requerido para um tratamento de gelatinização adequado. Quanto menor o tamanho do "grits" e maior a temperatura, menor foi o tempo de maceração. Os "grits" foram macerados por cinco horas à temperatura ambiente e então tratados com vapor a 118°C por 1 min. Os "grits" tratados foram secos e moídos. Os nutrientes da farinha produzida foram ligeiramente influenciados por este tratamento, com pequenas perdas no teor de aminoácidos, vitaminas e pigmentos. As características da cor foram melhoradas pelo tratamento hidrotérmico, tornando-se mais amarelas,

e a farinha pré-gelatinizada foi mais estável durante o armazenamento que a farinha sem tratamento. A adição de farinha de milho pré-gelatinizada à farinha de trigo em níveis crescentes até 25% reduziu a viscosidade no ciclo de aquecimento do viscoamilógrafo e aumentou durante o ciclo de resfriamento. A absorção de água e o tempo de mistura requerido para desenvolver a rede de gluten foram aumentados com o aumento da porcentagem de farinha de milho pré-gelatinizada assim como também foi aumentada a estabilidade. A extensibilidade e área total diminuíram com o aumento da porcentagem da farinha pré-gelatinizada, enquanto a resistência e número proporcional aumentaram. As "tortillas" instantâneas preparadas com farinha pré-gelatinizada apresentaram características organolépticas semelhantes às aquelas preparadas convencionalmente, enquanto as "polentas" instantâneas foram julgadas superiores.

SUMMARY

The importation of wheat to satisfy an ever-increasing demand is creating a heavy burden for the national budget and the development program. Improving the technological quality of indigenous flours should provide an incentive for their consumption as human food, however, and this reduce the dependence on imported wheat.

The present study is a part of a research program aimed at the development of a simplified hydrothermic process for the production of pregelatinized flour. The objectives of the present investigation were to study the effect of the process on the nutrients of pregelatinized corn flour and to investigate its technological characteristics.

The particle size of corn grits and the soaking temperature were found to influence the soaking time required for an adequate gelatinization treatment. The smaller the particle size of the grits and the higher the temperature, the shorter was the soaking time. Grits were soaked for 5 hours at room temperature and then treated with steam at 118°C for 1 min. The treated grits were then dried and milled.

The nutrients of the pregelatinized flour produced were influenced slightly by this treatment, showing only small losses in amino acid content, vitamins and pigments. The color characteristics were improved by the hydrothermal treat-

ment, as they became a deeper yellow and the pregelatinized flour was more stable during storage than the parent flour.

The addition of pregelatinized flour to wheat flour in increasing increments up to 25% reduced the maximum viscosity in the viscoamilograph heating cycle while increasing it during the cooling cycle. The water absorption and mixing time required to develop the dough gluten net work increased with increasing percentage of pregelatinized corn flour, while the stability was improved. Dough extensibility and total area decreased with increasing percentages of pregelatinized flour, while resistance to extension and proportional number increased.

The instant "tortillas" prepared from the pregelatinized flour were similar in organoleptic characteristics to those prepared conventionally, while the instant "polentas" were judged to be superior.

I. INTRODUÇÃO

A produção de trigo em vários países da América Latina, não é suficiente para atender ao consumo interno, recorrendo-se deste modo à importação. Isto causa, uma evasão de divisas que pesa no balanço econômico desses países.

Uma das propostas principais para minimizar esses custos de importação é a elaboração de farinhas compostas a base de trigo e outros cereais disponíveis. Entretanto, este recurso não tem atingido os objetivos desejados, devido principalmente a baixa qualidade do trigo produzido, limitando o nível de substituição. Deve-se, portanto, incentivar o consumo humano de outros cereais disponíveis na América Latina, criando uma fonte econômica e valorizando os produtos deles derivados. Este objetivo pode ser atingido através do melhoramento das qualidades tecnológicas destes cereais e desenvolvimento de substitutos do pão e outros alimentos de uso não convencional, obtidos a partir dos mesmos.

O milho é um dos cereais de maior utilidade para o homem, devido a sua marcante versatilidade de usos, de sua ampla adaptação, e de sua grande capacidade de produção. A maioria dos países da América Latina possui condições ecológicas favoráveis que permitem a sua produção em grande escala.

O presente trabalho faz parte de um estudo cujos objetivos visam aumentar o consumo humano de milho na América Latina, melhorando sua qualidade tecnológica mediante a gelatinização, através de um processo hidrotérmico com vapor ao alcance da pequena e média indústria, típicas da América Latina.

Este estudo objetiva determinar o efeito do tamanho do "grits" de milho e temperatura de maceração nos parâmetros do processo hidrotérmico de gelatinização, avaliar o efeito do processamento nas características químicas durante a elaboração de farinha pré-gelatinizada de milho, avaliando sua estabilidade durante o armazenamento. Assim como também o estudo das propriedades tecnológicas dessas farinhas, visando sua aplicação no preparo de alimentos, substituindo os processos convencionais para obtenção de produtos típicos da América Latina.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. PRODUÇÃO E CONSUMO DE MILHO NA AMÉRICA LATINA

O milho (*Zea mays*, Linneus) está classificado como uma planta herbácea monocotiledônea monóica, pertencendo à família das gramíneas (34,46). Considera-se este cereal como originário do hemisfério ocidental, onde constituiu-se num alimento básico das antigas civilizações Maya, Azteca e Inca, que povoaram esta parte do mundo (57).

1. Produção

Segundo os dados estatísticos da FAO (26), em 1976 a produção mundial de milho foi de 334 milhões de toneladas, o equivalente a aproximadamente 23% da produção mundial de cereais. Os Estados Unidos da América é o maior produtor de milho do mundo, com uma produção anual equivalente a 159 milhões de toneladas, correspondente a 47% do total mundial. O Brasil, segundo produtor de milho do mundo, produz 18 milhões de toneladas por ano, encontrando-se o México em terceiro lugar com um equivalente a 9 milhões de toneladas por ano.

2. Consumo

De acordo com os dados proporcionados por Senti e Schaefer (57), na metade da década passada, 67% da produção mun-

dial de milho foi usado na alimentação animal, 29% na alimentação humana e 4% para diversos usos industriais.

O milho constitui-se em um alimento básico para muitos povos, principalmente na América Latina (35), fornecendo aproximadamente 13% do total das proteínas ingeridas pela população latino-americana (67), sendo também uma excelente fonte de calorias (22,36).

América do Norte, representada pelo México, América Central, América do Sul e África, apresentam os maiores índices de consumo de milho "per capita" (9,35). Na América Latina, os principais países consumidores de milho são: México, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicarágua, Colômbia, Venezuela e Bolívia onde o consumo diário varia entre 120 e 350 g por habitante; no Brasil o consumo "per capita" de milho é de 100 g por dia (9).

3. Formas de consumo

Nos países industrializados, o milho para consumo humano é processado pelas indústrias que utilizam equipamentos sofisticados de moagem por via seca e por via úmida (35), enquanto que, em países em desenvolvimento, a matéria prima é transformada por métodos tradicionais e limitados, envolvendo operações de moagem do grão e cozimento (46).

Nos países consumidores de milho da América Latina, o

milho é processado em diferentes formas para seu consumo, sendo a "tortilla" a forma mais importante e comum naqueles países localizados na parte norte; e a "arepa", a mais consumida naqueles do sul (25).

O consumo de milho no Brasil na alimentação humana é ainda pouco significativo. Do total de milho produzido mais de 70% é utilizado na elaboração de rações e como alimento para animais nas próprias fazendas onde é produzido. A forma de consumo no Brasil como alimento humano é diversa, empregando-se o milho verde em estado leitoso para preparo de diversos pratos, tais como: sopas, cremes e purês na forma doce ou salgada. Na culinária de milho seco, a matéria prima empregada é a farinha de milho (fubá integral), fubá feito com o milho descascado e degerminado. Com este produto fazem-se alguns pratos: angû, cuscus e polenta (46).

De acordo com os dados proporcionados pela FAO (25) e o Ministério do Interior do Brasil (46), as formas mais comuns de consumo de milho na América Latina são na forma de "tortilla", "arepa" e polenta.

a. "Tortilla"

O milho foi bem conhecido pelos Mayas e outros habitantes nativos da América Latina, formando parte de sua religião e cultura. Estes povos preparavam diversos tipos de alimentos à base de milho, principalmente aquele conhecido como

"tortilla", tema de muitas investigações (9).

Atualmente, a importância das "tortillas" no México é evidenciada pela média anual de consumo "per capita" que é de 120 kg (20). No México e na América Central o processo conhecido por "nixtamalización" para elaboração de "tortillas", emprega uma parte de grãos de milho e duas partes de uma solução alcalina (Ca(OH)_2) no cozimento do grão, a 94°C por 50 minutos, a seguir esta mistura é deixada em repouso por 14 horas e decantada. Este resíduo obtido por decantação, denominado "nixtamal", é lavado com água por 2 ou 3 vezes, moído e a massa obtida é utilizada para elaboração de diversos pratos (11). Entre os produtos obtidos por este processo, destaca-se a "tortilla", que é consumida por todas as classes sociais, substituindo o pão, "snacks" e evitando o uso de utensílios de cozinha, representando assim, um componente básico da dieta da população de baixa renda (51). A "tortilla" serve de base na elaboração de muitos pratos como "tostadas", "tacos", "enchiladas" e outros que aparecem em todas as refeições. Estes mesmos produtos são também muito apreciados nos Estados Unidos da América (35).

As transformações químicas do milho, ao ser transformado em "tortilla", pelo processo alcalino de cozimento, têm sido estudadas por diversos autores. Tapia et al (10), reportaram que a qualidade da proteína de "tortillas" foi inferior àquela de milho. Outros pesquisadores (11), concluíram

que durante a preparação de "tortillas" o valor biológico das proteínas de milho foi reduzido, além de uma considerável perda em triptofano, histidina, treonina e arginina.

Cravioto et al (10), reportaram pequenas perdas em tiamina, niacina, riboflavina e 40% no conteúdo de carotenos. Entretanto, o conteúdo de fósforo e ferro aumentou 15 e 37%, respectivamente. O tratamento com álcali (Ca(OH)_2), provocou um aumento considerável no conteúdo de cálcio, que aumentou 20 vezes. Esta característica faz com que a "tortilla" represente uma fonte nutricional de cálcio para a população consumidora deste produto.

b. "Arepa"

A palavra "arepa" procede de "erepa" que no idioma caribe representava o nome genérico do milho (12).

A "arepa" é o típico pão Venezuelano, sua aceitabilidade é generalizada em todas as classes sociais, tanto no âmbito urbano como rural (12). Na Colômbia, aproximadamente uma terça parte da dieta diária de milho é na forma de "arepa" (49). Este produto é elaborado com farinha de milho degerminado, amassada com água e sal, em forma arredondada, e cozida sobre chapa ou ao forno (12,15).

Bressani (9), estabelece duas diferenças básicas no processo de elaboração de "tortillas" e "arepas", conside -

rando que na elaboração de "tortillas" é usado o milho integral e cozido em solução alcalina, no entanto o milho usado para "arepas" usa o endosperma do grão cozido em um meio aquoso sem cal.

Jaffé (10), descreveu o método para fazer "arepas" na Venezuela, mostrando grandes perdas de gordura, tiamina, riboflavina e niacina, sendo um produto nutricionalmente inferior a "tortilla" preparada no México e América Central.

c. Polenta

Produto amplamente difundido e consumido em diversos países, tais como: África do Sul, África Oriental, Sul da Europa e Brasil, existindo diferenças no preparo e denominação deste alimento (14).

O método para preparar polenta consiste de uma diluição da farinha de milho em água corretamente salgada, misturando a pasta sempre ao fogo direto durante 25 a 30 minutos para obter uma pasta pronta para o consumo (14).

De acordo com Cinquetti (14), o consumo de farinha de milho para polenta, foi reduzido sensivelmente devido aos fatores tempo e trabalho físico necessários para o preparo. Segundo o autor, a utilização de farinha pré-gelatinizada de milho, que permite a preparação de uma boa e

rápida polenta, evitará que este prato tenda a desaparecer, talvez mesmo aumentando sua utilização.

B. MOAGEM DE MILHO

O milho é moído a seco por 2 sistemas gerais: por degerminação e sem degerminação. O processo de degerminação liberta o grão de milho da casca e do germe que são recuperados, bem como uma fração do endosperma, ou em várias frações; diferindo no tamanho das partículas e no conteúdo de gordura (8).

1. Estrutura e composição do milho

Wolf et al (65) e Earle et al (22), realizaram estudos detalhados para determinar as proporções e composição média das partes componentes do grão de milho, concluindo que este é composto de três partes principais: pericarpo, germe e endosperma. O pericarpo compreende o conjunto de camadas exteriores que rodeiam o grão e representa 5 a 6% do peso total. O germe, que representa 10 a 14% do peso do grão, devido ao seu conteúdo em óleo, proteína e sais minerais tem alto valor nutritivo. A maior e mais importante fração é o endosperma que representa 82% do total, sendo constituído principalmente por amido (86%), proteína e açúcares. Além destes componentes, existe uma pequena porção do grão (0,8%), as glumelas, que ligam o grão ao sabugo.

2. Processo de obtenção de "grits" de milho

A industrialização de milho seco é conduzida por duas vias bastante distintas: a produção de amido por via úmida e a produção de "grits" por via seca (8).

A maior parte das indústrias de milho no Brasil são do tipo de moagem a seco. Alimentos de milho da moagem dos grãos a seco, contribuem com o seu próprio e distinto aroma, não igualado por qualquer outro cereal. A moagem a seco produz endosperma de milho em vários graus de granulação destinadas a vários produtos (46).

Padrões federais de identidade definem "grits" de milho como o produto preparado pela moagem, peneiramento e limpeza do milho branco (ou amarelo) depois de remover a casca e o germe (46).

Basicamente o sistema para produção de "grits", combina os tratamentos físico e mecânico, para separar e recuperar vários componentes do grão de milho. Os objetivos do sistema são: remover essencialmente todo germe e casca, e deixar o endosperma com um baixo teor de gordura e fibra. Recuperar a máxima quantidade de endosperma e uma grande porcentagem do germe como partículas grandes e limpas. O produto final retém o máximo das qualidades físicas dos componentes do grão, dependendo a quantidade de "grits", da proporção do endosperma córneo no grão (8).

De acordo com Brekke (8), as etapas básicas do sistema para produção de "grits" são: armazenamento, limpeza e degerminação. Após a separação do germe e da casca, liberados do endosperma no degerminador são obtidos, por meio de peneiras, aspiradores e separadores gravimétricos, três produtos que diferem entre si pelo tamanho de partícula. Estes produtos com tamanho de partícula entre 2000-5520 μ são empregados na indústria de cerveja, produção de "breakfast cereal" e "corn flakes".

Por outro lado, para se obter "grits" finos ($< 1410 \mu$) e farinha de milho (150-550 μ), pelo sistema de processamento por via seca do milho, é preciso submeter os "grits" grossos obtidos após a degerminação, a posteriores etapas de moagem, classificação e purificação dos produtos, que implicam o uso de um sistema complexo de moagem (8).

C. ELABORAÇÃO DE FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE MILHO

O "grits", usado para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas de milho, é composto basicamente pelo endosperma, do qual o amido é o constituinte predominante (5,52). Quando uma farinha ou "grits" são suficientemente aquecidos, por qualquer meio, com um adequado nível de umidade, os grânulos de amido presentes irão gelatinizar. Este é o princípio básico da elaboração de farinha pré-gelatinizada (52).

1. Fenômenos de gelatinização e retrogradação

O amido em estado nativo é insolúvel em água fria e resistente ao ataque de enzimas amilolíticas (39). Os grânulos de amido possuem uma limitada capacidade para absorver água fria e entumescer reversivelmente (41).

Smith (60), define a gelatinização como uma quebra completa dos grânulos de amido por umidade, calor, pressão e quebra mecânica.

Trabalhos experimentais (13,55) têm mostrado que o grânulo de amido, submetido a ação de umidade e calor, em estado de vapor, que pode ser aplicado sob condições atmosféricas ou sob pressão, mudará profundamente suas propriedades, tornando-o solúvel e assimilável.

Quando uma suspensão de amido é submetida a ação de calor ou de reagentes químicos apropriados, ocorre um enfraquecimento da rede micelar dentro do grânulo e posterior quebra das ligações de hidrogênio, que mantêm a sua estrutura. Isto permite uma hidratação e entumescimento irreversível do grânulo, com subsequente aumento de viscosidade e mudanças significativas nas propriedades da pasta. Este fenômeno é denominado gelatinização (17, 41, 56, 59).

Leach (41), estudou o comportamento do amido durante a gelatinização e estabeleceu que, os amidos de cereais co-

muns exibem dois estágios de entumescimento e padrões de solubilidade, refletindo a presença de dois níveis de forças internas correspondentes as áreas de alto grau de associação e as áreas amorfas do grânulo.

A gelatinização do amido não é um processo instantâneo, nem todos os grânulos em uma amostra de amido gelatinizam-se a uma mesma temperatura, mas sim em um intervalo de 8 a 10^oC (41,63). Diversos estudos (4,6,27,43) têm sido realizados para determinar as variações durante a gelatinização do amido, concentração da suspensão, pH do meio e presença de compostos tais como lipídeos, proteínas, açúcares, ácidos e sais.

Durante a gelatinização simultaneamente com o entumescimento do grânulo de amido, ocorre uma solubilização de uma porção dos componentes moleculares do grão. Assim sendo, uma suspensão de amido a alta temperatura pode ser considerada como uma mistura de grânulos entumescidos e fragmentos dispersos de grânulos agrupados com as moléculas de amido. Estes elementos apresentam tendência a se associarem ou retrogradar quando a pasta é resfriada, formando um gel rígido de viscosidade elevada. O aumento em viscosidade durante o resfriamento, reflete a tendência do amido a retrogradar (41).

Leach (41), considera três fatores importantes que influenciam na retrogradação: concentração da amilose, comprimento das moléculas de amilose e o estado de dispersão das

cadeias lineares.

A retrogradação é considerada basicamente uma cristalização (16). Ocorre principalmente pelo agrupamento das partes lineares das moléculas de amido através da forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre grupos hidroxilas em moléculas adjacentes de amido (56), o que ocasiona a formação de géis ou precipitados insolúveis (56).

As mudanças que ocorrem durante a retrogradação, são de considerável importância nos usos industriais de amido. Uma primeira indicação de retrogradação é o aumento na resistência do amido a hidrólise por enzimas amilolíticas, um progressivo aumento na firmeza do gel, uma diminuição na transmissão de luz das soluções e perda da habilidade para formação de complexos azuis com iodo (16).

2. Processos industriais de elaboração de farinhas pré-gelatinizadas

Roberts (52), cita três métodos principais para a produção de farinha pré-gelatinizada em escala industrial: pré-gelatinização por extrusão, pré-gelatinização com secadores de rolos ("drum dryer") e pré-gelatinização com cilindros aquecidos.

a. Gelatinização por extrusão

É um processo no qual o material é forçado a fluir

através de uma matriz, sob condições de mistura, aquecimento e cisalhamento (54). O princípio básico do processo é converter o material sólido em um fluído, pela aplicação de trabalho mecânico e forçá-lo através de uma matriz para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas. As três funções principais deste sistema são: gelatinizar, estruturar e dar forma aos alimentos (31).

Basicamente um extrusor é constituído de: condicionador, alimentador, misturador, parafuso sem fim e tem como parte final uma matriz (54).

Os parâmetros mais importantes que afetam as características de um produto pré-gelatinizado por extrusão são: a umidade do material, a temperatura no cilindro de extrusão, desenho do parafuso sem fim e camisa do extrusor, o grau de compressão, o tempo de residência e o tamanho das partículas (2,3,18,19,45).

b. Gelatinização em secadores de rolos ("drum dryer")

Uma suspensão aquosa de farinha (30-40% sólidos) é gelatinizada e secada pela passagem através de dois cilindros de aço em rotação e aquecidos a vapor (52). Este processo está baseado no aproveitamento de calor transferido da superfície de cilindros ao material previamente umedecido, que vai ser gelatinizado (28).

As grandes quantidades de água que devem ser evaporadas por unidade de tempo (28), fazem que o processo seja relativamente custoso, embora os produtos mostrem alta capacidade de absorção de água e solubilidade (52).

c. Gelatinização em cilindros aquecidos

Neste processo a matéria prima ("grits" ou farinha) é previamente macerada para elevar o seu teor de umidade até 20-30% mediante a adição de água ou tratamento com vapor, e passado através de dois cilindros em rotação a alta temperatura. É um processo similar ao sistema de gelatinização em secadores de rolos, no entanto, obtem-se um menor grau de gelatinização devido ao baixo nível de umidade usado (3,52).

Anderson et al (3) reportaram que o grau de gelatinização dos materiais é afetado pelo conteúdo de umidade da matéria prima, o tamanho da partícula, a temperatura, a pressão nos cilindros e o tempo de contato.

3. Processos industriais de elaboração de farinha pré-gelatinizada de milho para a preparação de "tortilla", - "arepa" e polenta

a. "Tortilla"

O México é atualmente o principal país produtor da farinha de milho "nixtamalizada" para a preparação de "tortillas". Isto pode-se considerar normal, dada a importância

da "tortilla" na dieta da população daquele país. Não obstante a magnitude da indústria de farinha de milho no México, a incorporação deste produto na dieta popular, é ainda muito pequena (5% do total de milho consumido é na forma de farinha nixtamalizada) (21).

O processo empregado no México, para a elaboração de farinha de milho "nixtamalizada" inclui basicamente oito etapas: recepção, limpeza, armazenamento, preparação do "nixtamal" mediante o cozimento controlado do milho em solução alcalina, moagem, secagem, peneiragem (as partículas grossas são novamente moídas), e embalagem do produto final (22).

Molina et al (47), desenvolveram um processo para a elaboração de farinha parcialmente pré-gelatinizada de milho para preparação de "tortillas", usando um duplo secador de rolos com uma pressão interna de 1,0 a 1,8 kg/cm², uma temperatura de 93 a 104°C e uma velocidade de 2, 3 ou 4 rpm, empregando álcali no tratamento em uma concentração de 0,3%, produzindo uma farinha com características físico-químicas e organolépticas, similares a aquelas obtidas pelo processo convencional.

b. "Arepa"

Atualmente tem-se desenvolvido, na Venezuela, o uso de farinha parcialmente pré-gelatinizada de milho na elaboração de "arepa", como consequência da facilidade na sua

preparação. O processo empregado consiste basicamente em: limpeza, degerminação e separação do endosperma que a seguir é pré-gelatinizado, por injeção de vapor, para obter as condições de umidade e grau de gelatinização necessários. Posteriormente, o endosperma é passado através de rolos pré-aquecidos a uma certa temperatura e convertido em flocos, enviado a um secador e finalmente a um moinho (53).

c. Polenta

Na Venezuela, Angola e Colômbia, está se obtendo grande sucesso com o uso de farinha parcialmente pré-gelatinizada de milho para elaboração de polenta (14).

