

27.6

**ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM
NOVO SISTEMA DE TESTAGEM DA
QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA**

Tese de Livre Docência

(H)

AHMED A. EL-DASH, PhD

Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola

Universidade Estadual de Campinas

7403403/pe

1978

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO SISTEMA DE
TESTAGEM DA QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA

Por

AHMED A. EL-DASH

BS, Ain Shams Univ., 1967
MS, Kansas State Univ., 1966
PhD, Kansas State Univ., 1969

Tese apresentada à
Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola
da
Universidade Estadual de Campinas
para obtenção do título de
Livre Docente

Fevereiro de 1978
Campinas, SP, BRASIL

A TODOS OS QUE TRABALHAM

PELA PAZ MUNDIAL E PELO

PROGRESSO HUMANO

ÍNDICE

Página

| | |
|--|----|
| Agradecimentos | |
| Resumo | |
| Abstract | |
| I. Introdução | 1 |
| II. Revisão bibliográfica | 4 |
| A. Testes físicos da massa | 4 |
| B. Teste experimental da panificação | 10 |
| III. Materiais e métodos | 12 |
| A. Materiais | 12 |
| 1. Materia prima | 12 |
| 2. Ingredientes e reativos | 12 |
| 3. Aparelhos e equipamentos | 12 |
| B. Métodos | 18 |
| 1. Tratamentos preliminares | 18 |
| a. Moagem do trigo | 18 |
| b. Moagem da semolina | 18 |
| c. Isolamento do amido do trigo | 18 |
| 2. Análises químicas | 18 |
| 3. Determinação da viscosidade das farinhas | 19 |
| 4. Determinação pelo farinógrafo da energia para mistura da massa | 19 |
| a. Energia ótima de mistura | 20 |
| b. Energia de quebra da mistura | 20 |
| c. Energia total | 20 |
| 5. Determinação do efeito dos vários ingredientes usados no processamento na energia de mistura da massa com absorção de água constante | 21 |
| 6. Determinação das propriedades físicas da massa no Sistema Farinha-Água (SFA) | 22 |

| | | |
|------|--|----------|
| a. | Propriedades de mistura | 22 |
| b. | Propriedades de extensão da massa | 22 |
| 7. | Determinação das propriedades físicas da massa no Sistema Farinha-Água- -Ingredientes (SFAI) | 22 |
| a. | Propriedades de mistura com consistência constante de 500 U.F. | 22 |
| b. | Propriedades de mistura com absorção constante | 24 |
| c. | Propriedades de extensão da massa | 24 |
| 8. | Teste experimental de panificação | 25 |
| a. | Fórmula | 25 |
| b. | Mistura da massa | 25 |
| c. | Pesagem e moldagem da massa | 25 |
| d. | Fermentação da massa | 26 |
| e. | Tratamento térmico da massa | 26 |
| f. | Avaliação da qualidade do pão | 27 |
| IV. | Resultados e discussão | 28 |
| A. | Propriedades físicas da massa em presença dos ingredientes do processamento | 29 |
| 1. | Viscosidade da farinha | 31 |
| a. | Efeito da concentração | 31 |
| i. | Efeito da sacarose | 31 |
| ii. | Efeito do cloreto de sódio | 33 |
| iii. | Efeito coletiva do cloreto de sódio e da enzima α - -amilase no amido do trigo | 37 41 |
| b. | Reação da viscosidade de várias farinhas aos ingredientes. | 45 |
| 2. | Propriedades de mistura da massa | 48 |
| a. | Efeito dos ingredientes sobre a energia de mistura da massa | 49 |

| | | |
|------|---|-----|
| 1. | Efeito da concentração | 49 |
| ii. | Efeito dos agentes oxidantes e redutores | 65 |
| iii. | Efeito coletivo dos ingre- dientes | 72 |
| b. | Efeito dos ingredientes sobre os parâmetros do farinograma | 74 |
| c. | Reação das propriedades de mistura de diversas farinhas aos ingre- dientes | 80 |
| 3. | Propriedades de extensão da massa | 84 |
| a. | Efeito dos ingredientes sobre os parâmetros do extensígrama | 84 |
| b. | Reação das propriedades de extensão da massa aos ingre- dientes | 86 |
| B. | Desenvolvimento do teste experimental padronizado de panificação | 93 |
| 1. | Efeito do tempo de mistura | 93 |
| 2. | Efeito da consistência da massa | 97 |
| 3. | Efeito do tempo de fermentação | 101 |
| 4. | Reprodutibilidade do teste e sensi- bilidade aos vários elementos de qualidade da farinha | 102 |
| a. | Sensibilidade do teste aos ingredientes do processamento | 104 |
| b. | Sensibilidade do teste ao grau do trigo | 106 |
| c. | Sensibilidade do teste ao grau da farinha | 109 |
| V. | Síntese e conclusões | 112 |
| VI. | Bibliografia | 124 |
| VII. | Apêndices | 133 |

| | |
|--|-----|
| Apêndice A - Farinograph method, for flour | 134 |
| Apêndice B - Extensigraph method, general | 140 |
| Apêndice C - Baking quality of wheat bread flour-straight-dough method | 142 |
| Apêndice D - Baking quality of bread flour- -sponge-dough, pound-loaf method | 146 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Efeito dos ingredientes nas características da gelatinização da farinha | 32 |
| II. | Efeito da concentração de sacarose nas características da gelatinização da farinha . . . | 36 |
| III. | Efeito do NaCl nas características de gelatinização da farinha | 39 |
| IV. | Efeito do NaCl nas propriedades de retrogradação da farinha | 40 |
| V. | Efeito da concentração de NaCl nas características da viscosidade do amido puro de trigo e do amido com 0,5% de malte | 43 |
| VI. | Efeito dos ingredientes nas características de viscosidade das várias farinhas | 47 |
| VII. | Reprodutibilidade do procedimento para a determinação da energia da mistura da massa . . . | 51 |
| VIII. | Efeito do cloreto de sódio na energia da mistura da massa | 52 |
| IX. | Efeito dos lipídios na energia da mistura da massa | 54 |
| X. | Efeito da sacarose na energia da mistura da massa | 57 |
| XI. | Efeito do fermento na energia da mistura da massa | 59 |
| XII. | Efeito dos solventes polares e não polares na energia da mistura da massa | 61 |
| XIII. | Efeito do KBrO_3 , do Na_2SO_3 e do ácido ascórbico na energia da mistura da massa | 66 |
| XIV. | Efeito dos ingredientes do processamento nos parâmetros do farinograma sob condições fixas | |

| | | |
|--------|--|----|
| | de consistência da massa (500 U.F.) | 75 |
| XV. | Efeito dos ingredientes do processamento nos parâmetros do farinograma sob condições fixas de absorção de água | 78 |
| XVI. | Reação dos parâmetros do farinograma aos ingredientes do processamento sob condições fixas de consistência da massa (500 U.F.) | 81 |
| XVII. | Reação dos parâmetros do farinograma aos ingredientes do processamento sob condições fixas de absorção de água | 83 |
| XVIII. | Efeito dos ingredientes do processamento registrado nos parâmetros do extensigrama das massas das diversas farinhas após 45 minutos de fermentação. | 85 |
| XIX. | Efeito dos ingredientes do processamento registrado nos parâmetros do extensigrama das massas das diversas farinhas após 90 minutos de fermentação | 87 |
| XX. | Efeito dos ingredientes do processamento registrado nos parâmetros do extensigrama das massas das diversas farinhas após 135 minutos de fermentação. | 88 |
| XXI. | Reação de extensão das massas aos ingredientes após 45 minutos de fermentação. | 89 |
| XXII. | Reação de extensão das massas aos ingredientes após 90 minutos de fermentação. | 90 |
| XXIII. | Reação de extensão das massas aos ingredientes após 135 minutos de fermentação | 91 |
| XXIV. | Reprodutibilidade do procedimento SFAI para a determinação das propriedades de mistura e extensão da massa | 94 |

| | | |
|---------|---|-----|
| XXV. | Efeito da consistência da massa do pão na absorção de água e nas propriedades de extensão da massa | 99 |
| XXVI. | Efeito da consistência da massa do pão na qualidade do pão. | 100 |
| XXVII. | Propriedades do trigo e da farinha de trigo Canadense Ocidental nº 1 e nº 3 | 107 |
| XXVIII. | Comparação dos resultados do teste da qualidade de panificação da farinha de trigo e daqueles relatados pela Comissão Canadense de Grão | 108 |
| XXIX. | Propriedades químicas, físicas e de panificação da semolina e da farinha comum | 110 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Efeito dos ingredientes do processamento ao nível usado no teste experimental de panificação (1x) e numa maior concentração (3,75x) | 34 |
| 2. | Efeito da concentração de sacarose na viscosidade da farinha | 35 |
| 3. | Efeito da concentração de cloreto de sódio nas propriedades de gelatinização e de retrogradação da farinha | 38 |
| 4. | Efeito da concentração de cloreto de sódio isoladamente (A) e em combinação com 0,5% de malte (B) nas propriedades de gelatinização e retrogradação do amido do trigo | 44 |
| 5. | Reação da viscosidade de várias farinhas aos ingredientes do processamento | 46 |
| 6. | Efeito da concentração de cloreto de sódio na energia da mistura da massa | 53 |
| 7. | Efeito da concentração de lipídios na energia da mistura da massa | 55 |
| 8. | Efeito da concentração de sacarose na energia da mistura da massa | 58 |
| 9. | Efeito da concentração de fermento na energia da mistura da massa | 60 |
| 10. | Efeito dos solventes polares e não polares na conformação da proteína | 63 |
| 11. | Efeito do bromato de potássio na energia da mistura da massa | 67 |
| 12. | Efeito do sulfito de sódio na energia da mistura da massa | 68 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 13. | O mecanismo de reação de ácido ascórbico na massa | 71 |
| 14. | Efeito coletivo dos ingredientes do processamento na energia da mistura da massa | 73 |
| 15. | Efeito dos ingredientes do processamento nos parâmetros do farinograma à consistência de 500 U.F. 1) mistura de farinhas nacionais e 2) farinha de semolina | 76 |
| 16. | Efeito dos ingredientes do processamento nos parâmetros do farinograma com absorção fixa: 1) mistura de farinhas nacionais e 2) farinha de semolina | 79 |
| 17. | Efeito do tempo de mistura nas características de extensão da massa | 95 |
| 18. | Testograma típica mostrando o tempo ótimo de mistura. | 98 |
| 19. | Efeito do tempo de fermentação na qualidade do pão. | 103 |
| 20. | Reação do teste aos ingredientes do processamento | 105 |

AGRADECIMENTO

O autor agradece sinceramente à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da UNICAMP e em especial ao Professor Dr. André Tosello pelo apoio e incentivo na execução deste trabalho e pelas facilidades proporcionadas.

Agradece também à professora Celina de Oliveira Camargo pelo auxílio em várias etapas da realização deste trabalho; aos professores Aryon D. Rodrigues e Daniele Grannier Rodrigues, do Departamento de Lingüística, pelo auxílio prestado na correção do idioma português e aos professores Maria Lúcia Soares, Leopold Hartmann e José Sático Oliveira por sua valiosa cooperação. Ficam consignados aqui também o reconhecimento do autor aos técnicos e funcionários da Faculdade que colaboraram neste trabalho.

Reconhecimento especial merecem Linda, Shari e Neale pelo extraordinário apoio, paciência e compreensão durante a execução deste trabalho.

RESUMO

Analisando-se o sistema da American Association of Cereal Chemists de avaliação da qualidade tecnológica de farinha, evidenciou-se que o sistema é de valor limitado tanto para o tecnólogo como para o químico de cereais. O sistema é inconsistente em sua abordagem e deixa de considerar as reações da farinha aos ingredientes do processamento. Seu teste experimental de panificação carece de definição precisa para vários elementos e, além disto, as determinações críticas da consistência da massa e os requisitos da mistura para desenvolver a rede de glúten a seu estado ótimo dependem da opinião pessoal do operador.

O estudo do efeito dos ingredientes do processamento sobre as características físicas da massa e a energia de mistura indicou que as propriedades da rede de glúten não são meramente função dos elementos de qualidade inerentes da farinha, mas também dos ingredientes empregados no processamento da massa. Determinou-se que este efeito era significativo ao nível de confiança de 0,01 para todos os parâmetros do farinograma e do extensigrama, para todas as farinhas avaliadas. Já que se verificou que as propriedades de mistura e extensão de diferentes farinhas reagem diferentemente aos ingredientes, é essencial que estes sejam incorporados quando se testa estas propriedades para qualquer farinha. Por isso, as reações e interações entre os constituintes da farinha e os ingredientes podem e devem ser

consideradas e medidas. Os resultados obtidos durante a padronização do teste experimental de panificação também indicaram que a consistência e os requisitos de mistura necessários para desenvolver a rede de glúten podem ser precisamente definidos e determinados com exatidão.

Desenvolveu-se, então, um novo sistema para avaliação da qualidade tecnológica da farinha. Este sistema é consistente em seus procedimentos básicos; os parâmetros físicos são determinados no mesmo sistema de massa que a qualidade tecnológica global da farinha (teste de panificação). Este sistema também leva em consideração as reações e interações dos constituintes da farinha com os ingredientes do processamento. Todos os parâmetros utilizados no sistema são definidos com precisão em termos objetivos, principalmente os elementos críticos: absorção de água, consistência e requisitos de mistura para desenvolver a rede de glúten até seu ótimo. Além disso, o sistema é reprodutível, sensível aos ingredientes do processamento e independente da opinião pessoal do operador, bem como é capaz de diferenciar trigos e farinhas de diferentes qualidades e graus.

ABSTRACT

From an analysis of the American Association of Cereal Chemists system for testing the technological quality of flour, it was evident that the system is limited in value for both cereal processor and cereal chemist. The system is inconsistent in its approach and overlooks the flour response to the processing ingredients. Its experimental baking test also lacks accurate definition of various elements; moreover, the critical determinations of dough consistency and mixing requirements to develop the gluten network to its optimum are dependent on the personal opinion of the operator.

A study of the effect of processing ingredients on dough physical characteristics and mixing energy intake indicated that the properties of the gluten network are not merely a function of the inherent quality elements of the flour, but also of the ingredients used in dough processing. This effect was found to be significant at the 0.01 level of confidence for all parameters of the farinogram and extensigram of all flours tested. Since the mixing and load-extension properties of different flours were found to respond differently to the processing ingredients, it is essential that they be incorporated in testing these properties for any particular flour. Therefore, the reactions and interreactions between flour constituents and the processing ingredients can be accounted for and measured. The results obtained during

the standardization of the experimental baking test also indicated that dough consistency and the mixing requirements for the development of the gluten network to its optimum state can be precisely defined and accurately determined.

A new system for testing the technological quality of flour was therefore developed. This system is consistent in its basic procedures with the physical dough parameters determined in the same dough system as are the overall technological properties of the flour (baking test); it also takes into consideration the reactions and interreactions of the flour components with the processing ingredients. All parameters used in the system are accurately and precisely defined in objective terms, particularly the critical elements of dough water absorption, dough consistency, and mixing requirements to develop the gluten network to its optimum. Moreover, the system is independent of the personal opinion of the operator, reproducible, and sensitive to the processing ingredients, as well as capable of differentiating flours and wheats of different qualities and grades.

I. INTRODUÇÃO

Por muito tempo a determinação da qualidade da farinha de trigo tem interessado os tecnólogos de cereais e tem provocado a pesquisa dos químicos de cereais; consequentemente, tem sido alcançado significativo progresso nessa área vital. Embora os elementos básicos da qualidade da farinha de trigo se devam primariamente à hereditariedade e às condições ambientais prevalecentes durante o crescimento e o desenvolvimento do trigo, o processamento do trigo e da farinha podem exercer um efeito pronunciado nesses elementos de qualidade. Os efeitos do processamento podem ajudar a desenvolver ao máximo os elementos de qualidade inerentes, mas um processamento não controlado ou incorreto pode ser-lhes extremamente prejudicial. A secagem imprópria do trigo, por exemplo, pode destruir as propriedades funcionais mesmo do trigo de melhor qualidade, e armazenamento sem cuidados pode, em questão de poucos dias, diminuir a qualidade abaixo dos limites de aceitabilidade do consumidor. A moagem incorrêta do trigo não apenas eleva a um nível crítico a quebra do amido, mas pode também prejudicar as propriedades tecnológicas da proteína, tornando-a inadequada para posterior processamento e uso. Já o uso impróprio de aditivos, ou o emprego de aditivos inadequados durante o processamento do pão pode destruir sua qualidade, acarretando substancial perda econômica. Portanto, o controle judicioso

do processamento do trigo e da farinha é essencial para a manutenção de qualidade para o tecnólogo de alimentos e para o consumidor; mas este controle de qualidade deve ser contínuo durante todas as etapas do processamento, para que não ocorra uma série de complicações ao longo de toda a cadeia do processamento, aumentando o custo tanto para a indústria quanto para o consumidor.

O teste da qualidade da farinha avalia, portanto, a qualidade hereditária conjuntamente com os efeitos das etapas prévias da elaboração e prediz, assim, seu desempenho no processamento posterior. Entretanto, devido à complexidade da qualidade da farinha e ao entrelaçamento de numerosos elementos que contribuem coletivamente para a mesma, devem ser usados diversos testes para avaliar sua qualidade tecnológica. O sistema mais usado atualmente utiliza quatro testes específicos: o uso do viscoamilógrafo para determinar a viscosidade da suspensão farinha-água, o uso do farinógrafo para determinar as propriedades de mistura da massa de farinha-água, o uso do extensígrafo para determinar as propriedades de extensão da massa de farinha-água à qual foi adicionado 2% de cloreto de sódio, e o uso de um teste experimental de panificação para determinar a qualidade tecnológica global da farinha em presença dos demais ingredientes do processamento. Este sistema enfatiza as propriedades físicas da farinha independentemente dos ingredientes usados no processamento, apesar do cloreto de sódio ser

incorporado para determinar as propriedades de extensão da farinha. O sistema atualmente usado não é apenas inconsistente, mas deixa de considerar um importante elemento de qualidade: a reação da farinha aos ingredientes do processamento. Isto conduz com frequência a conclusões impróprias, uma vez que a farinha raramente é consumida em seu estado natural, mas quase só na presença de outros ingredientes de processamento, essenciais ao completo desenvolvimento de sua qualidade. Entretanto, em seu estado atual, o teste de panificação, que é considerado a avaliação final da qualidade da farinha, inclui muitos elementos subjetivos que carecem de definição precisa. Além das variações introduzidas pela manipulação da massa com as mãos dos padeiros, a determinação da consistência da mesma e dos requisitos de energia de mistura, necessários para desenvolver a estrutura do glúten ao nível ótimo, depende da experiência e da opinião pessoal do operador. O objetivo do presente estudo foi por isso: 1) desenvolver um sistema de teste de qualidade para a medição das propriedades físicas da farinha de trigo, no qual seja considerada a reação aos ingredientes de processamento e 2) desenvolver um procedimento padronizado de mistura e de fermentação para o teste experimental de panificação, no qual as condições para o desenvolvimento ótimo da estrutura do glúten sejam determinadas e definidas com precisão e objetividade.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Numerosos elementos físicos e químicos se acham associados no complexo meio da farinha, contribuindo para sua qualidade. Por isso a determinação da qualidade tecnológica da farinha requer muito conhecimento e experiência por parte do químico de cereais. É portanto natural que o teste de qualidade da farinha tenha sido e ainda seja um grande desafio para os químicos de cereais.

Foram propostas diversas abordagens para tratar do problema do teste de qualidade da farinha; um dos sistemas melhor conhecidos é o adotado pela American Association of Cereal Chemists (3). Esse sistema tem dois elementos básicos além da análise química da farinha: testagem das propriedades físicas da massa de farinha e testagem da qualidade tecnológica geral da farinha mediante um teste de panificação. Uma análise dos métodos usados para determinação da qualidade da farinha neste sistema foi feita com a finalidade de determinar seu valor e deficiências, assim como as direções para possível desenvolvimento futuro.

A. TESTES FÍSICOS DA MASSA

Em 1962 a American Association of Cereal Chemists (AACC) publicou dois métodos básicos para determinação da qualidade física da massa (3), chamados Método do Farinógrafo nº 54-21 (apêndice A) e Método do Extensígrafo nº 54-10 (apêndice B). Estes procedimentos foram elaborados para a determinação

das propriedades de hidratação e de mistura e das características de extensão de uma massa de farinha, respectivamente. Eles são os métodos mais comumente usados para testar as propriedades físicas da massa, embora seja comum também o uso de várias modificações do Método do Viscoamilógrafo nº 22-10 para a determinação da viscosidade da farinha e do seu conteúdo de α -amilase.

No método do farinógrafo são testadas as propriedades de mistura e de hidratação da farinha, usando-se um sistema de farinha-água (SFA), enquanto que o método do extensígrafo incorpora 2% de NaCl. Esta incorporação de cloreto de sódio é feita mais para tornar a massa menos pegajosa e melhorar suas propriedades de manuseio do que por seu efeito na reologia da massa. O viscoamilógrafo também testa a suspensão farinha-água. A maioria das informações obtidas com esses testes, especialmente as do farinograma, como a porcentagem de absorção de água, o tempo ótimo de mistura, o índice de tolerância à mistura e a extensibilidade da massa, são tidas como aplicáveis na elaboração de produtos derivados da farinha. Na realidade, entretanto, estas informações constituem apenas uma diretriz vaga, e não um conjunto específico, não dando de informações aplicáveis, como é indicado por numerosos artigos e comunicações publicados na área de química de cereais.

Já em 1940, Geddes et al (22) fizeram amplo estudo da relação entre as características do farinograma e a

qualidade dos produtos de panificação do trigo Canadense Ocidental. Eles concluíram que as características do farinograma não eram tão valiosas quanto a quantidade de proteína da farinha como índice de qualidade do pão, apesar de o instrumento dar informações acessórias valiosas sobre propriedades como a absorção e o tempo de mistura. Quatro anos após, Aitken et al. (1) estudaram a relação entre as medidas do farinograma e os graus comerciais dos trigos dos quais as farinhas foram moídas e verificaram que os valores do farinograma não mudarem consistentemente com o decréscimo dos graus. Johnson et al. (27) estudaram o farinógrafo como um meio para avaliação da farinha para usos específicos e apuraram que os farinogramas de farinhas usadas para o mesmo fim apresentaram características de mistura que diferiram amplamente; eles concluíram que os farinogramas servem para ajudar na classificação da farinha apenas quando não forem necessárias distinções finas entre tipos de farinha.

Num estudo das propriedades de panificação de 10 amostras de trigos de primavera e de inverno, Watson et al. (63) concluíram que o farinógrafo foi de pouco valor na previsão da velocidade ótima do misturador (para unidades de produção contínuas) para algumas variedades, e em 1969 Tanaka e Tippler (57) estabeleceram que para algumas farinhas a curva farinográfica pode não ser uma boa indicação dos requisitos de mistura na panificação. Moen (39),

entretanto, mostrou que as diferenças de opinião sobre a consistência apropriada da massa indicada pelo farinógrafo são presumivelmente devidas a diferenças de opinião entre os aplicadores de testes de panificação, porque o julgamento do tempo de mistura influencia a consistência, que por sua vez afeta a absorção, de modo que a absorção apropriada ou absoluta da massa que pode ser correlacionada com a absorção do farinograma é desconhecida.

Quando foi feita uma tentativa de usar o farinógrafo para estudar o consumo de energia na mistura da massa mediante o uso de frações de farinha classificadas por ar, Gracza (23) encontrou uma grande variação nas características de torque máximo do farinógrafo. Após feito o teste de panificação, ele concluiu que a relação entre o torque máximo das curvas de mistura e os requisitos de mistura ótima era de natureza duvidosa. Mais recentemente Muller (41) informou que, embora se saiba muita coisa sobre a reologia da massa e sua relação com a estrutura da massa, a utilidade direta da mesma é muito limitada, quando aplicada à tecnologia da panificação. Tipples (58) relatou que, embora certos testes reológicos possam dar uma indicação da qualidade na produção do pão, seus resultados podem ser enganadores; por isso ele conclui que não há nenhum substituto real para o teste de panificação.

A confusão resultante do uso dos vários testes de propriedades reológicas é provavelmente devida, pelo menos

em parte, ao fato de que a farinha de trigo são raras vezes é consumida em sua forma pura, como é usada nas determinações do farinógrafo, no viscoamilógrafo e, parcialmente, no extensígrafo, mas é quase sempre consumida na forma de mistura complexa com várias substâncias químicas de processamento e outros ingredientes, como o cloreto de sódio, a sacarose, os lipídios, etc. Mas, como foi indicado acima, as informações obtidas do farinograma, do viscoamilograma e do extensigrama são obtidas com uma massa simples de farinha-água (SFA), na suposição implícita de que todas as farinhas respondem aos ingredientes do processamento do mesmo modo e na mesma magnitude, ignorando as variações nas reações e interações entre os vários componentes químicos de farinhas de qualidades diferentes e os dos ingredientes do processamento.

Outros investigadores têm partilhado de semelhante preocupação, relatando que, com as variações nos métodos e fórmulas de processamento e com os efeitos e influências variáveis que os ingredientes podem exercer numa determinada farinha, não é estranho que haja muita confusão e dificuldade entre os químicos de cereais no esforço para interpretar os resultados do farinograma e para correlacioná-los com os resultados da panificação (51). Apesar de o efeito pronunciado dos ingredientes nas características do farinograma, extensigrama e viscoamilograma ter sido amplamente investigado por vários pesquisadores (8,13,17,21,25,28,37,40,42, 54,55,56), nenhum dos resultados obtidos foi até agora

aplicada aos testes de qualidade de farinha. Entretanto, foi mostrado que o efeito do malte, que exerce uma influência definitiva no farinograma, depende da farinha (50), e Smith e Andrews (53) demonstraram que os agentes de maturação têm maior efeito nas farinhas de baixo grau, que contêm grande quantidade de ácidos graxos, do que nas farinhas de alto grau de qualidade.

Shuey (51) também relatou que a magnitude do efeito dos ingredientes do processamento nos farinogramas da farinha podem variar, dependendo da farinha específica. Ele obteve três farinhas com praticamente nenhuma diferença nos valores do farinograma (SFA - todas com tempo de chegada de 1,5 min., tempo de desenvolvimento da massa de 5 min. e estabilidade de aproximadamente 8 min.). Ele então estudou seu comportamento com técnica de massa esponja onde uma esponja foi preparada e deixada fermentar por 4,5 horas antes de ser misturada (60%) com o resto da farinha, a água e os outros ingredientes (40%); ele verificou que os farinogramas das massas resultantes apresentavam tempos de chegada de 4,5; 8 e 7,5 min.; tempos de desenvolvimento da massa de 8; 11,5 e 14 min.; e estabilidades de 8,5; 10,5 e 17 min., respectivamente, para as 3 farinhas. Essas farinhas semelhantes não somente apresentaram reações diferentes à mistura da massa, mas verificou-se que os valores dos parâmetros aumentaram significativamente. Ele concluiu que essa abordagem dá uma imagem mais precisa do comportamento de

mistura da farinha, mas seu procedimento nunca obteve popularidade porque é bastante complicado e exige tempo demais. Além disso, a absorção de água não é determinada objetivamente e a consistência da massa não é controlada. Além dessas complicações, o sistema de massa esponja é um procedimento ultrapassado, que exige tempo em excesso, e que foi amplamente substituído pelo sistema mais rápido de massa direta e pelos vários sistemas de massa desenvolvida mecanicamente como o Chorleywood.

Após ter demonstrado a complexidade do efeito dos ingredientes nas propriedades da massa, Shuey (51) concluiu que o problema da determinação do seu efeito era praticamente insolúvel por causa das numerosas variações usadas na testagem da qualidade da farinha e nas aplicações do processamento. De uma extensa pesquisa da literatura, parece que para esse problema praticamente insolúvel nunca foi encontrada uma solução de caráter científica que fosse viável na prática. Embora o efeito dos ingredientes na farinha tenha sido investigado e as variações das reações das diferentes farinhas venham sendo reconhecidas, não foi desenvolvido nenhum sistema de testagem da qualidade física da massa de farinha que leve em conta o efeito dos ingredientes e da reação da farinha a eles.

B. TESTE EXPERIMENTAL DA PANIFICAÇÃO

Apesar da informação útil fornecida pelos vários testes físicos da massa, a última palavra com respeito aos elementos

de qualidade da farinha ainda continua sendo o teste de panificação. Daí explica-se o fato de se encontrar numa posição da maior importância e consideração. Neste teste todos os elementos de qualidade são unificados e resumidos num único valor. Para todos os fins práticos é o único teste que pode avaliar a combinação de influências de todos os elementos da qualidade da farinha. O teste da panificação vem sendo considerado desde 1925, quando a American Association of Cereal Chemists estabeleceu um teste experimental de panificação e indicou uma comissão especial para desenvolver um teste seguro, padronizado e oficial. A comissão publicou vários relatórios (2).

Em 1936 Blish (7), um dos maiores químicos de cereais americanos, demonstrou que o teste de panificação padronizado adotado pela American Association of Cereal Chemists não estava realizando aquilo a que se propunha: um teste realmente padronizado. Consequentemente, sugeriu o abandono do termo "método padrão" e a substituição deste termo por "método aprovado." Kent-Jones, reconhecida autoridade britânica desta área, também se manifestou no mesmo sentido. Em estudo conjunto realizado por químicos de cereais americanos e britânicos, Kent-Jones e Geddes (33) avaliaram alguns dos procedimentos em uso para testar a qualidade da panificação. Kent-Jones, que examinou os métodos aprovados pela AACC e certos procedimentos suplementares, concluiu que o teste básico não dá uma orientação adequada para distinguir

farinhas do tipo normalmente processadas na Europa e apontou para a necessidade de padronização em outras direções; Geddes, que examinou os procedimentos usados na Inglaterra, observou que a maioria dos procedimentos estudados mal diferenciavam farinhas que deveriam ser diferenciadas. Daí concluiu-se que nem o método britânico de teste de panificação nem o teste de panificação adotado pela AACC eram satisfatórios.

O relatório da Comissão do Teste de Panificação da AACC de 1936 também expressou uma profunda preocupação com as conclusões incorretas a que chegaram frequentemente os químicos de cereais ao testar a qualidade da farinha. Eles atribuíram os resultados contraditórios obtidos ao procedimento usado no teste da qualidade da panificação. As dificuldades encontradas na medição da absorção de água pela massa e do tempo ótimo de mistura e fermentação foram apontadas como os fatores mais prejudiciais para se obter precisão no teste. Entretanto, em 1961, a comissão deu por concluídos seus esforços para resolver os problemas e apresentou métodos para testar a qualidade de panificação da farinha para pão, os quais foram aprovados pela Associação em abril de 1961. Esses métodos foram apresentados como Métodos 10-10 e 10-11 dos Métodos Aprovados da AACC e publicados pela Associação em dezembro de 1962 (3). O teste é dividido em dois métodos: o método de massa direta (apêndice C) e o método de massa-esponja (apêndice D). Além dos métodos

básicos, foram recomendados certos procedimentos suplementares para poder variar a absorção, o tempo de fermentação e o tempo de mistura.

Os métodos da AACC fornecem detalhes precisos sobre mistura da massa, fermentação, sova, moldagem, descanso e tratamento térmico. Entretanto as fases mais críticas do procedimento, isto é, a absorção de água (quantidade de água necessária para dar à massa uma consistência específica) e o tempo de mistura (intensidade de mistura necessária para misturar a massa e desenvolver a estrutura do glúten ao ponto ótimo), são deixadas a critério do operador. Por exemplo, no método de massa direta é dito "agora acrescente água adicional suficiente para dar à massa a desejada consistência padrão após a mistura," mas não é dada nenhuma definição de "consistência padrão", nem o meio de como chegar a tal critério crítico. No método de massa-esponja a absorção de água é definida como "absorção total medida pelo julgamento do operador do teste" e "pode ser desejável em alguns casos assar uma série de massas a diferentes níveis de absorção." Isto não é apenas uma aproximação, mas um procedimento mal definido e que acarreta perda de tempo.

O tempo de desenvolvimento da massa não é melhor definido, tal como é descrito no método de massa direta-- "misture por dois minutos, se for usado o misturador tipo Swanson, ou até obter a consistência padrão", mais uma vez sem definir "consistência padrão." Além disso, fixando-se

o tempo de mistura em dois minutos, quando é usado o misturador tipo Swanson, ignora-se as diferenças dos requisitos de mistura de diferentes farinhas, que constituem um fato bem reconhecido na testagem de farinha. No método de massa-esponja é declarado que "o tempo ótimo de mistura da massa é determinado pelo operador do teste," e "pode ser desejável em alguns casos assar uma série de massas que foram misturadas até diferentes graus de desenvolvimento. Os aumentos do tempo de mistura não devem ser superiores a 2 minutos."

Além de serem deixadas ao julgamento pessoal do operador as duas fases mais críticas do procedimento, este ainda é feito manualmente em muitos pontos: "remova a massa do misturador...arredonde-a na mão com 20 movimentos...", "remova a massa da recipiente de fermentação e feche ligeiramente pelo lado úmido da massa juntando as extremidades secas com o polegar e os dedos."

Após o estudo do teste de panificação padrão da AACC, Kent-Jones e Amos (32) concluíram que o teste não foi particularmente útil e perguntaram se a padronização estava sendo realizada na direção certa. De fato, a maioria dos químicos de cereais tem abandonado agora o procedimento de panificação recomendado pela AACC. Foi feito um levantamento dos procedimentos usados hoje em dia pelos químicos de cereais, mediante o exame dos procedimentos usados pelos autores de artigos científicos na revista mais importante do campo da

ciência dos cereais, Cereal Chemistry, ao longo dos últimos 10 anos, de 1968 a 1977. Verificou-se que muito poucos têm usado o procedimento oficial em seus trabalhos. O exame dos números de um ano (1976), escolhido ao acaso dentro desse período, revelou que em 16,2% dos artigos foram descritos os resultados de algum tipo de teste de panificação (18 dentre 111 artigos publicados), mas em nenhum caso foi usado o método da AACC. Mesmo nos outros testes de panificação utilizados, termos críticos como absorção de água e consistência ficaram indefinidos e subjetivos. Assim, os pesquisadores referem-se a absorção de água da massa como "absorção adequada" ou "como é exigida" (5,19,24,36,43) ou "adicione água para dar à massa a consistência desejada após a mistura" (32). Em muitos casos o valor da absorção é determinado a partir das características do manuseio da massa ou é descrito como "aquela quantidade que produz uma massa macia e flexível" (5,19,31,38,46). Quando se tenta definir conceitos como tempo de mistura da massa ou consistência, esses são fixados para um certo tempo, sem considerar o tipo de farinha ou ingredientes (4,6,12,15,16,26,44,49,61) ou são determinados principalmente pelo tato e pela aparência da massa (tal como "quando ela limpa as paredes do misturador") (15,16,18,19,20,26,31,38,45,46,48). Todas essas variáveis definidas subjetivamente tornam difícil controlar o teste de panificação e, em muitos casos, duplicar seus resultados.

Conclui-se, portanto, que a maioria dos problemas encontrados nos testes de panificação atualmente existentes são as seguintes:

1. Falta de definição científica da consistência da massa na qual o teste é feito.
2. Falta de definição de absorção de água ou da quantidade exata de água a ser usada para dar à massa uma consistência específica.
3. Falta de definição da quantidade e da intensidade de mistura necessária para desenvolver a massa.
4. Dependência da opinião subjetiva e da experiência do operador para determinar os dois fatores críticos que são a absorção de água e os requisitos de mistura.
5. Outros problemas, como a manipulação da massa (variando, assim, o conteúdo de umidade e a temperatura da mistura) e a falta de padronização dos ingredientes usados.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. MATERIAIS

1. Matéria Prima

Foram usadas várias amostras de trigo e de farinhas de qualidades diferentes: uma amostra representativa da produção em 1977 de trigo Canadense Ocidental nº 1 e uma amostra de trigo Canadense Ocidental nº 3 foram obtidas da Comissão Canadense de Grão do Laboratório de Pesquisa de Grão em Winnipeg, Manitoba, Canadá. Uma mistura de amostras de trigo canadense também foi obtida da Sunab do Rio de Janeiro. Uma mistura de amostras de trigo nacional comercial, uma amostra de farinha comum e uma amostra de semolina foram obtidas do Moinho Anhanguera em Campinas, São Paulo. A α -amilase de origem fúngica (produto Takanyl-40.000) foi obtida do Laboratório Miles do Brasil Ltda.

2. Ingredientes e Reativos

A pureza dos reagentes usados para as análises químicas nesse estudo estão de acordo com as especificações exigidas pelos métodos de análises. A amostra de lipídios usada foi o óleo vegetal hidrogenado; o estearoil-lactil-lactato de cálcio (E.L.L.C.) foi obtido comercialmente da Indústria Química de Sínteses e Fermentações do Rio de Janeiro.

3. Aparelhos e Equipamentos

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

- a. Moinho Quadromatic Senior Brabender.
- b. Farinógrafo Brabender com misturador de capacidade de 300 g de farinha.
- c. Viscoamilógrafo Brabender com cartucho de sensibilidade de 700 cmg.
- d. Extensígrafo Brabender.

B. MÉTODOS

1. Tratamentos Preliminares

a. Moagem do trigo. As amostras de trigo foram condicionadas à umidade de 15% por 24 horas antes da sua moagem no Moinho Quadromatic Senior Brabender. A farinha foi coletada de baixo da peneira de 150 μ do sistema de quebra e de baixo das peneiras de 195 e 150 μ do sistema de redução. As farinhas de quebra e redução foram então completamente misturadas.

b. Moagem da semolina. A semolina foi moída usando-se o sistema de quebra do Moinho Quadromatic Senior Brabender. A farinha foi coletada de baixo da peneira de 150 μ .

c. Isolamento do amido do trigo. O amido foi isolado da farinha de trigo usando um dos procedimentos de lavagem com amassamento (14). Em seguida foi secado a 35°C e passado pela peneira de 150 μ .

2. Análises Químicas

Foram usados os métodos aprovados (3) pela American Association of Cereal Chemists (AACC): proteínas, método

nº 46-13, usando o fator $N \times 5,7$; cinza, método nº 08-01; umidade, método nº 44-15A; gordura, método nº 30-26; peso específico, 80-10.

3. Determinação da Viscosidade das Farinhas

A determinação da viscosidade foi feita com o uso do viscoamilógrafo Brabender. Em cada teste foram usadas 80 gramas de farinha ou 50 gramas de amido de trigo na base de 14% de umidade e 450 ml de água destilada (com ou sem ingredientes, dependendo da experiência). A temperatura inicial de 25°C foi aumentada de $1,5^{\circ}\text{C}$ 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 $1,5^{\circ}\text{C}$ por minuto, até a temperatura final de 50°C .

4. Determinação pelo Farinógrafo da Energia para Mistura da Massa

A determinação pelo farinograma da energia para mistura é possível desde que o farinógrafo realmente proporcione uma medição contínua do torque desenvolvido no eixo do motor que movimenta as pás misturadeiras. Entretanto, para minimizar o efeito da elasticidade da massa (a largura da banda do farinograma), o ajuste do amortecedor (damping) que é normalmente de 1000 a 100 Unidades Farinográficas (U.F.) em um segundo teve que ser aumentado para seu efeito máximo, reduzindo portanto a largura da banda a um mínimo.

Uma amostra de farinha de 300 g na base de 14% de umidade foi colocada no misturador e então titulado com água

destilada suficiente para centralizar a curva na linha de 500 U.F. Foram analisados os seguintes parâmetros do farinograma-de-energia resultante:

a. Energia ótima de mistura. Considera-se energia ótima de mistura a energia do início da mistura até o topo da curva tenha alcançado ao ponto de torque máximo, isto é, ao ponto imediatamente antes de qualquer indicação de quebra da massa, indicada pela queda no torque.

b. Energia de quebra da mistura. Considera-se energia de quebra da mistura a energia do ponto de mistura ótima até o ponto em que a parte superior da curva apresenta uma queda de 0,040 kgfm.

c. Energia total. Considera-se energia total a energia desde o início da mistura até que a parte superior da curva apresente uma queda de 0,040 kgfm (após ter sido alcançado seu torque máximo).

A energia em watt hora/kg de massa foi calculada por meio da seguinte equação:

$$E = 2,724 (2\pi rLt) / p$$

onde E = energia em watt h/kg de massa

r = rpm

L = torque medido pelo farinógrafo em kgfm

t = tempo em minutos

p = peso da massa em g

Para se obter o torque é necessário realizar primeiramente a medição da área em cm^2 abaixo da parte da curva

correspondente ao intervalo em questão usando um planímetro. Em seguida divide-se o resultado dessa medição pela área equivalente a torque por minuto (que vem a ser de $17,88 \text{ cm}^2$).

5. Determinação do Efeito dos Vários

Ingredientes Usados no Processamento

na Energia de Mistura da Massa com

Absorção de Água Constante

A absorção de água necessária para centralizar a curva do farinógrafo no desenvolvimento máximo de 500 U.F. foi determinada para a farinha em questão, seguindo o método nº 55-21 da AACC (3), com um ajuste do amortecedor das vibrações para se obter o efeito máximo. Verificou-se que a absorção de água pela farinha usada nesta fase da pesquisa foi de 60,4%. Foi estudado o efeito dos seguintes ingredientes em diferentes concentrações: NaCl, sacarose, lipídios, KBrO_3 , Na_2SO_3 e ácido L-ascórbico.

Uma amostra de 300 g de farinha (na base de 14% de umidade) foi colocada no misturador. A temperatura do misturador e a água da bureta foram mantidas a exatamente 30°C . Os ingredientes em questão (com exceção dos lipídios, que foram adicionados diretamente à farinha após a adição da água) foram dissolvidos numa parte da água destilada da bureta automática. A solução foi então adicionada à farinha juntamente com mais água destilada para completar a absorção de água a 60,4% dentro de 20 segundos a partir do início do gráfico do farinógrafo. As paredes internas do misturador

foram respadas e o misturador coberto; a mistura prosseguiu até ser obtida uma queda de torque de 0,040 kgfm. O farinograma resultante foi analisado para determinar a energia, como foi descrito acima.

6. Determinação das Propriedades Físicas da Massa no Sistema Farinha-Água (SFA)

a. Propriedades de mistura. Esta determinação foi feita segundo o método nº 54-21 da AACC (3), usando 300 g de farinha na base de 14% de umidade. As características do farinograma analisadas foram: absorção de água, tempo de chegada, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, tempo de saída e índice de tolerância da mistura (52).

b. Propriedades de extensão da massa. Estas propriedades foram determinadas segundo o método nº 54-10 da AACC (3), usando 300 g de farinha (base de 14% de umidade) e 2% de NaCl (base de farinha). O tempo de mistura foi de 1 minuto, seguido de 5 minutos de descanso e mais 2 minutos de mistura. As características usadas para a interpretação dos extensigramas foram as seguintes: extensibilidade (E) em mm, resistência à extensão (R) em Unidades Extensigráficas (U.E.), resistência máxima à extensão (R_m) em U.E., número proporcional (R/E) e área total em cm^2 (3,9).

7. Determinação das Propriedades Físicas da Massa no Sistema Farinha-Água-Ingredientes (SFAI)

a. Propriedades de mistura com consistência constante de 500 U.F. Nesse sistema foram usadas 300 g de

farinha (base de 14% de umidade) e os seguintes ingredientes (base de farinha): NaCl, 1,75%; sacarose, 5%; lipídios e fermento biológico, 3% cada; e ácido L-ascórbico, 90 ppm.

A farinha foi colocada no misturador do farinógrafo (30°C). O misturador foi ligado à velocidade de 31,5 rpm durante 30 segundos e, a seguir, à velocidade de 63 rpm por mais 4,5 minutos, para assegurar a homogeneidade da amostra e permitir que a farinha atingisse a temperatura do misturador. A bureta automática foi enchida com água a 30°C; o NaCl e a sacarose foram dissolvidos em parte da água (50 ml) proveniente da bureta, enquanto que o fermento e o ácido L-ascórbico foram suspensos em outra porção da água (50 ml) proveniente da bureta. A solução de sacarose e NaCl foi adicionada no canto do misturador. Em seguida, adicionou-se a suspensão de fermento. Aproximadamente 25 ml de água, remanescente da bureta, foram usados para enxaguar os recipientes que continham o NaCl e sacarose e o fermento, assegurando assim uma adição quantitativa. Adicionou-se então água suficiente para centralizar a curva do farinógrafo na linha de 500 U.F. de consistência. Os lipídios foram adicionados após a adição de todos os ingredientes e da água. Foram dados 30 segundos para a adição de todos os ingredientes, inclusive a água necessária para centralizar a curva na linha de 500 U.F. Quando foram necessários mais de 30 segundos, o teste foi repetido até que a adição de todos os ingredientes se desse dentro do período de 30

segundos e a consistência fosse de exatamente 500 U.F.

Quando a massa começou a se formar, as paredes internas do misturador foram raspadas com espátula, cobrindo-se em seguida o misturador. A massa foi misturada por 15 minutos após ter sido alcançado o tempo de desenvolvimento.

b. Propriedades de mistura com absorção constante.

Em vários experimentos para o estudo do efeito dos ingredientes na consistência da massa, a absorção de água obtida no teste do farinógrafo (usando o SFA) foi adicionada à mesma farinha na presença dos ingredientes do processamento, resultando em massas com diferentes consistências, dependendo das propriedades da farinha usada e de sua interação em presença dos ingredientes. Os farinogramas resultantes foram analisados na mesma maneira descrita para o SFA, mas a linha de consistência passando pelo centro da curva no seu topo foi considerado como linha de referência para a determinação dos vários parâmetros do farinograma.

c. Propriedades de extensão da massa. A massa com os ingredientes foi preparada como se explicou acima com o uso do farinógrafo com consistência constante de 500 U.F. (parágrafo 7-a), sendo entretanto misturada até uma queda de 10 U.F. após ter sido alcançado o desenvolvimento ótimo (exceto quando especificado diferentemente). Imediatamente após a parada do misturador, dois pedaços de massa (150 g) foram cortados e arredondados através de vinte revoluções no boleador do extensígrafo. As bolas de massa foram então

cuidadosamente colocadas (com o lado quebrado voltado para o operador) no modelador e, em seguida, foram postas nas formas especiais para colocação na cabine de fermentação. O teste de extensão foi feito após 45, 90 e 135 minutos de fermentação. Os extensigramas foram analisados do mesmo modo que os do SFA.

8. Teste Experimental de Panificação

a. Fórmula. A massa do pão foi preparada usando a seguinte fórmula geral (a qual verificou-se ser a mais amplamente utilizada pelos químicos de cereais), integralmente e com diferentes variações:

| | % |
|----------------------------|--------|
| Farinha (14% b.u.) | 100 |
| Cloreto de sódio | 1,75 |
| Sacarose | 5 |
| Fermento fresco comprimido | 3 |
| Lipídios | 3 |
| Ácido L-ascórbico | 90 ppm |

b. Mistura da massa. A farinha (300 g com 14% b.u.) foi colocada no misturador do farinógrafo (30°C). O misturador foi ligado na velocidade menor (31,5 rpm) por 30 segundos e, a seguir, na velocidade mais rápida (63 rpm) por 4,5 min. Os ingredientes foram então adicionados à farinha no modo descrito acima (parágrafo 7-a). A quantidade de água para centralizar a curva do farinógrafo na linha de consistência variou com o experimento a fim de se controlar

a consistência da massa (de 400 a 600 U.F., dependendo do experimento).

Para avaliar o efeito do tempo de mistura sobre as propriedades da massa do pão e na qualidade do pão, foram misturados até a consistência de 500 U.F. três amostras de massa contendo todos os ingredientes. A primeira massa foi misturada somente até o tempo de chegada, quando a parte superior do farinograma alcançou a linha das 500 U.F. A segunda massa foi misturada até ser evidente uma queda de 10 U.F. na consistência após o desenvolvimento máximo da massa (tempo ótimo de mistura). A terceira massa foi então misturada até o tempo de quebra, isto é, até que o centro da curva do farinograma estivesse centralizado a 470 U.F.

c. Pesagem e moldagem da massa. Imediatamente após a parada do misturador, dois pedaços de massa (150 g) foram destacados e pesados; a seguir foram arredondados e moldados em pedaços cilíndricos para teste, nas unidades boleadora e moldadora do extensígrafo. Esses pedaços foram colocados em formas engraxadas feitas de estanho 2xx: parte superior com 14 x 6,8 cm; fundo com 13 x 5,5 cm; altura de 4,2 cm.

d. Fermentação da massa. As duas formas de panificação contendo as massas foram colocadas para fermentar em uma das câmaras do extensígrafo acima de uma forma chata de 21 x 11 x 1 cm, a qual foi enchida com 25 ml de água destilada para manter a umidade da câmara. O tempo de fermentação (tempo desde o fim da moldagem da massa até a

massa ser colocada no forno, em minutos) foi variado (de 60 a 120 minutos) de acordo com o experimento.

e. Tratamento térmico da massa. Após o tempo de fermentação exigido, o pão foi cuidadosamente transferido para o forno e tratado termicamente por 20 minutos a 220°C.

f. Avaliação da qualidade do pão. O volume do pão produzido foi determinado pelo deslocamento de sementes no aparelho medidor de volume, no espaço de 1 hora. O volume específico foi calculado e este valor foi multiplicado por 3,33 de modo a resultar no máximo de 20 pontos para o pão com um volume específico de 6, o que é considerado ótimo. A cor da crosta (10 pontos), quebra e pestana (5 pontos) e simetria (5 pontos) foram também consideradas como características externas do pão (total máximo de 40 pontos). As características internas (35 pontos) incluíram as características internas da crosta (5 pontos), a cor do miolo (10 pontos) e a granulidade e textura do miolo (10 pontos cada). O aroma (10 pontos) e o gosto (15 pontos) foram também incluídos para se obter o número de pontos máximo de qualidade de 100 pontos.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um novo sistema para testar a qualidade da farinha parece ser indispensável. Tal sistema deve apresentar uma nova abordagem para testagem das propriedades físicas da massa e também um procedimento padronizado de mistura e de fermentação para o teste experimental de panificação. Os testes físicos da massa devem levar em consideração as reações e interações dos componentes da farinha com os ingredientes do processamento e devem ser consistentes em seus procedimentos básicos. Os procedimentos padronizados de mistura e de fermentação para o teste experimental de panificação não devem ser apenas precisos e reprodutíveis, mas também independentes da opinião pessoal do operador; todos os parâmetros do teste devem ser bem padronizados e definidos em termos objetivos. O teste deve ser capaz de definir com precisão os requisitos da mistura ótima para desenvolver a estrutura de glúten até sua potencialidade máxima e deve poder definir com exatidão a absorção de água da massa e a consistência nas quais se realizou o teste; deve também mecanizar o maior número possível de etapas. Finalmente, o procedimento deve ser suficientemente sensível para detectar as variações na absorção de água e nos requisitos de mistura de várias farinhas e misturas de farinhas em questão.

Assim, o presente estudo empreendeu a tarefa de desenvolver um sistema padronizado para testar a qualidade

da farinha, no qual se leve em consideração o efeito dos ingredientes, assim como um procedimento padronizado de mistura e de fermentação para o teste experimental de panificação.

A. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MASSA EM PRESENÇA DOS INGREDIENTES DO PROCESSAMENTO

Para se desenvolver um sistema para testar a qualidade da farinha, no qual se leve em consideração o efeito dos vários ingredientes do processamento, foi estudado individualmente e em conjunto o efeito desses ingredientes sobre os seguintes parâmetros de qualidade: viscosidade da farinha, energia gasta na mistura e propriedades de mistura e de extensão da massa.

De acordo com os métodos aprovados pela AACC (3), a viscosidade é determinada pelo viscoamilógrafo (Método nº 22-10) e expressa em termos de Unidades Brabender, enquanto que a consistência da massa é determinada pelo farinógrafo (Método nº 54-21) e também expressa em Unidades Brabender; a resistência à extensão é medida pelo extensígrafo (Método nº 54-10) e também expressa em termos de Unidades Brabender. A expressão de todas essas propriedades em termos da mesma unidade básica implica, entretanto, que elas têm o mesmo significado e que são iguais em magnitude, quando de fato são bem diferentes. A viscosidade, por exemplo, é manifestada pela resistência a fluir de um fluido. A viscosidade

absoluta ou dinâmica do fluido (η) é definida como a relação entre tração e o grau de deformação, e a unidade de viscosidade dinâmica é expressa em unidades "poise" ou em dina-segundos por centímetro quadrado ou gramas por centímetro-segundo. A consistência da massa obtida pelo farinógrafo é medida mediante determinação do torque em kgfm, enquanto que a força necessária para esticar a massa pode ser expressa como $f = ma$, onde f é a força que atua sobre a massa e a é sua aceleração. Se a unidade de massa é a grama, essa força é expressa em centímetro-gramas por segundo ao quadrado.