O processo empregado para obtenção desta farinha, é um sistema contínuo. O equipamento consta de uma coluna que mede de 4 a 5 m de altura, constituída de uma camisa de aço inoxidável, que mantém a temperatura desejada. A injeção de vapor é feita diretamente no produto (5 a 7 atmosferas), durante 30-40 min no início do processo para aumentar a umidade do produto até o nível desejado. O material desce lentamente através da coluna até um laminador de flocos e depois passa a um secador. A farinha parcialmente pré-gelatinizada, elaborada por este processo, serve para preparo de polenta e produtos similares instantâneos (14).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. MATERIAIS

1. Matéria prima

Milho amarelo em grão comercial usado na preparação de "tortillas"; Polentina Quaker e fubá comerciais recomendados para a elaboração de polenta; "grits" de milho denominado comercialmente quirera 01, obtido da firma Minasa S/A., Campinas, SP, empregado na elaboração de farinha; farinha de trigo comercial, obtida do Moinho Anhanguera, Campinas, SP, usada na mistura com farinha de milho.

2. Reagentes

A pureza dos reagentes usados para as análises químicas nesse estudo está de acordo com as especificações exigidas pelos métodos de análises.

3. Aparelhos e equipamentos

Além dos aparelhos e equipamentos comuns de laboratório foram também usados:

- a. Classificadora de grãos por tamanho, marca Blasi.
- b. Autoclave Dixie Canner Equipment Co., modelo RD-TI-3, provida de sistema de mando digital SET Programmer Taylor Instruments Co.
- c. Moinho de martelos de rotação livre. Tipo CV-2.

- d. Moinho Quadromatic Senior Brabender.
- e. Moinho doméstico de parafuso sem fim, marca Corona.
Produzido por Landers Mora & Cia. Ltda.
- f. Vibrador para peneiragem marca Produtest.
- g. Analisador de aminoácidos Beckman, modelo 120 C.
- h. Espectrofotômetro PMQ II - Carl Zeiss.
- i. Espectrofotômetro Filterfarbmessgerät RFC-3. Computer HP 2100 A. Hewlett Packard com disco 7900 A e lâmpada de xenon XBO 250 w.
- j. Fotofluorômetro eletrônico Coleman Instruments Co.
- k. Farinógrafo Brabender.
- l. Amilógrafo Brabender.
- m. Extensígrafo Brabender.
- n. Semi-automatic Moisture Tester Brabender.

B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

1. Classificação do "grits"

Cem quilos de "grits" foram colocados na classificadora de grãos por gravidade, com a finalidade de classificar o "grits" em diferentes grupos, de tamanhos mais homogêneos.

2. Granulometria

Para a determinação do tamanho das partículas dos grupos obtidos na classificadora de grãos por gravidade, usou-se um conjunto de peneiras de laboratório Granutest e o vi-

brador para peneiragem Produtest. Foi usada uma amostra de 100 g em cada caso e um tempo de agitação de 10 minutos, na intensidade máxima de vibração do aparelho.

Foi calculado o diâmetro médio de cada grupo usando-se a seguinte expressão (33):

$$D.M. = 104,14 (2)^{f_m}$$

onde, D.M. - representa o diâmetro médio em microns;

f_m - representa o módulo de finura que depende da distribuição de tamanho do material analisado - (33).

3. Processo de gelatinização de "grits" de milho por tratamento com vapor

Para a elaboração de farinha de milho pré-gelatinizada por tratamento com vapor, foi usado o "grits" como matéria prima, obedecendo ao seguinte esquema

a. Maceração do "grits"

O "grits" de milho foi macerado em água com a finalidade de modificar o seu teor de umidade.

i. Maceração à temperatura ambiente

Quatro quilos de "grits" foram colocados num recipiente plástico de 10 l, onde adicionou-se 4 l de água à temperatura ambiente, que oscilou entre 28 e 30°C. O material foi deixado em maceração, sem agitação e sem trocar de água, du-

rante o tempo determinado para cada experimento.

ii. Maceração a temperaturas superiores à ambiente

Quatro quilos de material foram colocados num recipiente de alumínio, adicionando-se a seguir 4 l de água previamente aquecida à temperatura determinada para cada experimento (50 ou 70°C). O recipiente foi depois mantido num banho à temperatura regulada por termostato para manter o material à temperatura desejada, durante o tempo requerido para cada caso. Para evitar aquecimento excessivo do material depositado no fundo do recipiente, foi necessário fazer uma agitação intermitente durante o tempo de maceração.

b. Tratamento térmico

O "grits" macerado, depois do escoamento da água, foi colocado em peneiras (40 x 25 cm), em camadas de aproximadamente 3 cm de espessura e levada à autoclave Dixie Canner.

A operação na autoclave foi programada para cada caso no sistema digital de mando. Inicialmente efetuou-se o aquecimento da autoclave desde a temperatura ambiente até a temperatura de operação num tempo de 3 minutos. Uma vez estabilizadas as condições, foi efetuado o tratamento térmico propriamente dito, com vapor sob pressão a 118°C em tempos variáveis de 1, 5 e 15 minutos. Finalmente foi realizada a descarga de vapor com a liberação da pressão na autoclave, num tempo de 1 minuto. Logo após esta operação, o material foi -

descarregado e esfriado rapidamente por circulação de ar, aproximadamente 1 minuto, para facilitar seu posterior manuseio e evitar aglomeração das partículas.

c. Secagem

O "grits" pré-gelatinizado foi espalhado nas peneiras, formando camadas de aproximadamente 1 cm de espessura e levado à estufa de laboratório, regulada termostaticamente, onde foi submetido à desidratação com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 40-50°C, e o tempo de secagem nestas condições oscilou entre 15 e 18 horas.

d. Moagem

A moagem do "grits" de milho foi feita em duas etapas. Uma moagem primária foi efetuada em moinho de martelos, usando uma peneira de abertura de 1,5 mm e 3 passagens sucessivas do material através do moinho.

Para a moagem final, foi usada a seção de quebra do moinho de cilindros Brabender Quadromatic Senior, obtendo uma farinha com tamanho menor de 300 μ . Nesta seção o material sofre 3 quebras sucessivas ao passar por um conjunto de 4 cilindros corrugados, dispostos em pares. O número de corrugações por centímetro dos cilindros do moinho são de 7, 9, 10 e 12, respectivamente.

4. Preparação de "tortillas"

O processo de preparação de "tortillas" foi feito de acordo ao método descrito por Bressani et al (11). Um quilo de milho em grão foi colocado num recipiente de alumínio de 5 l, adicionando-se logo após 2 l de uma solução a 0,5% de hidróxido de cálcio, a suspensão obtida foi aquecida a 94°C durante 50 minutos e deixada em repouso durante 14 horas. O sobrenadante foi desprezado e o milho cozido foi lavado - três vezes com 2 l de água. Posteriormente foi passado três vezes pelo moinho doméstico de parafuso sem fim. O material assim obtido foi manualmente amassado até formar uma pasta possível de ser cortada. Porções de aproximadamente 50 g foram amassadas e modeladas manualmente em forma de disco de aproximadamente 12 cm de diâmetro por 1 mm de espessura e cozidas numa chapa de ferro de 15 cm de diâmetro por 1 cm de espessura, à temperatura de 180°C, virando-a ocasionalmente até atingir o cozimento total em aproximadamente 5 minutos. Estas amostras foram designadas como T₁.

Para a preparação de "tortillas" usando como matéria prima a farinha pré-gelatinizada de milho, foram preparadas duas amostras da seguinte maneira: misturou-se 300 g de farinha pré-gelatinizada com 735 ml de uma solução fervente de hidróxido de cálcio, usando-se concentrações de 0,15 e 0,30%, respectivamente, baseados no peso da farinha para as amostras designadas como T₂ e T₃. Foi formada uma pasta se-

melhante ao processo anterior, seguindo-se as mesmas etapas já descritas, e finalmente cozidas durante aproximadamente 2 minutos.

5. Preparação de polenta

Farinha pré-gelatinizada de milho foi usada no preparo de polenta, sendo usadas também duas amostras comerciais; Polentina Quaker e fubã, recomendadas pelos produtores para a mesma finalidade e usadas para comparar com aquelas polentas preparadas a partir de farinha pré-gelatinizada de milho.

A preparação de polenta a partir de fubã, foi feita de acordo com a seguinte metodologia: 500 ml de água e 3,5 g de cloreto de sódio foram colocados num recipiente de alumínio de 14 cm de diâmetro por 16 cm de altura. A suspensão foi deixada ferver e colocados 100 g de fubã misturando constantemente durante 30 minutos de acordo ao método descrito por Cinquetti (14). A amostra foi retirada do recipiente e colocada num molde de alumínio de 14,5 cm de diâmetro por 6,0 cm de altura, sendo designada como P_f .

Polentina Quaker foi também usada na preparação de polenta seguindo a mesma metodologia anterior, utilizando-se 5 min de tempo de mistura, de acordo às especificações dadas pelo fabricante. Esta amostra foi denominada como P_Q .

Três amostras de polenta foram elaboradas usando farinha pré-gelatinizada de milho de acordo ao método já descri-

to, usando tempos variáveis de mistura (30 segundos, 2 e 4 minutos), amostras designadas como P_1 , P_2 e P_3 .

Finalmente foi feita uma modificação no método, colocando a água, cloreto de sódio e farinha pré-gelatinizada no recipiente nas quantidades já mencionadas, a suspensão foi misturada e deixada ferver, retirada e colocada no molde, sendo designada esta amostra de polenta como P_4 .

6. Avaliação sensorial das "tortillas" e das polentas

As amostras de "tortillas" e polenta preparadas de acordo com a metodologia já descrita, foram submetidas a avaliação sensorial de cor, odor, sabor e textura no Laboratório de Análise Sensorial da Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, conduzida por uma equipe de 8 provadores previamente treinados. Sendo que no caso da avaliação sensorial das "tortillas" 4 deles eram provenientes de regiões consumidoras deste produto e os restantes originários de zonas onde se desconhece esta forma de consumo de milho. Os testes de odor, sabor e textura foram realizados em cabines individuais sob luz vermelha para minimizar possíveis diferenças de cor, e a análise de cor, efetuou-se a luz natural.

Na preparação das amostras para apresentação aos provadores foram usadas duas amostras por dia de cada tratamento, tanto de "tortillas" como de polentas. As "tortillas" foram cortadas em 4 partes, e as amostras de polenta foram retira-

das 4 porções das partes centrais. Estas amostras representativas foram colocadas em pratos pretos devidamente codificados para a avaliação sensorial, obedecendo a um delineamento estatístico de blocos ao acaso com 2 repetições, a escala usada foi a não estruturada de 9 pontos, de acordo com o questionário apresentado no apêndice A.

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Determinação das propriedades reológicas da massa

a. Preparação de misturas de farinha de trigo com farinha de milho

Para estudar o efeito da adição separada da farinha de milho e farinha pré-gelatinizada à farinha de trigo, nas características dos viscoamilogramas, farinogramas e extensigramas, foram preparadas misturas usando-se concentrações variáveis de 5, 10, 15, 20 e 25% de farinha de milho ou farinha pré-gelatinizada.

Em todos os casos, os viscoamilogramas, farinogramas e extensigramas foram obtidos, seguindo a metodologia descrita a seguir:

b. Determinação da viscosidade das farinhas

A determinação da viscosidade foi feita com o uso do viscoamilógrafo Brabender. A amostra (tamanho de partícula -

menor que 300 μ) foi pesada num erlenmeyer na quantidade de terminada para cada experimento, sendo que, para as farinhas de milho (pré-gelatinizadas ou sem gelatinização) usou-se uma concentração de 56,26 g, e para misturas de farinha de trigo e farinha de milho (pré-gelatinizada ou sem gelatinização) uma concentração de 67,50 g (14% de umidade) em 450 ml de água destilada. A temperatura inicial de 25°C foi aumentada de 1,5°C por minuto até a máxima de 95°C permanecendo constante nessa temperatura por 20 minutos. A seguir foi ligado o ciclo de resfriamento, com diminuição de temperatura de 1,5°C por minuto, até a temperatura final de 50°C. As medidas utilizadas para interpretar o amilograma (gráfico da viscosidade em Unidades Amilográficas U.A. x tempo em minutos (min)) foram:

- i. Viscosidade inicial: é o valor da viscosidade da suspensão em U.A. no início do ciclo de aquecimento a 25°C.
- ii. Temperatura inicial da pasta: é a temperatura em °C calculada com base no tempo de funcionamento do amilógrafo (1,5°C/min) correspondente ao ponto onde inicia o aumento da viscosidade durante o ciclo de aquecimento.
- iii. Temperatura de viscosidade máxima: corresponde à temperatura na qual a suspensão atinge valor de viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimen-

to.

- iv. Faixa de gelatinização: é a temperatura em $^{\circ}\text{C}$, correspondente à diferença entre a temperatura de viscosidade máxima e a temperatura inicial de gelatinização.
- v. Viscosidade máxima: é o valor da viscosidade máxima da curva em U.A. durante o ciclo de aquecimento.
- vi. Viscosidade a 95°C : corresponde ao valor de viscosidade em U.A. quando a suspensão chega a 95°C no ciclo de aquecimento.
- vii. Viscosidade mínima a temperatura constante (95°): é o valor mínimo que alcança a viscosidade da pasta em U.A., durante o ciclo de temperatura constante a 95°C .
- viii. Viscosidade final a 50°C : corresponde ao valor de viscosidade em U.A., à temperatura de 50°C - no ciclo de resfriamento.

c. Determinação das propriedades de mistura da massa

A determinação das propriedades de mistura foi realizada com o farinógrafo de acordo com o método nº 54-21 da AACC (1), usando 50 g de farinha na base de 14% de umidade.

As características do farinograma analisadas foram

(58):

- i. Absorção de água: é definida como a quantidade de água necessária para centralizar a curva do farinograma na linha das 500 Unidades Farinográficas (U.F.) para uma massa, farinha-água.
- ii. Tempo de chegada: é o tempo em minutos, no mais próximo meio minuto, para que o topo da curva alcance a linha das 500 U.F. após o misturador ligado e a água introduzida.
- iii. Tempo de desenvolvimento da massa: é o tempo em minutos, no mais próximo meio minuto, do início da adição de água até o desenvolvimento da consistência máxima da massa, mobilidade mínima, imediatamente antes da primeira indicação de enfraquecimento.
- iv. Estabilidade: é definida como a diferença em tempo, no mais próximo meio minuto, entre o ponto onde o topo da curva em primeiro interceptar a linha das 500 U.F., e o ponto onde o topo da curva deixa a linha das 500 U.F.
- v. Tempo de saída: este é o ponto no mais próximo meio minuto da primeira adição de água até o topo da curva deixar a linha das 500 U.F. É a soma do tempo de chegada e da estabilidade.

- vi. Índice de tolerância: este valor é a diferença em U.F. do topo da curva no pico até o topo da curva medido 5 minutos após o pico ser alcançado.
- vii. Leitura do valorímetro: é um escore de qualidade empírico, obtido com um dispositivo especial que acompanha o farinógrafo Brabender.

d. Determinação das propriedades de extensão da massa

A determinação das propriedades de extensão foi realizada com o extensígrafo, de acordo com o método nº 54-10 da AACC (1). As características usadas para interpretar o extensigrama foram:

- i. Extensibilidade (E): é o comprimento do extensigrama em mm, indicando a extensibilidade da massa.
- ii. Resistência à extensão (R): é medida em termos de unidades extensigráficas (U.E.); cada unidade é igual a 1,6 g e é obtida do ponto mais alto do extensigrama, 50 mm após a curva ter iniciado.
- iii. Resistência máxima (Rm): é a medida em U.E. na altura máxima do extensigrama.
- iv. Número proporcional (D): é a relação entre a resistência, a extensão e a extensibilidade da massa (R/E).

v. Área total ou energia (A): é a área total em cm^2 do extensigrama, medida com planímetro.

2. Índices de absorção e solubilidade em água

Os índices de absorção de água e solubilidade em água das amostras foram determinados empregando-se a metodologia descrita por Anderson et al (3): uma amostra de farinha de 2,5 g (tamanho de partícula menor que 150 μ) é suspensa em 30 ml de água destilada a 30°C, em um tubo de centrífuga de 50 ml previamente pesado. A suspensão é mantida a 30°C por 30 minutos, sendo submetida a agitação intermitente durante este período. Em seguida, a suspensão é centrifugada a 3000 x G por 10 minutos, o sobrenadante é cuidadosamente separado e o peso do resíduo sólido é determinado. O sobrenadante é evaporado em estufa a 105°C até peso constante e pesado.

O índice de absorção de água é expresso como a relação entre o peso de resíduo e o peso seco da amostra, do qual se subtrai o peso do resíduo de evaporação do sobrenadante.

$$\text{IAA} = \frac{\text{peso do resíduo de centrifugação}}{\text{peso seco da amostra} - \text{peso do resíduo de evaporação}}$$

O índice de solubilidade em água é expresso como a relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso seco da amostra.

$$\text{ISA} = \frac{\text{peso do resíduo de evaporação}}{\text{peso seco da amostra}}$$

3. Umidade

Para a determinação de umidade do "grits" usou-se o método nº 44-18 da AACC (1). Para as amostras de farinhas usou-se o Semi-automatic Moisture Tester Brabender a 130°C durante 1 hora.

4. Proteína

Determinou-se o conteúdo de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl, método 46-10 descrito pela AACC (1). O conteúdo de proteína total de milho foi calculado usando-se o fator N x 6,25.

5. Gordura (extrato etéreo)

Determinou-se de acordo com o método 30-20 da AACC (1), utilizando-se extração contínua com éter de petróleo, P.E. 30-60°C, no extrator "Goldfish".

6. Açúcares

Determinou-se o conteúdo de açúcares redutores e açúcares totais, segundo o método 80-60 da AACC (1).

7. Fibra

Foi determinada segundo o método 32-15 da AACC (1).

8. Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por calcinação da amostra durante 2 horas a 600°C , segundo o método 08-03 da AACC (1).

9. Aminoácidos

a. Determinação de lisina disponível

Foi determinada pelo método de Kakade (37), usando ácido picril sulfônico (ácido 2, 4, 6 - trinitro-benzeno sulfônico).

b. Determinação de triptofano

Foi determinado pelo método enzimático do DMB (dimetil benzaldeído), de acordo com Spies (61).

c. Outros aminoácidos

Outros aminoácidos foram analisados por cromatografia de troca iônica de acordo com Moore et al (48), usando o analisador de aminoácidos Beckman Model 120 C. Uma quantidade de farinha (tamanho de partícula $<150 \mu$) equivalente a 15 mg de proteína, foi colocado em ampola de pirex junto com 10 ml de ácido clorídrico (HCl) 5 N. As ampolas foram desaeradas com a bomba de vácuo, fechadas com o bico de bunsen e o conteúdo foi hidrolisado a 110°C por 22 horas. O hidrolisado foi resfriado e o volume completado a 25 ml com água destilada. Em seguida foi filtrado usando papel de filtro Whatman -

nº 12. Os filtrados foram evaporados no evaporador rotatório "Flash" a 55°C. Os cristais residuais foram dissolvidos duas vezes em 10 ml de água destilada e re-evaporados para eliminar todo ácido clorídrico. Aos cristais resultantes foram adicionados 10 ml de solução tampão de citrato de sódio (pH 2,2) e finalmente filtrados. Uma alíquota do filtrado equivalente a 0,6 mg de proteína foi injetada no analisador.

10. Vitaminas

a. Tiamina (vitamina B₁)

Foi determinada usando o método tiocrômico nº 86-80 da AACC (1).

b. Riboflavina (vitamina B₂)

Foi determinada segundo o método fluorométrico nº 86-70 da AACC (1).

c. Niacina (vitamina B₃)

Foi determinada pelo método colorimétrico nº 86-50 da AACC (1).

11. Tocoferóis totais

Foram determinados de acordo com o método descrito por Emmerie-Engel (24). A 2 g de farinha foram adicionados 20 ml de álcool metílico 90% contendo 0,5% de hidróxido de sódio e 0,25 g de ácido ascórbico. A suspensão foi colocada

em banho-maria durante 30 minutos e resfriada, extraíndo os insaponificáveis com 60 ml de éter de petróleo.

O resíduo de éter, foi dissolvido em 5 ml de metanol absoluto e adicionados 0,5 ml de cloreto férrico $(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ 0,2% em etanol absoluto e 0,5 ml de solução de 2-2' bipiridina 0,5% em álcool absoluto. A solução foi colocada em repouso durante 10 minutos no escuro e depois misturada com 0,5 ml de ácido fosfórico 85%. Posteriormente foi feita a leitura de absorbância a 525 nm.

12. Pigmentos totais e β -carotenos

Foram determinados de acordo com o método modificado de Blessin (7).

Para a determinação de pigmentos totais, foi pesada 1 g de farinha e realizada a extração de gordura no extrator "Goldfish", usando 50 ml de álcool etílico durante 2 horas. A suspensão foi lavada com 15 ml de álcool etílico, 30 ml de água, 2 ml de cloreto de sódio saturado e 10 ml de hexano, a mistura foi agitada durante 1 minuto e a cor do extrato foi determinada no espectrofotômetro a 448 nm, usando-se o hexano puro como branco.

Para a determinação de β -carotenos, usou-se uma coluna de 15 cm de comprimento e 1 cm de largura. A coluna foi enchida com 5 g de alumina básica ativada e colocados 5 ml de

extrato de gordura em hexano.

A eluição foi feita com uma mistura 1:1 de éter de petróleo e éter etílico.

O eluente foi concentrado, diluído com 5 ml de hexano e realizada a leitura de absorbância a 448 nm.

13. Estabilidade das farinhas durante armazenamento

Farinha de milho e farinha pré-gelatinizada foram colocadas separadamente em frascos de vidro, hermêticamente fechados, de aproximadamente 1 litro de capacidade, a fim de estudar a estabilidade dessas farinhas durante o armazenamento de 1 ano.

a. Teste de atividade enzimática da peroxidase

O teste foi realizado de acordo com o método descrito por Whitaker (64) usando duas soluções: a primeira constituída de etanol (50%) e guaiacol (0,5%), e a segunda composta de água oxigenada de 120 volumes diluída (1:10). Procedeu-se da seguinte maneira: colocaram-se, aproximadamente, 300 mg de amostra em uma cápsula de porcelana, adicionando-se, em seguida, 1 gota de cada solução e aguardou-se 5 minutos, até que as amostras se tornassem de cor marrom, indicativa da atividade enzimática da peroxidase.

b. Ácidos graxos livres

O conteúdo de ácidos graxos livres foi determinado usando o método modificado da AACC nº 02-01 (1).

A 15 g de farinha de milho foram adicionados 50 ml de benzeno. A mistura foi agitada a 200 rpm no agitador rotatório durante 5 minutos. A suspensão foi filtrada e a 25 ml do filtrado foram adicionados 25 ml de álcool etílico (previamente neutralizado com hidróxido de sódio). A solução foi titulada com hidróxido de potássio 0,01 N, usando-se fenolf-taleína como indicador.

c. Índice de peróxido

Foi determinado usando 15 g de farinha de acordo com o método de Mehlenbacher (44).

14. Determinação da cor do "grits" e da farinha

A determinação foi realizada em um espectrofotômetro - Filterfarbmessgerät RFC-3, Computer HP 2100 A. Hewlett Packard, com disco 7900 A e lâmpada de xenon XBO 250 w. O espectrofotômetro foi calibrado com sulfato de bário ($BaSO_4$), usado como controle. Usou-se aproximadamente 50 g de cada amostra para os testes (68).

A determinação em % de absorbância foi realizada no espectro visível (400 - 700 nm). A tonalidade e cor do "grits" e das farinhas foi localizada no diagrama de cromati

cidade da Comissão Internacional de Iluminação (Figura 1), usando os valores das coordenadas de cromaticidade KX e KY. A diferença total em cor (DE) foi calculada de acordo com a fórmula de Adams/Nickerson/Stults, DIN 5033 (68):

$$DE = \sqrt{DAC^2 + DAL^2}$$

onde, DAC é a diferença em cromaticidade e,
DAL é a diferença em luminosidade.

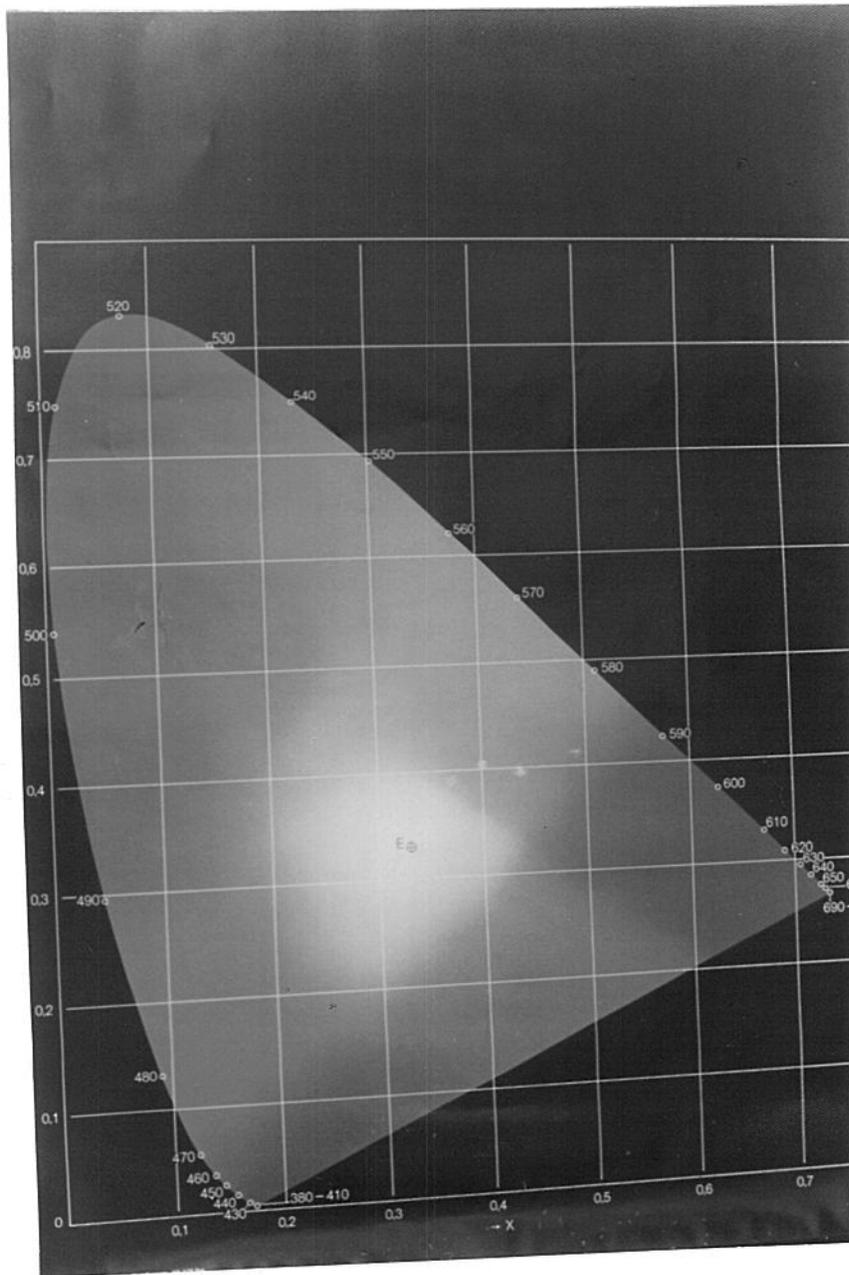


Figura 1 - Diagrama de cromaticidade da Comissão Internacional de Iluminação (C.I.E.).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA PRIMA

Milho degerminado e descascado denominado "grits" foi usado como matéria prima para estudar o processo de pré-gelatinização por tratamento com vapor, sendo estudadas as características físicas e composição química deste produto.

1. Características físicas

O presente estudo teve como objetivo classificar a matéria prima e determinar suas características de viscosidade, índices de solubilidade e absorção de água.

a. Classificação granulométrica

Os resultados do rendimento do "grits" obtido na classificadora por gravidade estão apresentados na tabela I. - Cinco frações foram obtidas na classificadora por gravidade. As frações designadas d e e, constituídas de casca e pó, foram desprezadas, representando rendimentos de 0,50 e 0,32%, respectivamente, obtendo-se 1,03% de perdas totais.

Os resultados da análise granulométrica das diferentes frações obtidas, estão apresentadas na tabela II. Estes resultados mostraram que nas três frações, aproximadamente, de 49 a 85% apresentaram um diâmetro de partícula menor que 4.698μ (passa pela peneira Tyler nº 4) e maior que 2.362μ

Tabela I

Rendimento do "grits" de milho obtido na classificadora por gravidade.

Fração	Porcentagem
<i>a</i>	26,40
<i>b</i>	61,55
<i>c</i>	10,20
<i>d</i>	0,50
<i>e</i>	0,32

Perdas 1,03%

Tabela II
Classificação granulométrica do "grits" de milho.

Sobre peneira Tyler nº	Tamanho de partícula (μ)	Material retido (%)		
		Frações		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
4	> 4.698	8,5	12,1	49,6
8	2.362-4.698	85,4	85,8	49,3
14	1.168-2.362	0,5	1,8	0,6
Fundo	< 1.168	5,6	0,3	0,5
Diâmetro médio das partículas (μ)		2.905	3.545	4.647

(retido sobre a peneira Tyler nº 8).

b. Viscosidade

As características de viscosidade determinadas no viscosímetro Brabender são apresentadas na tabela III. O material apresentou uma temperatura inicial de gelatinização de 67°C, atingindo um valor máximo de 430 U.A. a uma temperatura de 88°C. A partir deste ponto ocorreu uma queda de viscosidade, até 370 U.A. Quando a temperatura aumentou a 95°C, este valor apresentou um mínimo de 320 U.A. após a suspensão ser mantida a 95°C durante 20 minutos. Finalmente, durante o ciclo de resfriamento, a viscosidade aumentou por causa da retrogradação, atingindo um valor final de 1000 U.A. à 50°C.

c. Índices de solubilidade e absorção de água

Os valores dos índices de solubilidade e absorção de água do "grits" de milho, foram, respectivamente, 3,95 e 2,50. Estes valores podem ser considerados normais em razão de que o amido presente neste material não sofreu modificação e apresentou baixa capacidade de absorção e solubilidade em água.

2. Composição química

A composição química do "grits" de milho está apresentada na tabela IV.

Pelo fato de ser um produto constituído basicamente pe

Tabela III
Características de viscosidade do "grits" de milho.

Característica	Valor
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	67
Viscosidade máxima (U.A.)	430
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	88
Viscosidade a 95°C (U.A.)	370
Viscosidade mínima à temperatura constante de 95°C (U.A.)	320
Viscosidade final no ciclo de resfriamento - (U.A.)	1.000

Tabela IV
Composição química do "grits" de milho¹.

Componente	Porcentagem
Proteína (N x 6,25)	7,03
Gordura	0,86
Cinzas	0,72
Fibra	0,22
Carboidratos ²	91,17

¹os resultados estão expressos em base seca

²por diferença

lo endosperma de milho, caracterizou-se pelo seu baixo teor de gordura, fibra e cinzas; pelo seu alto teor de carboidratos, principalmente amido, e o teor de proteína apresentou-se dentro dos níveis normais para este tipo de material (36).

B. FATORES QUE AFETAM O PROCESSO DE GELATINIZAÇÃO DO "GRITS" DE MILHO

No processo de tratamento com vapor, a gelatinização do material ocorre por um efeito hidrotérmico, o nível de umidade do material e a intensidade do tratamento térmico são dois parâmetros que influem sobre o grau de gelatinização (2,30).

Neste trabalho, foram estudados dois parâmetros importantes que influenciam o processo de gelatinização por tratamento hidrotérmico, tamanho do "grits" e temperatura de maceração.

1. Efeito do tamanho do "grits" e temperatura de maceração na velocidade de absorção de água

Geralmente, o conteúdo de umidade de uma farinha ou de um "grits" de milho, como obtidos na moagem por via seca, está entre 10 e 14% (8). Este nível é considerado baixo para realizar a gelatinização, sendo necessário aumentar o conteúdo de água do material, se um adequado grau de gelatinização é desejado. A absorção de água ocorre quando o material é co

locado em maceração com água, a temperatura ambiente ou a temperaturas mais elevadas (30).

Foi estudado o efeito do tamanho do "grits" macerado a temperatura ambiente e a temperaturas superiores à ambiente na velocidade de absorção de água, obtendo-se os seguintes resultados:

a. Temperatura ambiente (28-30°C) de maceração

Nos ensaios realizados com as frações de "grits" obtidas na classificadora por gravidade e designadas como fração a, b e c em maceração à temperatura ambiente, identificou-se a presença de três estágios de absorção de água durante o processo, apresentados na figura 2.

No início da maceração a absorção de água foi bastante rápida, como revelado pelo aumento de umidade de 10,2 até 27% no caso da fração a; de 10,2 até 25,4% no caso da fração b e de 10,2 até 24% na fração c, em aproximadamente uma hora de maceração. O segundo estágio foi caracterizado pela redução progressiva da velocidade de absorção de água, atingindo-se finalmente um ponto onde o material praticamente não absorveu mais água e a umidade ficou constante. A umidade de equilíbrio em torno de 30% foi atingida pela fração a depois de 3 horas de maceração; 5 horas de maceração no caso da fração b e 7 horas de maceração no caso da fração c.

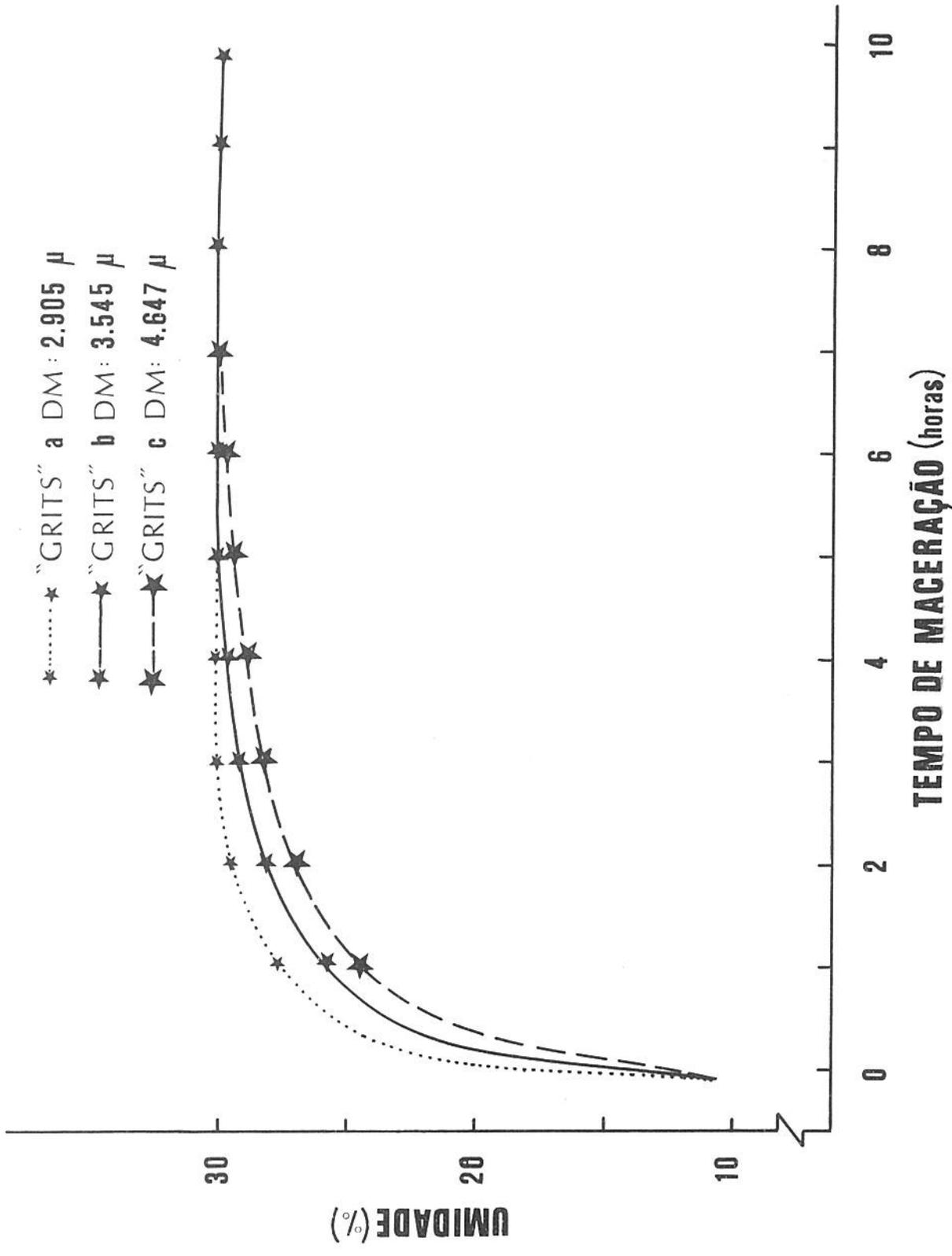


Figura 2 - Relação entre o tempo de maceração e umidade no "grits" de milho a temperatura ambiente (28-30°C).

Os resultados obtidos mostraram um aumento na velocidade de absorção de água do material, à medida que se reduziu o diâmetro médio do "grits".

b. Temperaturas de maceração de 50 e 70°C

Foram realizados ensaios para estudar o efeito da temperatura de maceração de 50 e 70°C na velocidade de absorção de água do "grits".

i. Temperatura de maceração de 50°C

O efeito da temperatura de maceração a 50°C na velocidade de absorção de água do "grits" é mostrado na figura 3. Foram observados dois estágios de absorção de água, o primeiro estágio foi caracterizado por um aumento rápido de absorção de água de 10,2 até, aproximadamente, 20% no caso da fração a e de 10,2 até cerca de 18% no caso das frações b e c, durante os primeiros cinco minutos de maceração. O segundo estágio revelou uma redução progressiva na velocidade de absorção de água, sendo atingido o valor de 30% de umidade, num tempo de 35, 80 e 90 minutos pelas frações a, b e c, respectivamente. Acima do nível de umidade de 30% o "grits" começou a se desintegrar, tornando-se difícil a determinação de umidade.

ii. Temperatura de maceração de 70°C

A figura 4 mostra a variação de umidade do "grits" com o tempo de maceração à temperatura de 70°C. Sendo obser

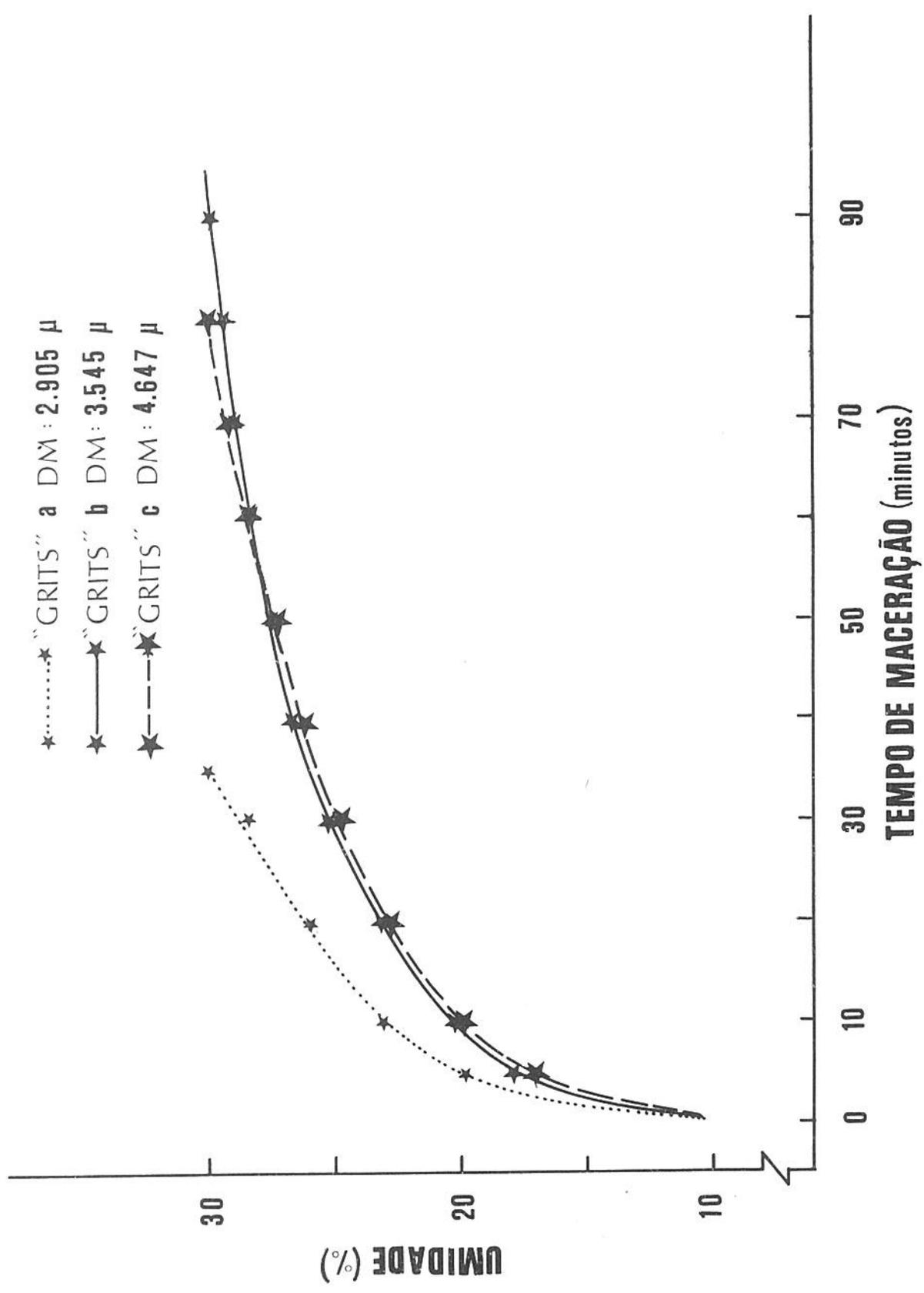


Figura 3 - Relação entre o tempo de maceração e umidade no "grits" de milho a temperatura de 50°C.