Como o termo Unidade Brabender não tem por si só um significado específico, seu uso causa confusão mesmo que o nome do aparelho usado ou as propriedades a serem medidas sejam especificados (a consistência, a viscosidade ou a resistência à extensão). Concluiu-se portanto que o uso do termo Unidade Brabender é inexacto e conseqüentemente foi evitado nesse estudo. Reconhecendo-se as dificuldades em estabelecer um valor absoluto para cada uma dessas propriedades, o termo Unidade Brabender foi substituído pelos seguintes termos: a viscosidade obtida pelo amilógrafo é expressa em termos de Unidades Amilográficas (U.A.) enquanto que as medidas de consistência da massa obtidas pelo farinógrafo são expressas em termos de Unidades Farinográficas (U.F.) e a resistência à extensão é medida em termos de Unidades Extensigráficas (U.E.). Deste modo a diferença entre

viscosidade, consistência e resistência à extensão é identificável.

1. Viscosidade da Farinha

O efeito dos ingredientes do processamento na viscosidade da farinha foi estudado, assim como as reações de várias farinhas.

a. Efeito da concentração. O efeito dos ingredientes do processamento na gelatinização da farinha está apresentado na Tabela I. Apenas o NaCl mostrou efeito sobre a temperatura inicial de gelatinização e sobre a temperatura de viscosidade máxima, o que indica que ele é o único ingrediente testado que tem efeito direto sobre a associação das moléculas de amilose e amilopectina no grânulo de amido. O efeito parece ser de fortalecimento das forças de ligação do hidrogênio entre as moléculas de amido, o que acarreta um aumento da energia necessária para dissociar essas forças de ligação. A sacarose aumentou ligeiramente a viscosidade máxima e também aumentou a viscosidade no resfriamento, apesar do NaCl ter acarretado um aumento mais pronunciado (32% e 43% no ciclo de aquecimento e no ciclo de resfriamento, respectivamente). Os lipídios não mostraram efeito algum na viscosidade, nem no aquecimento e nem no resfriamento. O único efeito apresentado pelo fermento foi de abaixar a viscosidade a 50°C no ciclo de resfriamento, indicando um efeito de retardamento da retrogradação da farinha. A presença do fermento, entretanto, causou a

Tabela I

Efeito dos ingredientes nas características da
gelatinização da farinha

| | Temperatura inicial de gelatinização | Temperatura de viscosidade máxima | Viscosidade máxima | Viscosidade no ciclo de resfriamento ¹ |
|---------------------------------------|--|--|-----------------------|---|
| °C | °C | °C | U.A. | U.A. |
| Reação ² | Reação | Reação | Reação | Reação |
| % | % | % | % | % |
| Farinha (controle) | 59,5 | 79,0 | 280 | 160 |
| Farinha + Fermento (3%) | 59,5 | 79,0 | 270 | 90 |
| Farinha + Lípidios (3%) | 59,5 | 79,0 | 270 | 160 |
| Farinha + Sacarose (5%) | 59,5 | 79,0 | 310 | 200 |
| Farinha + NaCl (1,75%) | 62,5 | 86,5 | 370 | 230 |
| Farinha + Todos os ingredientes | 62,5 | 86,5 | 390 | 260 |
| | + 5,0 | + 9,5 | +10,7 | +25,0 |
| | + 5,0 | + 9,5 | +32,1 | +43,7 |
| | + 5,0 | + 9,5 | +39,3 | +62,5 |

¹ Temperatura = 50°C

² % Reação = $\frac{\text{tratamento} - \text{controle}}{\text{controle}} \times 100$

ebulição e transbordamento da suspensão água-farinha durante a determinação da viscosidade. A adição de todos os ingredientes aumentou a temperatura de gelatinização e a viscosidade, assim como o grau de retrogradação.

Como mostra a Figura 1, um aumento na concentração dos ingredientes (para 3,75 vezes a concentração usada no teste de panificação) aumentou significativamente a viscosidade máxima e a viscosidade no ciclo de resfriamento (257% e 243%, respectivamente); a temperatura de gelatinização não foi afetada pelo aumento da concentração dos ingredientes. Visto que o cloreto de sódio e a sacarose foram os ingredientes do processamento que mais influenciaram a viscosidade da farinha, eles foram estudados separadamente de modo mais detalhado.

i. Efeito da sacarose. O efeito da sacarose sobre a viscosidade da farinha é mostrado na Figura 2. Até a concentração de 20% de sacarose não foi notado praticamente nenhum efeito na temperatura inicial de gelatinização, nem na temperatura de viscosidade máxima (Tabela II), o que reforça a conclusão de que a sacarose não interfere nas forças de ligação estrutural na molécula de amido. O pequeno aumento na viscosidade máxima e o aumento no grau de retrogradação são provavelmente devidos à hidratação competitiva entre as moléculas da sacarose e de amido. A adsorção de água pela sacarose deixa menos água livre (disponível), aumentando assim a relação do amido para com a água livre, resultando em maior viscosidade.

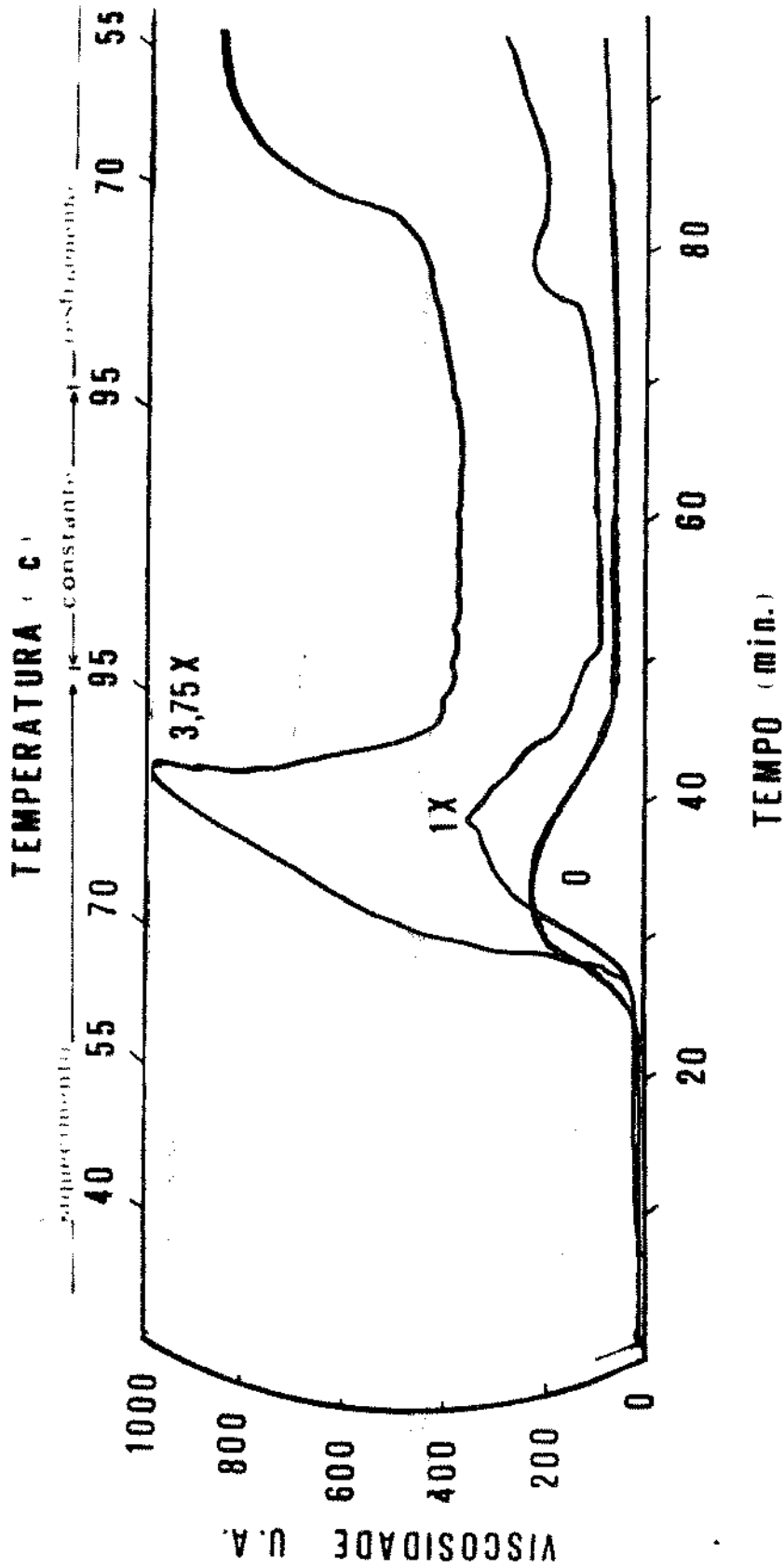


Figura 1. Efeito dos ingredientes do processamento ao nível usado no teste experimental de panificação (1 x) e numa maior concentração (3,75 x)

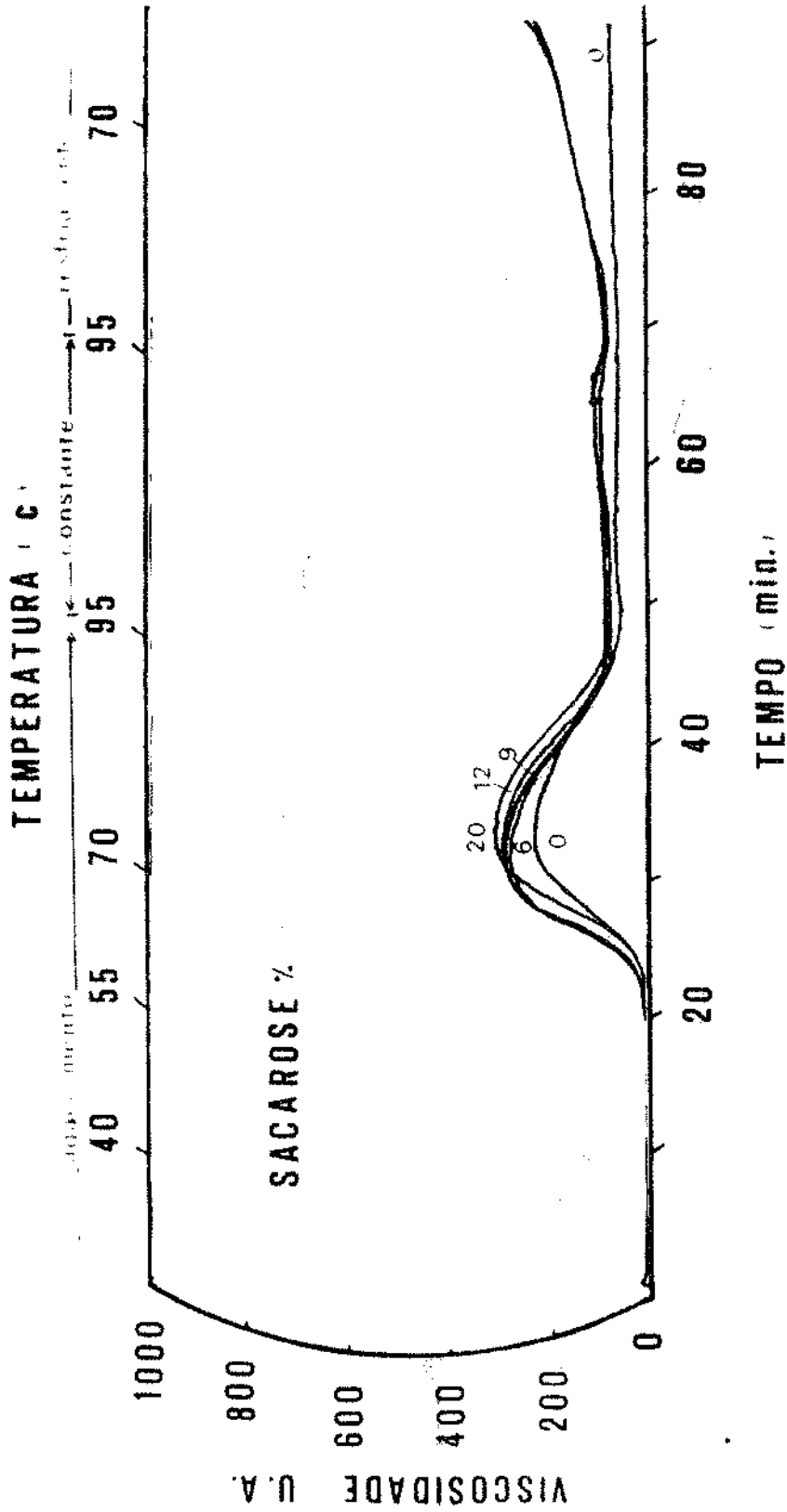


Figura 2. Efeito da concentração de sacarose na viscosidade da farinha

Tabela II

Efeito' da concentração de sacarose nas características da gelatinização da farinha

| Sacarose % | Temperatura inicial de gelatinização (°C) | Temperatura de viscosidade máxima (°C) | Viscosidade máxima (U.A.) | Viscosidade mínima a temperatura constante (°C) | Viscosidade no ciclo de resfriamento (U.A.) |
|------------|---|--|---------------------------|---|---|
| 0 | 59,5 | 79,0 | 235 | 60 | 65 |
| 6 | 58,5 | 78,5 | 280 | 80 | 240 |
| 9 | 58,5 | 78,5 | 290 | 80 | 240 |
| 12 | 58,5 | 78,5 | 290 | 80 | 240 |
| 20 | 59,5 | 79,0 | 310 | 85 | 260 |

ii. Efeito do cloreto de sódio. A farinha usada neste estudo continha uma quantidade relativamente alta de α -amilase como evidencia sua baixa viscosidade máxima (200 U.A.). A adição de NaCl em quantidades gradualmente maiores causou mudança pronunciada nos parâmetros do amilograma, como se vê na Figura 3. O efeito do NaCl, em concentrações de até 15%, sobre as características de gelatinização é apresentado na Tabela III; a temperatura inicial de gelatinização e a temperatura de viscosidade máxima aumentaram já com a adição de 1% de NaCl, e a adição de maiores concentrações resultou num aumento proporcional até 6% e 9%, respectivamente.

Foi notada forte correlação positiva entre a concentração de NaCl e a viscosidade máxima, assim como entre a mesma e a viscosidade mínima a temperatura constante (coeficiente de correlação +0,989 e +0,995, respectivamente). A relação entre a viscosidade máxima e a concentração de NaCl mostrou uma inclinação de 66,73 com intercepção de 214,24 U.A., enquanto que a viscosidade mínima a temperatura constante teve uma inclinação de 33,74 e uma intercepção de 41,09.

O NaCl mostrou também um efeito similar sobre as propriedades de retrogradação, como se mostra na Tabela IV. Um pico de retrogradação foi encontrado à temperatura de 72 - 77°C, mas ele desapareceu com o prosseguimento da mistura. Verificou-se que a viscosidade do pico de

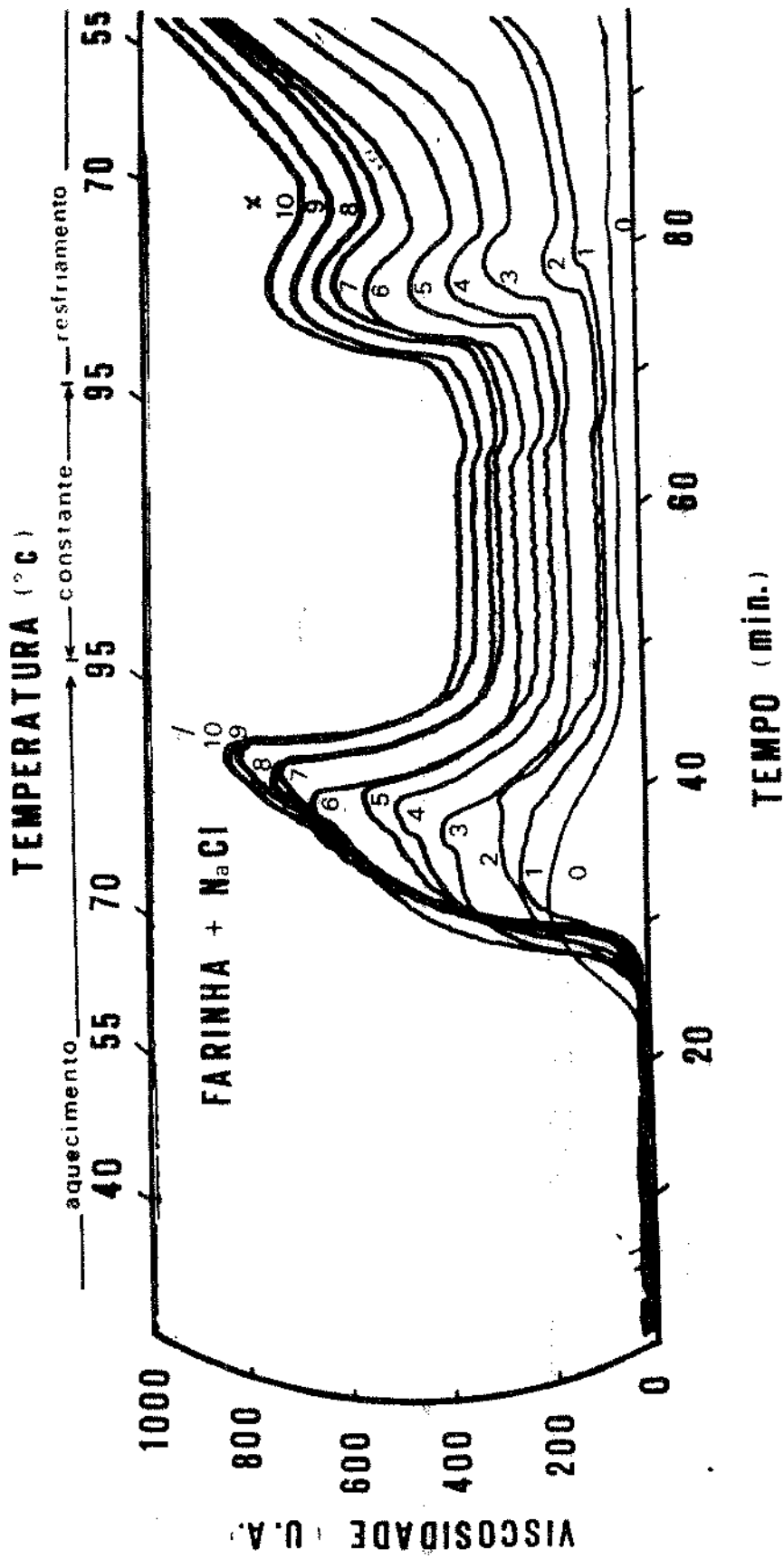


Figura 3. Efeito da concentração de cloreto de sódio nas propriedades de gelatinização e de retrogradação da farinha

Tabela III

Efeito do NaCl nas características da gelatinização
da farinha

| NaCl % | Temperatura inicial de gelatinização (°C) | Temperatura de viscosidade máxima (°C) | Viscosidade máxima (U.A.) | Viscosidade mínima a temperatura constante (U.A.) |
|--------|--|--|---------------------------------|---|
| 0 | 59,5 | 79,0 | 200 | 40 |
| 1 | 62,5 | 82,0 | 260 | 70 |
| 2 | 64,0 | 86,5 | 300 | 90 |
| 3 | 65,0 | 86,5 | 415 | 145 |
| 4 | 65,0 | 89,5 | 510 | 180 |
| 5 | 66,0 | 89,5 | 570 | 220 |
| 6 | 67,0 | 89,5 | 670 | 260 |
| 7 | 67,0 | 91,0 | 730 | 290 |
| 8 | 67,0 | 91,0 | 750 | 310 |
| 9 | 67,0 | 92,5 | 820 | 340 |
| 10 | 67,0 | 92,5 | 850 | 375 |
| 11 | 67,0 | 92,5 | 900 | 400 |
| 12 | 67,0 | 92,5 | 1000 | 440 |
| 15 | 67,0 | 92,5 | 1000 | 520 |

Tabela IV

Efeito do NaCl nas propriedades de retrogradação
da farinha

| NaCl % | Temperatura do pico de retrogradação (°C) | Viscosidade do pico de retrogradação (U.A.) | Viscosidade a 50°C (U.A.) | Grau de retrogradação ¹ (U.A./segundo) |
|--------|--|--|---------------------------------|---|
| 0 | --- | 40 | 50 | 0,016 |
| 1 | 72,5 | 125 | 185 | 0,104 |
| 2 | 72,5 | 195 | 220 | 0,119 |
| 3 | 71,0 | 315 | 350 | 0,202 |
| 4 | 72,5 | 390 | 450 | 0,286 |
| 5 | 74,0 | 460 | 550 | 0,357 |
| 6 | 74,0 | 550 | 680 | 0,367 |
| 7 | 74,0 | 615 | 720 | 0,405 |
| 8 | 74,0 | 650 | 750 | 0,452 |
| 9 | 74,0 | 700 | 850 | 0,518 |
| 10 | 74,0 | 750 | 920 | 0,555 |
| 11 | 77,0 | 790 | 1000 | --- |
| 12 | 77,0 | 845 | >1000 | --- |
| 13 | 77,0 | 940 | >1000 | --- |

¹ de 60 a 50°C

retrogradação se correlaciona com a concentração de NaCl (coeficiente de correlação +0,988, com inclinação de 67,04 e intercepção de 101,37 U.A.). O grau de retrogradação aumentou gradualmente com o aumento da concentração de NaCl.

Nota-se que o cloreto de sódio aumenta significativamente as ligações associativas entre os grupos hidroxílicos das moléculas da amilose, resultando na constituição rápida de grandes segmentos moleculares e em rápido aumento simultâneo da viscosidade mediante resfriamento do meio. Esta associação molecular é aparentemente de natureza frágil, pois ela mostrou susceptibilidade a quebra pela agitação mecânica. Entretanto, os segmentos quebrados das moléculas de amilose são depois reorientados quando a temperatura é reduzida, resultando num gel aparentemente mais estável. Aumentando-se a concentração de NaCl, aumentou a rigidez do gel, como foi indicado pelo aumento da sua viscosidade a 50°C (coeficiente de correlação +0,992; inclinação 83,14; intercepção 108 U.A.). O efeito do NaCl na viscosidade da farinha revelado neste estudo é devido à influência do NaCl sobre a estrutura dos grânulos de amido provavelmente, mas também ao efeito inibidor sobre a α -amilase da farinha; por isso o efeito combinado do NaCl e da enzima α -amilase foi estudado usando-se como substrato amido puro de trigo.

iii. Efeito coletivo do cloreto de sódio e da enzima α -amilase no amido de trigo. Como se vê na Figura 4

e na Tabela V, a adição de NaCl tem um efeito pronunciado nas propriedades do amido de trigo, o qual é revelado pelo aumento na temperatura de gelatinização e na temperatura de viscosidade máxima (Fig. 4-A). O aumento da concentração de NaCl aumentou significativamente a viscosidade máxima (coeficiente de correlação +0,978) assim como a viscosidade a temperatura constante (coeficiente de correlação +0,990). Esses resultados demonstram, portanto, que o NaCl aumenta as ligações associativas intermoleculares e intramoleculares entre as moléculas de amido, de modo que estas resistem à penetração das moléculas do solvente (H_2O); uma temperatura maior é portanto necessária para gelatinizar o amido. Um aumento nas ligações associativas entre os fragmentos dos grânulos de amido, entretanto, resulta em aumento da viscosidade máxima e de sua resistência à quebra durante o aquecimento à temperatura constante de $95^{\circ}C$.

A adição de 0,5% de malte, que é uma fonte de α -amilase de trigo, por outro lado (Fig. 4-B), enfraquece a associação das moléculas de amido, como ficou evidente com a redução na temperatura de viscosidade máxima. A presença de α -amilase também provocou redução na viscosidade da pasta. Entretanto, o NaCl em combinação com 0,5% de malte teve o efeito de aumentar a viscosidade significativamente; 8% de NaCl na presença de 0,5% de malte aumentou a viscosidade máxima cerca de 91,2%, enquanto que a adição de 8% de NaCl sem malte aumentou a viscosidade somente 24,6%. Parece portanto que o

Tabela V

Efeito da concentração de NaCl nas características da viscosidade do amido puro de trigo e do amido com 0,5% de malte

| | Amido + NaCl (%) | | | Amido + 0,5% malte + NaCl (%) |
|---|------------------|-------|-------|-------------------------------|
| | Amido (controle) | 8 | 12 | |
| Temperatura inicial de gelatinização (°C) | 77,5 | 78,0 | 80,5 | 74,5 |
| Temperatura de viscosidade máxima (°C) | 94,0 | 95,0 | 95,0 | 92,0 |
| Viscosidade máxima (U.A.) | 610 | 660 | 800 | 290 |
| Viscosidade mínima a temperatura constante (U.A.) | 570 | 600 | 745 | 220 |
| Viscosidade no ciclo de resfriamento (U.A.) | >1000 | >1000 | >1000 | 510 |
| | | | | 8 |

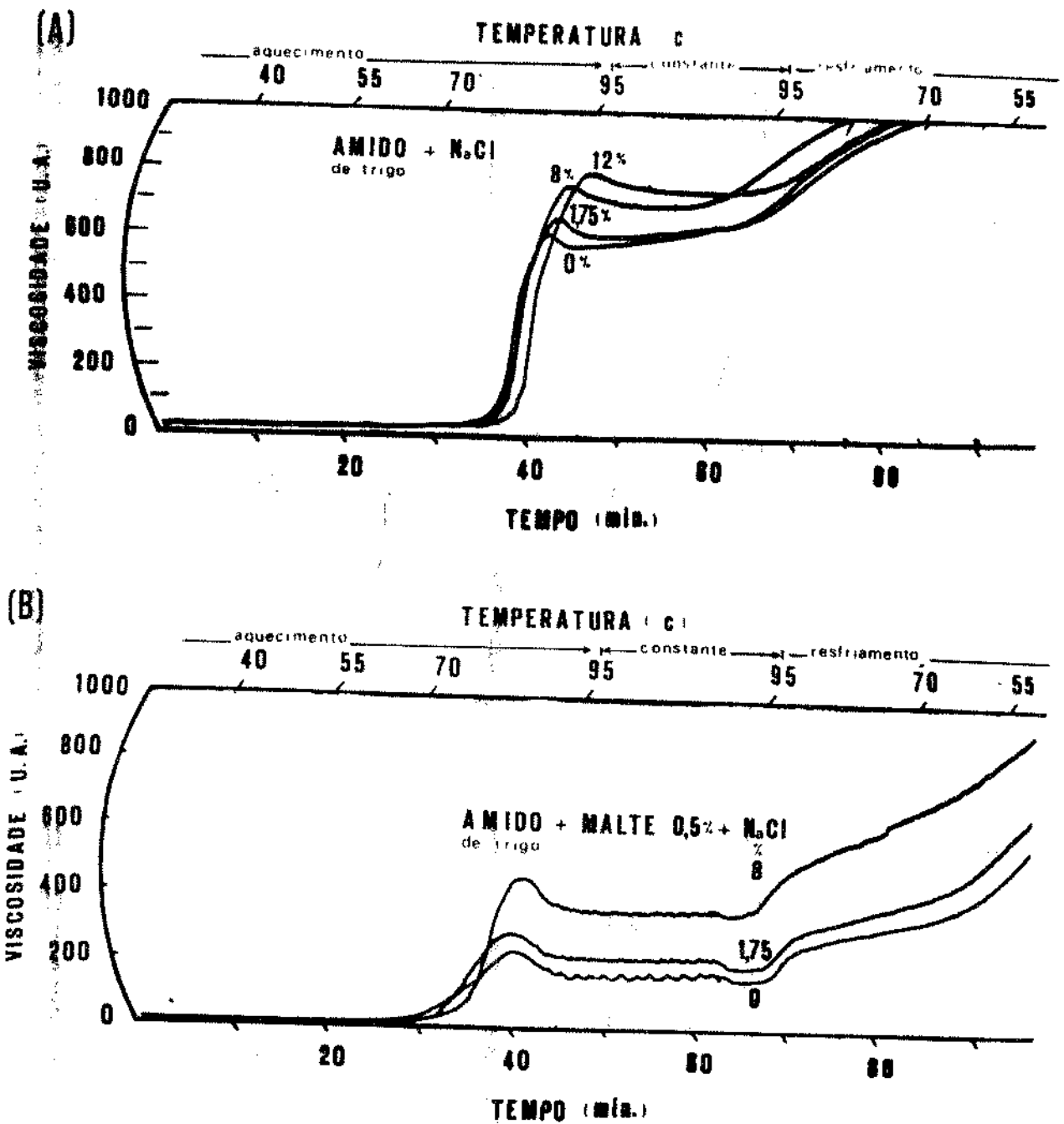


Figura 4. Efeito da concentração de cloreto de sódio isoladamente (A) e em combinação com 0,5% de malte (B) nas propriedades de gelatinização e retrogradação do amido do trigo

NaCl inibe a atividade da α -amilase, além de aumentar as ligações associativas das moléculas de amido, o que resulta em maior viscosidade e retrogradação.

b. Reação da viscosidade de várias farinhas aos ingredientes. A reação de várias farinhas aos ingredientes do processamento é mostrada na Figura 5. Essa reação depende do tipo de farinha, pois verificou-se que as variações na reação da farinha são bastante significantes (Tabela VI). Na presença dos ingredientes (SFAI) a farinha de trigo canadense mostrou um aumento na viscosidade máxima de 11,6%, enquanto que a farinha comum mostrou um aumento de 93,7%; a farinha de trigo nacional não mostrou mudança na viscosidade a temperatura constante e na viscosidade a 50°C, apesar da farinha comum ter mostrado um aumento de 63,6% e 500%, respectivamente. Isto demonstra claramente que a viscosidade de várias farinhas não responde na mesma proporção aos ingredientes do processamento.

Tendo em vista os resultados obtidos neste estudo, parece que os ingredientes do processamento, particularmente o cloreto de sódio e a sacarose, exercem um efeito significativo sobre a viscosidade da farinha e do amido; sua inclusão (5% de sacarose e 1,75% de NaCl em relação à farinha) é portanto essencial para dar conta dos efeitos dos ingredientes do processamento sobre a atividade da α -amilase na farinha e sobre a viscosidade desta última.

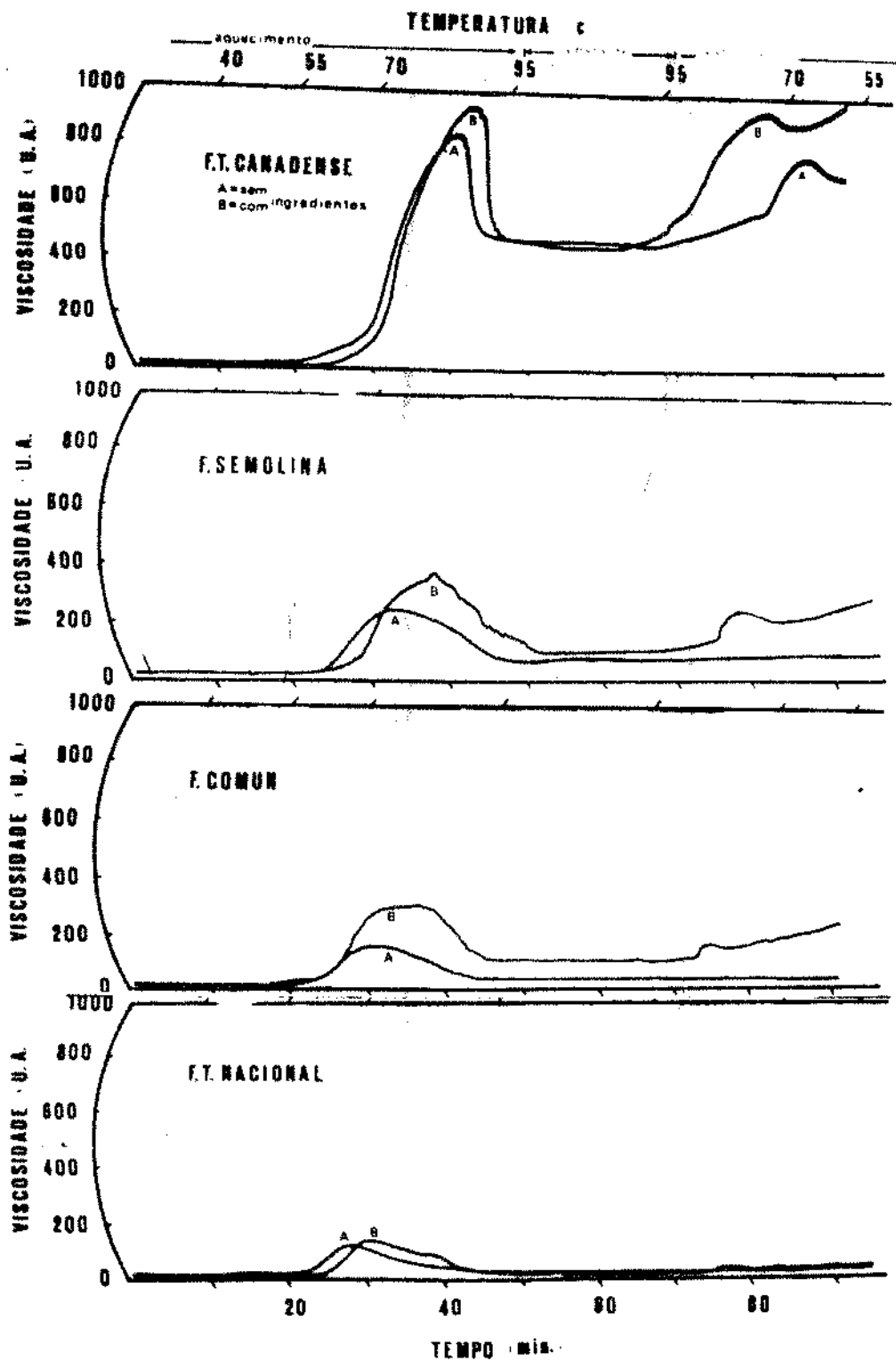


Figura 5. Reação da viscosidade de várias farinhas aos ingredientes do processamento

Tabela VI

Efeito dos ingredientes nas características de viscosidade das várias farinhas

| | Mistura canadense | | | Mistura nacional | | | Semolina | | | Comum | | |
|---|-------------------|------|----------|------------------|------|----------|----------|------|----------|-------|------|----------|
| | SFA | SFAI | % reação | SFA | SFAI | % reação | SFA | SFAI | % reação | SFA | SFAI | % reação |
| Temperatura inicial de gelatinização (°C) | 59,5 | 64,0 | + 7,56 | 59,5 | 64,0 | + 7,56 | 62,5 | 64,0 | + 2,40 | 58,0 | 61,0 | + 5,17 |
| Temperatura de viscosidade máxima (°C) | 89,5 | 91,0 | + 1,68 | 72,0 | 75,0 | + 4,17 | 79,0 | 88,0 | + 8,86 | 76,0 | 86,5 | + 13,16 |
| Viscosidade máxima (U.A.) | 860 | 960 | +11,60 | 115 | 135 | +17,39 | 250 | 370 | + 48,00 | 160 | 310 | + 93,75 |
| Viscosidade mínima a temperatura constante (U.A.) | 480 | 460 | - 4,17 | 20 | 20 | 0,0 | 60 | 90 | + 50,00 | 40 | 110 | + 63,64 |
| Viscosidade no ciclo de resfriamento (U.A.) | 730 | 1000 | +36,99 | 30 | 30 | 0,0 | 75 | 230 | +206,67 | 40 | 240 | +500,00 |

2. Propriedades de Mistura da Massa

A mistura da massa tem grande importância no desenvolvimento da qualidade do pão, visto que é durante esta fase que os componentes da farinha são homogeneizados com os outros ingredientes e a rede de glúten é formada e desenvolvida para formar a massa coesa e elástica própria da farinha de trigo. Este desenvolvimento de uma rede de glúten capaz de reter os gases produzidos durante as fases seguintes do processamento é essencial para o completo desenvolvimento dos elementos de qualidade da farinha; ele se baseia na formação de ligações intramoleculares e intermoleculares com outras moléculas de proteína e/ou moléculas não protéicas, tais como lipídios, para formar uma rede de moléculas extensa. A farinha deve ser misturada não só para formar tal rede, mas até atingir o grau ótimo de desenvolvimento desta, pois tanto a mistura insuficiente quanto a excessiva tem efeito prejudicial sobre a qualidade. A massa insuficientemente misturada tem uma rede de glúten fraca e incompleta, com as associações entre as proteínas e outras moléculas da massa incompletamente desenvolvidas, enquanto que a mistura excessiva também produz uma rede fraca devida à quebra parcial das associações moleculares, resultando em massa mais extensível e menos elástica. O efeito dos ingredientes do processamento na formação dessa rede parece importante para uma melhor compreensão da natureza da qualidade da farinha sob as condições do processamento.

a. Efeito dos ingredientes sobre a energia de mistura da massa. A formação de associações intramoleculares e intermoleculares no processo de desenvolvimento da rede de glúten requer energia, que é fornecida à massa na forma de energia de mistura. O mecanismo de absorção de energia pela massa e sua medição durante o processo de mistura constitui uma das áreas mais estimulantes e promissoras da ciência dos cereais. Embora os estudos sobre a absorção de energia pela massa durante a mistura tenham levado à descoberta do desenvolvimento mecânico da massa, considerada um dos progressos mais revolucionários no processo de panificação, nenhum estudo foi feito para se determinar o papel dos ingredientes do processamento na absorção de energia pela massa, apesar de que isto deveria contribuir para desenvolver uma compreensão mais clara da interação entre os ingredientes do processamento e os constituintes da farinha.

i. *Efeito da concentração.* Foi estudado o efeito dos ingredientes do processamento sobre a absorção de energia pela massa, usando-se a técnica da absorção de água constante, na qual a água necessária para centralizar o farinograma de uma massa de farinha-água (SFA) a 500 U.F. é usada para a formação da massa na presença dos ingredientes. Para a farinha usada neste estudo a absorção de água foi de 60,4%. A curva de energia resultante foi analisada para determinar o torque máximo desenvolvido durante a mistura da massa e a energia ótima de mistura, que é a quantidade total

de energia, medida em watt h, necessária para alcançar o ponto de torque máximo imediatamente antes de qualquer indicação de quebra (queda do torque). Foram também determinadas a energia de quebra (energia em watt h desenvolvida a partir do ponto de mistura ótima até que o topo da curva mostrasse uma queda de 0,040 kgfm) e a energia total de mistura.

Verificou-se que o procedimento descrito neste estudo para a determinação da energia de mistura é passível de reprodução, como indicam os resultados apresentados na Tabela VII.

O efeito da concentração do cloreto de sódio na absorção de energia pela massa é apresentado na Tabela VIII. Aumentando-se a concentração de NaCl, a consistência da massa diminuiu, como foi evidenciado pela redução do torque máximo, enquanto que a energia de mistura aumentou drasticamente em relação linear com o aumento da concentração de NaCl, como mostra a Figura 6. O coeficiente de correlação foi de +0,959, +0,999 e +0,990 para a energia ótima de mistura, a energia de quebra e a energia total de mistura, respectivamente.

Embora os lipídios tenham efeito semelhante sobre a massa, a intensidade da reação é muito diferente. Os lipídios reduzem o torque máximo da massa em maior proporção que o NaCl (Tabela IX), mas o aumento na energia de mistura é mais gradual (Figura 7), como se depreende do baixo grau de inclinação. Os coeficientes de correlação foram de +0,989, +0,930 e +0,990 para a energia ótima de mistura, a energia

Tabela VII

Reprodutibilidade do procedimento para a determinação
da energia da mistura da massa

| Repetição | Torque máximo (kgfm) | Watt h /kg de massa | | |
|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | Energia ótima de mistura | Energia de quebra | Energia total de mistura |
| 1 | 0,505 | 6,296 | 6,408 | 12,704 |
| 2 | 0,505 | 6,166 | 6,404 | 12,570 |
| 3 | 0,505 | 6,379 | 6,629 | 13,008 |
| Media | 0,505 | 6,280 | 6,480 | 12,760 |
| Desvio Padrão | --- | 0,107 | 0,128 | 0,224 |
| Erro Padrão | --- | 0,0618 | 0,0744 | 0,129 |

Tabela VIII

Efeito do cloreto de sódio na energia da mistura
da massa

| Cloreto de sódio % | Torque máximo (kgfm) | Watt h /kg de massa | | |
|--------------------------|----------------------------|---|-----------------------------------|---|
| | | Energia ¹ ótima de mistura | Energia ² de quebra | Energia ³ total de mistura |
| 0 | 0,505 | 6,280 | 6,480 | 12,760 |
| 1,0 | 0,475 | 9,800 | 10,170 | 19,970 |
| 1,75 | 0,470 | 12,101 | 11,811 | 23,912 |
| 2,5 | 0,470 | 13,540 | 15,839 | 29,379 |
| 6,0 | 0,460 | 21,948 | 28,500 | 50,498 |
| 8,0 | 0,460 | 26,743 | --- | --- |
| 10,0 | 0,460 | 43,920 | --- | --- |

$$^1 y = 5.698 + 3.229x$$

$$^2 y = 6.244 + 3.696x$$

$$^3 y = 13.354 + 6.200x$$

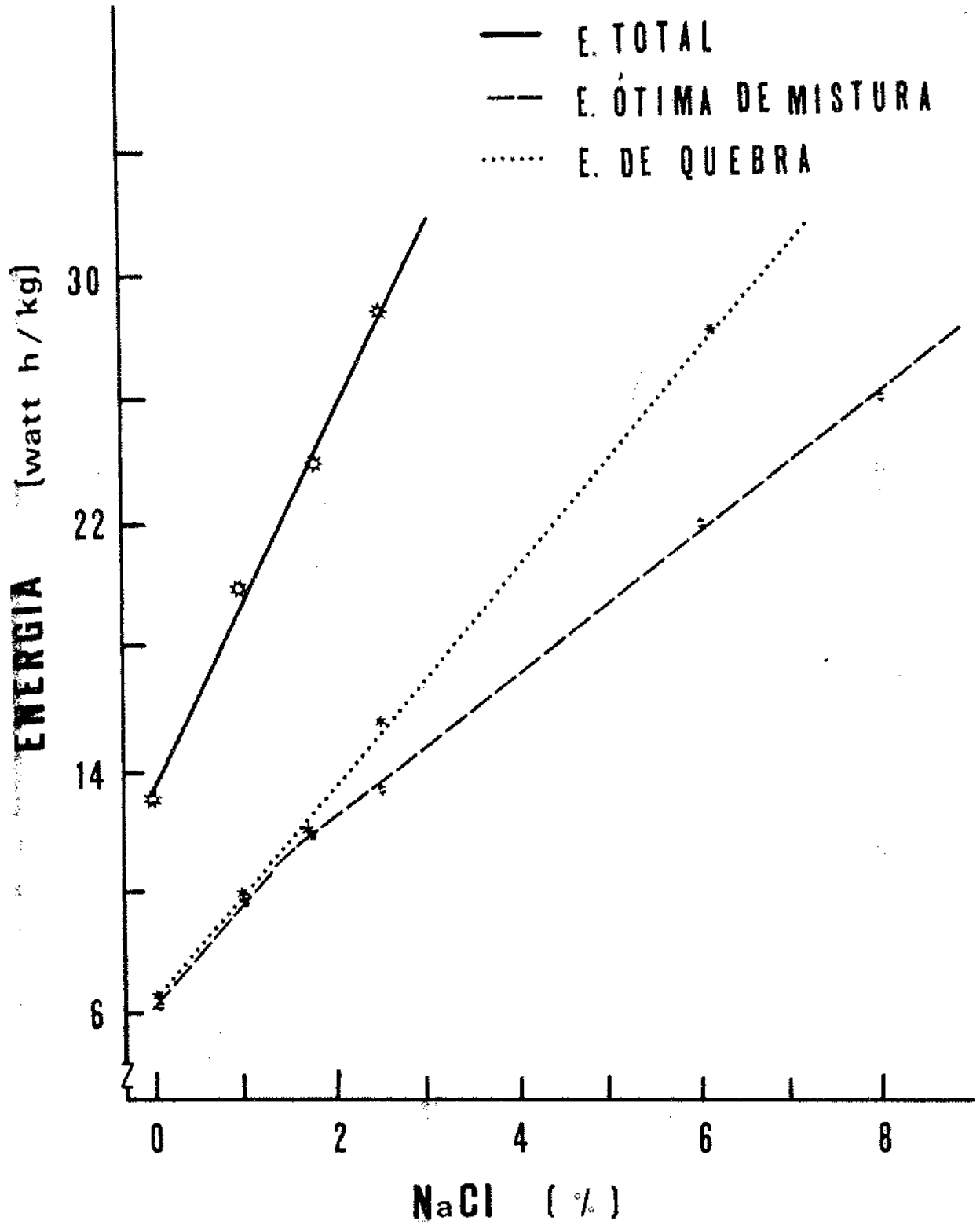


Figura 6. Efeito da concentração de cloreto de sódio na energia da mistura da massa

Tabela IX

Efeito dos lipídios na energia da mistura da massa

| Lipídios % | Torque máximo (kgfm) | Watt h /kg de massa | | |
|---------------|----------------------------|---|-----------------------------------|---|
| | | Energia ¹ ótima de mistura | Energia ² de quebra | Energia ³ total de mistura |
| 0 | 0,505 | 6,289 | 6,480 | 12,760 |
| 1 | 0,470 | 6,483 | 6,984 | 13,467 |
| 3 | 0,455 | 7,318 | 7,223 | 14,541 |
| 6 | 0,415 | 8,073 | 10,984 | 19,057 |
| 9 | 0,390 | 9,889 | 13,937 | 23,826 |
| 12 | 0,375 | 10,673 | 13,459 | 24,132 |

$$^1 y = 6,159 + 0,380x$$

$$^2 y = 3,509 + 0,680x$$

$$^3 y = 12,443 + 1,07x$$

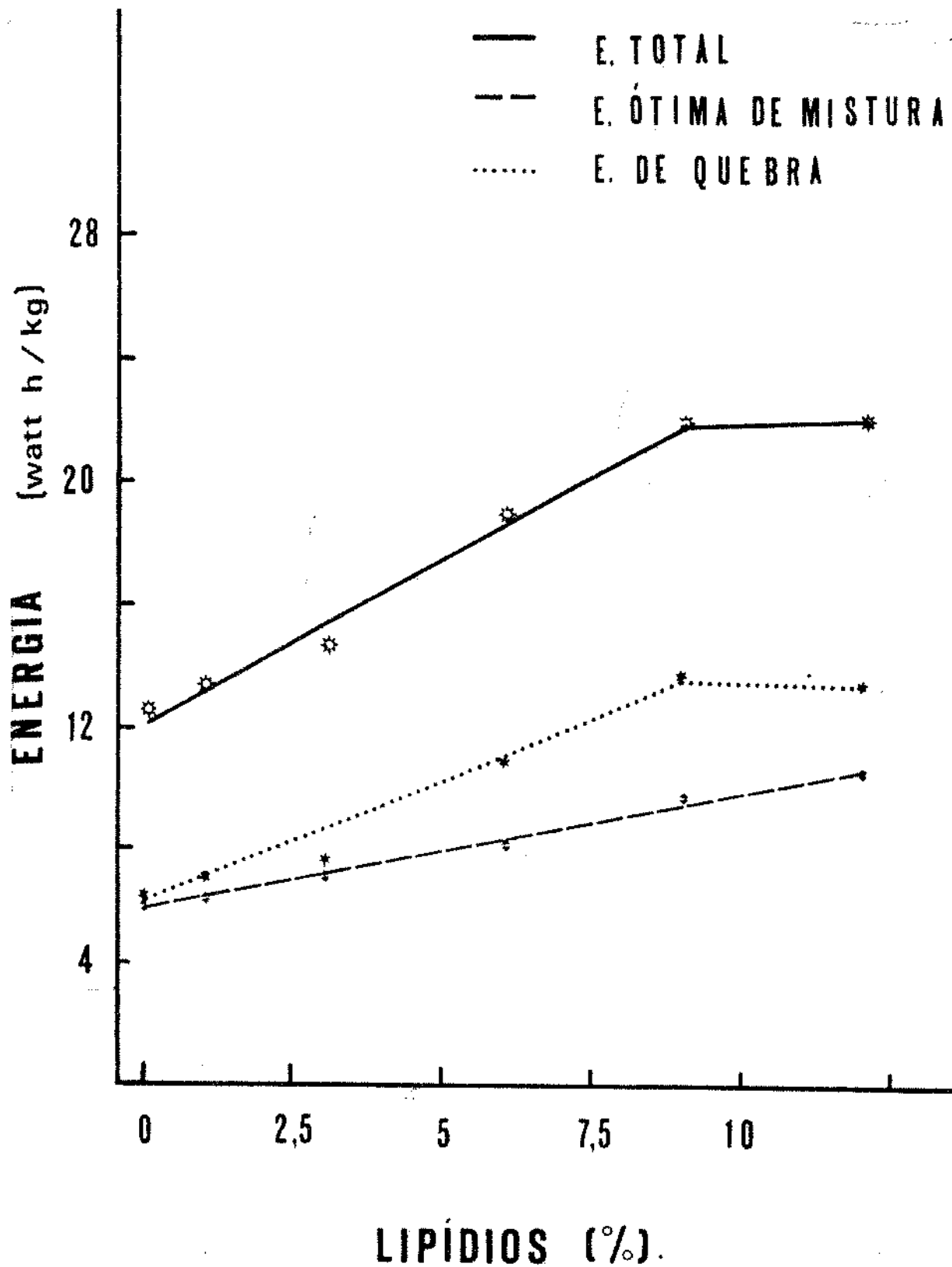


Figura 7. Efeito da concentração de lipídios na energia da mistura da massa

de quebra e a energia total de mistura, respectivamente.

A adição de sacarose (Tabela X) resultou em pequena redução da energia ótima de mistura e em redução mais pronunciada da energia de quebra e da energia total (Figura 8). O fermento, por outro lado, em concentrações acima de 3%, aumentou a consistência da massa (Tabela XI). Embora ele tenha reduzido a energia de mistura, como é demonstrado na Figura 9, seu efeito principal orientou-se para uma redução da energia necessária para desenvolver a massa até seu ponto ótimo, e não para a quebra da estrutura da massa.