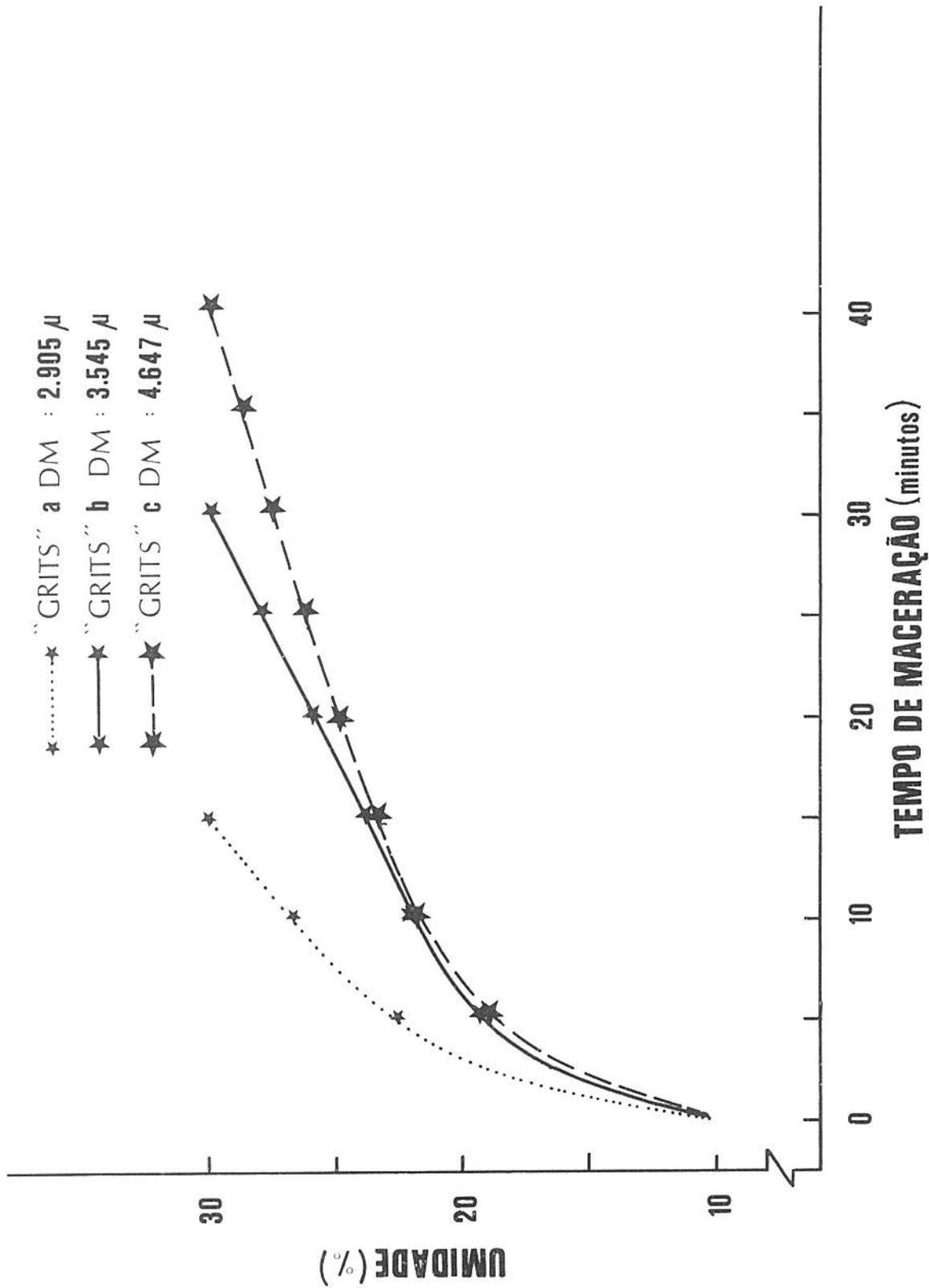


Figura 4 - Relação entre o tempo de maceração e umidade no "grits" de milho a temperatura de 70°C.

vados 2 estágios de absorção de água semelhantes àqueles - obtidos na maceração a 50°C, sendo atingido o nível de 30% de umidade pelas frações a, b e c em tempos de 15, 30 e 40 minutos, respectivamente. Sendo também observado o início de desintegração do material acima do nível de umidade de 30%.

Nos ensaios realizados conseguiu-se diminuir o tempo de maceração necessário para o processo, pelo uso de temperaturas superiores à ambiente (50 e 70°C), nas quais a velocidade de absorção de água foi maior.

2. Efeito do tempo de tratamento térmico e temperatura - de maceração nas características de gelatinização

Foi estudado o efeito do tempo de tratamento térmico, com vapor sob pressão a 118°C e temperatura de maceração - nas características de viscosidade, índice de absorção de água e índice de solubilidade em água das farinhas pré-gelatinizadas, usando "grits" de milho com um nível de umidade de 30%. Este estudo objetivou a determinação do tempo mínimo de tratamento térmico necessário para obter um adequado grau de gelatinização. Nos ensaios realizados, foi utilizado o "grits" de milho designado como fração b (diâmetro médio 3.545 μ) pelo fato de ter apresentado o maior rendimento (61,55%) na classificadora por gravidade. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela V.

Tabela V

do tempo de tratamento térmico com vapor a 118°C, e temperatura de maceração sobre as características de viscosidade, índice de absorção e índice de solubilidade em água das farinhas pré-gelatinizadas

Condições de maceração	Tempo de tratamento térmico	Características de viscosidade			Índice de absorção de água	Índice de solubilidade em água
		Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min a 95°C (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)		
Controle)		370	340	1.000	3,95	2,50
3-30°C horas)	1	200	420	680	4,50	2,53
	5	200	420	680	4,62	2,65
	15	190	340	580	5,15	3,28
50°C minutos)	1	300	560	800	4,42	2,26
	5	140	350	550	4,98	2,85
	15	80	310	500	5,02	3,06
70°C minutos)	1	260	510	760	4,08	1,96
	5	220	470	700	4,10	1,98
	15	80	330	530	4,12	2,04

Devido às modificações causadas no material pelo tratamento térmico com vapor, as curvas de viscosidade obtidas das farinhas pré-gelatinizadas, não apresentaram o ponto de viscosidade máxima, normalmente encontrado nas farinhas não pré-gelatinizadas. Portanto, para fazer a comparação entre os diferentes tratamentos foi usado o valor da viscosidade a 95°C.

O tempo de tratamento térmico após 5 horas de maceração a temperatura ambiente não afetou as características de viscosidade a 95°C. Para tratamento térmico de 1 e 5 minutos a viscosidade após 20 minutos a 95°C e a viscosidade final no ciclo de resfriamento permaneceram constantes, sendo diminuídas quando foi usado um tempo de tratamento térmico de 15 minutos.

No caso de maceração a 50°C durante 80 minutos, observou-se uma redução dos valores de viscosidade à medida que foi aumentado o tempo de tratamento térmico, sendo apresentado o mesmo fenômeno quando foi usada uma temperatura de maceração de 70°C durante 30 minutos.

Os índices de absorção e solubilidade em água, em cada uma das condições de maceração, aumentaram ligeiramente com o aumento do tempo de tratamento térmico. Os menores índices para tratamentos térmicos foram observados com 1, 5 e 15 minutos a temperatura de maceração de 70°C durante 30 minutos.

Foi observado que os diferentes tempos de tratamento térmico e condições de maceração, não afetaram grandemente as características de viscosidade, índice de absorção e índice de solubilidade em água, das farinhas pré-gelatinizadas, quando comparadas entre si, motivo pelo qual optou-se por escolher o tratamento térmico de 1 minuto com temperatura de maceração ambiente (28-30°C) para posteriores estudos. Este tratamento é o mais econômico, já que não precisa energia durante a maceração e o tempo de tratamento térmico é de apenas 1 minuto. Estes resultados são similares a aqueles obtidos por Gonzalez (30).

C. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE MILHO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do processo hidrotérmico na qualidade da farinha pré-gelatinizada de milho elaborada a partir de "grits", com maceração a temperatura ambiente (28-30°C), durante 5 horas e tratamento térmico com vapor sob pressão a 118°C (1,94 kg/cm²) durante 1 minuto.

1. Características químicas

Para se avaliar o efeito do tratamento hidrotérmico, na qualidade da farinha pré-gelatinizada, foram estudadas suas características químicas, antes e após o tra-

tamento.

a. Composição química

A composição química da farinha de milho e farinha pré-gelatinizada é apresentada na tabela VI. Não foram observadas diferenças significativas na composição química das farinhas. Determinando-se que o processo hidrotérmico usado na elaboração de farinha pré-gelatinizada não afetou a composição centesimal.

b. Conteúdo de aminoácidos

A farinha de milho apresentou um maior nível de aminoácidos que a farinha pré-gelatinizada, como mostra a tabela VII. Sendo observada uma redução de aproximadamente 18% no conteúdo de aminoácidos totais indispensáveis e dispensáveis quando baseados em 16,8 g de nitrogênio. Quando baseados em 100 g de farinha o teor de aminoácidos totais indispensáveis e dispensáveis foram reduzidos em torno de 20%.

Dentre os aminoácidos indispensáveis o triptofano foi o mais afetado pelo tratamento (60,00%), sendo observado nos outros aminoácidos diminuições de aproximadamente 13 a 22% - na base de 16,8 g de nitrogênio como mostrado na figura 5. Os dispensáveis com exceção da cistina apresentaram reduções de aproximadamente 6 a 22%, que são observados na figura 6.

Tabela VI

Composição química da farinha de milho e farinha pré-gelatinizada.

Componente	Farinha de milho (%)	Farinha pré-gelatinizada (%)
Umidade	11,90	11,96
Proteína	7,03	6,87
Gordura	0,86	0,83
Fibra	0,22	0,22
Cinzas	0,72	0,72
Açúcares redutores	0,56	0,52
Açúcares totais	1,60	1,58
Carboidratos	77,67	77,92

Tabela VII

Conteúdo de aminoácidos em farinha de milho e farinha pré-gelatinizada¹.

Aminoácidos (aa)	Farinha de milho (g/16,8 h N)	Farinha pré-gelatinizada (g/16,8 h N)	Mudança ² (%)	Farinha de milho (g/100 g de farinha)	Farinha pré-gelatinizada (g/100 g de farinha)	Mudança ² (%)
<u>Indispensáveis</u>						
Lisina	1,86	1,61	-13,44	0,12	0,10	-15,34
Treonina	3,76	3,04	-19,14	0,25	0,19	-20,89
Valina	5,07	4,39	-13,41	0,33	0,28	-15,26
Metionina	0,93	0,80	-13,97	0,06	0,05	-15,75
Isoleucina	3,80	3,21	-15,52	0,25	0,21	-17,33
Fenilalanina	5,38	4,57	-15,05	0,36	0,29	-16,87
Leucina	20,44	16,09	-21,28	1,36	1,05	-22,96
Triptofano	0,30	0,12	-60,00	0,02	0,00	-61,00
TOTALS	41,54	33,83	-18,56	2,78	2,21	-20,30
<u>Dispensáveis</u>						
Histidina	2,93	2,61	-10,92	0,19	0,17	-12,79
Arginina	1,96	1,83	-6,63	0,13	0,11	-8,61
Ácido aspártico	6,73	5,63	-16,34	0,45	0,36	-18,13
Serina	5,61	4,68	-16,57	0,37	0,30	-37,56
Ácido glutâmico	31,18	24,59	-21,13	2,08	1,61	-22,81
Prolina	10,42	8,73	-16,21	0,69	0,57	-18,00
Alanina	10,26	8,48	-17,34	0,68	0,55	-19,11
Cistina (1/2)	0,34	0,08	-76,47	0,02	0,00	-77,09
Tirosina	0,36	0,33	-8,33	0,02	0,02	-10,37
Glicina	3,23	2,75	-14,86	0,21	0,18	-16,69
Amônia	4,92	3,83	-22,15	0,32	0,25	-23,83
TOTALS	77,94	63,54	-18,47	5,21	4,16	-20,21

¹Os resultados estão expressos em base seca.

²Mudança (%) = $\frac{\text{Farinha pré-gelatinizada} - \text{Farinha de milho}}{\text{Farinha de milho}} \times 100$

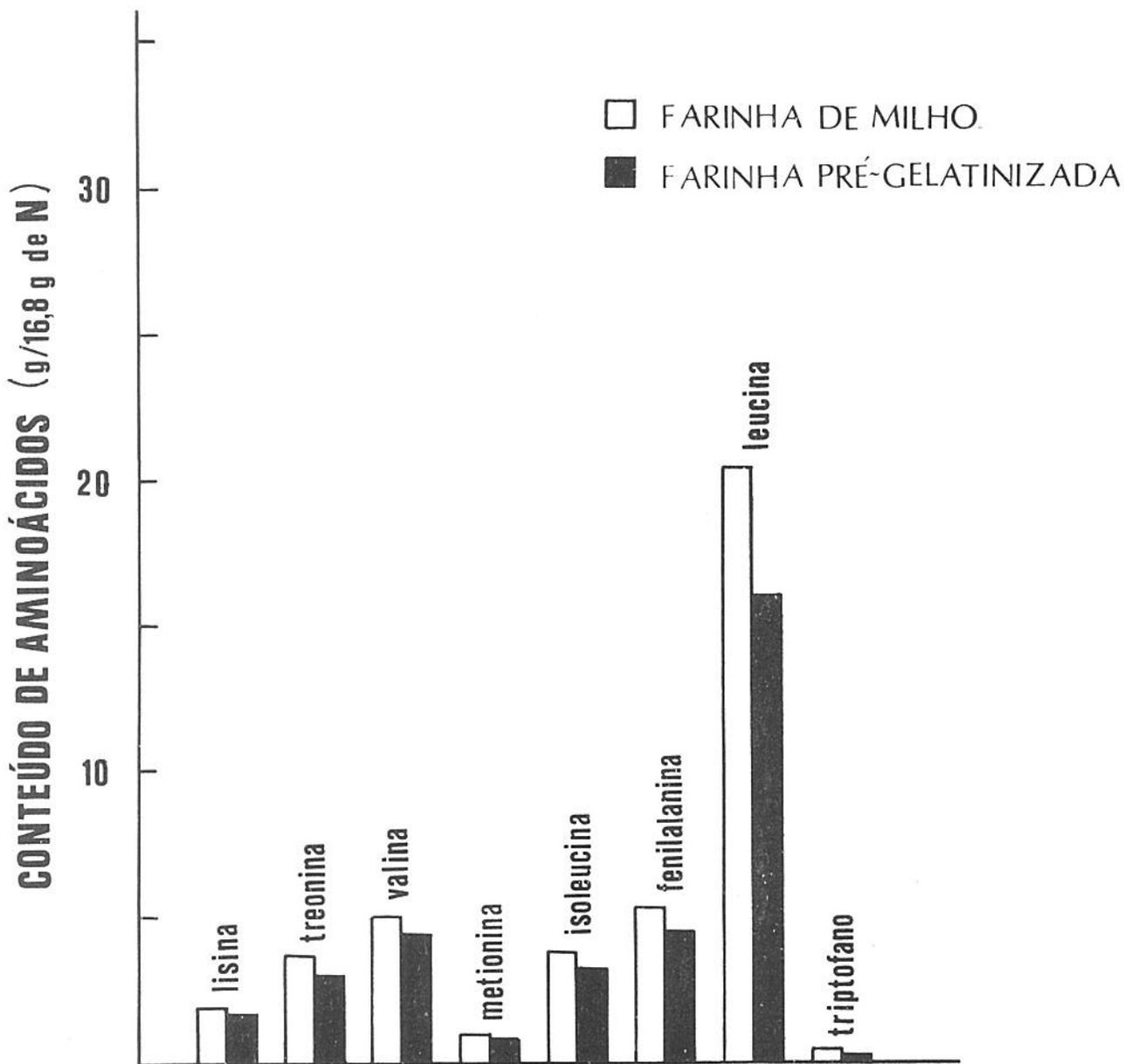


Figura 5 - Conteúdo de aminoácidos indispensáveis da farinha pré-gelatinizada comparada com farinha de milho.

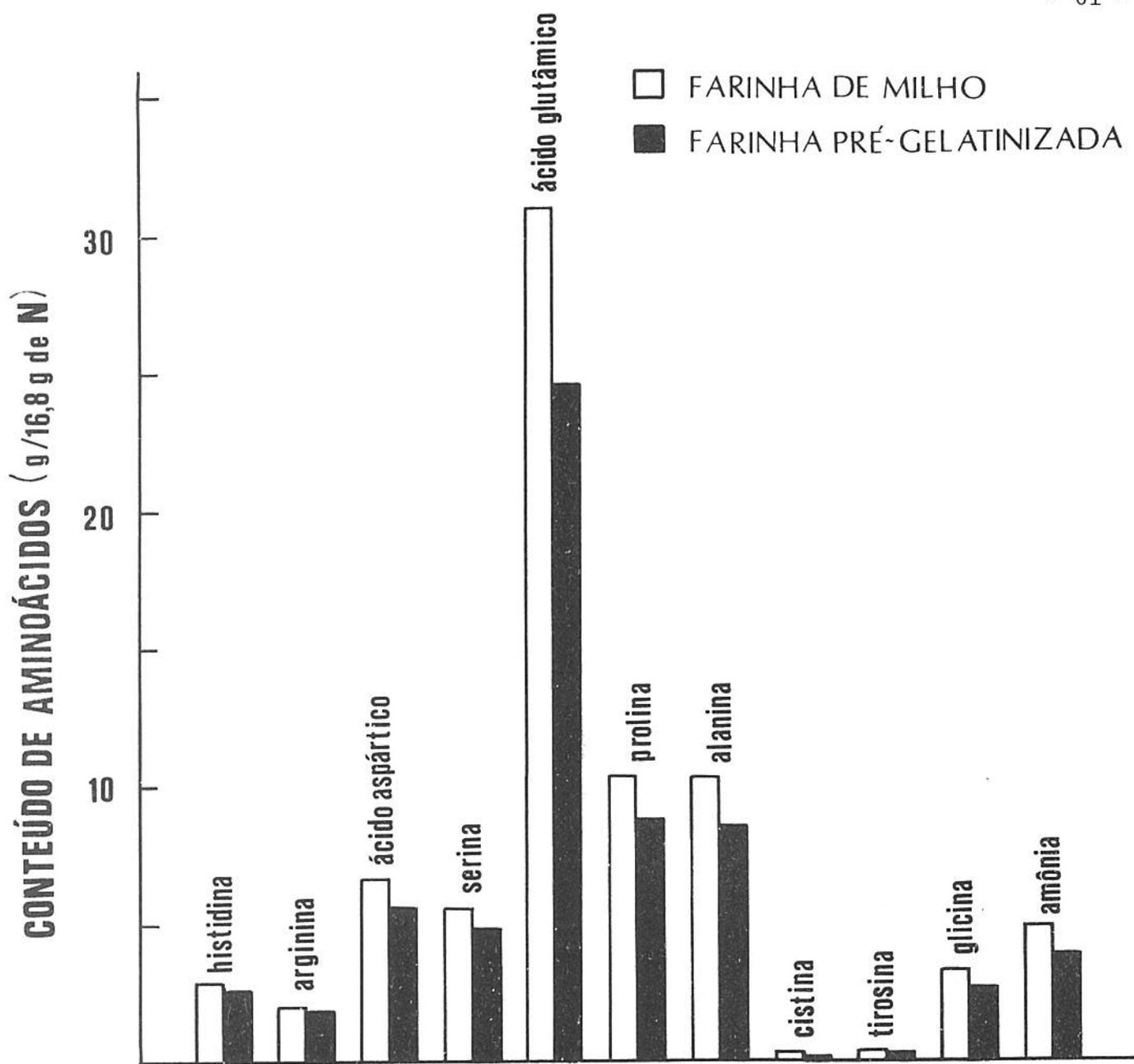


Figura 6 - Conteúdo de aminoácidos dispensáveis da farinha pré-gelatinizada comparada com farinha de milho.

c. Conteúdo de lisina disponível

O aminoácido indispensável lisina existe em baixa concentração no milho comum. Este aminoácido possui 2 grupos $-NH_2$, sendo que na proteína o $-NH_2$ em posição alfa está comprometido na ligação peptídica enquanto o $-NH_2$ em épsilon pode participar de reações durante o tratamento hidrotérmico, diminuindo assim a lisina disponível. Este fato foi constatado pela redução de 13,6% deste aminoácido na farinha pré-gelatinizada.

d. Conteúdo de vitaminas e pigmentos totais

A tabela VIII apresenta os resultados obtidos no conteúdo de vitaminas do complexo B, tocoferóis totais (vitamina E) e β -carotenos. Observou-se que o processo hidrotérmico não afetou de maneira significativa o conteúdo de vitaminas e pigmentos totais da farinha pré-gelatinizada.

2. Características tecnológicas

Foram estudadas as características reológicas das misturas de farinha de trigo, farinha de milho ou farinha pré-gelatinizada e água; características da cor e estabilidade durante o armazenamento das farinhas de milho e farinhas pré-gelatinizadas, sendo usadas estas características para estabelecer um critério de qualidade dessas farinhas.

Tabela VIII

Conteúdo de vitaminas e pigmentos totais em farinha de milho e farinha pré-gelatinizada¹.

Componente	Farinha de milho (mg/100g)	Farinha pré-gelatinizada (mg/100 g)	Mudança ² (%)
Tiamina	0,64	0,61	-4,68
Riboflavina	0,36	0,34	-6,66
Niacina	25,38	25,32	-0,23
Tocoferóis totais	1,12	1,10	-1,78
β-carotenos	4,89	4,88	-0,20
Pigmentos totais	25,37	24,56	-3,19

¹Base seca

²Mudança (%) = $\frac{\text{Farinha pré-gelatinizada} - \text{Farinha de milho}}{\text{Farinha de milho}} \times 100$

a. Características de viscosidade

Foi estudado o efeito da adição de farinha de milho ou farinha pré-gelatinizada, nas características de viscosidade da farinha de trigo.

Os valores obtidos nos amilogramas das misturas da farinha de trigo com 5, 10, 15 e 25% de farinha de milho são mostrados na tabela IX. A temperatura inicial de gelatinização, a temperatura de viscosidade máxima e o intervalo denominado faixa de gelatinização permaneceram, aproximadamente, constantes em níveis de até 25%.

A viscosidade máxima, viscosidade mínima a temperatura constante de 95°C e a viscosidade máxima no ciclo de resfriamento foram aumentados com a adição de níveis crescentes de farinha de milho.

Os resultados das análises dos amilogramas obtidos com as diversas adições de farinha pré-gelatinizada na farinha de trigo estão apresentados na tabela X.

A temperatura inicial de gelatinização e a de viscosidade máxima, assim como também o intervalo de gelatinização, não foram influenciados. Os valores de viscosidade máxima foram reduzidos gradualmente com o aumento da porcentagem de adição.

Os dados obtidos na viscosidade mínima a temperatura -

Tabela IX

Efeito da adição de farinha de milho nas características dos amilogramas da farinha de trigo.

Características	Farinha de milho (%)				
	0	5	10	15	25
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	61,0	64,0	64,0	62,5	67,0
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	91,0	92,5	92,5	91,0	88,0
Faixa de gelatinização (°C)	30,0	28,5	28,5	28,5	21,0
Viscosidade máxima (U.A.)	500	530	540	540	430
Viscosidade mínima à temperatura constante de 95°C (U.A.)	320	350	370	370	320
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento à 50°C (U.A.)	920	1000	1000	1000	1000

Tabela X

Efeito da adição de farinha de milho pré-gelatinizada nas características dos amilogra -
mas da farinha de trigo.

Características	Farinha de milho (%)					
	0	5	10	15	25	100
Temperatura inicial de gelatinização (°C)	61,0	61,0	61,0	61,0	62,0	58,0
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	91,0	91,0	91,0	91,0	91,0	66,6
Faixa de gelatinização (°C)	30,0	30,0	30,0	30,0	29,0	8,6
Viscosidade máxima (U.A.)	500	480	470	410	340	200
Viscosidade mínima à temperatura constante de 95°C (U.A.)	320	340	350	320	290	210
Viscosidade máxima no ciclo de resfriamento à 50°C (U.A.)	920	960	990	940	940	680

constante de 95°C apresentaram um ligeiro aumento com a adição de 5 e 10%, respectivamente, resultando numa queda a níveis maiores de adição. A viscosidade máxima no ciclo de resfriamento foi ligeiramente aumentada.