O efeito desses ingredientes sobre as propriedades da energia de mistura da massa pode ser explicado pelo seu efeito nas forças secundárias de ligação da rede de proteínas. A presença e a importância das forças secundárias na formação da rede de proteínas explica-se claramente pelos resultados obtidos na Tabela XII. As proteínas do endosperma do trigo tomam uma conformação que orienta para fora os grupos não polares e orienta os grupos polares para dentro da molécula, quando água é eliminada do grão de trigo durante o amadurecimento e a secagem (61). Durante a formação da massa, enquanto a farinha é misturada com água (um solvente polar), as moléculas de proteínas tendem a sofrer uma mudança de conformação que orienta os grupos não polares para dentro da molécula e expõe os grupos polares para fora, de modo que eles ficam em situação de permitir a associação com as outras moléculas de proteína a altos níveis de energia (10 - 20

Tabela X

Efeito da sacarose na energia da mistura da massa

| Sacarose % | Torque máximo (kgfm) | Watt h /kg de massa | | |
|---------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | Energia ótima de mistura | Energia de quebra | Energia total de mistura |
| 0 | 0,505 | 6,280 | 6,480 | 12,760 |
| 2,5 | 0,490 | 6,366 | 4,697 | 11,048 |
| 5 | 0,490 | 5,950 | 4,098 | 10,048 |
| 7,5 | 0,480 | 5,317 | 3,927 | 9,244 |
| 10 | 0,465 | 4,917 | 3,810 | 8,727 |

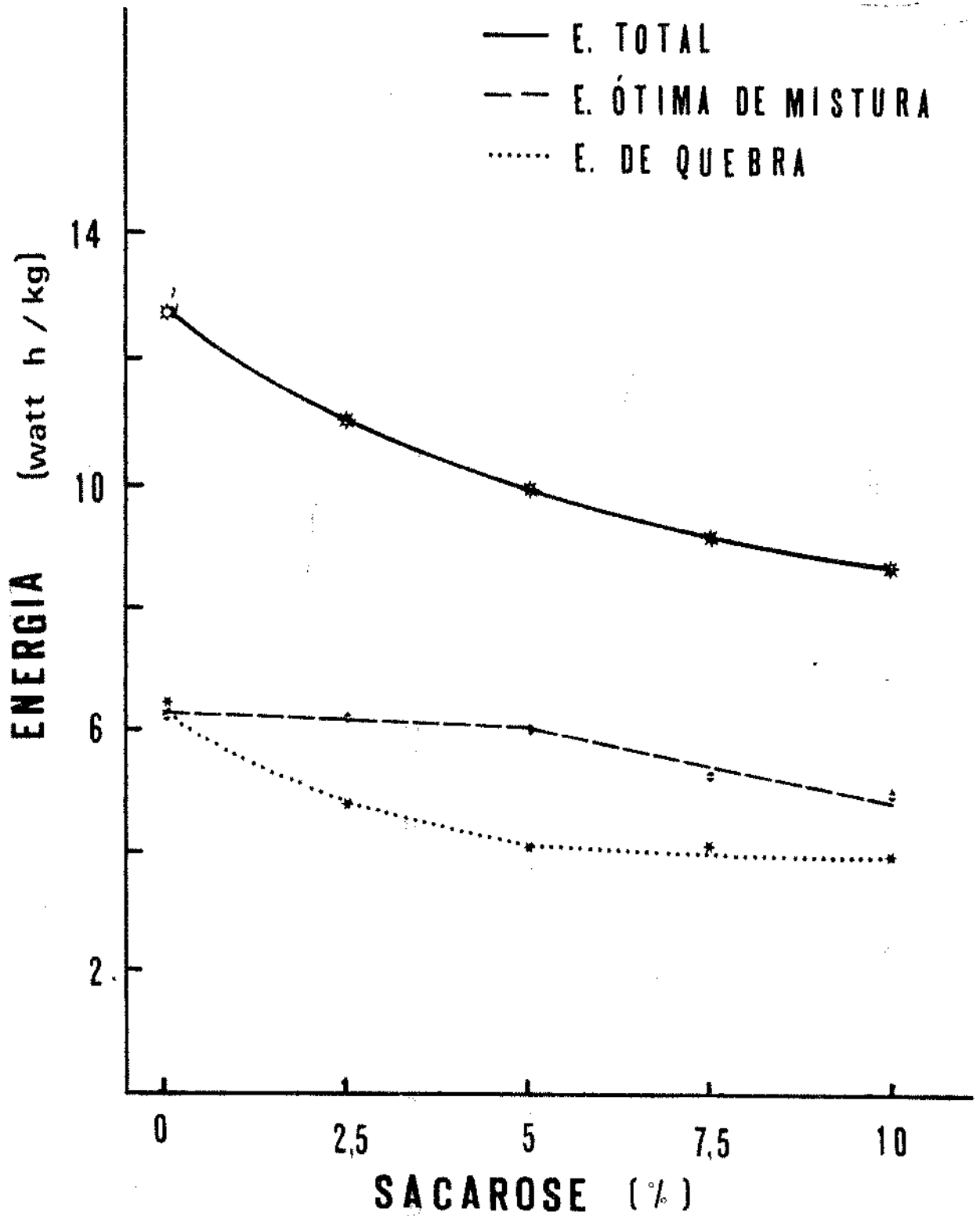


Figura 8. Efeito da concentração de sacarose na energia da mistura da massa

Tabela XI

Efeito do fermento na energia da mistura da massa

| Fermento % | Torque máximo (kgfm) | Watt h /kg de massa | | |
|---------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | Energia Ótima de mistura | Energia de quebra | Energia total de mistura |
| 0 | 0,505 | 6,280 | 6,480 | 12,760 |
| 1 | 0,505 | 4,496 | 5,363 | 9,859 |
| 3 | 0,505 | 4,335 | 5,263 | 9,598 |
| 6 | 0,520 | 3,155 | 5,466 | 8,621 |
| 9 | 0,520 | 3,169 | 5,048 | 8,217 |

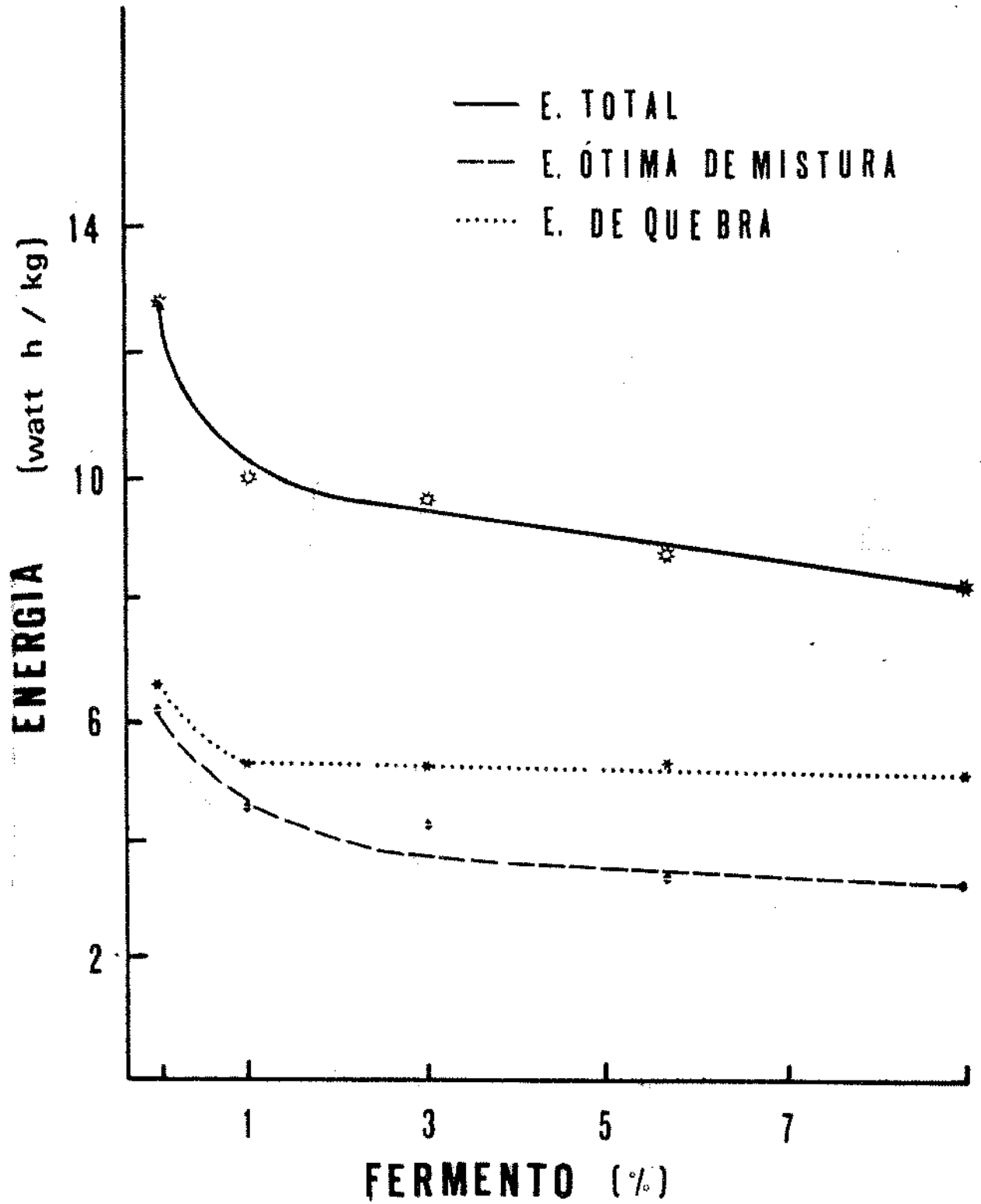


Figura 9. Efeito da concentração de fermento na energia da mistura da massa

Tabela XII

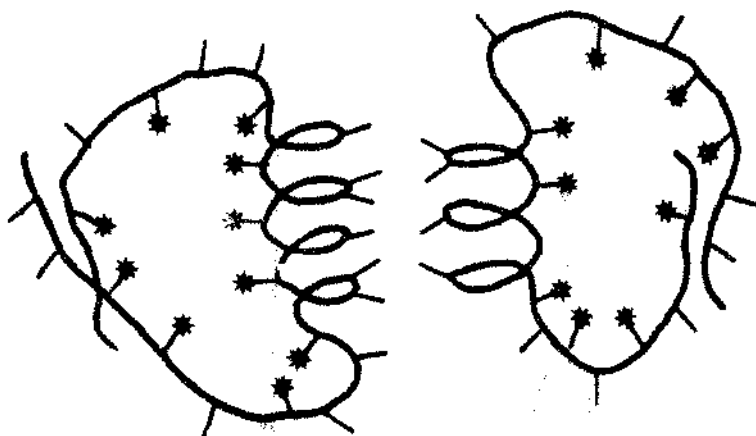
Efeito dos solventes polares e não polares na
energia da mistura da massa

| | Torque máximo (kgfm) | watt h /kg de massa | | |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | Energia ótima de mistura | Energia de quebra | Energia total de mistura |
| <u>Solvente polar</u> | | | | |
| H ₂ O | 0,505 | 6,280 | 6,480 | 12,760 |
| <u>Solvente não polar</u> | | | | |
| Benzeno | 0,070 | 0,314 | 0,441 | 0,755 |

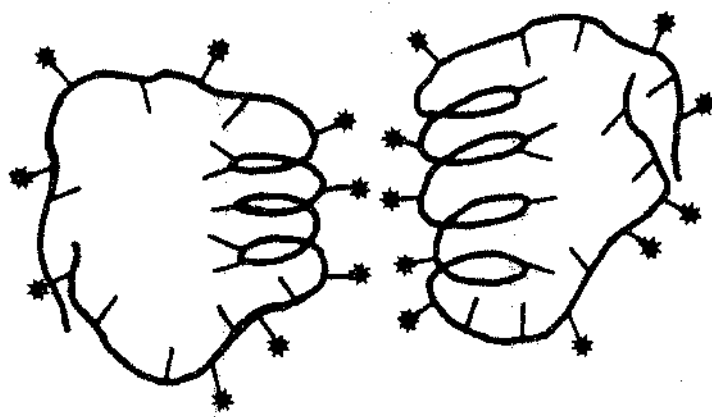
kcal/mol) para formar uma consistência ainda maior. A mistura da farinha de trigo em solvente não polar (benzeno) resulta, entretanto, na manutenção dos grupos não polares orientados para fora da conformação natural da proteína de farinha de trigo e na conseqüente formação de forças associativas de baixa energia (Van der Waals - 0,5 kcal/mol, aproximadamente) como mostra a Figura 10; daí, a baixa consistência e a massa fraca observada na presença do benzeno (Tabela XII).

As proteínas da farinha são subunidades de conformação essencialmente globular que tendem a se agregar fortemente pela ação de forças de ligação secundárias como as ligações de hidrogênio, as iônicas e as hidrofóbicas. Como foi proposto por Kasarda *et al.* (30), essas forças secundárias orientam as subunidades de proteína para a formação de agregados lineares (microfibrilas), embora as ligações cruzadas dissulfídicas dos polímeros lineares da subunidade de proteína possam também estar envolvidas neste tipo de formação (62).

A interação entre esses agregados lineares dá uma explicação para as propriedades viscoelásticas da massa. Os agregados lineares (microfibrilas) tendem a associar-se uns com os outros, em baixa ordem de associações, em estruturas laminares (macrofibrilas), por meio das ligações de hidrogênio e das forças de atração iônicas (30); estas estruturas laminares podem ser até certo ponto também estabilizadas pelas



EM SOLVENTE NÃO POLAR



EM SOLVENTE POLAR

—* GRUPOS POLARES

— GRUPOS NÃO POLARES

Figura 10. Efeito dos solventes polares e não polares na conformação da proteína

ligações dissulfídicas intermoleculares (62). Estas estruturas laminares (macrofibrilas) ou esta rede de glúten estendem-se em três dimensões e não de ceder ou estender-se sob pressão e de retrair-se elasticamente com a retirada da mesma. Ao mesmo tempo, devido ao sistema todo ser formado a partir de um conjunto de subunidades de proteínas que interagem dinamicamente e como as interações são principalmente determinadas por forças de ligação proporciona um mecanismo para um fluxo viscoso.

A adição de NaCl aumenta aparentemente as forças de ligação iônicas secundárias (10 - 20 kcal/mol) entre os agregados lineares na formação de macrofibrilas, e com isso aumenta a energia necessária para formar a rede de glúten e requer maior energia para quebrá-la.

A função que têm os lipídios de reduzir o torque máximo mas aumentar a energia de mistura pode ser explicada com base no fato de eles funcionarem como lubrificante molecular entre as macrofibrilas, reduzindo assim a consistência da massa e o torque máximo. Por outro lado, isto retarda o desenvolvimento da rede, acarretando consumo mais alto de energia para formá-la; entretanto, a maior flexibilidade da estrutura da macrofibrila durante a presença dos lipídios aumenta sua resistência à quebra pela mistura, como revela a maior quantidade de energia necessária para a quebra.

O efeito do açúcar e do fermento na redução da energia de mistura é provavelmente devido a sua interferência na

associação das ligações secundárias, a qual reduz a força da rede de proteína.

ii. Efeito dos agentes oxidantes e redutores.

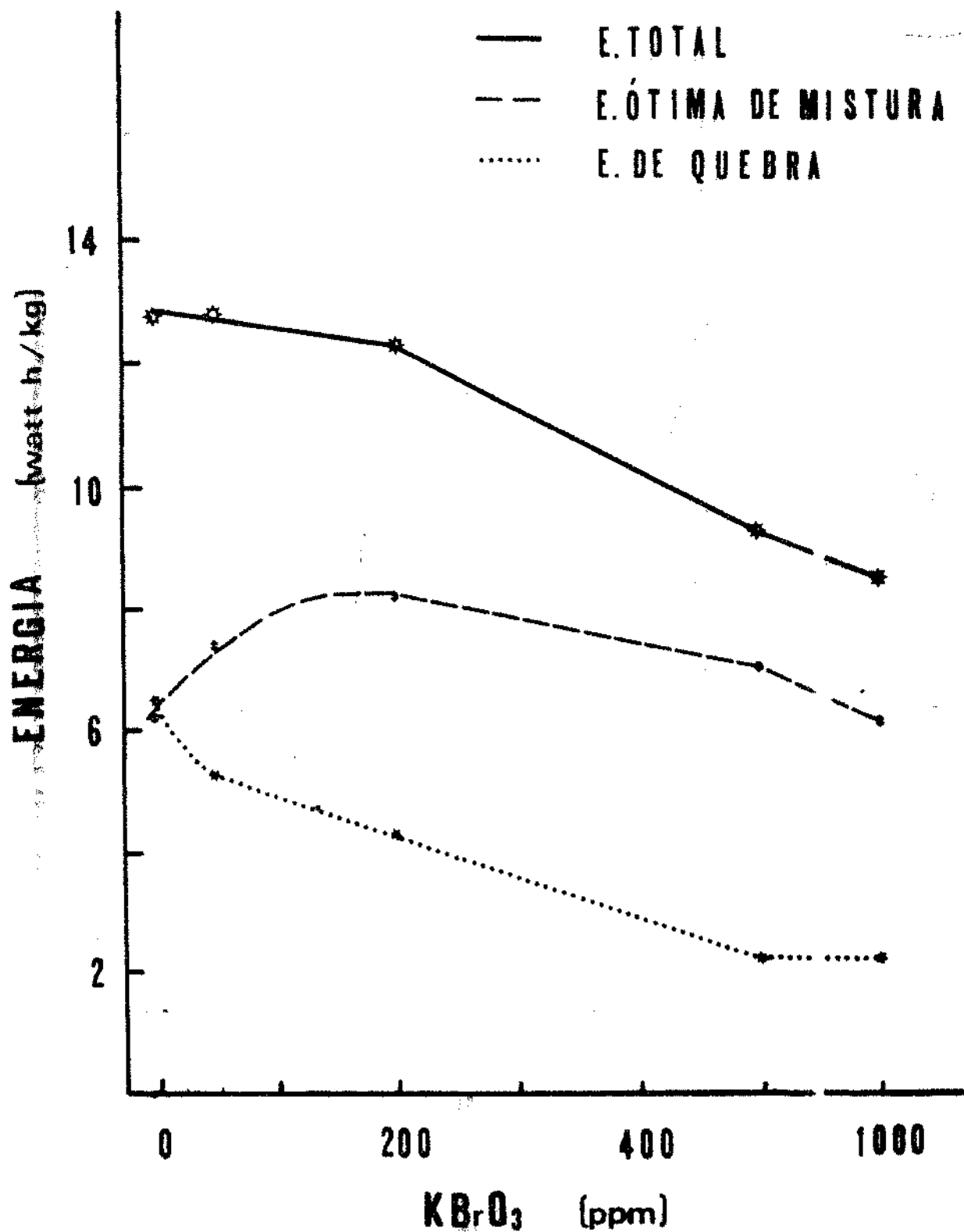
Agentes oxidantes e redutores são usados extensivamente no processamento da farinha para melhorar a qualidade, porém em quantidades diminutas. Sabe-se que seu efeito se limita à fração protéica da farinha. Os efeitos do bromato de potássio (KBrO_3) e do sulfito de sódio (Na_2SO_3), assim como do ácido ascórbico, são apresentados na Tabela XIII. O oxidante KBrO_3 causou um aumento gradual no torque máximo bem como um aumento da energia ótima de mistura (até o nível de 500 ppm). Por outro lado, a energia de quebra da massa foi bastante reduzida, como mostra a Figura 11, com uma conseqüente redução da energia total a níveis acima de 200 ppm. Aparentemente a adição de tais agentes oxidantes resulta na formação de ligações cruzadas dissulfídicas (ligações covalentes de 30 - 100 kcal/mol) por toda a rede de glúten, produzindo uma rede menos extensível e mais rígida, como indica o aumento do torque máximo da massa, com a elevação da concentração de KBrO_3 aumentando a energia necessária para formar a estrutura. Por outro lado, uma estrutura assim rígida pode ser frágil e quebrar-se facilmente com a continuação da mistura como evidencia a redução da energia de quebra.

O agente redutor Na_2SO_3 , mesmo em concentração diminuta, reduziu a energia de mistura drasticamente (Figura 12), embora a redução na consistência da massa tenha sido retardada

Tabela XIII

Efeito do KBrO_3 , do Na_2SO_3 e do ácido ascórbico
na energia da mistura da massa

| Concen- tração (ppm) | Torque máximo (kgfm) | Watt h /kg de massa | | |
|--|----------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| | | Energia ótima de mistura | Energia de quebra | Energia total de mistura |
| 0 (Controle) | 0,505 | 6,280 | 6,480 | 12,760 |
| KBrO_3 | | | | |
| 50 | 0,505 | 7,480 | 5,303 | 12,783 |
| 200 | 0,510 | 8,205 | 4,250 | 12,457 |
| 500 | 0,510 | 7,004 | 2,176 | 9,180 |
| 1000 | 0,525 | 6,117 | 2,282 | 8,399 |
| Na_2SO_3 | | | | |
| 20 | 0,505 | 3,852 | 3,727 | 7,579 |
| 50 | 0,505 | 2,538 | 3,527 | 6,065 |
| 200 | 0,505 | 1,413 | 0,513 | 1,926 |
| 500 | 0,480 | 0,625 | 0,225 | 0,850 |
| 1000 | 0,310 | 0,475 | 0,375 | 0,850 |
| Ácido ascórbico | | | | |
| 90 | 0,505 | 5,070 | 7,580 | 12,650 |
| 200 | 0,490 | 6,030 | 7,683 | 13,873 |
| 500 | 0,490 | 4,680 | 7,230 | 11,910 |
| 1000 | 0,485 | 4,678 | 4,805 | 9,483 |



Figura

Efeito do bromato de potássio na energia da mistura da massa

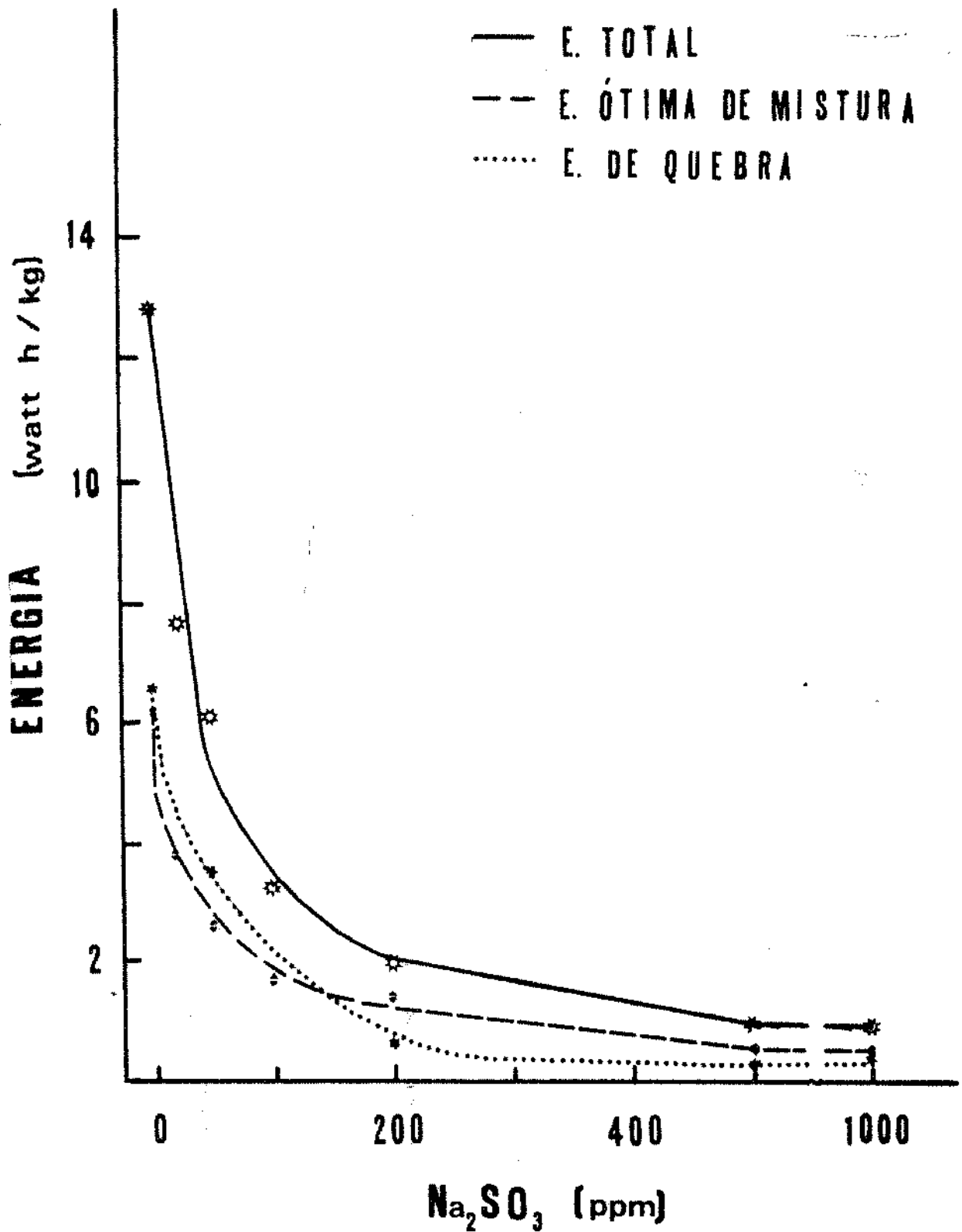


Figura 12. Efeito do sulfito de sódio na energia da mistura da massa

enquanto não se acrescentaram mais de 200 ppm. Os agentes redutores tais como Na_2SO_3 , SO_2 e NaHSO_3 , que rompem o arranjo altamente específico das subunidades de proteína por meio da quebra das ligações dissulfídicas intramoleculares, podem mudar a estrutura conformacional das subunidades de proteína (30), ainda assim a especificidade de suas interações e conseqüentemente diminuindo seu potencial de associação com outras subunidades protéicas para formação das microfibrilas lineares. Isto resultaria numa massa de menor nível de consistência, com mais propriedades fluidas, requerendo energia de mistura muito menor, como foi indicado neste estudo. A quebra das ligações dissulfídicas intermoleculares também foi proposta para explicar este efeito (8).

O efeito do ácido ascórbico foi muito interessante, porque ele não se comportou como agente oxidante típico nem como agente redutor típico; até 500 ppm, ele reduziu a energia necessária para formar a rede de glúten, mas aumentou a energia necessária para quebrá-la. Este aumento da energia necessária para a quebra, observada também com o NaCl e os lípidos, deve melhorar a estabilidade da massa para a mistura mecânica.

As teorias atuais atribuem a ação melhoradora da massa pelo ácido ascórbico a seu efeito de oxidação dos grupos sulfidrílicos presentes na proteína da farinha, aumentando o número de ligações (ou pontes cruzadas) dissulfídicas. Mas como o ácido ascórbico é um agente redutor e não um

oxidante, foi proposto que o ácido ascórbico é oxidado enzimaticamente pela ácido-ascórbico-oxidase para produzir ácido dehidroascórbico. O último então oxida os grupos sulfidrílicos para formar as ligações cruzadas dissulfídicas (8,11,34,35,47,60). Esta proposta que requer a transformação do ácido ascórbico em ácido dehidroascórbico de modo que possa resultar um efeito de oxidação típica do R-SH, não fornece porém um mecanismo satisfatório para o efeito melhorador observado. Isto se torna evidente quando os resultados da presente pesquisa são tomados em consideração juntamente com os obtidos por outros autores (11,34,35,60). Tsen (60) verificou que a adição de ácido-ascórbico-oxidase para catalisar a oxidação do ácido ascórbico antes da mistura não foi tão efetivo para melhorar as propriedades da massa como a oxidação do ácido ascórbico diretamente pelo ar; além disso, a massa tratada com iodato e ácido ascórbico mostrou menos transformação de grupos sulfidrílicos que a massa com iodato apenas. Em outras palavras, o ácido ascórbico não aumentou o grau de oxidação dos grupos R-SH (60). Verificou-se também que o ácido ascórbico é eficiente na oxidação dos grupos sulfidrílicos, principalmente na presença de oxigênio. Um mecanismo para dar conta da ação melhoradora do ácido ascórbico, consistente com todas estas descobertas, é apresentado na Figura 13.

O ácido ascórbico atua na massa diretamente como um agente redutor para reduzir algumas das ligações dissulfídicas

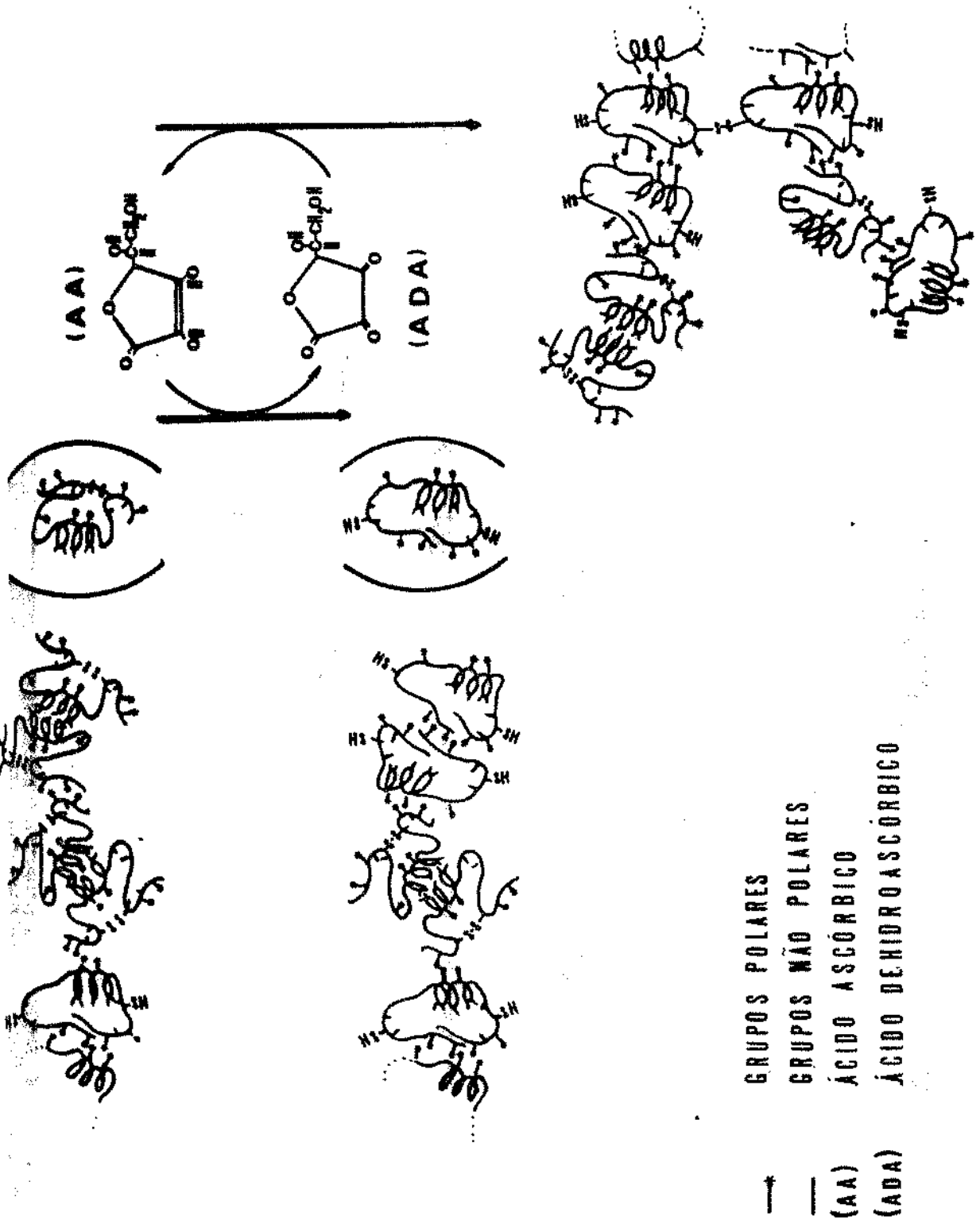


Figura 13. O mecanismo de reação de ácido ascórbico na massa

a sulfidrílicas, enquanto é oxidado e transformado em ácido dehidroascórbico. A mistura da massa favorece essa quebra de ligações dissulfídicas devido à tensão imposta pelo processo de mistura; a mistura também fornece a energia necessária para a reação. A presença do solvente polar (H_2O) na massa provavelmente induz uma reorientação dos segmentos reduzidos das moléculas de proteína, criando nova conformação que pode revelar novas forças de ligação secundárias. Esta nova conformação pode também favorecer a formação limitada de ligações dissulfídicas intramoleculares e intermoleculares mediante oxidação dos grupos sulfidrílicos pelo ácido dehidroascórbico presente no meio. Estas mudanças resultam numa melhor agregação das microfibrilas, o que aumenta a resistência destas à quebra mecânica e melhora as propriedades físicas da massa.

iii. Efeito coletivo dos ingredientes. Pela determinação do efeito dos ingredientes na concentração mencionada no teste de panificação descrito em "Materiais e Métodos", ficou evidente que todos os ingredientes têm um papel definitivo na absorção de energia pela massa (Figura 14). A energia ótima de mistura, a energia de quebra e a energia total de mistura aumentaram todas consideravelmente com a adição de 1,75% de NaCl; os lipídios aumentaram a absorção de energia pela massa, mas em proporção menor, ao passo que a

E. TOTAL

E. ÓTIMA DE MISTURA

E. DE QUEBRA

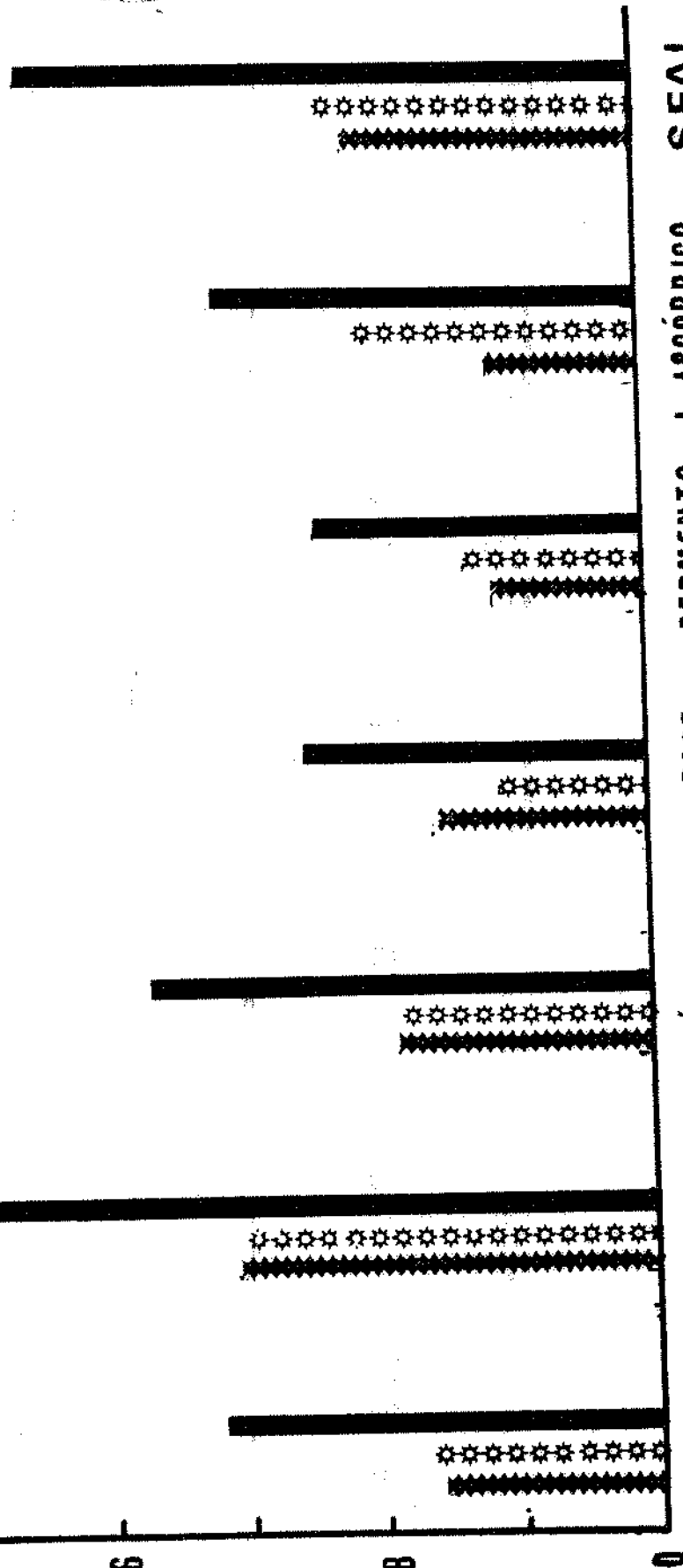
24

ENERGIA (watt h/kg)

16

8

0



SFA

N₂CI

LIPÍDIOS

SACAROSE

FERMENTO A. ASCÓRBICO

SFAI

1,75%

3%

5%

3%

90 ppm

73

Figura 14. Efeito coletivo dos ingredientes na energia de mistura da massa

para a mistura ótima, enquanto aumentava a energia necessária para a quebra da rede de glúten. A adição de todos os ingredientes (SFAI), entretanto, resultou em aumento da absorção de energia pela massa, acompanhado por redução do torque máximo. Parece, portanto, que os ingredientes têm um efeito coletivo, com os resultados experimentais desviando-se apenas ligeiramente daqueles calculados pelas curvas de energia de cada ingrediente isolado.

Este estudo torna muito claro que a formação da rede de glúten, que é a pedra angular da qualidade da farinha de trigo, não é somente função de elementos genéticos, mas também dos ingredientes usados no processamento; em consequência, parece indispensável a incorporação dos ingredientes de processamento nos testes de qualidade da farinha.

b. Efeito dos ingredientes sobre os parâmetros do farinograma. O efeito coletivo exercido pelos ingredientes sobre as propriedades de mistura da massa a uma consistência constante é apresentado na Tabela XIV. A consistência da massa foi mantida em 500 U.F., como determina o sistema padrão SFA. Com a adição de todos os ingredientes do processamento (SFAI), foi necessário reduzir a quantidade de água adicionada de maneira a manter a consistência constante em 500 U.F.

A adição dos ingredientes causou efeito pronunciado em todos os parâmetros do farinograma; verificou-se que esse efeito é significativo ao nível de 0,01 para todas as farinhas testadas. Esta influência é ilustrada na Figura 15, onde são

Tabela XIV

Efeito dos ingredientes do processamento¹ nos parâmetros do farinograma² sob condições fixas de consistência da massa (500 U.F.)

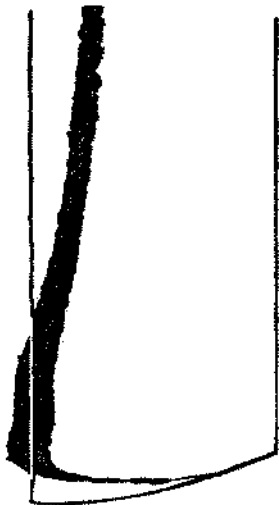
| Farinha | Absorção de água (%) | | Tempo de chegada (min.) | | Tempo de desenvolvimento (min.) | | Estabilidade (min.) | | Tempo de saída (min.) | | Índice de tolerância (U.F.) | |
|--------------------------|----------------------|------|-------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------|------|-----------------------|------|-----------------------------|------|
| | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI |
| Canadense ocidental nº 1 | 63,8 | 60,0 | 3,0 | 4,4 | 5,5 | 8,5 | 7,0 | 8,0 | 10,0 | 12,1 | 40 | 22,5 |
| Canadense ocidental nº 3 | 64,0 | 58,4 | 1,5 | 2,5 | 3,0 | 8,5 | 7,0 | 9,6 | 8,5 | 12,1 | 20 | 28,7 |
| Semolina | 59,2 | 55,8 | 2,0 | 3,0 | 6,0 | 9,9 | 8,2 | 13,0 | 9,7 | 16,0 | 45 | 32,5 |
| Comum | 59,2 | 56,0 | 1,7 | 3,6 | 5,3 | 11,3 | 7,5 | 15,8 | 9,3 | 19,4 | 55 | 22,0 |
| Mistura canadense | 64,9 | 60,4 | 1,5 | 3,5 | 3,5 | 8,3 | 5,0 | 12,4 | 6,5 | 15,8 | 55 | 25,0 |
| Mistura nacional | 59,2 | 56,7 | 1,0 | 4,7 | 2,5 | 10,1 | 5,0 | 8,7 | 6,0 | 13,5 | 55 | 35,0 |
| SFAI x SFA ³ | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

¹ A concentração dos ingredientes do processamento foi a seguinte: 3% de fermento, de lipídios; 5% de sacarose; 1,75% de cloreto de sódio e 90 ppm de ácido ascórbico (base de farinha)

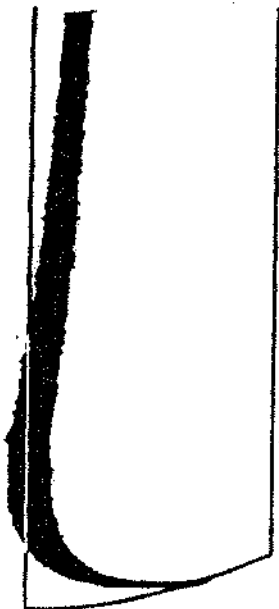
² Média de 4 experiências

³ ** = $P < 0,01$

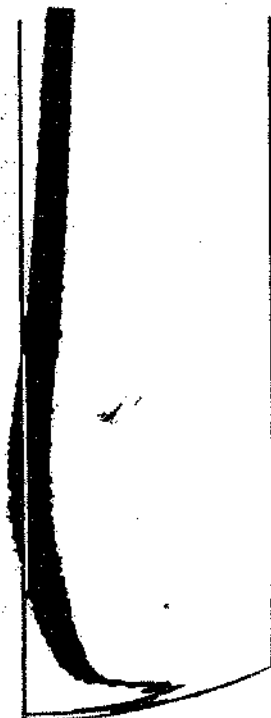
(1)
SFA



(2)
SFA



SFAI



SFAI



Figura 15. Efeito dos ingredientes do processamento nos parâmetros do farinograma
à consistência de 500 U.F.: 1) mistura de farinhas nacionais e 2)
farinha de semolina

apresentados os farinogramas de duas farinhas. A presença dos ingredientes causa uma redução na capacidade de absorção de água da farinha, bem como na velocidade dessa absorção, como ficou evidente pela redução no percentual de absorção de água e pelo aumento do tempo de chegada. O tempo de desenvolvimento aumentou, indicando a necessidade de aumentar a mistura da massa a fim de atingir o desenvolvimento ótimo da rede de glúten. Na presença dos ingredientes do processamento a massa se tornou mais estável e tolerante ao excesso de mistura, como indicou o aumento da estabilidade da massa e do tempo de saída e a redução no índice de tolerância.

O efeito dos ingredientes nas propriedades de mistura da massa com absorção fixa de água é apresentado na Tabela XV. A quantidade de água necessária para a massa atingir a consistência de 500 U.F. no SFA foi adicionada à farinha na presença dos ingredientes (SFAI); isto resultou em maior queda na consistência e no índice de tolerância da massa, porém em significativo aumento em outros parâmetros do farinograma (Figura 16). As diferenças entre os resultados obtidos no SFA e no SFAI foram significantes ao nível de confiança de 0,01 para todos os parâmetros do farinograma de todas as farinhas testadas.

Fica claro a partir destes resultados que os ingredientes do processamento têm pronunciado efeito sobre as propriedades de mistura da massa. Este efeito deve ser

Tabela XV

Efeito dos ingredientes do processamento¹ nos parâmetros do farinograma² sob condições fixas de absorção de água

| Farinha | Consistência (U.F.) | | Tempo de chegada (min.) | | Tempo de desenvolvimento (min.) | | Estabilidade (min.) | | Tempo de saída (min.) | | Índice de tolerância (U.F.) | |
|--------------------------|---------------------|------|-------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------|------|-----------------------|------|-----------------------------|------|
| | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI |
| Canadense ocidental nº 1 | 500 | 420 | 3,0 | 5,0 | 5,5 | 11,0 | 7,0 | 13,5 | 10,0 | 18,5 | 40 | 15,0 |
| Canadense ocidental nº 3 | 500 | 361 | 1,5 | 5,2 | 3,0 | 14,7 | 7,0 | 18,2 | 8,5 | 22,7 | 20 | 10,0 |
| Semolina | 500 | 420 | 2,0 | 5,0 | 6,0 | 13,1 | 8,2 | 18,5 | 9,7 | 21,7 | 45 | 20,0 |
| Comum | 500 | 415 | 1,7 | 5,2 | 5,3 | 12,4 | 7,5 | 15,8 | 9,3 | 21,1 | 55 | 20,2 |
| Mistura canadense | 500 | 407 | 1,5 | 5,0 | 3,5 | 12,0 | 5,0 | 18,2 | 6,5 | 23,2 | 55 | 17,7 |
| Mistura nacional | 500 | 440 | 1,0 | 5,5 | 2,5 | 10,5 | 5,0 | 13,0 | 6,0 | 18,5 | 55 | 27,7 |
| SFAI x SFA ³ | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

¹ A concentração dos ingredientes do processamento foi a seguinte: 3% de fermento, de lipídios; 5% de sacarose; 1,75% de cloreto de sódio e 90 ppm de ácido ascórbico (base de farinha)

² Média de 4 experiências

³ ** = $p < 0,01$

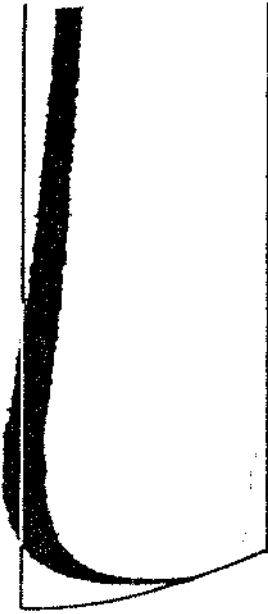
1

SFA

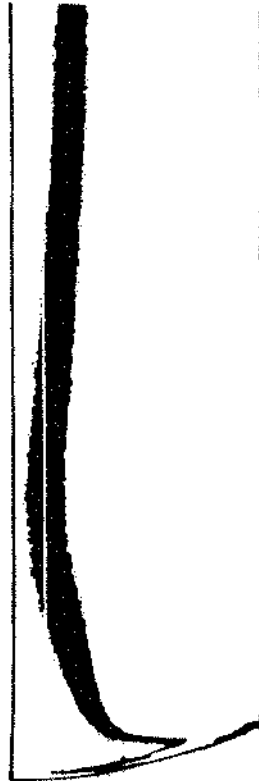


2

SFA



SFAI



SFAI

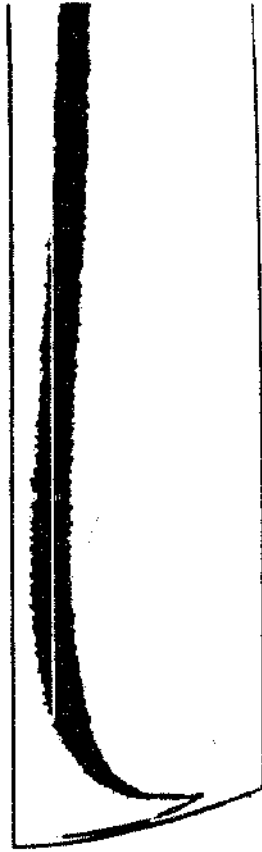


Figura 16. Efeito dos ingredientes do processamento nos parâmetros do farinograma com absorção fixa: 1) mistura de farinhas nacionais e 2) farinha de semolina

considerado ao se testar a qualidade de farinhas, para permitir a transferência das informações obtidas pelo laboratório de controle de qualidade para as unidades de processamento. As informações obtidas com o SFA não podem ser aplicadas à unidade de produção, porque raramente a farinha é utilizada sem ingredientes e processamento. A aplicação direta das informações obtidas com o SFA resultaria numa massa de consistência bastante baixa e no desenvolvimento incompleto da rede de glúten da massa.

c. Reação das propriedades de mistura de diversas farinhas aos ingredientes. A reação das propriedades de mistura da massa de diversas farinhas aos ingredientes do processamento, a uma consistência fixa, é apresentada na Tabela XVI. A diminuição da absorção de água variou de -4,18% até -8,75%, dependendo da farinha; verificou-se que a diferença na resposta de diversas farinhas à absorção de água é significativa ao nível de confiança de 0,01, exceto para a Canadense Ocidental nº 1 e a semolina (as quais mostraram reações semelhantes). Os aumentos do tempo de chegada variaram de +45,8% para +375,0%, dependendo do tipo de farinha, embora nenhuma diferença significativa fosse obtida para Canadense Ocidental nº 1 e nº 3 e semolina. Verificou-se também que as reações do desenvolvimento da massa, da estabilidade e do tempo de saída aos ingredientes dependem grandemente do tipo de farinha; com as diferenças significantes ao nível de confiança de 0,01 (embora os

Tabela XVI

Reação dos parâmetros do farinograma aos ingredientes do processamento
sob condições fixas de consistência da massa (500 U.F.)

| | Reação aos ingredientes (%) | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| | Absorção ² de água | Tempo de chegada ³ | Tempo de desenvolvimento ⁴ | Estabilidade ⁵ | Tempo de saída ⁶ | Índice de tolerância ⁷ | |
| Canadense ocidental nº 1 | -5,96 | + 45,83 | + 54,54 | + 14,29 | + 23,75 | -43,75 | |
| Canadense ocidental nº 3 | -8,75 | + 66,67 | +183,33 | + 37,49 | + 42,65 | +43,75 | |
| Semolina | -5,74 | + 50,00 | + 64,58 | + 58,53 | + 64,94 | -27,77 | |
| Comum | -5,40 | +113,23 | +114,62 | +110,00 | +108,33 | -59,09 | |
| Mistura canadense | -6,93 | +133,33 | +138,10 | +146,67 | +143,59 | -54,54 | |
| Mistura nacional | -4,18 | +375,00 | +305,00 | + 75,00 | +125,00 | -36,36 | |

1 A média de 4 determinações, foi calculada através da equação: % de reação = $\frac{SFAI - SFA}{SFA} \times 100$

2 Valor crítico = 0,259 ($P < 0,01$)

3 Valor crítico = 35,917 ($P < 0,01$)

4 Valor crítico = 19,482 ($P < 0,01$)

5 Valor crítico = 10,562 ($P < 0,01$)

6 Valor crítico = 6,672 ($P < 0,01$)

7 Valor crítico = 15,255 ($P < 0,01$)

tempos de desenvolvimento da Canadense Ocidental nº 1 e da semolina não tenham novamente mostrado nenhuma diferença na reação). A reação ao tempo de desenvolvimento aumentou entre +54,5% e +305,0%, enquanto que a estabilidade aumentou entre +14,3% e +146,7% e o tempo de saída de +23,7% para +143,6%.

As reações das propriedades de mistura da massa de diversas farinhas aos ingredientes em um nível fixo de absorção de água são apresentadas na Tabela XVII. As reações da consistência e do tempo de desenvolvimento da massa foram afetadas pelo tipo de farinha, com diferenças entre as farinhas significantes ao nível de confiança de 0,01, exceto entre a Canadense Ocidental nº 1 e a semolina, as quais reagiram de modo idêntico e semelhante à reação da farinha comum. As diferenças de reação de estabilidade e tempo de saída de várias farinhas foram significantes ao nível de 0,01, com exceção das reações da farinha comum e da semolina; o índice de tolerância mostrou diferenças menos pronunciadas.

A partir destes resultados concluiu-se que as propriedades de mistura de diferentes farinhas reagem de modo diferente aos ingredientes do processamento. Uma vez que a concentração dos ingredientes foi mantida constante, a diferença na intensidade da reação das propriedades de mistura é função do tipo de farinha.

Tabela XVII

Reação dos parâmetros do farinograma¹ aos ingredientes do processamento sob condições fixas de absorção de água

| Farinha | Reação aos ingredientes (%) | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|
| | Consistência ² | Tempo de chegada ³ | Tempo de desenvolvimento ⁴ | Estabilidade ⁵ | Tempo de saída ⁶ | Índice de tolerância ⁷ | |
| Canadense ocidental nº 1 | -16,00 | + 66,67 | +100,45 | + 92,92 | + 85,00 | -62,00 | |
| Canadense ocidental nº 3 | -27,67 | +244,43 | +388,89 | +159,52 | +166,67 | -50,00 | |
| Semolina | -16,00 | +147,00 | +118,08 | +126,04 | +123,22 | -55,56 | |
| Comum | -17,00 | +206,25 | +132,86 | +110,95 | +127,19 | -63,35 | |
| Mistura canadense | -18,50 | +233,33 | +242,86 | +265,00 | +257,00 | -67,91 | |
| Mistura nacional | -12,00 | +450,00 | +320,00 | +160,00 | +208,00 | -49,58 | |

1 A média de 4 determinações, foi calculada através da equação: % de reação = $\frac{SFAI - SFA}{SFA} \times 100$
 2 Valor crítico = 1,2596 ($P < 0,01$)
 3 Valor crítico = 65,281 ($P < 0,01$)
 4 Valor crítico = 28,361 ($P < 0,01$)
 5 Valor crítico = 25,929 ($P < 0,01$)
 6 Valor crítico = 24,334 ($P < 0,01$)
 7 Valor crítico = 9,639 ($P < 0,01$)

3. Propriedades de Extensão da Massa

As propriedades de extensão de uma massa desenvolvida são determinadas pelo Extensígrafo Brabender, através da aplicação de uma força constante sobre a massa. A força necessária para esticar a massa (R) e a extensibilidade (E) da massa podem ser determinadas a partir do extensigrama, além de outros parâmetros, tais como a área sob a curva ou a relação R/E (número proporcional), que também são usados para definir as propriedades de extensão da massa.

a. Efeito dos ingredientes sobre os parâmetros do extensigrama. O efeito coletivo que os ingredientes exercem sobre as propriedades de extensão da massa de diversas farinhas após 45 min de tempo de fermentação é apresentado na Tabela XVIII. Os ingredientes exercem um efeito pronunciado sobre todos os parâmetros do extensigrama. As diferenças entre os resultados obtidos no SFA e no SFAI foram significantes ao nível de confiança de 0,01. Os ingredientes causaram uma redução na extensibilidade da massa (com exceção da mistura de trigos nacionais). Observou-se também um aumento da resistência à extensão em todas as farinhas, exceto na comum, e na resistência máxima da massa igualmente em todas elas, exceto na comum e na resultante da mistura de trigos nacionais. O número proporcional aumentou para todas as farinhas testadas, enquanto que a área total decresceu para todas, com exceção da Canadense Ocidental nº 1. Com 90 min de tempo de fermentação

Tabela XVIII

Efeito dos ingredientes¹ do processamento registrado nos parâmetros do extensígram² das massas das diversas farinhas após 45 minutos de fermentação

| Farinha | Extensibilidade (mm) | | Resistência a extensão (U.E.) | | Resistência máxima (U.E.) | | Número proporcional | | Área (cm ²) | |
|--------------------------|----------------------|------|-------------------------------|------|---------------------------|------|---------------------|------|-------------------------|-------|
| | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI |
| Canadense ocidental nº 1 | 192 | 134 | 187 | 385 | 237 | 435 | 0,97 | 2,87 | 65,0 | 81,20 |
| Canadense ocidental nº 3 | 173 | 115 | 260 | 440 | 332 | 495 | 1,50 | 3,87 | 80,1 | 78,10 |
| Semolina | 201 | 126 | 289 | 415 | 412 | 423 | 1,43 | 3,33 | 116,2 | 74,32 |
| Comum | 193 | 153 | 309 | 303 | 481 | 365 | 1,61 | 2,01 | 125,0 | 73,48 |
| Mistura nacional | 136 | 151 | 276 | 302 | 376 | 319 | 1,43 | 2,01 | 102,2 | 64,43 |
| SFAI x SFA ³ | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

¹ A concentração dos ingredientes do processamento foi a seguinte: 3% de fermento, de lipídios; 5% de sacarose; 1,75% de cloreto de sódio e 90 ppm de ácido ascórbico (base de farinha)

² Média de 4 experiências

³ ** = $P < 0,01$

(Tabela XIX), observou-se aproximadamente a mesma tendência e, novamente, a diferença entre o SFA e o SFAI foi significativa ao nível de confiança de 0,01. Aos 135 min de tempo de fermentação todas as farinhas testadas apresentaram redução significativa (ao nível de 0,01) da extensibilidade da massa e da área total, com um aumento significativo da resistência à extensão e do número proporcional (Tabela XX). Concluiu-se, portanto, que o efeito dos ingredientes sobre as propriedades de extensão da massa é triplo: redução da extensibilidade da massa, aumento na força necessária para esticar a massa e redução da energia total necessária para esticar a massa até o ponto de ruptura. A redução da extensibilidade e o aumento da resistência à extensão são típicos do efeito de oxidação (8). Parece, por conseguinte, que os ingredientes do processamento aumentam as forças de associação entre as moléculas da rede de glúten.