De acordo com os resultados obtidos, a adição separada de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada à farinha de trigo, não afetaram os valores de temperatura inicial de gelatinização, temperatura de viscosidade máxima e faixa de gelatinização. Os valores obtidos de viscosidade máxima são apresentados na figura 7. Estes mostraram que à medida que foi aumentada a porcentagem de farinha de milho, foi notado um aumento gradual neste valor até níveis de 25%, observando-se um efeito inverso com o uso de farinha pré-gelatinizada.

A figura 8, mostra o efeito da adição separada de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada na viscosidade mínima a temperatura constante de 95°C da farinha de trigo. Com a adição de farinha de milho em níveis crescentes estes valores aumentaram. Sendo diminuídos ligeiramente com o uso de farinha pré-gelatinizada.

Os valores de viscosidade máxima no ciclo de resfriamento a 50°C, foram maiores com a adição de farinha de milho a aqueles obtidos com a adição de farinha pré-gelatinizada, indicando, no primeiro caso, um alto grau de retrogradação. Entretanto com as misturas de farinha de trigo e farinha

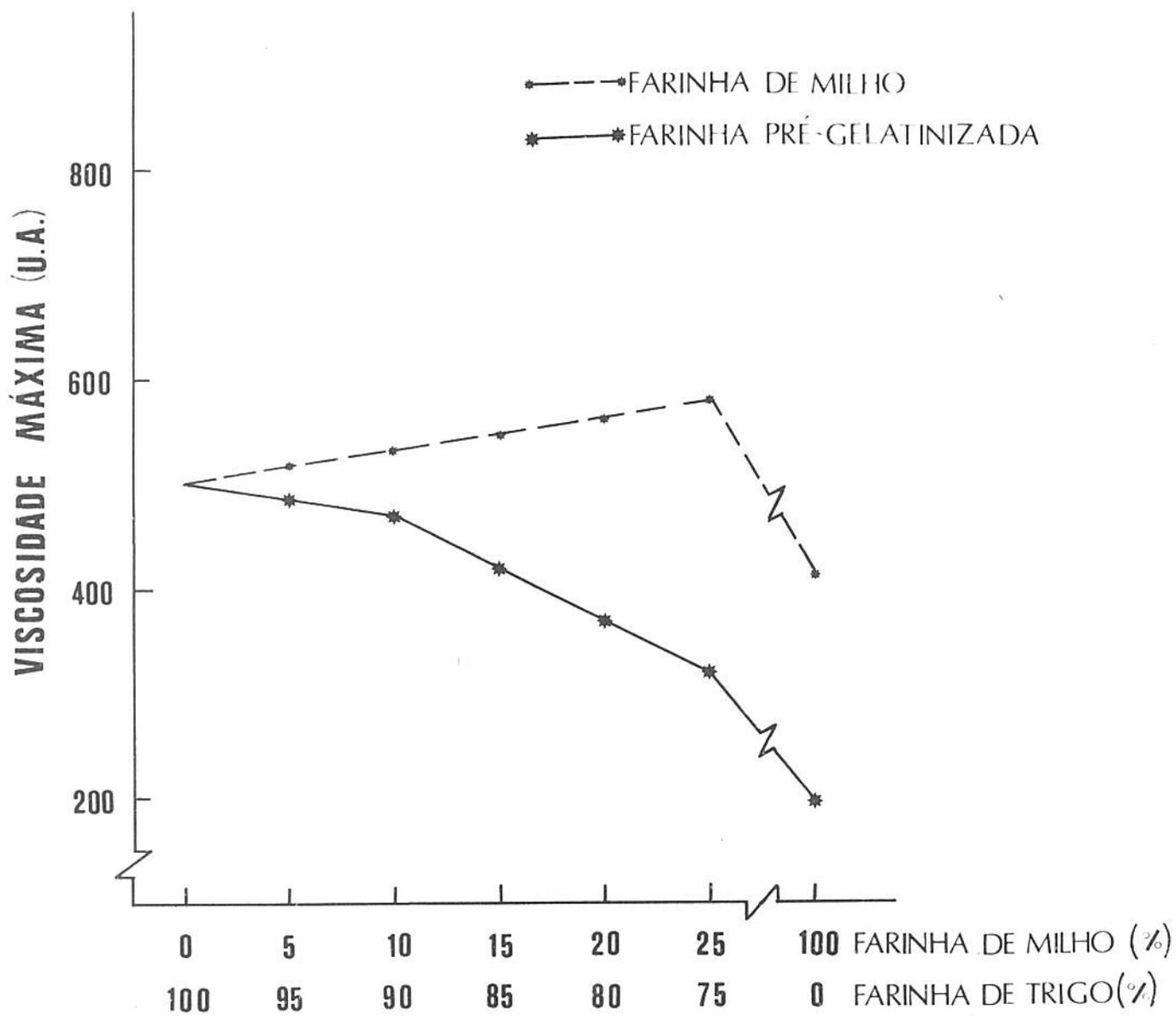


Figura 7 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na viscosidade máxima da farinha de trigo.

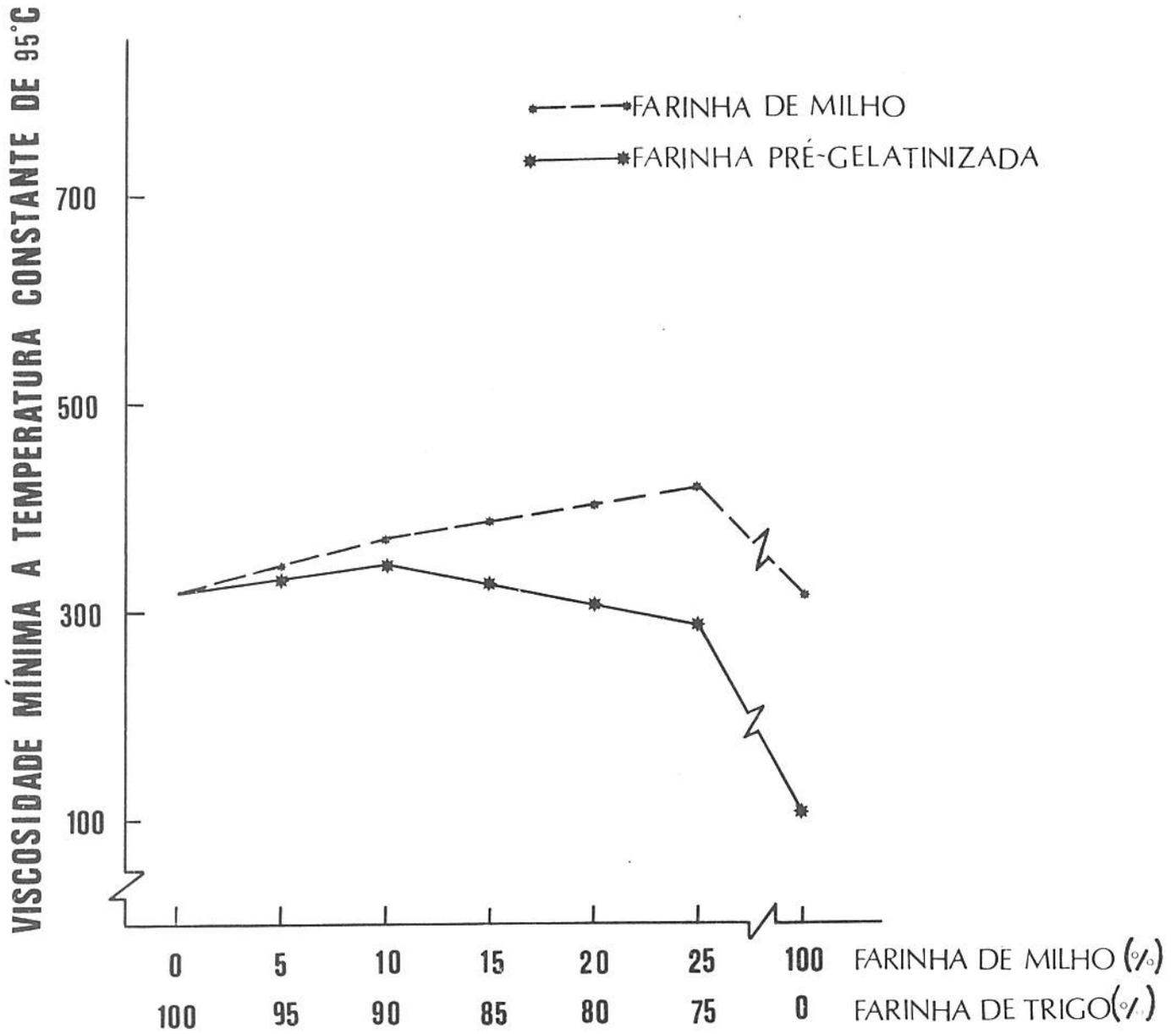


Figura 3 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na viscosidade mínima a temperatura constante de 95°C da farinha de trigo.

pré-gelatinizada, o grau de retrogradação foi menor.

Pratt (50), estabeleceu padrões de viscosidade usados para controle de qualidade de farinha de trigo no método convencional de produção de pão, sendo de 475-625 unidades a milográficas para o pão tipo forma, e de 400-600 unidades a milográficas para o pão tipo francês. Pelo que a quantidade ótima de alfa amilase presente na farinha de trigo, deve apresentar um amilograma dentro do padrão. Valores inferiores aos padrões estabelecidos indicam a presença de alto conteúdo de alfa amilase, que pode ser prejudicial à qualidade do pão. Entretanto a diminuição de viscosidade observada com a adição de farinha pré-gelatinizada à farinha de trigo, não está relacionada com o conteúdo de alfa amilase, mas com a porcentagem de amido danificado. Portanto, nesses casos, devem ser estabelecidos outros padrões de viscosidade dependentes da porcentagem de farinha pré-gelatinizada e seu grau de gelatinização.

b. Características de mistura

Na mistura da farinha de trigo, há inicialmente a formação de uma massa de grumos com pequena coerência. Gradualmente à medida que a coerência vai aumentando, a massa vai desenvolvendo características elásticas até ficar macia e com uma aparência mais seca. O desenvolvimento dessas propriedades desejáveis, denomina-se desenvolvimento da massa. Pos

teriormente, continuando a mistura, a massa vai perdendo a propriedade de elasticidade, tornando-se extensível e pegajosa. Essa perda gradual das características desejáveis numa massa, assim como também as características de desenvolvimento da massa, são observadas através do farinógrafo (1).

As curvas farinográficas obtidas pelas misturas da farinha de trigo com 5 a 25% de farinha de milho estão apresentadas na figura 9. Os resultados obtidos através desses farinogramas encontram-se na tabela XI.

A absorção de água aumentou progressivamente com o aumento da porcentagem de farinha de milho. O tempo de chegada foi aumentado ligeiramente. O tempo de desenvolvimento da massa sofreu também um aumento ligeiro com níveis de até 20%, apresentando um aumento brusco com a adição de 25%.

A estabilidade de uma massa está relacionada à qualidade proteica da farinha. Uma maior estabilidade indica maior resistência à mistura e melhor qualidade proteica. Com o aumento da farinha de milho na farinha de trigo, a estabilidade diminuiu.

Aumentos sensíveis dos valores de índice de tolerância à mistura foram obtidos com a adição de farinha de milho. A leitura do valorímetro permaneceu aproximadamente constante com ligeiras variações.

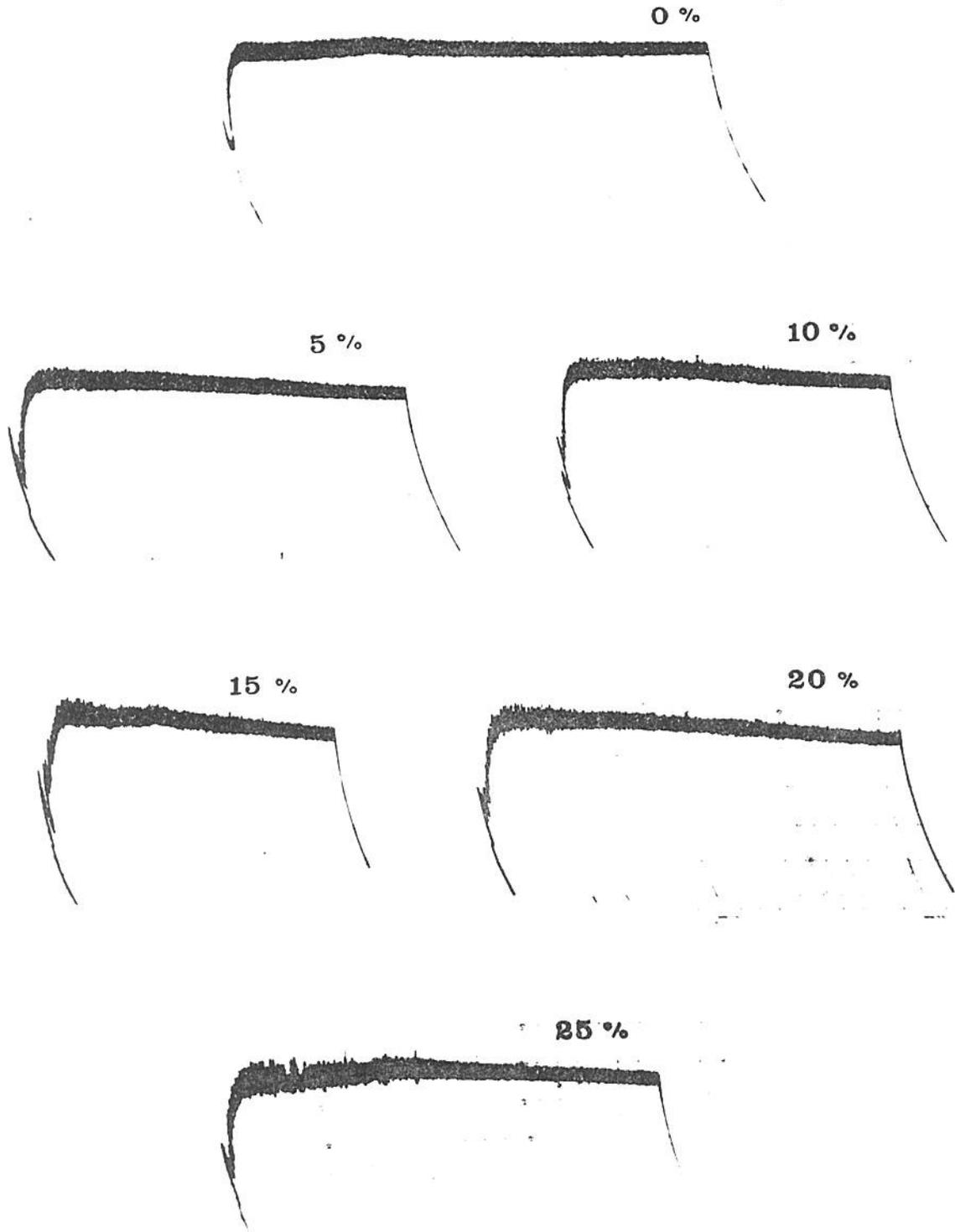


Figura 9 - Efeito da adiç~ao de farinha de milho nas característic^as dos farinogramas da farinha de trigo.

Tabela XI

Efeito da adição de farinha de milho nas características dos farinogramas da farinha de trigo.

Características	Farinha de milho (%)					
	0	5	10	15	20	25
Absorção de água (%)	66,0	67,0	68,0	67,5	67,9	68,3
Tempo de chegada (min)	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	5,5
Tempo de desenvolvimento da massa (min)	2,0	3,0	2,5	2,5	3,5	10,0
Estabilidade (min)	11,0	10,5	8,5	8,0	9,0	7,5
Tempo de saída (min)	11,5	11,5	9,5	9,0	10,5	13,0
Índice de tolerância à mistura (U.F.)	5,0	20,0	20,0	25,0	25,0	25,0
Leitura do Valorímetro (U.F.)	54,0	54,0	50,0	50,0	48,0	54,0

O efeito da adição da farinha pré-gelatinizada nas características dos farinogramas da farinha de trigo é mostrado na figura 10. Os resultados obtidos dos farinogramas são apresentados na tabela XII.

O efeito da adição de farinha pré-gelatinizada em níveis de 5 a 25% mostrou um aumento progressivo na absorção de água da farinha de trigo.

O tempo de chegada foi aumentado ligeiramente. O tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade à mistura e o tempo de saída foram aumentados, apresentando maiores aumentos com níveis de 20% e 25% de farinha pré-gelatinizada.

O índice de tolerância à mistura e a leitura do valorímetro mostraram-se gradativamente maiores com o aumento da porcentagem da farinha pré-gelatinizada.

De acordo com os resultados obtidos, foi observado que a absorção de água, considerado um fator de importância na produção de produtos panificáveis foi aumentada com a adição de farinha de milho, ocorrendo um aumento maior quando foi adicionada farinha pré-gelatinizada (Figura 11). Isto mostrou que a farinha pré-gelatinizada possui maior capacidade de absorção de água que a farinha de milho.

O tempo de desenvolvimento da massa permaneceu aproximadamente constante com a adição de níveis de até 15% de fa-

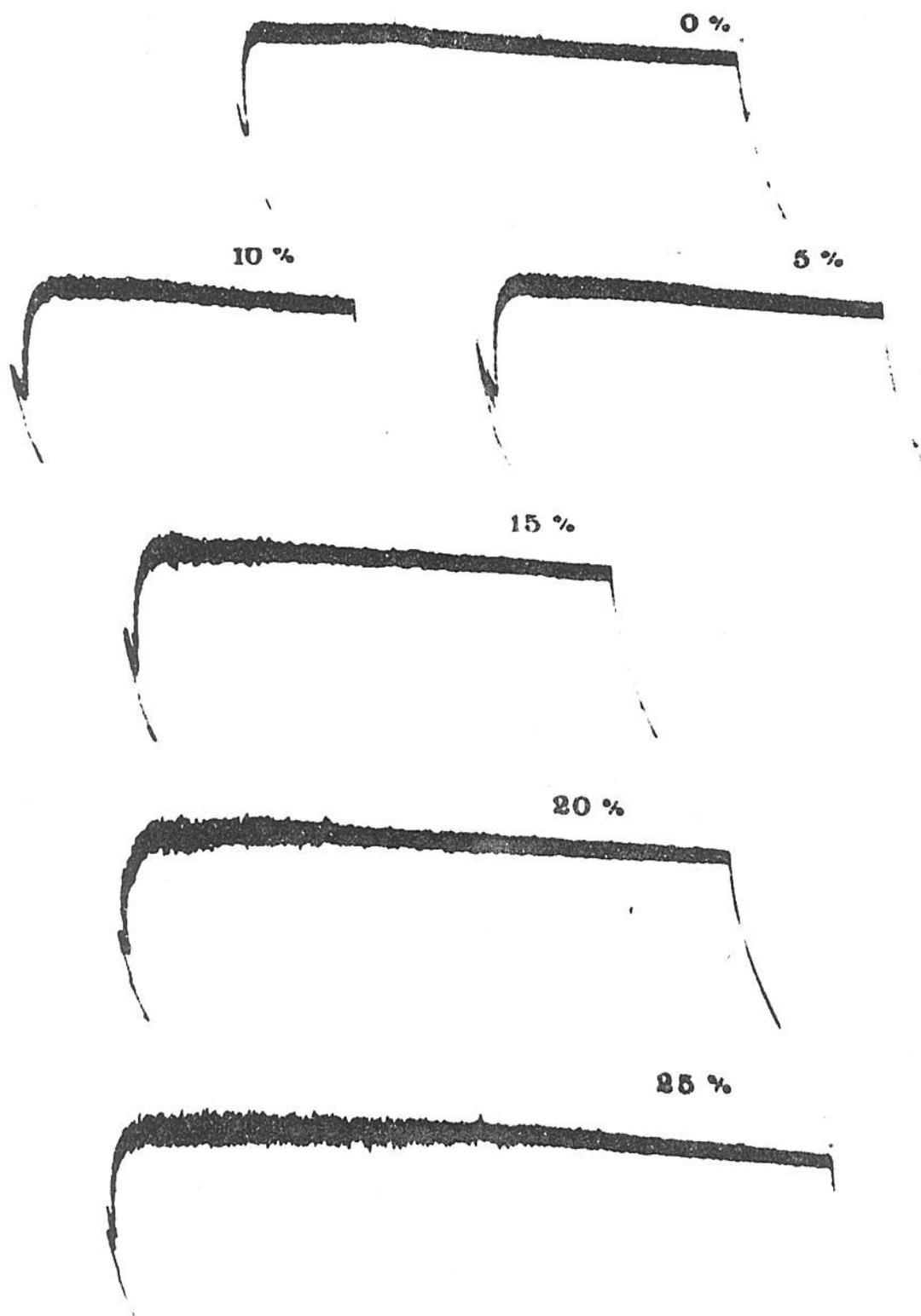


Figura 10 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada nas características dos farinogramas da farinha de trigo.

Tabela XII

Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada nas características dos farinogramas da farinha de trigo.