Estes resultados evidenciam que os ingredientes causam um efeito significativo sobre as propriedades de extensão da massa; este efeito deve ser considerado na testagem da qualidade das farinhas.

b. Reação das propriedades de extensão da massa aos ingredientes. As reações das propriedades de extensão da massa de diversas farinhas aos ingredientes do processamento aos 45, 90 e 135 min de tempo de fermentação são apresentadas nas Tabelas XXI, XXII e XXIII, respectivamente. Verificou-se que a reação da resistência da massa à extensão

Tabela XIX

Efeito dos ingredientes do processamento¹ registrado nos parâmetros do extensígrama² das massas das diversas farinhas após 90 minutos de fermentação

| Farinha | Extensibilidade (mm) | | Resistência a extensão (U.E.) | | Resistência máxima (U.E.) | | Número proporcional | | Área (cm ²) | |
|--------------------------|----------------------|------|-------------------------------|------|---------------------------|------|---------------------|------|-------------------------|-------|
| | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI |
| Canadense ocidental nº 1 | 202 | 94 | 195 | 563 | 270 | 565 | 0,92 | 6,00 | 76,7 | 67,73 |
| Canadense ocidental nº 3 | 164 | 76 | 250 | 532 | 310 | 532 | 1,52 | 7,00 | 71,8 | 49,70 |
| Semolina | 194 | 84 | 269 | 553 | 415 | 560 | 1,38 | 6,58 | 111,7 | 62,82 |
| Comum | 176 | 99 | 415 | 561 | 620 | 602 | 2,36 | 5,67 | 145,9 | 73,78 |
| Mistura nacional | 190 | 98 | 289 | 490 | 405 | 512 | 1,52 | 5,06 | 109,9 | 64,30 |
| SFAI x SFA ³ | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

¹ A concentração dos ingredientes do processamento foi a seguinte: 3% de fermento, de lipídios; 5% de sacarose; 1,75% de cloreto de sódio e 90 ppm de ácido ascórbico (base de farinha)

² Média de 4 experiências

³ ** = $\underline{p} < 0,01$

Tabela XX

Efeito dos ingredientes do processamento¹ registrado nos parâmetros do extensígrama² das massas das diversas farinhas após 135 minutos de fermentação

| Farinha | Extensibilidade (mm) | | Resistência a extensão (U.E.) | | Resistência máxima (U.E.) | | Número proporcional | | Área (cm ²) | |
|--------------------------|----------------------|------|-------------------------------|------|---------------------------|------|---------------------|------|-------------------------|-------|
| | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI | SFA | SFAI |
| Canadense ocidental nº 1 | 173 | 72 | 175 | 437 | 217 | 445 | 1,00 | 5,99 | 54,1 | 47,17 |
| Canadense ocidental nº 3 | 156 | 63 | 240 | 397 | 295 | 422 | 1,54 | 6,30 | 63,3 | 32,10 |
| Semolina | 200 | 77 | 276 | 485 | 411 | 485 | 1,38 | 6,33 | 112,3 | 45,4 |
| Cômum | 156 | 82 | 471 | 557 | 676 | 568 | 3,03 | 6,79 | 146,5 | 58,45 |
| Mistura nacional | 195 | 87 | 285 | 479 | 400 | 483 | 1,46 | 5,56 | 111,2 | 51,94 |
| SFAI x SFA ³ | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

1 A concentração dos ingredientes do processamento foi a seguinte: 3% de fermento, de lipídios; 5% de sacarose; 1,75% de cloreto de sódio e 90 ppm de ácido ascórbico (base de farinha)

2 Média de 4 experiências

3 ** = $P < 0,01$

Reação de extensão das massas aos ingredientes após
45 minutos de fermentação

| Farinha | Reação aos ingredientes (%) | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---|---|--|-------------------|--|
| | Extensibilidade ² (E) | Resistência ³ a extensão (R) | Resistência ⁴ máxima (R _m) | Número proporcional ⁵ (R/E) | Área ⁶ | |
| Canadense ocidental nº 1 | -30,38 | +105,88 | +83,54 | +203,09 | +24,92 | |
| Canadense ocidental nº 3 | -33,24 | +69,23 | +49,09 | +154,50 | -2,86 | |
| Semolina | -37,44 | +43,59 | +2,67 | +132,69 | -36,04 | |
| Comum | -20,60 | -1,94 | -24,01 | +24,68 | -41,22 | |
| Mistura nacional | +11,03 | +9,42 | -15,23 | +40,73 | -36,94 | |

1 A média de 4 determinações foi calculada através da equação: % de reação = $\frac{\text{SFAI} - \text{SFA}}{\text{SFA}} \times 100$

2 Valor crítico = 10,269 ($\underline{P} < 0,01$)

3 Valor crítico = 32,024 ($\underline{P} < 0,01$)

4 Valor crítico = 22,793 ($\underline{P} < 0,01$)

5 Valor crítico = 58,139 ($\underline{P} < 0,01$)

6 Valor crítico = 14,485 ($\underline{P} < 0,01$)

Reação de extensão das massas aos ingredientes após
90 minutos de fermentação¹

| Farinha | Reação aos ingredientes (%) | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---|---|--|-------------------|
| | Extensibilidade ² (E) | Resistência ³ a extensão (R) | Resistência ⁴ máxima (R _m) | Número Proporcional ⁵ (R/E) | Área ⁶ |
| Canadense ocidental nº 1 | -53,66 | +188,88 | +109,26 | +551,90 | -11,69 |
| Canadense ocidental nº 3 | -53,66 | +113,00 | + 71,77 | +360,69 | -30,78 |
| Semolina | -56,57 | +105,57 | + 35,06 | +377,35 | -43,76 |
| Comum | -43,75 | + 35,24 | - 2,86 | +140,14 | -49,43 |
| Mistura nacional | -48,75 | + 69,55 | + 26,48 | +234,87 | -41,49 |

1 A média de 4 determinações foi calculada através da equação: % de reação = $\frac{SFAI - SFA}{SFA} \times 100$

2 Valor crítico = 3,504 ($P < 0,01$)

3 Valor crítico = 13,747 ($P < 0,01$)

4 Valor crítico = 11,526 ($P < 0,01$)

5 Valor crítico = 21,630 ($P < 0,01$)

6 Valor crítico = 9,492 ($P < 0,01$)

Reação de extensão das massas aos ingredientes após
135 minutos de fermentação¹

| Farinha | Reação aos ingredientes (%) | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---|---|--|-------------------|--|
| | Extensibilidade ² (E) | Resistência ³ a extensão (R) | Resistência ⁴ máxima (R _m) | Número Proporcional ⁵ (R/E) | Área ⁶ | |
| Canadense ocidental nº 1 | -58,19 | +149,53 | +105,07 | +499,25 | -12,95 | |
| Canadense ocidental nº 3 | -59,61 | +65,21 | +17,69 | +308,25 | -49,29 | |
| Semolina | -61,62 | +75,73 | +18,01 | +358,88 | -59,62 | |
| Comum | -47,35 | +18,31 | -15,98 | +124,09 | -60,10 | |
| Mistura nacional | -55,51 | +68,16 | +20,75 | +280,48 | -53,28 | |

¹ A média de 4 determinações foi calculada através da equação: % de reação = $\frac{SFAI - SFA}{SFA} \times 100$

² Valor crítico = 6,274 ($P < 0,01$)

³ Valor crítico = 48,083 ($P < 0,01$)

⁴ Valor crítico = 39,341 ($P < 0,01$)

⁵ Valor crítico = 83,213 ($P < 0,01$)

⁶ Valor crítico = 10,992 ($P < 0,01$)

e do número proporcional em relação aos ingredientes depende significativamente do tipo de farinha, sendo e pecialmente pronunciada aos 90 min. A reação da resistência da massa à extensão variou de um valor tão baixo como -1,9% (aos 90 min de tempo de fermentação da farinha comum) até um valor tão alto quanto +188,9% (aos 90 min de fermentação da Canadense Ocidental nº 1). A reação do número proporcional também mostrou grande variação, dependendo do tipo de farinha. A farinha comum, por exemplo, apresentou aumento de apenas +24,6% aos 45 min, enquanto que a Canadense Ocidental nº 1 aumentou +203,1% no mesmo tempo. Aos 90 min as reações foram de +140,1% e +551,9%, respectivamente.

Estes resultados mostram claramente que as propriedades de extensão da massa de diversas farinhas reagem diferentemente aos ingredientes do processamento, sendo a diferença de amplitude função do tipo de farinha. À vista disto, parece essencial a inclusão dos ingredientes na testagem da extensão da farinha. Estas descobertas são paralelas às encontradas no estudo das propriedades de mistura.

Em conclusão, parece que a incorporação dos ingredientes do processamento (cloreto de sódio, sacarose, lipídios, fermento e ácido ascórbico) na testagem das propriedades de mistura e extensibilidade da massa de qualquer farinha é indispensável para permitir a medição das reações e interações entre os constituintes da farinha e os ingredientes do processamento. O procedimento do SFAI é reprodutível, como

mostra a Tabela XXIV. (As propriedades de extensão da massa mostraram o mínimo de variação aos 90 min de fermentação.)

B. DESENVOLVIMENTO DO TESTE EXPERIMENTAL PADRONIZADO DE PANIFICAÇÃO

Para superar os problemas encontrados nos testes de panificação existentes, foi desenvolvido um novo método que possibilita controlar os requisitos da mistura, a absorção da água e a consistência da massa, além de propiciar uma precisa descrição científica dos vários parâmetros. Em razão da natureza do trabalho realizado e dos numerosos experimentos que foram necessários para estabelecer certas variáveis, apresenta-se aqui apenas um resumo das fases finais do trabalho.

1. Efeito do Tempo de Mistura

A mistura da massa do pão é essencial para proporcionar o contacto físico das moléculas de proteína e dos outros constituintes da farinha com as dos ingredientes adicionados à massa; e é essencial também para fornecer a energia necessária para formar a complexa rede de glúten capaz de reter os gases produzidos durante a fermentação. O efeito do tempo de mistura nas propriedades de extensão da massa do pão é apresentado na Figura 17. A mistura da massa até o tempo de chegada (25 min) resultou em massa mais fraca, como indicaram os valores menores de extensibilidade, resistência

Tabela XXIV

Reprodutibilidade do procedimento SFAI para a determinação das propriedades de mistura e extensão da massa¹

| | Limite mínimo | Limite máximo | Média | Desvio padrão |
|--|------------------|------------------|-------|------------------|
| <u>Propriedades de mistura</u> | | | | |
| Absorção de água (%) | 56,5 | 56,8 | 56,8 | --- |
| Tempo de chegada (min.) | 4,5 | 5,0 | 4,8 | 0,28 |
| Tempo de desenvolvi- mento (min.) | 9,5 | 10,5 | 10,1 | 0,47 |
| Estabilidade (min.) | 8,5 | 9,0 | 8,8 | 0,28 |
| Índice de tolerância (U.F.) | 35 | 35 | 35 | --- |
| <u>Propriedades de extensão aos 90 min. de fermentação</u> | | | | |
| Extensibilidade (mm) | 94 | 102 | 97,6 | 3,42 |
| Resistência à extensão (U.E.) | 485 | 500 | 490 | 7,07 |
| Resistência máxima (U.E.) | 490 | 540 | 512 | 20,75 |
| Número proporcional | 4,97 | 5,16 | 5,06 | 0,08 |
| Área total (cm ²) | 59,2 | 68,4 | 64,3 | 3,84 |

¹ Farinha de mistura nacional

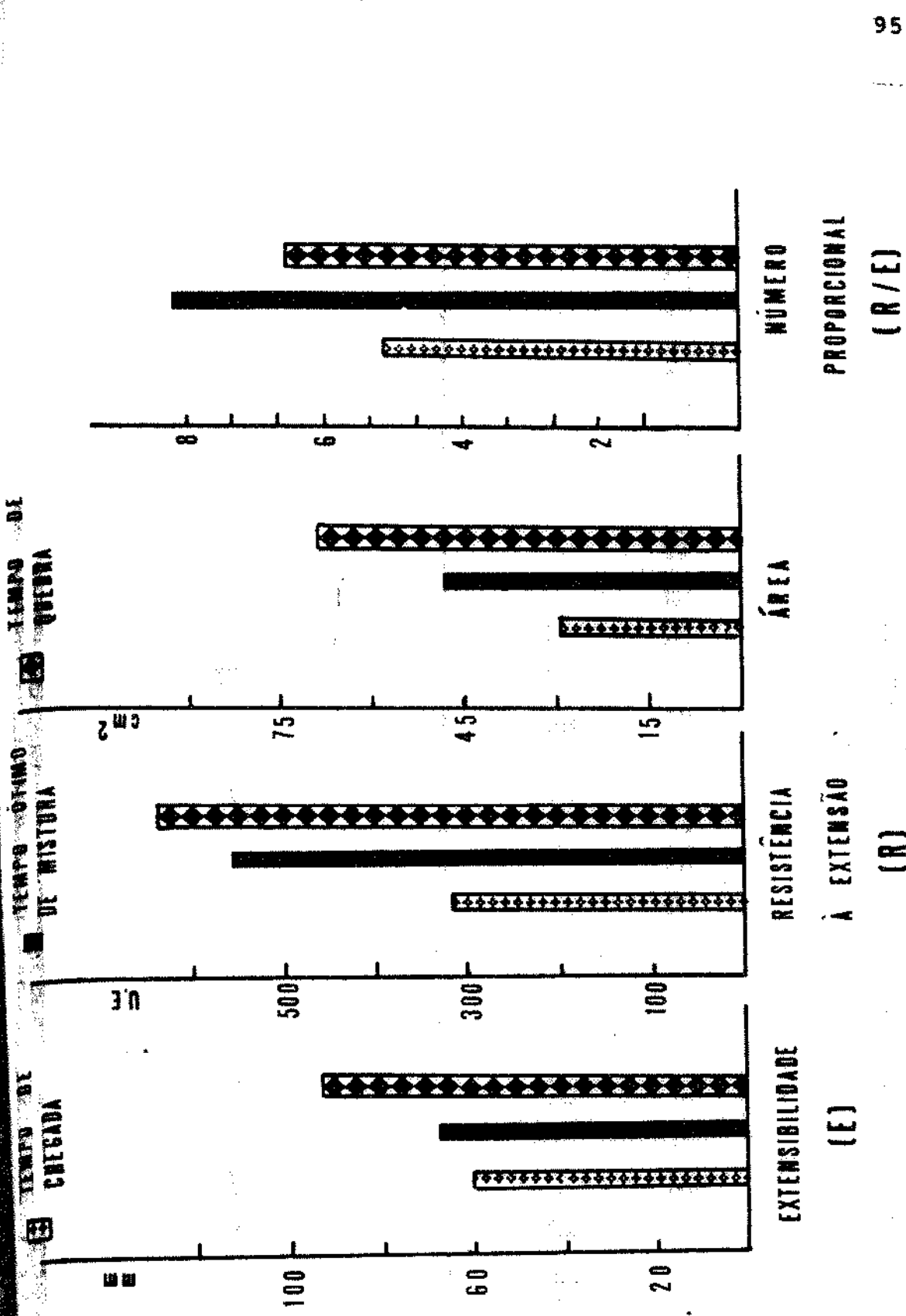


Figura 17. Efeito do tempo de mistura nas características de extensão da massa

à extensão, área do extensigrama e número proporcional. Apesar de a mistura da massa por 20 min (tempo de quebra) ter resultado em maior extensibilidade, maior resistência à extensão e maior área do extensigrama que a massa misturada pelo tempo ótimo de mistura (12 min), a força de extensão necessária para estender a massa 1 mm (número proporcional) foi menor, indicando que o excesso de mistura exerceu um efeito enfraquecedor na estrutura da massa. É, portanto, evidente que a massa do pão misturada no tempo ótimo de mistura apresenta as melhores propriedades de retenção de gás durante a fermentação.

Esta conclusão está de acordo com a qualidade geral do pão. O volume específico do pão foi maior quando a massa foi misturada no tempo ótimo de mistura usado no teste ($5,8 \text{ cm}^3/\text{g}$) do que quando foi misturada até o tempo de chegada ou o tempo de quebra ($4,5 \text{ cm}^3/\text{g}$ e $5,1 \text{ cm}^3/\text{g}$, respectivamente); além disso, a estrutura celular do pão feito com massa misturada até o tempo de chegada resultou muito fechada, enquanto que a massa misturada até o tempo de quebra produziu um pão com uma estrutura celular muito aberta. Considerou-se, por conseguinte, o tempo ótimo de mistura como o tempo apropriado para o teste de panificação neste estudo. Desta maneira a massa é misturada até seu desenvolvimento ótimo, o qual obviamente variará com o tipo e a qualidade da farinha usada; além disso, o tempo ótimo de mistura do teste pode ser precisamente determinado e é muito

bem definido. Este teste proporciona um registro permanente como se vê no testograma apresentado na Figura 18.

2. Efeito da Consistência da Massa

Os experimentos preliminares indicaram que o pão feito de massa com consistência inferior a 400 U.F. ou superior a 600 U.F. teve baixa qualidade. Por isso, a massa do pão foi feita em cinco diferentes níveis de consistência dentro daquele intervalo, ou seja a 400, 475, 500, 525 e 600 U.F., a fim de determinar a consistência ótima da massa que pudesse produzir o pão de mais alta qualidade. Cada massa foi misturada até o tempo ótimo de mistura; este tempo decresceu à medida em que a consistência da massa aumentou, indicando que o tempo de mistura é influenciado pela consistência da massa. Verificou-se que o tempo foi de 15,5; 12,0; 11,5; 10,8 e 10,5 min para massa com consistências de 400, 475, 500, 525 e 600 U.F., respectivamente.

O efeito da consistência da massa do pão como função da absorção da água sobre as propriedades do extensigrama é apresentado na Tabela XXV. A redução da absorção da água aumentou a consistência. Todo aumento na consistência foi acompanhado por redução na extensibilidade da massa, e por um aumento na resistência à extensão e no número proporcional.

O efeito da consistência da massa na qualidade do pão é apresentado na Tabela XXVI. O pão produzido com massa de 500 U.F. de consistência apresentou uma qualidade superior,

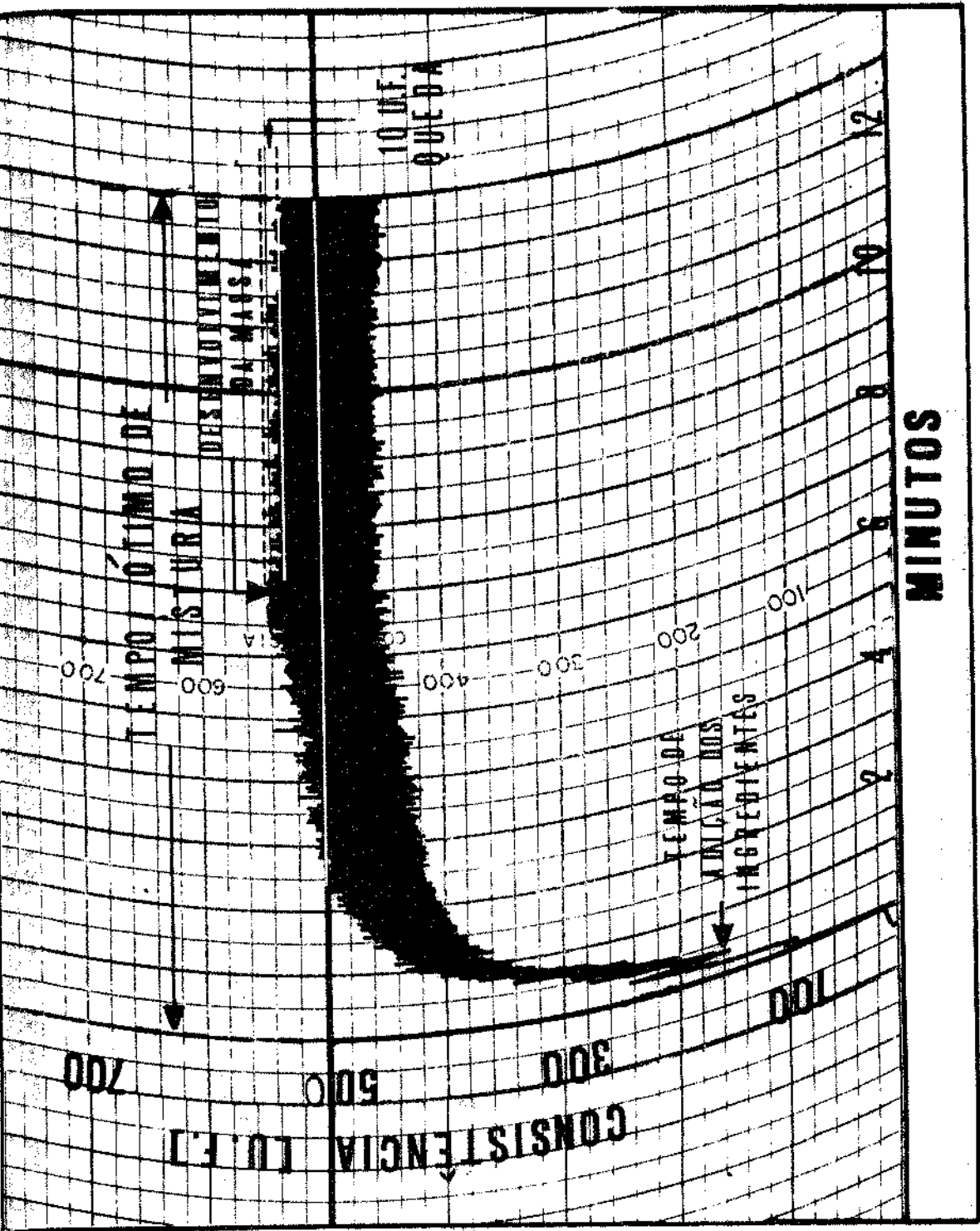


Figura 18. Testograma típico mostrando o tempo ótimo de mistura

Tabela XXV

Efeito da consistência da massa do pão na absorção de água e nas propriedades de extensão da massa

| | Consistência da massa do pão | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|
| | 400 | 475 | 500 | 525 | 600 |
| Absorção de água (%) | 55,7 | 53,4 | 51,4 | 50,2 | 48,2 |
| Extensibilidade (mm) | 80 | 82 | 72 | 70 | 67 |
| Resistência à extensão (U.E.) | 370 | 555 | 520 | 590 | 595 |
| Resistência máxima à extensão (U.E.) | 380 | 555 | 540 | 590 | 635 |
| Número proporcional | 4,62 | 6,76 | 7,22 | 8,19 | 8,88 |

Tabela XXVI

Efeito da consistência da massa do pão na
qualidade do pão

| | Valor máximo | Consistência da massa (U.F.) | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|------------------------------|------|------|------|------|
| | | 400 | 475 | 500 | 525 | 600 |
| <u>Características</u> | | | | | | |
| <u>externas</u> | 40 | | | | | |
| Volume (volume específico x 3,33) | 20 | 18,9 | 19,2 | 19,4 | 18,3 | 15,4 |
| Outras caracterís- ticas externas | 20 | 12 | 15 | 17 | 12 | 11 |
| <u>Características</u> | | | | | | |
| <u>internas</u> | 35 | | | | | |
| Total ¹ | 100 | 80,9 | 84,4 | 89,4 | 80,3 | 68,9 |

¹ Os 25 pontos possíveis para o aroma e o gosto permaneceram os mesmos para todas as amostras testadas.

seguido pelo de 475 U.F. Os pães feitos com massas de 400 e 525 U.F. de consistência resultaram quase iguais, embora se tenha verificado que o pão feito com massa de 400 U.F. de consistência era difícil de manusear. O pão produzido com massa da alta consistência (600 U.F.) mostrou marcada perda de qualidade. Conseqüentemente, concluiu-se que a massa de pão de 500 U.F. de consistência é a mais adequada para a padronização do teste experimental de panificação. Além disto, a consistência, como foi determinada neste procedimento, pode ser ajustada com precisão para permitir o teste de farinha em qualquer consistência.