Características	Farinha pré-gelatinizada (%)					
	0	5	10	15	20	25
Absorção de água (%)	66,0	67,5	69,5	71,4	72,5	73,5
Tempo de chegada (min)	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5
Tempo de desenvolvimento da massa (min)	2,0	3,5	3,0	2,5	8,5	18,5
Estabilidade (min)	11,0	12,5	10,5	15,0	17,5	26,0
Tempo de saída (min)	11,5	13,5	12,0	16,5	19,0	27,5
Índice de tolerância (U.F.)	5,0	15,0	10,0	25,0	20,0	20,0
Leitura do valorímetro (U.F.)	54,0	54,0	52,0	60,0	60,0	86,0

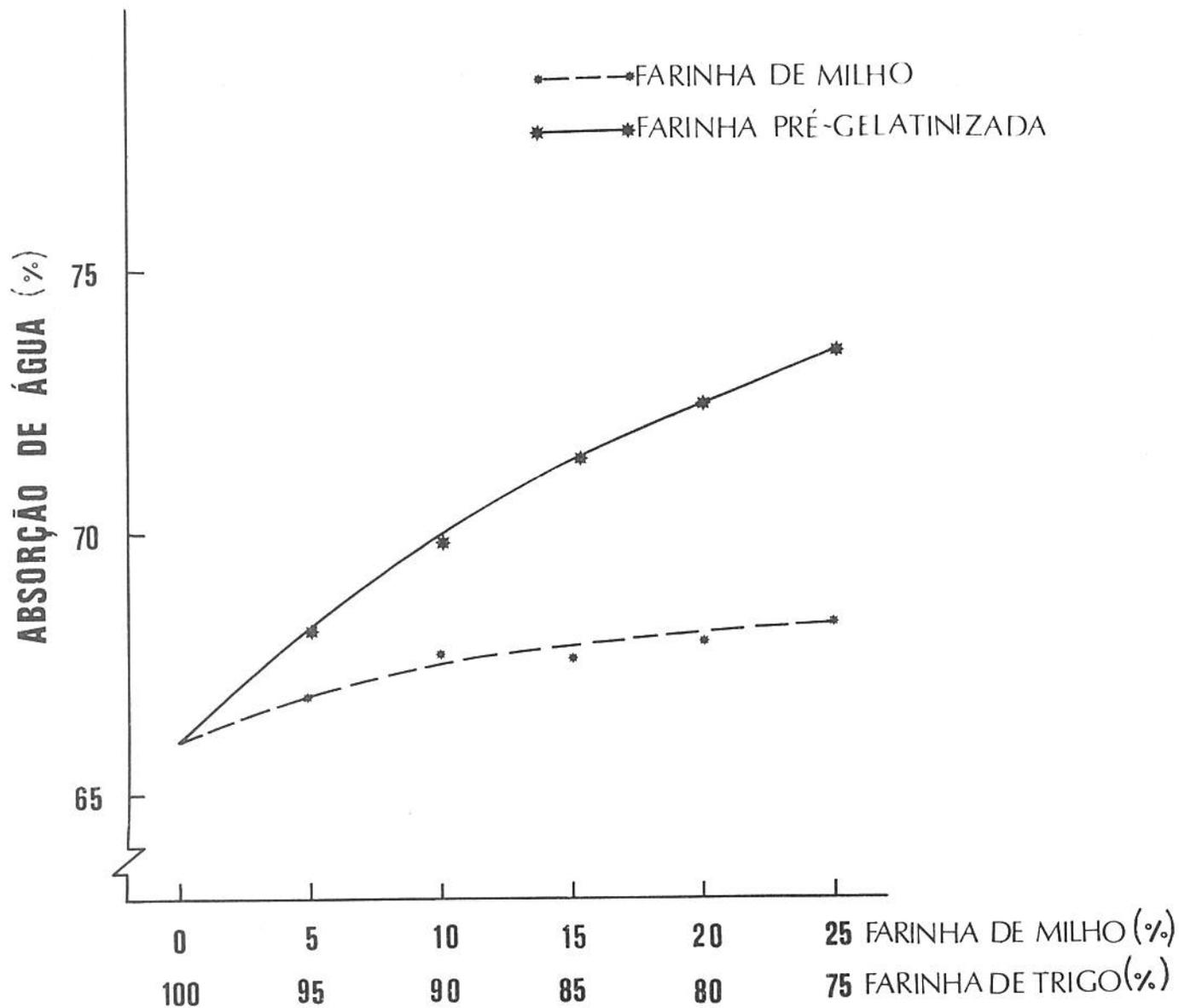


Figura 11 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na absorção de água da farinha de trigo.

rinha de milho e farinha pré-gelatinizada aumentando nas adições posteriores. Estes aumentos foram maiores para farinha pré-gelatinizada, do que para farinha de milho (Figura 12).

O efeito da adição das farinhas de milho ou pré-gelatinizada na estabilidade à mistura da farinha de trigo é mostrado na figura 13, notando-se uma ligeira queda com a adição de farinha de milho e um aumento progressivo com a adição de farinha pré-gelatinizada.

O tempo de saída permaneceu aproximadamente constante com a adição de farinha de milho, aumentando com a adição de níveis crescentes de farinha pré-gelatinizada.

O índice de tolerância à mistura aumentou com a adição de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada.

As leituras do valorímetro permaneceram aproximadamente constantes quando foi usada farinha de milho, obtendo-se maiores valores com o uso de farinha pré-gelatinizada, sendo aumentada a qualidade da massa através da estabilidade e leituras do valorímetro.

c. Características de extensão

As características de extensão da massa são comumente determinadas usando o extensígrafo. O aparelho registra a força de resistência à extensão da massa até sua ruptura em relação a alongação da mesma, denominada extensibilidade da

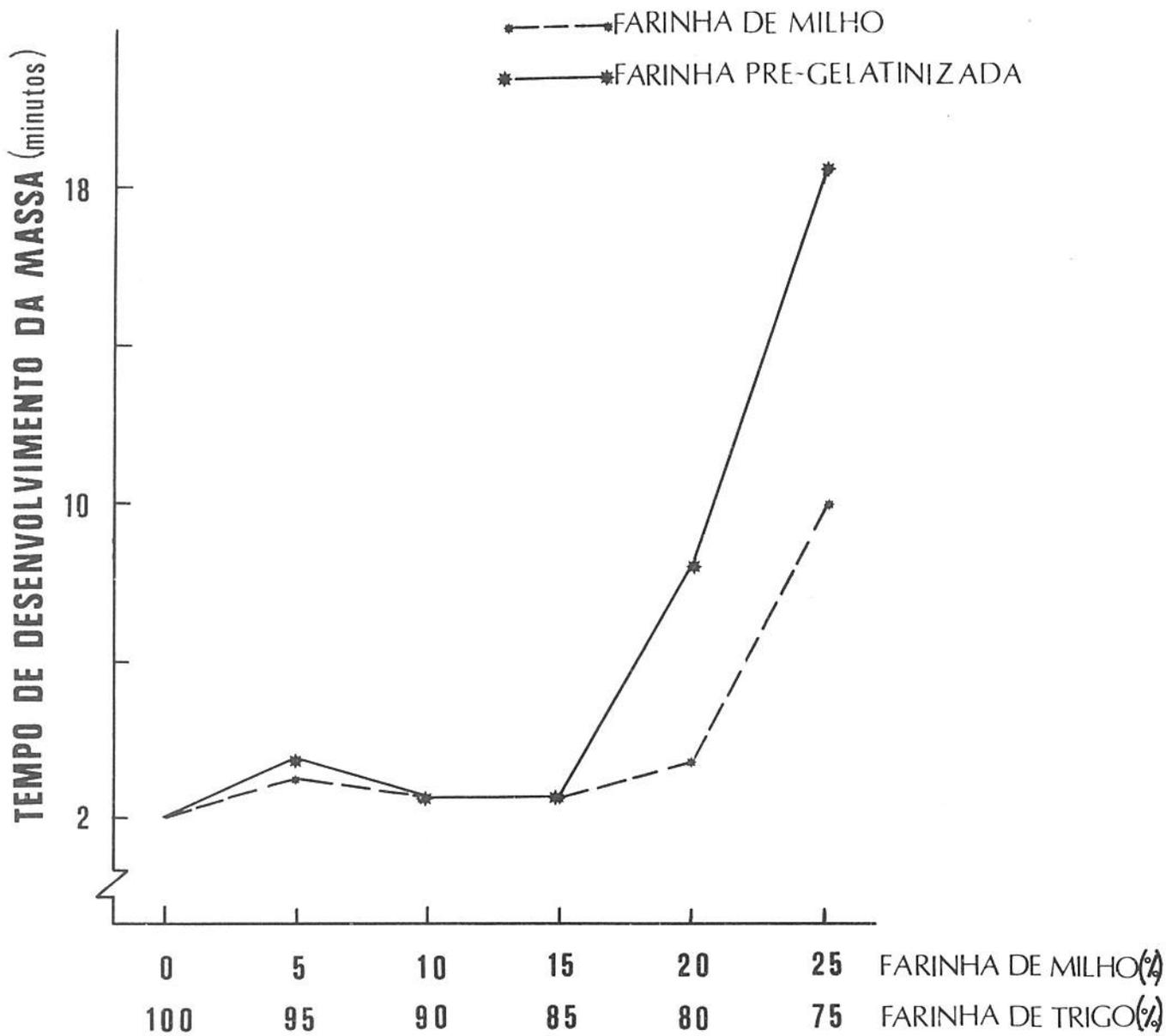


Figura 12 - Efeito da adiçao de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho no tempo de desenvolvimento da massa da farinha de trigo.

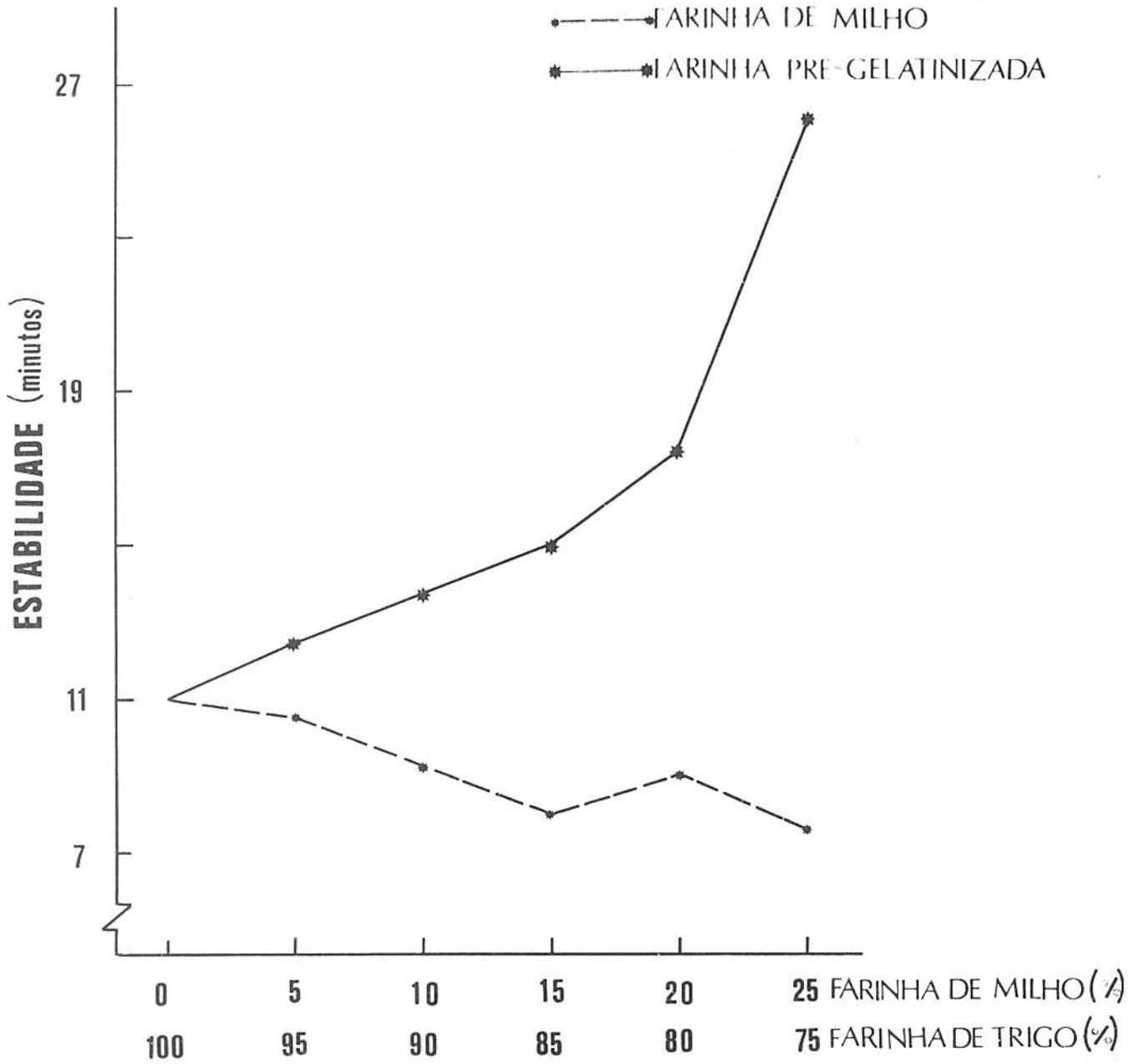


Figura 13 - Efeito da adição de farinha pre-gelatinizada e farinha de milho na estabilidade da farinha de trigo.

massa. A formação de gluten devido a mistura de água à farinha de trigo, ocorre devido a hidratação das proteínas insolúveis em água presentes na farinha. A qualidade tecnológica do gluten é evidenciada pela extensibilidade e resistência à extensão, dependentes em grande parte do número e das forças das ligações cruzadas entre as moléculas de proteína (62). As ligações de hidrogênio e dissulfídicas desempenham grande importância para a formação da estrutura do gluten.

O efeito da adição de farinha de milho nas características de extensão da massa de farinha de trigo é mostrado na tabela XIII. Foi observado que a presença da farinha de milho, em níveis crescentes, acarretou a queda dos valores da extensibilidade.

A resistência à extensão e a resistência máxima da massa não foram afetadas com a adição de até 20% de farinha de milho, sofrendo um aumento com a substituição de 25%.

Os valores da área foram diminuindo, mesmo com o aumento do número proporcional, mostrando o enfraquecimento da rede de gluten com o aumento da porcentagem de farinha de milho.

Os resultados extensigráficos das adições das diferentes substituições de farinha pré-gelatinizada na farinha de trigo são apresentados na tabela XIV. Com o aumento do teor de farinha pré-gelatinizada a extensibilidade foi diminuída.

Tabela XIII

Efeito da adição de farinha de milho nas características do extensigrama da farinha de trigo.

Características	Farinha de milho (%)														
	0		5		10		20		25						
	45	90	135	45	90	135	45	90	135	45	90	135			
(E) Elasticidade (min)	222	206	225	220	206	198	200	200	195	172	169	178	148	152	151
(R) Resistência à Extensão (U.E.)	250	290	270	240	250	270	260	280	250	270	270	250	325	360	360
(RM) Resistência Máxima (U.E.)	410	480	470	350	410	440	400	420	410	405	440	430	435	495	520
(D) Proporcional D = R/E	1,12	1,40	1,20	1,09	1,21	1,36	1,30	1,40	1,28	1,56	1,59	1,40	2,19	2,36	2,38
Altura total 2 (cm)	114	122	133	199	207	110	102	114	102	88	90	92	82	93	97

Tabela XIV

do da adição de farinha pré-gelatinizada nas características do extensigrama da farinha de trigo.

Características	Farinha pré-gelatinizada (%)															
	0			5			10			20			25			
	45	90	135	45	90	135	190	191	194	186	170	160	156	153	139	146
	222	206	225	203	200	190	270	270	280	300	280	320	310	290	345	330
	1,12	1,40	1,20	1,35	1,55	1,63	1,41	1,44	1,61	1,64	2,00	1,98	1,89	2,48	2,26	
	114	122	133	107	119	126	101	112	117	85	93	85	71	75	81	
(E) Stabilidade (min)	222	206	225	203	200	190	191	194	186	170	160	156	153	139	146	
(R) Extensão à Extensão (U.E.)	250	290	270	275	310	310	270	280	300	280	320	310	290	345	330	
(RM) Extensão Máxima (U.E.)	410	480	470	400	470	475	415	460	515	400	470	460	350	430	450	
(D) Proporcional (D = R/E)	1,12	1,40	1,20	1,35	1,55	1,63	1,41	1,44	1,61	1,64	2,00	1,98	1,89	2,48	2,26	
Total 2 (cm ²)	114	122	133	107	119	126	101	112	117	85	93	85	71	75	81	

Os valores da resistência à extensão foram aumentando, com a maior incorporação de farinha pré-gelatinizada. A resistência máxima permaneceu aproximadamente constante com o uso de farinha pré-gelatinizada. O número proporcional foi aumentado com o aumento da porcentagem de farinha pré-gelatinizada na farinha de trigo. A adição de farinha pré-gelatinizada acarretou diminuição na área total dos extensigramas.

Comparando o efeito da adição de farinha de milho ou farinha pré-gelatinizada à farinha de trigo, os resultados mostraram poucas diferenças. A figura 14 mostra o efeito separado de ambas farinhas na extensibilidade da massa, notando-se uma queda com a adição de até 25%. Os valores da resistência a extensão foram ligeiramente aumentados com os diferentes níveis de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada. A adição de até 20% de farinha de milho não influenciou na resistência máxima, que sofreu um aumento nas adições posteriores, diminuindo estes valores com o uso de diferentes níveis de farinha pré-gelatinizada. O número proporcional foi aumentado com a adição de até 20% de farinha de milho, apresentando maiores valores com a adição de farinha pré-gelatinizada. A área total do extensigrama foi diminuída com a adição de farinha de milho ou farinha pré-gelatinizada. Indicando um enfraquecimento da rede de gluten.

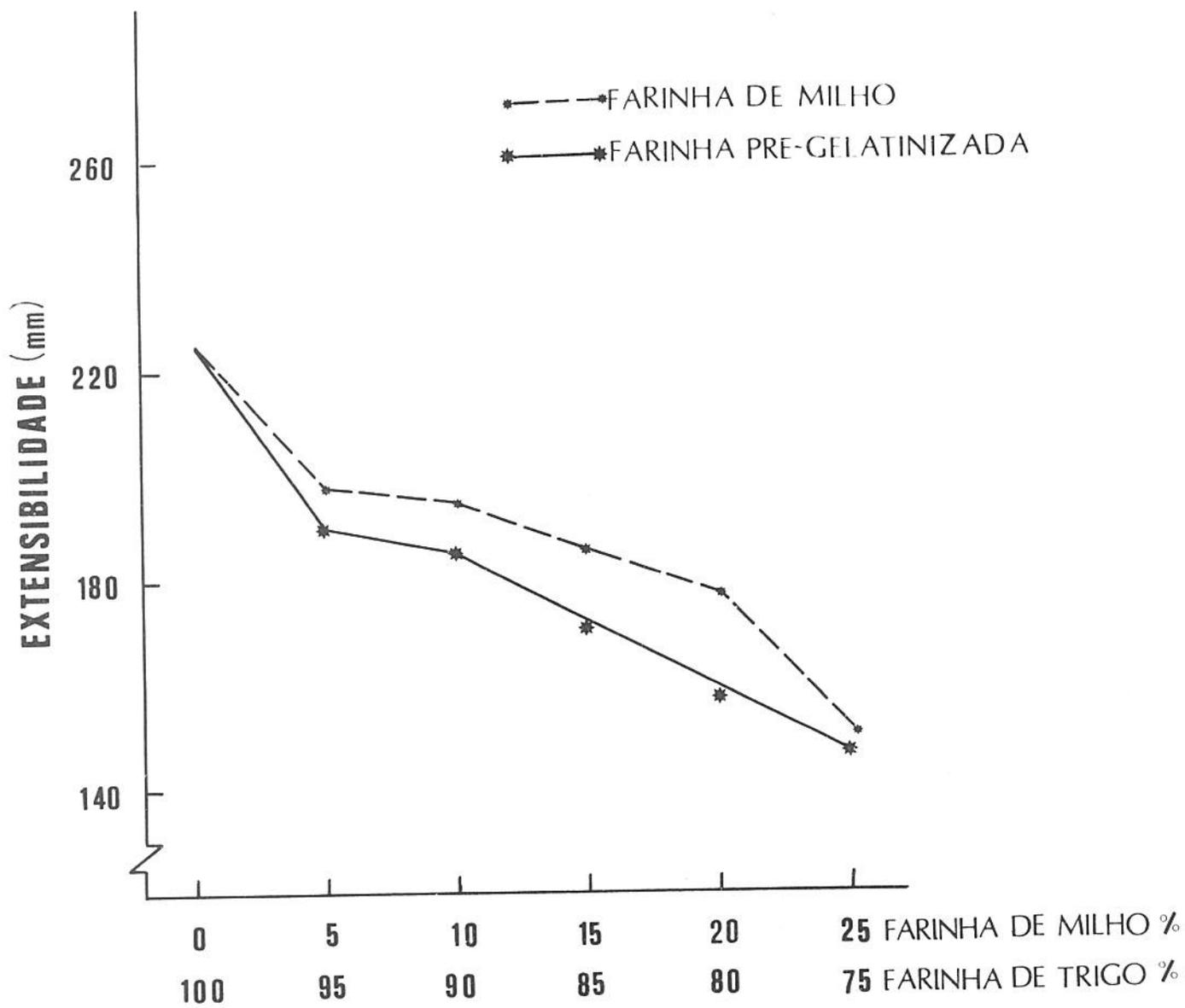


Figura 14 - Efeito da adição de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho na extensibilidade da massa.

d. Características da cor

De acordo com os resultados obtidos e mostrados na tabela XV, o "grits" pré-gelatinizado e a farinha pré-gelatinizada mostraram uma menor absorbância no espectro visível (400-700 nm), que os torna mais amarelos que o "grits" e a farinha de milho.

O diagrama de cromaticidade nos permitiu obter por meio dos valores das coordenadas de cromaticidade (x, y) a tonalidade da cor das amostras, resultados que são mostrados na figura 15. A farinha pré-gelatinizada apresentou uma cor mais amarela que as outras amostras.

A diferença total na cor do "grits" e das farinhas é mostrado na tabela XVI, como pode ser observado as maiores diferenças foram encontradas entre "grits" pré-gelatinizado e farinha pré-gelatinizada, assim como também entre "grits" e farinha de milho.

O "grits" sem gelatinização e o "grits" pré-gelatinizado apresentaram uma diferença de 14,2 enquanto que a menor diferença foi observada entre farinha de milho e farinha pré-gelatinizada.

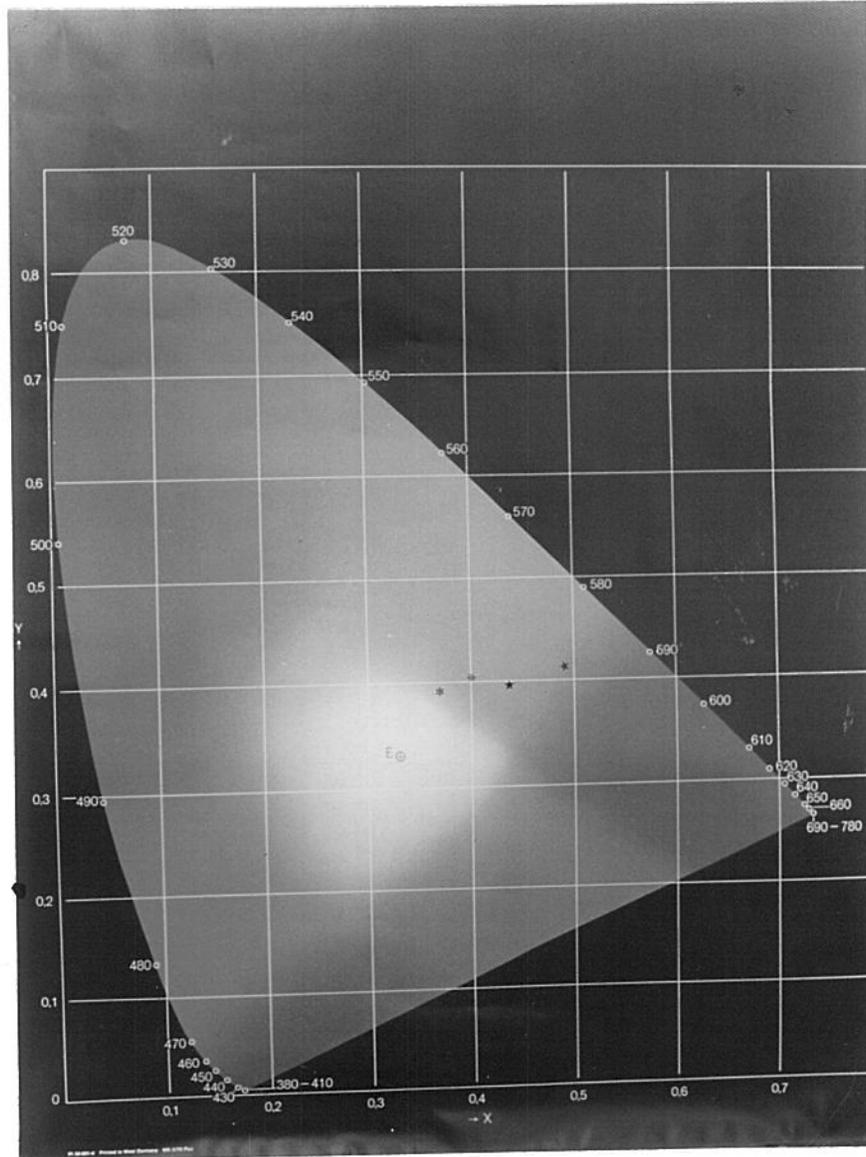
e. Estabilidade durante o armazenamento

Dentre as qualidades tecnológicas de uma farinha, existe a característica de estabilidade durante o armazenamento.

Tabela XV

Características de cor do "grits" e das farinhas.

Característica	Controle (BaSO ₄)	Farinha de milho	Farinha pré- gelatinizada	Grits	Grits pré-gela- tinizada
Absorbância (%)	94,35	80,10	75,47	54,29	42,47
Coordenada (Kx)	0,32	0,384	0,403	0,437	0,491
Coordenada (Ky)	0,33	0,389	0,400	0,397	0,415



vermelho: gelatinizado
preto : sem gelatinizaçãõ
• farinha
* "grits"

Figura 15 - Localização das amostras no diagrama de cromaticidade.

Tabela XVI

Diferença total na cor do "grits" e das farinhas.

Amostras	Diferença total na cor
"Grits" e "grits" pré-gelatini- zado	14,2
"Grits" e farinha de milho	24,8
"Grits" pré-gelatinizado e fari <u>n</u> ha pré-gelatinizada	31,0
Farinha de milho e farinha pré- gelatinizada	7,2

A inativação da peroxidase, o desenvolvimento de ácidos graxos livres e o índice de peróxido são fatores que refletem a estabilidade das farinhas durante o armazenamento. O presente estudo teve como finalidade estudar a estabilidade da farinha de milho e farinha pré-gelatinizada durante armazenamento de 1 ano.

i. Atividade enzimática da peroxidase

A peroxidase é uma enzima que apresenta maior estabilidade a ação de calor que muitas enzimas, sendo assim utilizada como padrão para verificar a inativação de um grande grupo de enzimas em processamento de milho, dependendo esta inativação da quantidade de calor e umidade usados no processo (29).

Os resultados obtidos indicaram a presença da peroxidase na farinha de milho ao início e durante o armazenamento. Entretanto na farinha pré-gelatinizada, as condições do processo foram efetivas na inativação enzimática da peroxidase.

ii. Desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL)

Os ácidos graxos insaturados livres (AGL), na presença de oxigênio, íons metálicos (Cu^{++} , Co^{++} , Mn^{++} , Fe^{++} e Ni^{++}) e elevação de temperatura, são sensíveis a deterioração oxidativa. Uma deterioração semelhante ocorre com os glicérides ainda intactos com ligações insaturadas (32,42,66).

Os resultados do desenvolvimento de ácidos graxos li-

vres em farinha de milho e farinha pré-gelatinizada, são mostrados na tabela XVII. A farinha de milho acumulou 71,4 mg de KOH por 100 g de ácidos graxos livres durante 1 ano, enquanto que a farinha pré-gelatinizada apresentou um valor de 30,6 mg de KOH por 100 g de ácidos graxos livres. Este resultado indicou que a farinha pré-gelatinizada foi mais estável durante o armazenamento que a farinha de milho.

O tratamento hidrotérmico usado na elaboração de farinha pré-gelatinizada provocou um menor desenvolvimento de ácidos graxos livres durante o armazenamento do que na farinha de milho, como pode ser observado na figura 16, apresentando um baixo valor inicial de 4,7 mg KOH/100 g, para um valor final de 30,6 mg KOH/100 g enquanto que a farinha de milho atingiu na 6.^a semana um valor de acidez igual a farinha pré-gelatinizada estocada durante 1 ano.

Os aumentos de ácidos graxos livres tem sido uma indicativa de hidrólise autocatalítica dos lipídeos (23,38) e podem ser expressos na seguinte equação geral:

$$\frac{dAGL}{dt} = k (AGL) (100 - AGL) \quad (i)$$

onde, t = tempo de hidrólise ou tempo de estocagem;

AGL = porcentagem de AGL produzidos;

$(100 - AGL)$ = parte não hidrolisada dos glicerídeos;

k = constante da velocidade da hidrólise.

Tabela XVII

Desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) durante armazenamento de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada.

Tempo de estocagem (semanas)	AGL (mg KOH/100 g)	
	Farinha de milho	Farinha pré-gelatinizada
0	19,8	4,7
2	26,0	5,0
4	27,1	5,2
6	31,8	5,5
8	38,4	5,6
10	43,5	5,8
12	48,0	5,9
14	56,3	6,3
16	57,7	6,4
18	58,1	6,5
20	60,8	6,7
22	62,2	7,3
24	63,9	7,9
26	64,4	8,9
28	65,1	10,2
30	65,5	11,8
32	65,8	13,2
34	66,2	15,6
36	66,8	17,4
38	67,4	19,3
40	67,9	21,8
42	68,7	23,9
44	69,2	25,6
46	70,5	28,2
48	71,4	30,6

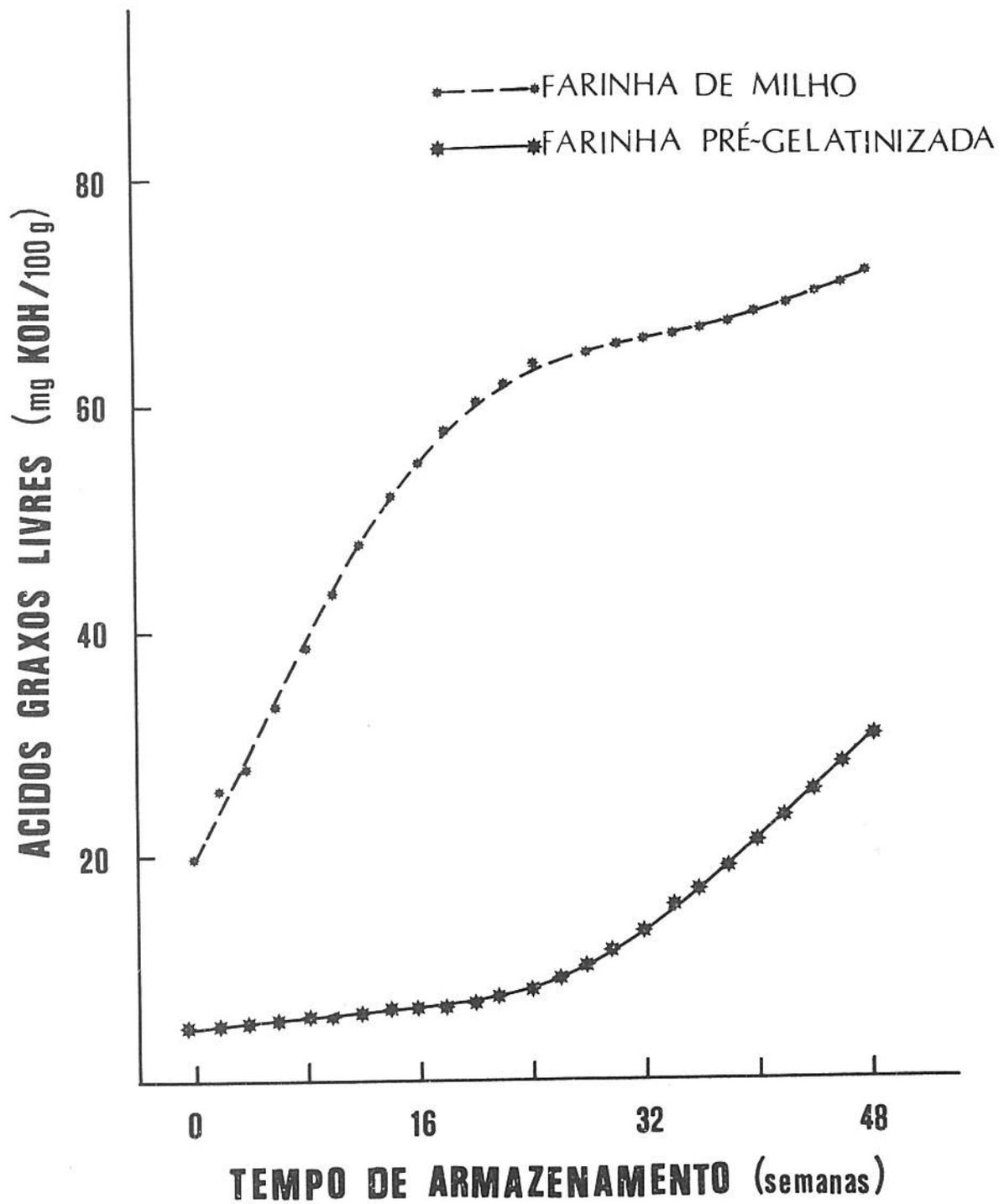


Figura 16 - Desenvolvimento de ácidos graxos livres na farinha pré-gelatinizada e farinha de milho.

A integração desta equação, assim como sua conversão - para logaritmo decimal pode ser expressa da seguinte forma:

$$\text{Log (AGL/100 - AGL)} = 100 \text{ Kt}/2,3 + \text{log (AGLo/100 . AGLo)} \quad (\text{ii})$$

onde, AGLo = porcentagem de AGL original.

Plotando $\text{log (AGL/100 - AGL)}$ contra tempo de estocagem, obtém-se uma linha reta cuja inclinação é igual a $100 \text{ k}/2,3$. Quando os valores de acidez foram usados na mesma equação - (figura 17) obteve-se, igualmente linhas retas desiguais, cujos coeficientes angulares são diretamente proporcionais a constante de velocidade de desenvolvimento de AGL. Pode-se - notar que a farinha pré-gelatinizada teve a produção de AGL numa velocidade bem menor do que a da farinha de milho.

iii. Desenvolvimento de peróxidos

O oxigênio atmosférico oxida as ligações não saturadas dos ácidos graxos, produzindo hidroperóxidos que são conse - quentemente decompostos em várias formas de compostos volá - teis, principalmente aldeídos e cetonas (40).

A quantidade de peróxidos acumulados em farinha de milho e farinha pré-gelatinizada estocadas durante 1 ano são apresentados na tabela XVIII. A farinha pré-gelatinizada a - presentou um valor final de 14,4 mEq/kg durante 1 ano de ar - mazenamento enquanto que a farinha de milho que já apresenta va na 16.^a semana 15,2 mEq/kg. Após 40 semanas esta farinha a

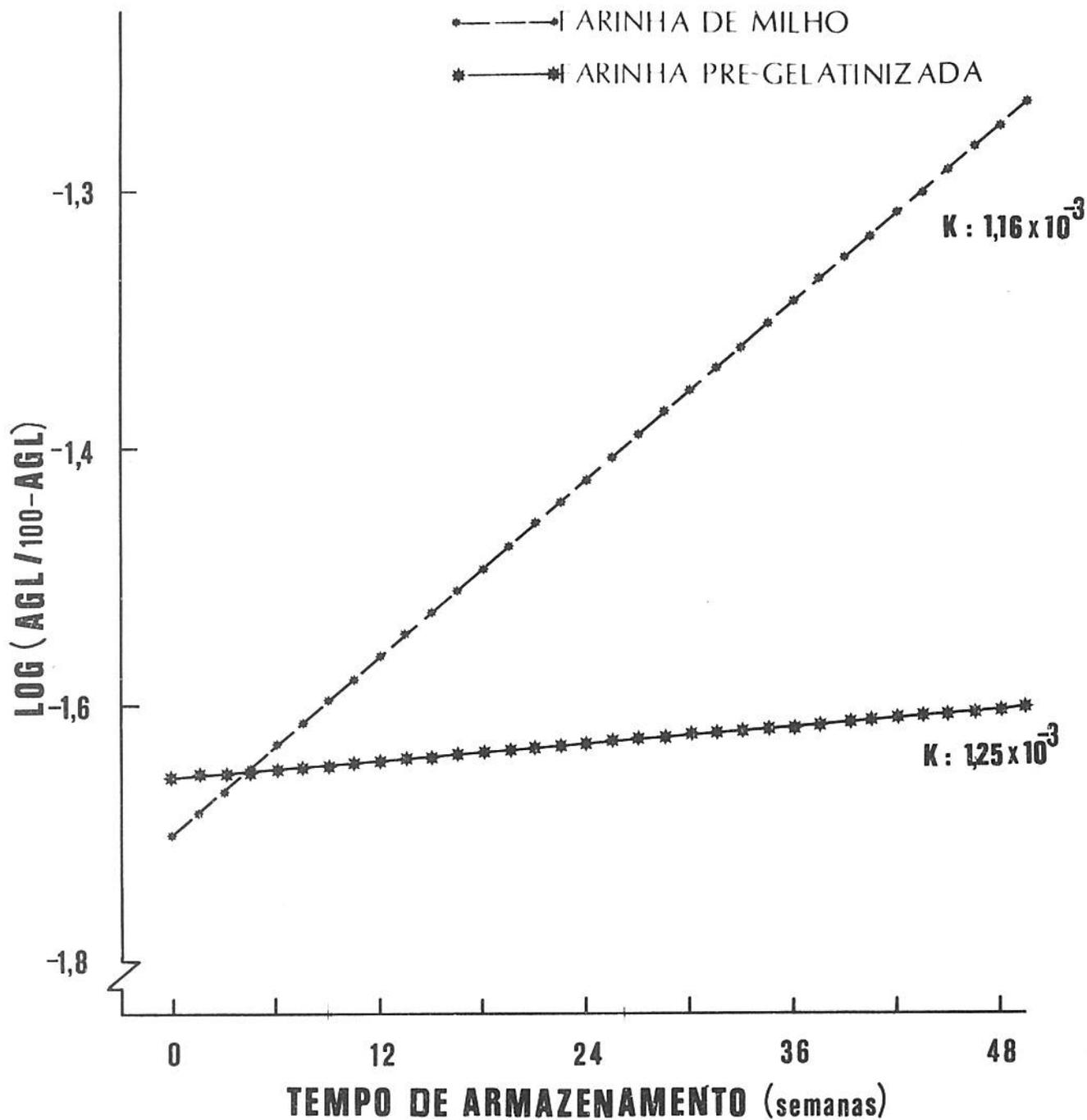


Figura 17 - Velocidade de desenvolvimento de ácidos graxos livres (AGL) durante o armazenamento de farinha pré-gelatinizada e farinha de milho.

Tabela XVIII

Desenvolvimento de peróxidos durante armazenamento de farinha de milho e farinha pré-ge-
latinizada.

Tempo de estocagem (semanas)	Índice de peróxido (mEq/kg)	
	Farinha de milho	Farinha pré-gelatinizada
0	11,8	0,0
2	12,0	0,0
4	12,1	0,0
6	12,2	0,0
8	12,6	0,0
10	13,0	1,0
12	13,4	2,0
14	15,2	3,0
16	16,0	4,0
18	16,9	5,1
20	17,6	6,2
22	18,7	7,0
24	19,6	8,2
26	20,8	9,2
28	21,7	10,0
30	22,9	11,0
32	23,8	11,3
34	24,5	11,6
36	25,6	11,8
38	26,6	12,0
40	28,0	12,4
42	30,2	13,0
44	27,9	13,6
46	26,0	14,4
48		

presentou um valor máximo de 30,8 mEq/kg, seguindo uma queda gradual para 27,0 mEq/kg ao fim de 48 semanas, conforme indicado na figura 18. Esta queda dos hidroperóxidos se deve à evaporação de compostos carbonílicos voláteis, formados durante a reação.

O índice de peróxido à semelhança dos ácidos graxos livres refletem o grau de estabilidade da farinha pré-gelatinizada elaborada pelo processo hidrotérmico.

3. Aplicações tecnológicas

Existe uma grande variedade de alimentos instantâneos que podem ser preparados a partir de farinha pré-gelatinizada de milho pelo processo hidrotérmico.

No presente estudo foram elaborados e avaliados sensorialmente dois desses produtos de preparação rápida e de consumo comum na América Latina: "Tortillas" e polenta.

a. Produção de "tortillas"

As médias obtidas na avaliação sensorial das três amostras de "tortillas" são mostradas na tabela XIX. Os resultados mostraram que as três amostras não apresentaram diferença significativa nos testes de cor, odor e sabor. Na avaliação de textura e amostra T₁ alcançou a menor média diferindo significativamente das outras duas ao nível de 5%. As amostras T₂ e T₃ não diferiram entre si.

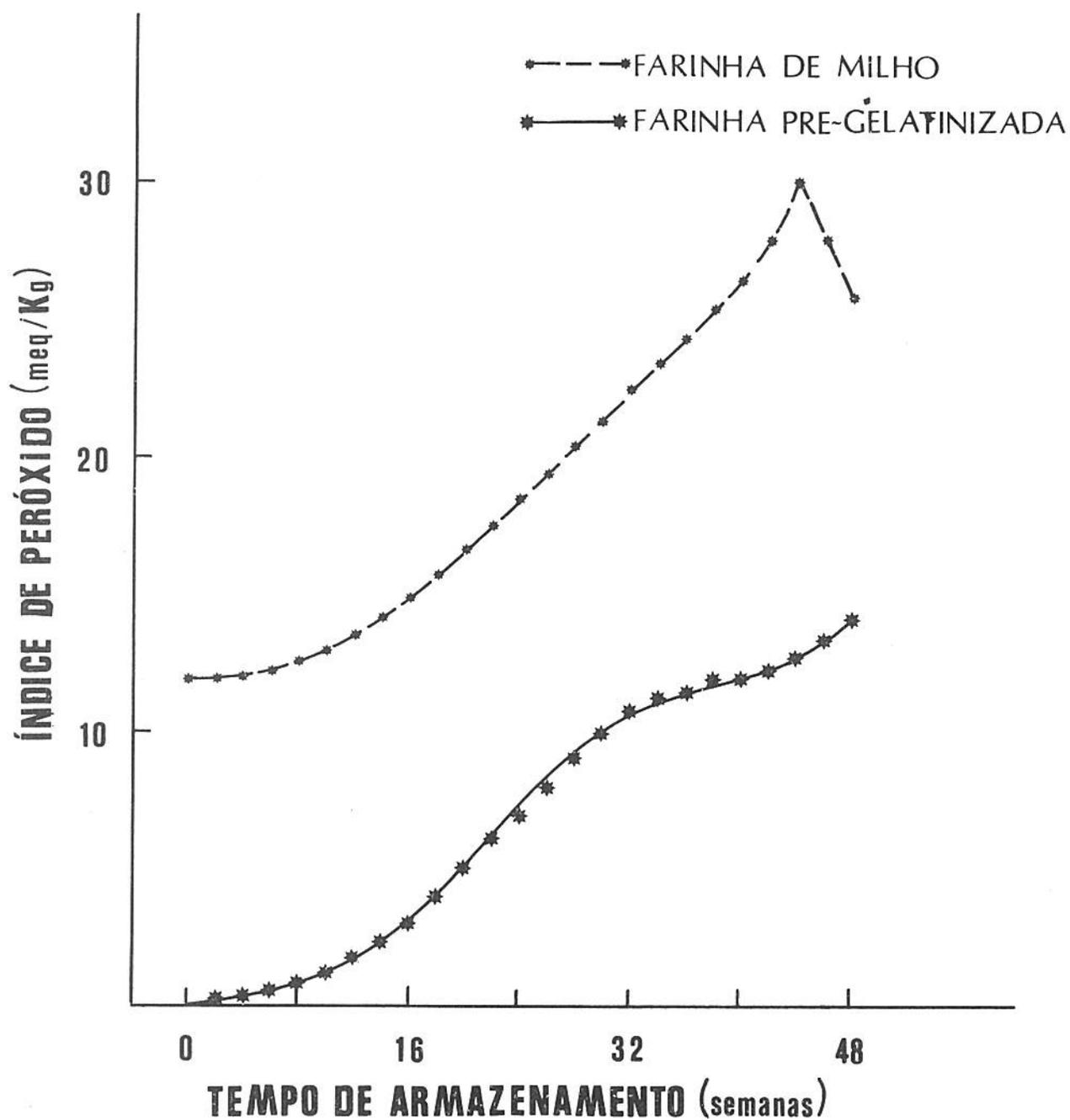


Figura 18 - Desenvolvimento de peróxidos durante armazenamento de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada.

Tabela XIX

Média obtida na avaliação sensorial das "tortillas".

Testes	Amostras de "tortillas"		
	T ₁ ¹	T ₂ ²	T ₃ ³
Cor	5,23	5,36	5,40
Odor	5,62	5,24	5,35
Sabor	4,83	4,75	4,72
Textura	3,74	5,35	5,30

¹T₁ - amostra preparada pelo processo convencional.

²T₂ - amostra preparada com farinha pré-gelatinizada usando 0,15% de Ca(OH)₂.

³T₃ - amostra preparada com farinha pré-gelatinizada usando 0,30% de Ca(OH)₂.

De acordo aos resultados obtidos, as amostras de "tortillas" elaboradas a partir de farinha pré-gelatinizada de milho apresentaram características sensoriais similares a aquelas elaboradas pelo processo convencional. Estes resultados obtidos na avaliação sensorial podem sugerir também a sua aceitabilidade em função da criação do hábito de ingestão das "tortillas" em países não consumidores deste produto. Oferecendo o processo desenvolvido grandes vantagens em relação ao processo convencional, principalmente no fator tempo e gasto de água, como é mostrado na figura 19.

b. Produção de polenta instantânea

Foram realizados dois testes de avaliação sensorial de cor, sabor, odor e textura das amostras de polenta: um considerando aquelas elaboradas a partir de farinha pré-gelatinizada e designadas como P_1 , P_2 , P_3 e P_4 e o outro abrangendo a escolhida no teste anterior, comparada com as amostras comerciais de fubá (P_f) e polentina Quaker (P_Q).

No primeiro teste, os resultados obtidos são mostrados na tabela XX, não havendo diferença significativa entre as amostras para parâmetros estudados, a amostra P_1 (30 seg de mistura) foi escolhida para o segundo teste, que consistiu em comparar esta amostra com as amostras comerciais de polenta e fubá. Os resultados deste teste encontram-se na tabela XXI, onde observou-se que a amostra P_1 alcançou a maior mé -

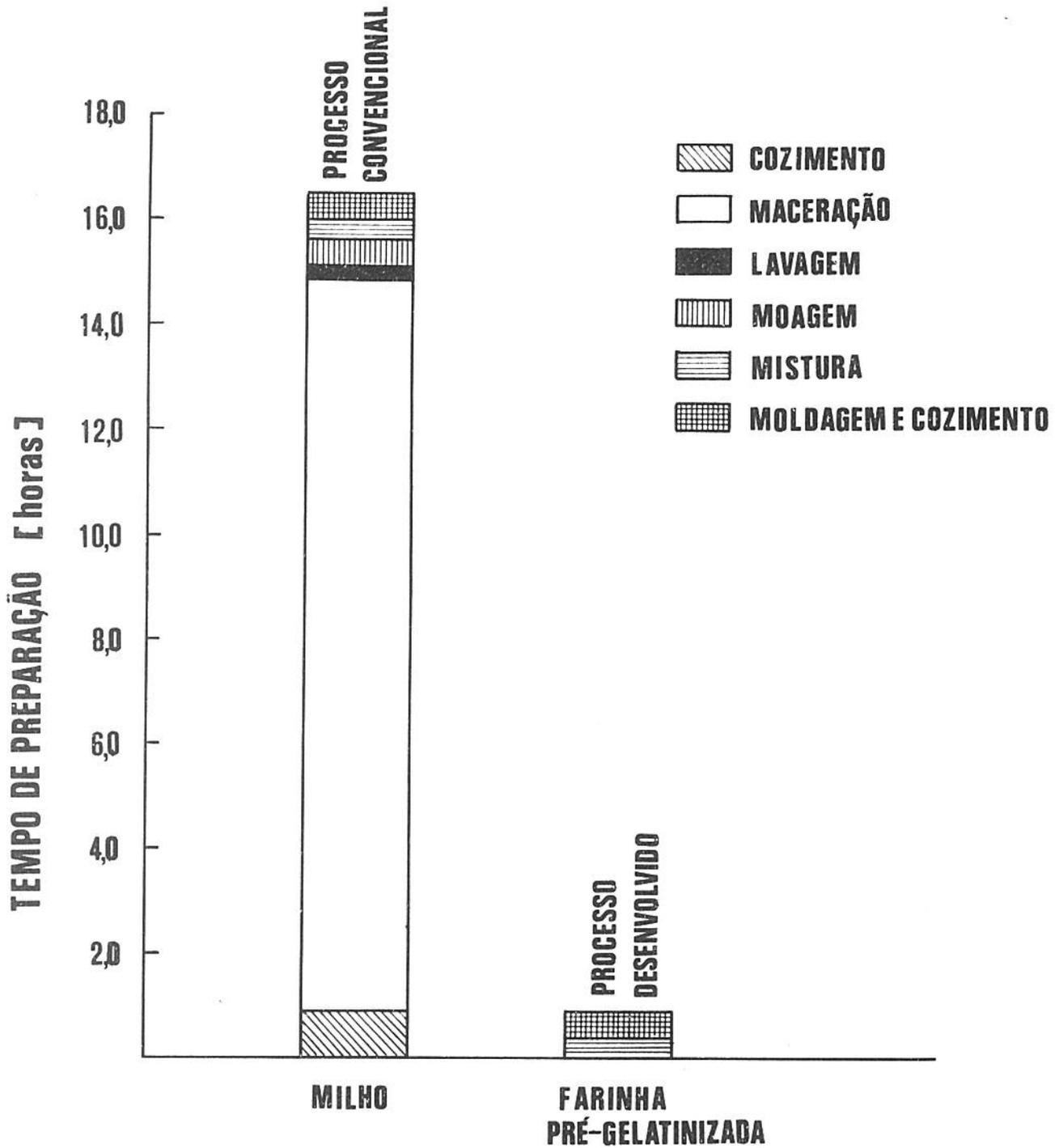


Figura 19 - Comparação entre processos, convencional e desenvolvido, para a elaboração de "tortillas".

Tabela XX

Média obtida na avaliação sensorial das polentas elaboradas com farinha pré-gelatinizada de milho.

Testes	Amostras de polenta			
	P ₁ ¹	P ₂ ²	P ₃ ³	P ₄ ⁴
Cor	7,78	7,77	7,86	7,75
Odor	6,79	6,89	6,99	6,71
Sabor	6,73	6,96	6,86	5,63
Textura	7,09	6,67	6,67	7,06

¹P₁ - amostra preparada com 30 seg de mistura

²P₂ - amostra preparada com 2 min de mistura

³P₃ - amostra preparada com 4 min de mistura

⁴P₄ - amostra preparada com 5 min de mistura

Tabela XXI

Média obtida na avaliação sensorial das polentas comerciais, comparadas com a elaborada a partir de farinha pré-gelatinizada

Testes	Amostras de polenta		
	P ₁ ¹	P _f ²	P _Q ³
Cor	6,76	7,42	6,65
Odor	6,39	6,17	6,24
Sabor	6,24	6,23	5,95
Textura	6,33	5,93	5,02

¹P₁ - amostra preparada com farinha pré-gelatinizada (30 seg de mistura)

²P₂ - amostra preparada com fubá comercial

³P₃ - amostra preparada com Polentina Quaker comercial.

dia nos testes de odor, sabor e textura.

Estes resultados demonstraram que a polenta elaborada - com farinha pré-gelatinizada, apresentou maiores médias nas características sensoriais estudadas do que as polentas comerciais, além de ter reduzido grandemente o tempo de preparação no caso de fubá de 25 min a 30 seg e no caso de Polentina Quaker de 5 min para 30 seg.

V. CONCLUSÕES

Foi verificado que quanto menor o diâmetro médio de partícula e pelo uso de temperaturas de maceração superiores à ambiente, consegue-se um aumento na velocidade de absorção de água do "grits" diminuindo o tempo de maceração, necessário para o processo.

A farinha pré-gelatinizada obtida pela hidratação do "grits" durante 5 horas de maceração à temperatura ambiente e tratamento térmico com vapor durante 1 minuto, apresentou características de gelatinização semelhantes às obtidas com temperaturas de maceração superiores à ambiente, e diferentes tempos de tratamento térmico. O efeito deste processo não afetou a composição da farinha, causando somente ligeiras perdas no conteúdo de aminoácidos, vitaminas e pigmentos totais.

A adição de farinha pré-gelatinizada à farinha de trigo em níveis de até 25%, não afetou as características de temperatura inicial de gelatinização, temperatura de viscosidade máxima, faixa de gelatinização e viscosidade mínima a temperatura constante. Entretanto, a viscosidade máxima no ciclo de aquecimento foi diminuída, e a viscosidade máxima durante o ciclo de resfriamento foi aumentada.

A absorção de água aumentou progressivamente à medida que foi aumentada a porcentagem de farinha pré-gelatinizada

na farinha de trigo.

Nas características de mistura, a adição de farinha pré-gelatinizada à farinha de trigo aumentou ligeiramente o tempo de desenvolvimento da massa, demonstrando pequena influência na energia de mistura, necessária para desenvolver a estrutura da rede de gluten. Entretanto, adições crescentes de farinha pré-gelatinizada na farinha de trigo, melhoraram a qualidade da massa evidenciada pelo aumento dos valores de estabilidade, tempo de saída, índice de tolerância à mistura e as leituras do valorímetro.

A extensibilidade da massa, a resistência máxima e os valores da área da farinha de trigo diminuíram com a incorporação crescente de farinha pré-gelatinizada. Entretanto, a resistências à extensão e o número proporcional foram aumentados à medida que foram substituídas as farinhas de trigo com níveis crescentes da farinha pré-gelatinizada.

As características da cor do "grits" e da farinha, foram melhoradas sensivelmente durante o tratamento hidrotérmico com vapor, tornando-os mais amarelos.

A farinha pré-gelatinizada apresentou uma maior estabilidade durante o armazenamento que a farinha de milho, característica evidenciada pela sua baixa velocidade de desenvolvimento de ácidos graxos livres e índice de peróxido, assim como também a inativação da peroxidase.

As "tortillas" elaboradas a partir de farinha pré-gelatinizada apresentaram características sensoriais semelhantes aquelas elaboradas pelo processo convencional, apresentando o processo usado maiores vantagens principalmente nos fatores tempo e trabalho físico.

Nos testes sensoriais realizados, as polentas preparadas com farinha pré-gelatinizada, demonstraram características sensoriais superiores às aquelas elaboradas com amostras comerciais, reduzindo o tempo de preparo de 25 minutos para 30 segundos no caso de fubá e 5 minutos para 30 segundos no caso de Polentina Quaker.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). Approved Methods of the AACC. 7^a Ed. (1969).
2. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F. and PEPLINSKI, A.J. - Gelatinization of corn grits by roll-cooking, extrusion-cooking and steaming. Die Stärke 22: 130-135 (1970).
3. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. and GRIFFIN, Jr. E.L. - Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Sci. Today 14: 4-7, 11, 12 (1969).
4. ANKER, C.A. and GEDDES, W.F. - Gelatinization studies - upon wheat and other starches with the amylograph. Cereal Chem. 21: 335-360 (1944).
5. ANSTAETT, F.R. and PFOST, H.B. - Effects of temperature, pressure, moisture content and time on starch gelatinization in cooking grain. Transactions of the A.S.A.E. 12: 493-495 (1969).
6. BECHTEL, W.G. - A study of some paste characteristics - of starches with the Corn Industries Viscometer. Cereal Chem. 24: 200-213 (1947).

7. BLESSIN, C.W.; BRECHER, L.D. and DIMLER, R.J. - Carotenoids of corn and sorghum. *Cereal Chem.* 40: 582-589 (1963).
8. BREKKE, O.L. - Corn dry milling industry. Chap. III In: *Corn: Culture, processing, products*. Ed. by Inglett, G.E. The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Conn. (1970).
9. BRESSANI, R. - La importancia del maíz en la nutrición humana en América Latina y otros países. Cap. I en: *Mejoramiento nutricional del maíz*. Ed. por Bressani, R.; Behar, M. y Braham, E. INCAP, Guatemala (1972).
10. BRESSANI, R.; PAZ y P.R. and SCRIMSHAW, N.S. - Corn nutrient losses. Chemical changes in corn during preparation of "tortillas". *J. Agr. Food Chem.* 6: 770 (1958).
11. BRESSANI, R. and SCRIMSHAW, N.S. - Effect of lime treatment on in vitro availability of essential aminoacids and solubility of protein fractions in corn. *J. Agr. Food Chem.* 6: 774-778 (1958).
12. CHAVEZ, J.F. - Calidad nutritiva de la proteína de la harina de arepa y su mejoramiento por medio de la

fortificación en Venezuela. Cap. 3 en: Mejoramiento-nutricional del maíz. Ed. por Bressani, R.; Behar, M. y Braham, E. INCAP, Guatemala (1972).

13. CINQUETTI, M. - Composizione chimica della farina di mais. Cap. 25 L'Endustria del mais. Pinerolo, Italia, Chiriotti Ed. (1972).
14. CINQUETTI, M. - La farina per polenta. Cap. 27 L'Endustria del mais. Ed. Pinerolo, Italia, Chiriotti Ed. (1972).
15. CINQUETTI, M. - La valorizzazione dei prodotti del mais. Cap. 28 L'Endustria del mais. Ed. Pinerolo, Italia, Chiriotti Ed. (1972).
16. COLLISON, R. - Starch retrogradation. Chap. VI, In: Starch and its derivatives. Ed. by Radley, J.A., 1^a Ed. Chapman and Hall Ltd. London (1968).
17. COLLISON, R. - Swelling and gelation of starch. Chap. V, in: Starch and its derivatives. Ed. by Radley, J. A., 1^a Ed. Chapman and Hall Ltd. London (1968).
18. CONWAY, H.F. - Extrusion-cooking of cereals and soybeans. Part I, Food Product Dev. 5(2): 27, 29, 31 (1971).

19. CONWAY, H.F. - Extrusion-cooking of cereals and soybeans. Part. II, Food Product Dev. 5(3): 14, 16, 18, 22 (1971).
20. DEL VALLE, F.R. and PEREZ, V.J. - Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cooking of whole raw corn-soybean mixtures. J. of Food Sci. 39: 244-247 - (1974).
21. DEL VALLE, F.R. - Producción industrial, distribución y mercadeo de la harina para tortillas en México. - Cap. II en: Mejoramiento nutricional del maíz. Ed. - por Bressani, R.; Behar, M. y Braham, E. INCAP, Guatemala (1972).
22. EARLE, F.R.; CURTIS, J.J. and HUBBARD, J.E. - Composition of the components parts of the corn kernel. Cereal Chem. 23: 504-511 (1946).
23. EL-DASH, A.A. - The role of free amino acids and primary amino groups in production of bread aroma stimuli. Ph.D. Thesis. Kansas State University (1969).
24. EMMERIE-ENGEL, In: Methods of vitamin assay. Ed. by The Association of Vitamin Chemists. In cl. Myer Freed, Chairman Method Committee, 381-390 (1966).

25. FAO - El maíz en la alimentación. Estudio sobre su valor nutritivo. FAO. Estudios sobre nutrición. Roma, Italia (1954).
26. FAO - Production Yearbook. Vol. 3 (1976).
27. FREEMAN, J.E. and VERR, W.J. - A rapid procedure for measuring starch paste development and its application to corn and sorghum starches. Cereal Sci. Today 17: 46-53 (1972).
28. FRITZE, H. - Dry gelatinized starch produced on different types of drum dryers. Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop. 12: 142-148 (1973).
29. GARDNER, H.W.; INGLETT, G.E. and ANDERSON, R.A. - Inactivation of peroxidase as a function of corn processing. Cereal Chem. 46: 626-634 (1969).
30. GONZALEZ, S.J.A. - Processo hidrotérmico para a produção de farinha pré-gelatinizada de milho. Tese de Mestrado, FEAA-UNICAMP (1977).
31. HARMANN, D.V. and HARPER, J.M. - Effect of struder geometry on torque and flow. Transactions of the A.S.A. E. 16: 1175-1177 (1973).

32. HARTMAN, L. and LAGO, R.C.A. - The composition of lipids from rice hulls and from the surface of rice caryopsis. *J. Sci. Food Agr.* 27: 939-942 (1976).
33. HENDERSON, S.M. and PERRY, R.L. - Agricultural process engineering. Ed. by John Wiley & Sons Inc., N.Y. - (1955).
34. INGLETT, G.E. - Corn in perspective. Chap. I in: *Corn: Culture, processing products*. Ed. by Inglett, G.E. The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Conn. (1970).
35. INGLETT, G.E. - Food uses of corn around of world. Chap. VIII in: *Corn; Culture, processing products*. Ed. by Inglett, G.E. The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Conn. (1970).
36. INGLETT, G.E. - Kernel structure, composition and quality. Chap. VII in: *Corn: Culture, processing products*. Ed. by Inglett, G.E. The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Conn. (1970).
37. KAKADE, M.L. and LIENER, I.E. - Determination of available lysine in proteins. *Analytical Biochemistry* 27: 273-280 (1969).

38. KIK, M.C. - Nicotinic acid (Niacin) in rice. Rice J. 48: 5, 18-20 (1945).
39. KNIGHT, J.W. - Starch. Chap. I in: The starch industry. Pergamon Press (1969).
40. LABUZA, T.P. - Kinetics of lipid oxidation in foods. CRC Critical Reviews in Food Tech. 3: 355-405 (1971).
41. LEACH, W.H. - Gelatinization of starch. Chap. XII, in: Starch: Chemistry and technology, vol. I. Ed. by Whistler, R.L. and Paschall, E.F., Academic Press, N.Y. (1965).
42. LUIGI, B. and GARIBOLD, F. - Parboiled rice I. Production Rice J. 68: 32-35 (1965).
43. MATTHEUS, R.L.; SHARPE, E.J. and CLARK, W.M. - Some functional properties of processed corn meal as related to use in bread, beverages and porridges. Cereal Sci. Today 15: 208-210 (1970).
44. MEHLENBACKER, V.C. - The analysis of fats and oils. Garrard Press. Champaign, Illinois (1960).
45. MERCIER, C. and FEILLET, P. - Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal pro

- ducts. Cereal Chem. 52: 283-297 (1975).
46. MINISTÉRIO DO INTERIOR - Contribuição ao desenvolvimento da agroindústria. Vol. XIV, Milho. Brasil (1974).
47. MOLINA, M.R.; LETONA, M. and BRESSANI, R. - Drum drying for the improved production of instant tortilla - flour. Journal of Food Sci. 42: 1432-1434 (1977).
48. MOORE, S.; SPACKMAN, D.H. and STEIN, W.H. - Separation of amino acids on sulfonated polystyrene resins (an improved system). An. Chem. 30: 1185-1190 (1958).
49. PRADILLA, A.; HARPSTEAD, D.D. and LINARES, F.A. - Valor nutritivo de la proteína de la harina de arepa de maíz normal y del opaco-2 y su mejoramiento a través de la fortificación en Colômbia. Cap. 3 en: Mejora - miento nutricional del maíz. Ed. por Bressani, R., - Behard, M. y Braham, E. INCAP, Guatemala (1972).
50. PRATT Jr., D.B. - Criteria of flour quality. Chap. V, in: Wheat chemistry and technology. Ed. by Pomeranz, Y. A.A.C.C., St. Paul, Minn. (1971).
51. RIZLEY, M.F. and SUTER, D.A. - Sorghum tortillas: Pro - cess and products attributes. Journal of Food Sci. 6: 1435-1436 (1977).

52. ROBERTS, H.J. - Corn flour: From surplus commodity to premium product. *Cereal Sci. Today* 12: 505-508, 532 (1967).
53. RODRIGUEZ, O.F. - Producción industrial, mercadeo y distribución de harina de masa de maíz para la preparación de arepas en Venezuela. Cap. 3 en: *Mejoramiento nutricional del maíz*. Ed. por Bressani, R.; Behar M. y Braham, E. INCAP, Guatemala (1972).
54. ROSSEN, J.L. and MILLER, R.C. - Food extrusion. *Food Tech.* 27: 46-53 (1973).
55. SAIR, L. - Heat moisture treatment of starch. *Cereal Chem.* 44: 8-26 (1967).
56. SCHOCH, T.J. and ELDER, A.L. - Starches in the food industry. *Advances in Chemistry Series* 12: 21-34 (1955).
57. SENTI, F.R. and SCHAEFER, W.C. - Corn, its importance in food, feed and industrial uses. *Cereal Sci. Today* 17: 352-356 (1972).
58. SHUEY, W.C. - Interpretation of the farinogram. *The Farinograph Handbook*. Ed. by William C. Shuey, AACC.
59. SMITH, J.R. - Viscosity of starch pastes. Chap. 30 in: *Methods in carbohydrate chemistry*. Vol. IV, Ed. by

Whistler, R.L. Academic Press, N.Y. and London(1964).

60. SMITH, O.B. - Factors in conditioning pellet mash proceedings of the 1959. Feed Production School, 40 - (1959).
61. SPIES, J.R. - Determination of tryptophan in proteins. Anal. Chem. 39: 1242 (1967).
62. SULLIVAN, B. - Proteins in flour. Review of physical characteristics of gluten and reactive groups involved in oxidation. J. Agr. Food Chem. 2: 1231-1234 (1954).
63. SULLIVAN, J.W. and JOHNSON, J.A. - Measurement of starch gelatinization by enzyme susceptibility. Cereal Chem. 41: 73-79 (1964).
64. WHITAKER, J.R. - Principles of enzymology for the food sciences. Ed. by Marcel Dekker, N.Y. (1972).
65. WOLF, M.J.; BUZAN, C.L. and MACMASTERS, M.M. - Structure of the mature corn kernel. A gross anatomy and structural relationship. Cereal Chem. 5: 321-333 - (1952).
66. YAMAMOTO, A. and MASASUKE, K. - New applications of amino acids on food industries. Elimination of rancid -

odor in rice by L-lysine-HCl. Chem. Abstr. 73:26713-137183 (1970).

67. YOUNG, N. - La situación de las proteínas convencionales en América Latina. *Tecnologia* 18: 7-31 (1975).

68. ZEISS - Automatisches Farbmessgerät RFC-3. Operating Instructions, West Germany.

POLENTA OU "TORTILLA"

Nome: _____ Data: _____

Você irá receber 4 amostras para provar e deverá dar sua opinião, usando as escalas abaixo para descrever ODOR, SABOR, TEXTURA e COR.

ODOR	Muito	Muito
Nº amostra	desagradável	agradável
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

SABOR	Muito	Muito
Nº amostra	Ruim	Bom
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

TEXTURA	Muito	Muito
Nº amostra	Grosseira	Macia
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

COR	Não	
Nº amostra	Característica	Característica
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____