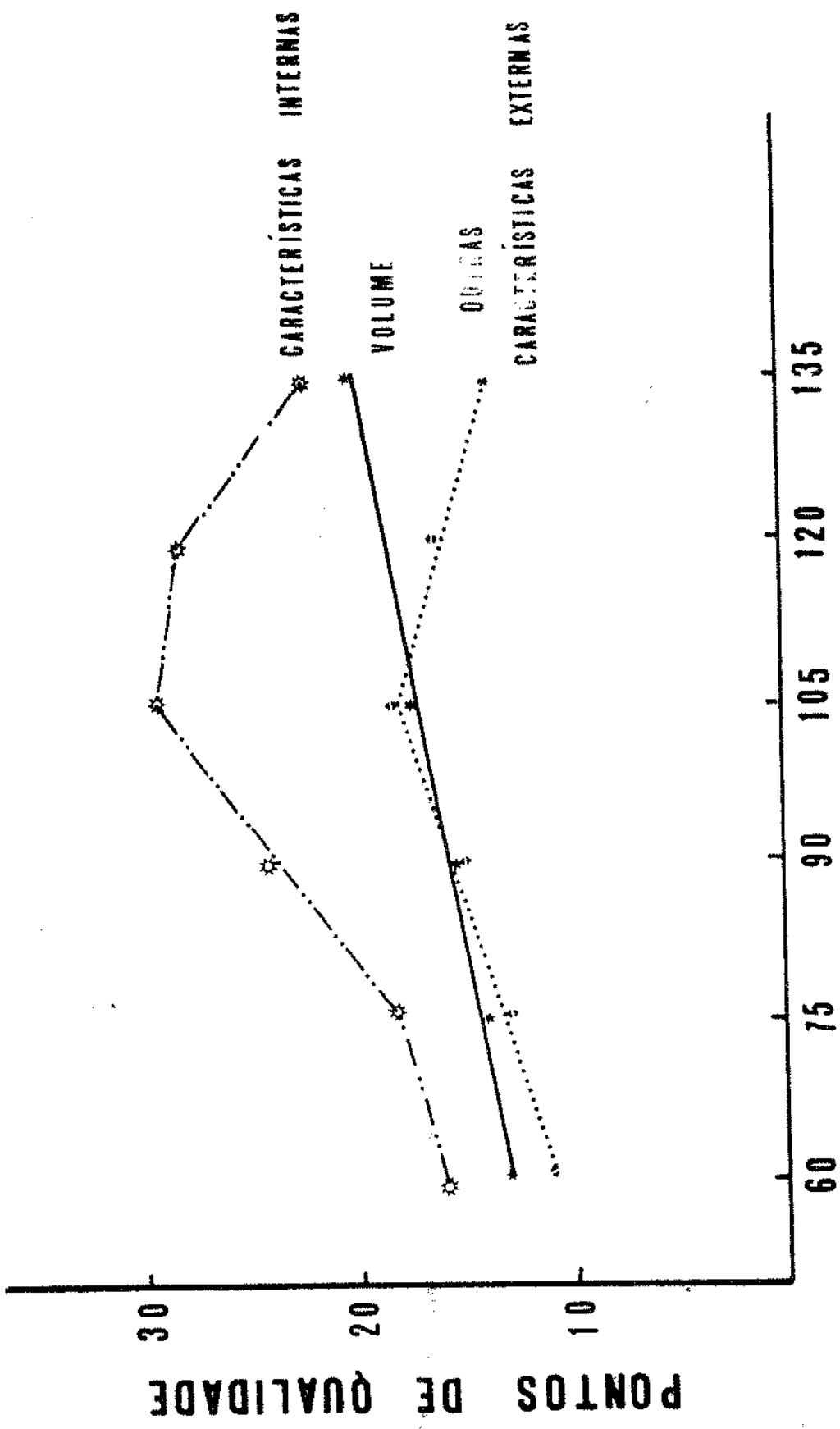
3. Efeito do Tempo de Fermentação

Neste estudo foi empregada uma fermentação de estágio único. Durante o desenvolvimento deste procedimento observou-se que o descanso ou a fermentação da massa desenvolvida antes da divisão ou boleamento, mesmo por curtos períodos de tempo, resultou em massa altamente sensível à operação mecânica. Isto se tornou evidente pela perda de volume e de qualidade do pão. Um efeito semelhante foi relatado por Tipples e Kilborn (59), que demonstraram que mesmo um curto período de descanso após seu desenvolvimento torna a massa extremamente susceptível a um efeito inicial destrutivo ou de desmistura (unmixing); o estudo da panificação realizado por estes autores confirmou que um período de descanso aumenta o efeito de desmistura observado.

Os pontos de qualidade de volume aumentaram linearmente com o aumento do tempo de fermentação (Figura 19). O grau de aumento do volume do pão para o período entre 60 e 75 min de fermentação foi de 0,05 pontos por minuto; entre 75 e 120 min de fermentação, o grau de aumento foi de 0,1 ponto por minuto, caindo para 0,09 por minuto nos últimos 15 minutos de fermentação. As características internas e externas apresentaram seus maiores melhoramentos de qualidade a cerca de 105 minutos de fermentação, mas um tempo mais longo de fermentação causou a queda na qualidade do pão e uma estrutura celular muito aberta, com a presença de buracos. Concluiu-se, então, que o tempo ótimo de fermentação deve ser de 105 minutos. Este tempo de fermentação pode, entretanto, ser variado para determinar o tempo ótimo de fermentação para qualquer farinha.

4. Reprodutibilidade do Teste e Sensibilidade aos Vários Elementos de Qualidade da Farinha

O teste de panificação foi executado oito vezes num período de uma semana para testar a reprodutibilidade dos resultados. Tomou-se o volume específico como o elemento mais adequado na testagem da reprodutibilidade por ser o mais objetivo na avaliação da qualidade do pão. As duas farinhas usadas nesta parte do estudo eram farinhas comerciais não tratadas e não branqueadas. O pão produzido com a primeira (cinza 0,53%, proteína 10,65%, absorção de água 56,0%) teve um volume específico médio de $4,83 \text{ cm}^3/\text{g}$, com os limites



TEMPO DE FERMENTAÇÃO (min.)

Figura 19. Efeito do tempo de fermentação na qualidade do pão

máximo e mínimo de $4,99 \text{ cm}^3/\text{g}$ e $4,67 \text{ cm}^3/\text{g}$; o desvio padrão foi 0,0541 e o erro padrão 0,0113. O pão feito com a segunda farinha (cinza 0,60%, proteína 12,44%, absorção de água 59,0%) teve um volume específico médio de $5,74 \text{ cm}^3/\text{g}$, com os limites máximo e mínimo de $5,88 \text{ cm}^3/\text{g}$ e $5,54 \text{ cm}^3/\text{g}$; o desvio padrão foi 0,1350 e o erro padrão 0,0449. Outras evidências da reprodutibilidade e sensibilidade do teste são discutidas abaixo.

a. Sensibilidade do teste aos ingredientes do processamento. O teste de panificação proposto neste estudo demonstrou ser bastante sensível aos ingredientes de panificação. Como indicam os resultados ilustrados na Figura 20, o pão feito de massa com a consistência de 500 U.F. e misturada no tempo ótimo de mistura do teste, usando a fórmula básica de farinha, fermento, cloreto de sódio e sacarose teve baixo volume específico e baixo número de pontos de qualidade de volume, assim como baixa qualidade geral, indicando que são essenciais outros ingredientes na produção de pão de alta qualidade. A adição de 90 ppm de ácido ascórbico melhorou a qualidade apenas ligeiramente, mas a adição de 3% de lipídios ou de 0,5% de estearoil-lactil-lactato de cálcio (E.L.L.C.) produziu uma melhora pronunciada tanto do volume, quanto da qualidade geral do pão. A adição de ácido ascórbico em combinação com lipídios ou E.L.L.C. melhorou a qualidade ainda mais.

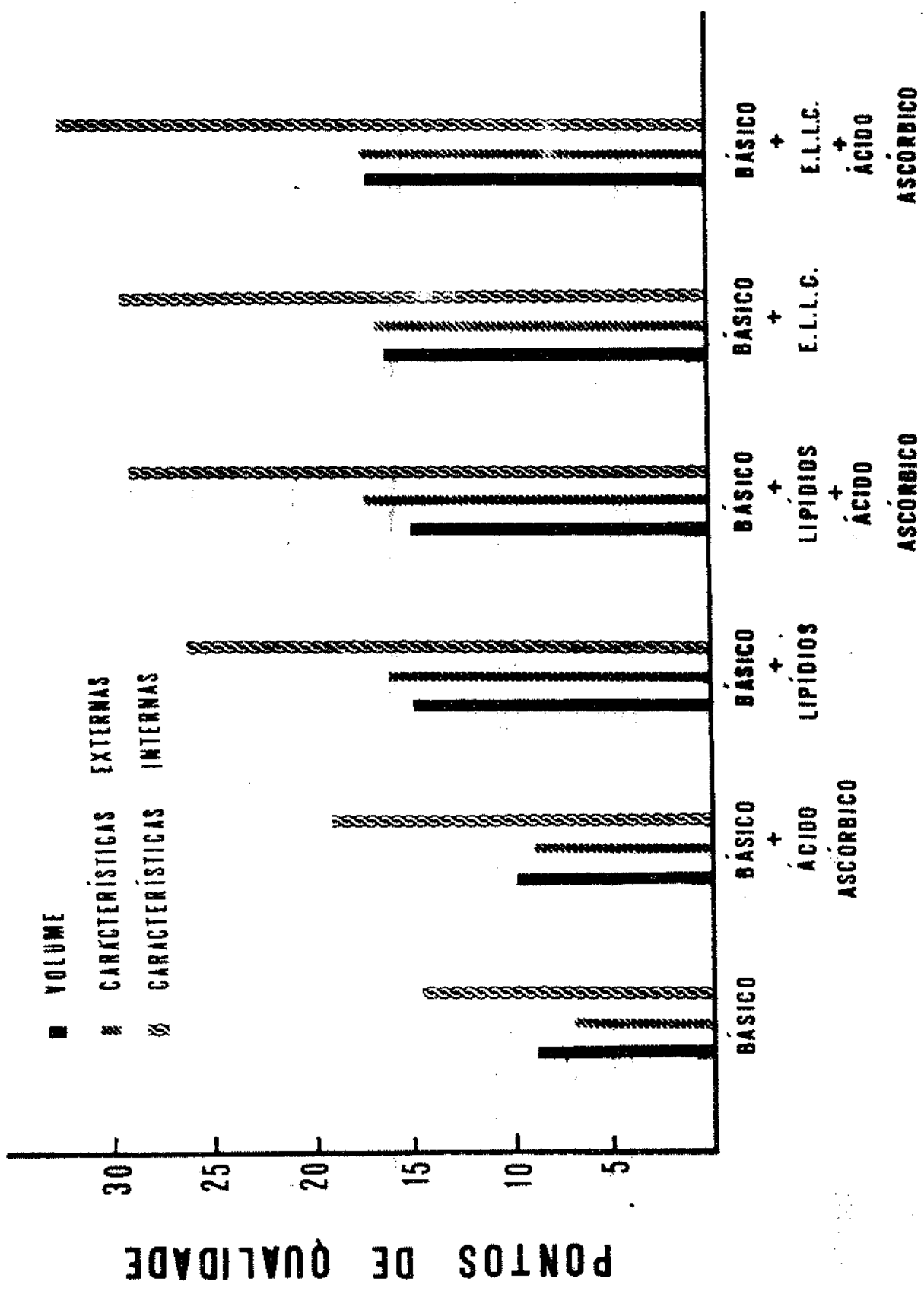


Figura 20. Reação do teste aos ingredientes do processamento

b. Sensibilidade do teste ao grau do trigo. Nesta parte do estudo foram utilizadas amostras representativas de dois graus de trigos internacionalmente reconhecidos: Canadense Ocidental nº 1 e Canadense Ocidental nº 3. A qualidade do primeiro é internacionalmente considerada um tanto melhor que a do segundo. Uma análise desses trigos e da qualidade das farinhas produzidas com eles é apresentada na Tabela XXVII. A farinha do trigo Canadense Ocidental nº 1 é caracterizada por um maior conteúdo de proteína e um menor teor de cinza que a do trigo Canadense Ocidental nº 3. A qualidade de panificação dessas farinhas foi determinada pelo procedimento de panificação recomendado neste trabalho e os resultados obtidos foram então comparados com os resultados oficiais da Comissão Canadense de Grãos (CCG) do Ministério de Agricultura do Canadá (Tabela XXVIII). Ambas as séries de dados confirmam os resultados esperados de que o trigo e a farinha do Canadense Ocidental nº 1 são de melhor qualidade que os do Canadense Ocidental nº 3. Entretanto, os resultados da CCG mostram que o primeiro dá um volume apenas aproximadamente 7,5% maior que o do último, enquanto que com o teste de panificação deste estudo a diferença é de aproximadamente 16%, o que classificaria o Canadense Ocidental nº 3 em grau relativamente inferior ao da CCG. Esta diferença nos resultados é provavelmente devida a diferenças no processo de moagem. O processo de moagem usado no presente estudo não permite uma purificação

Tabela XXVII

Propriedades do trigo e da farinha de trigo canadense
ocidental nº 1 e nº 3

| | Canadense Ocidental nº1 | Canadense Ocidental nº3 |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <u>Qualidade do Trigo</u> | | |
| Peso específico (kg/hl) | 80,5 | 77,3 |
| Umidade (%) | 12,70 | 12,80 |
| Proteína (%) | 12,52 | 11,31 |
| Cinza (%) | 1,59 | 1,60 |
| Gordura (%) | 1,91 | 1,98 |
| Rendimento da farinha (%) | 74,70 | 71,60 |
| <u>Qualidade da Farinha</u> | | |
| Umidade (%) | 14,00 | 14,10 |
| Proteína (%) | 12,33 | 10,32 |
| Cinza (%) | 0,59 | 0,63 |
| Gordura (%) | 1,34 | 1,31 |
| Viscosidade máxima (U.A.) | 1000 | >1000 |
| <u>Farinograma (SFA)</u> | | |
| Absorção de água (%) | 63,8 | 64,0 |
| Tempo de chegada (min) | 3,0 | 1,5 |
| Tempo de desenvolvi- mento (min) | 5,5 | 3,0 |
| Estabilidade (min) | 7,0 | 7,0 |
| Tempo de saída (min) | 10,0 | 8,5 |
| Índice de tolerância (U.F.) | 40 | 20 |
| <u>Extensigrama aos 135 min (SFA)</u> | | |
| Extensibilidade (mm) | 173 | 156 |
| Resistência à extensão (U.E.) | 175 | 240 |
| Resistência máxima (U.E.) | 217 | 295 |
| Número proporcional | 1,00 | 1,54 |
| Área (cm ²) | 54,5 | 63,3 |

Tabela XXVIII

Comparação dos resultados do teste da qualidade de panificação da farinha de trigo e daqueles relatados pela Comissão Canadense de Grão (10)

| | Canadense Ocidental | |
|---|---------------------|------------------|
| | Grau nº 1 | Grau nº 3 |
| <u>Resultados do teste de panificação</u> | | |
| Volume em cm ³ (médio) | 759 | 654 |
| Volume específico em cm ³ (médio) | 5,67 | 5,00 |
| Limite mínimo | 5,58 | 4,84 |
| Limite máximo | 5,77 | 5,13 |
| Desvio padrão | 0,0707 | 0,0986 |
| Erro padrão | 0,0204 | 0,0280 |
| <u>Resultados da Comissão Canadense de Grão¹</u> | | |
| Volume em cm ³ | | |
| Cargas (Atlântico) | 770 ² | 740 ³ |
| Cargas (Pacífico) | 755 ⁴ | 680 ⁵ |
| Média | 762,5 | 710,0 |

¹ Teste de panificação usado: um procedimento de tempo de mistura fixo. A massa foi misturada a uma velocidade alta (130 rpm) por 3,5 minutos; após a sova a massa foi remisturada por 2,5 minutos. O tempo de fermentação total foi de 4,5 h a 30°C. A determinação da absorção de água das massas foi feita tomando-se primeiramente a absorção indicada no farinôgrafo, arredondando o número para inteiros e subtraindo 1%. Mas a determinação final da absorção foi realizada através das propriedades de manuseio da massa (10).

² Média dos resultados de 11 cargas (aproximadamente 200.000 toneladas): proteína da farinha 11,8%; cinza 0,44%

³ Média dos resultados de 1 carga (aproximadamente 18.000 toneladas): proteína da farinha 12,2%; cinza 0,52%

⁴ Média dos resultados de 31 cargas (aproximadamente 500.000 toneladas): proteína da farinha 12,2%; cinza 0,46%

⁵ Média dos resultados de 8 cargas (aproximadamente 140.000 toneladas): proteína da farinha 10,9%; cinza 0,52%.

completa da farinha com cabal separação do farelo. A farinha assim produzida tende a ter um teor de cinza ligeiramente maior, o qual tende a reduzir a qualidade. Embora ambos os trigos tenham teores de cinza semelhantes, o Canadense Ocidental nº 3 retém mais cinza durante a moagem; em consequência, a insuficiência do processo de moagem usado neste estudo para purificar as farinhas resultou numa maior diferença nos teores de cinza.

c. Sensibilidade do teste ao grau da farinha.

Dois tipos de farinhas comerciais são usadas comumente no Brasil: a semolina e a farinha comum. É bem reconhecido comercialmente que produzidas de um mesmo trigo, a farinha de semolina é de melhor qualidade que a farinha comum, o que justifica o pagamento de preços mais altos pela primeira. Depois de analisar as propriedades de amostras dos dois tipos de farinha, tomadas ao mesmo tempo de um moinho comercial, verificou-se que a farinha de semolina correspondeu a uma extração de aproximadamente 72%, enquanto que a farinha comum acusou uma extração de aproximadamente 80%, como evidenciam as análises químicas apresentadas na Tabela XXIX.

A qualidade de panificação das duas farinhas foi então determinada usando-se o presente teste para avaliar a sensibilidade deste ao grau da farinha. O teste indicou que a farinha de semolina tem qualidade tecnológica superior em comparação com a farinha comum, como foi evidenciado pelo

Tabela XXIX

Propriedades químicas, físicas e de panificação da semolina
e da farinha comum

| | Semolina | Comum |
|--|----------|--------|
| <u>Composição química</u> | | |
| Umidade (%) | 13,05 | 13,15 |
| Proteína (%) | 10,63 | 12,44 |
| Cinza (%) | 0,43 | 0,77 |
| Gordura (%) | 0,89 | 1,44 |
| Viscosidade máxima (U.A.) | 250 | 160 |
| <u>Farinograma (SFA)</u> | | |
| Absorção de água (%) | 59,2 | 59,2 |
| Tempo de chegada (min) | 2,0 | 1,7 |
| Tempo de desenvolvimento (min) | 6,0 | 5,3 |
| Estabilidade (min) | 5,2 | 7,5 |
| Tempo de saída (min) | 9,2 | 9,3 |
| Índice de tolerância (U.F.) | 45 | 55 |
| <u>Extensigrama a 135 min (SFA)</u> | | |
| Extensibilidade (mm) | 200 | 156 |
| Resistência à extensão (U.E.) | 276 | 471 |
| Resistência máxima (U.E.) | 411 | 676 |
| Número proporcional | 1,38 | 3,03 |
| Área (cm ²) | 112,3 | 146,5 |
| <u>Volume específico do pão (cm³/g)</u> | | |
| Limite mínimo | 5,85 | 5,08 |
| Limite máximo | 6,17 | 5,36 |
| Desvio padrão | 0,1204 | 0,1089 |
| Erro padrão | 0,0400 | 0,0363 |

maior volume específico do pão (Tabela XXIX). A farinha de semolina foi avaliada como sendo 22% melhor que a farinha comum, mesmo apesar de a última ter um conteúdo de proteína superior ao da primeira. A proteína existente na farinha comum incorpora, entretanto, um pouco de proteína de baixa qualidade tecnológica, presente na camada de aleurona e no farelo, incorporados numa farinha de tão alta extração (64).

V. SÍNTESE E CONCLUSÕES

Os ingredientes do processamento exercem um efeito pronunciado sobre as propriedades físicas da massa. A viscosidade da farinha foi influenciada principalmente pelo cloreto de sódio e pela sacarose, ambos aumentando a viscosidade. O efeito do cloreto de sódio é devido a uma inibição da atividade da α -amilase e a um fortalecimento das ligações associativas das moléculas de amido, enquanto que o efeito da sacarose é provavelmente o resultado da hidratação competitiva entre as moléculas de sacarose e de amido. A viscosidade de diversas farinhas, entretanto, não reage aos ingredientes com a mesma intensidade; assim, a inclusão de sacarose (5%) e NaCl (1,75%) é essencial na determinação da viscosidade da farinha, de maneira a levar em conta a interação entre os ingredientes e os componentes da farinha.

Os ingredientes também afetam a energia de mistura da massa. Observou-se que tanto o cloreto de sódio como os lipídios aumentam a energia de mistura necessária para o desenvolvimento ótimo da massa, embora a intensidade do efeito do primeiro tenha sido bem maior; a adição de sacarose, entretanto, causou uma redução na energia ótima de mistura e uma redução ainda mais pronunciada na energia de quebra e na energia total. O ácido L-ascórbico também reduziu a energia de mistura, porém aumentou a energia necessária para romper a rede de glúten. Ele aparentemente age diretamente

sobre as proteínas da massa como um agente redutor; então, provavelmente, os segmentos reduzidos das moléculas de proteína sofrem mudanças de conformação e revelam novas regiões de forças secundárias de ligação. Além disso, mediante oxidação dos grupos sulfidrílicos pelo ácido dehidroascórbico, podem se formar novas ligações dissulfídicas intramoleculares e intermoleculares. Estas modificações resultam em melhor agregação das macrofibrilas das proteínas, aumentando portanto sua resistência ao rompimento mecânico

Observou-se que o efeito coletivo dos ingredientes do processamento sobre as propriedades de mistura e extensão da massa era significativo ao nível de confiança de 0,01 para todos os parâmetros do farinograma e do extensigrama, para todas as farinhas testadas. A incorporação dos ingredientes resultou em uma redução na velocidade e na capacidade de absorção de água. O tempo de desenvolvimento da massa aumentou, com a formação de uma massa estável e tolerante à mistura. Observou-se uma redução na energia total necessária para esticar a massa até o ponto de ruptura, acompanhado por um decréscimo na extensibilidade e um aumento na resistência à extensão. Portanto, uma aplicação direta das informações obtidas com o sistema padrão SFA produziria uma massa de consistência bastante baixa e uma rede de glúten não completamente desenvolvida. Também observou-se que as propriedades de mistura e extensão de diferentes farinhas reagem diferentemente aos ingredientes; as diferenças na intensidade

da reação são função do tipo de farinha. Então, a formação da rede de glúten na massa não é somente uma função dos elementos de qualidade inerentes da farinha, mas também dos ingredientes utilizados no processamento.

Considerando os resultados obtidos neste estudo, é essencial que os ingredientes do processamento (cloreto de sódio, sacarose, lipídios, fermento e ácido ascórbico) sejam incorporados ao se testar as propriedades de mistura e extensão de qualquer farinha em questão, de maneira a levar em conta e a medir as reações e interações entre os constituintes da farinha e os ingredientes.

A partir dos resultados obtidos na padronização do teste experimental de panificação tornou-se evidente que a massa misturada até o ponto ótimo de desenvolvimento da rede de glúten apresenta as melhores propriedades de retenção de gás. Tanto o tempo ótimo de mistura como a consistência da massa podem ser precisamente definidas e exatamente determinadas pelo método descrito neste trabalho; verificou-se que a consistência de 500 U.F. era a mais adequada à padronização do teste experimental de panificação. Observou-se que o tempo ótimo de fermentação era 105 min (sem período intermediário de repouso). Verificou-se também que o teste experimental de panificação era reprodutível e sensível aos ingredientes do processamento, bem como capaz de diferenciar farinhas e trigos de diferentes qualidades e de diferentes graus.

A padronização de todas as condições utilizadas no teste experimental de panificação proposto permite que se teste a qualidade tecnológica global de uma farinha sob condições fixas; permitindo, portanto, que os resultados possam ser comparados entre laboratórios, ou dentro de um mesmo laboratório. Por outro lado, uma vez que a consistência da massa e os tempos de mistura e de fermentação podem ser sistematicamente variados, é possível determinar as condições ótimas combinadas para tratar das características inerentes de qualquer farinha ou mistura de farinhas.

O sistema proposto para teste da qualidade tecnológica de farinha apresentado neste trabalho é consistente em seus procedimentos básicos: os parâmetros físicos são determinados no mesmo sistema de massa como também é determinada a qualidade tecnológica global da farinha (teste de panificação). Este sistema também leva em consideração as reações e interações dos constituintes da farinha com os ingredientes do processamento. Todos os parâmetros utilizados neste sistema são exatos e precisamente definidos em termos objetivos, particularmente os elementos críticos de absorção de água, consistência da massa e requisitos de mistura para desenvolver a rede de glúten até seu ótimo. Além disso, o sistema é mecanizado em todas as etapas; os resultados obtidos são reproduzíveis e independem da opinião do operador.

SISTEMA DESENVOLVIDO PARA TESTAGEM DA QUALIDADE DE
FARINHA

A. TESTAGEM DA VISCOSIDADE DA FARINHA

Aparelhos

1. Viscoamilógrafo Brabender equipado com cartucho de sensibilidade de 700 cmg com velocidade ajustada para 75 rpm.

Reagentes

1. Cloreto de sódio - 1,4 g
2. Sacarose - 4 g

Procedimento

1. Pesar 80 g de farinha na base de 14% de umidade.
2. Medir 450 ml de água destilada (\pm a quantidade de água necessária para ajustar a umidade da farinha a 14%).
3. Dissolver o cloreto de sódio e a sacarose numa porção da água (300 ml) em um frasco erlenmeyer de 1 litro; em seguida fazer uma suspensão da amostra de farinha com uma agitação rápida por 0,5 minutos.
4. Derramar a suspensão no recipiente do amilógrafo. Usar a água remanescente para transferir quantitativamente qualquer material remanescente para o recipiente do amilógrafo.
5. Colocar o agitador e conectá-lo com o registrador; ajustar a temperatura para 25°C com o controlador da temperatura no ciclo de aquecimento (1,5°C/min).

6. Depois que a temperatura alcançar 95°C , manter nessa temperatura por 20 min, e então resfriar na razão de $1,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, até a temperatura atingir 50°C .

Avaliação do viscoamilograma

É possível determinar os seguintes parâmetros do viscoamilograma:

1. Temperatura inicial de gelatinização: É a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da suspensão no momento da primeira indicação de aumento da viscosidade (durante o ciclo de aquecimento).
2. Temperatura da viscosidade máxima: É a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na qual a suspensão atinge o valor de viscosidade máxima (durante o ciclo de aquecimento).
3. Viscosidade máxima: É o valor máximo de viscosidade em Unidades Amilográficas (U.A.) que a suspensão atinge durante o ciclo de aquecimento.
4. Viscosidade mínima a temperatura constante: É o valor mínimo que alcança a viscosidade da pasta em U.A. durante o ciclo de temperatura constante a 95°C .
5. Viscosidade final a 50°C no ciclo de resfriamento: É o valor da viscosidade em U.A. quando a temperatura da suspensão atinge 50°C no final do ciclo de resfriamento.

B. TESTAGEM DAS PROPRIEDADES DE MISTURA, DE EXTENSÃO DA MASSA E DA QUALIDADE TECNOLÓGICA GLOBAL DA FARINHA (PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE PANIFICAÇÃO)

Aparelhos

1. Farinógrafo Brabender com misturador de 300 g
2. Extensígrafo Brabender
3. Forno equipado com controle de temperatura até 250°C
4. 4 formas de estanho 2xx; parte superior com 14 x 6,8 cm; fundo com 13 x 5,5 cm; altura de 4,2 cm
5. 2 formas chatas de 21 x 11 x 1 cm

Reagentes

1. Cloreto de sódio - 5,25 g
2. Sacarose - 15 g
3. Lipídios (óleo vegetal hidrogenado) - 9 g
4. Fermento - 9 g
5. Solução de ácido L-ascórbico - 27 mg/ml

Procedimento

Ajuste dos aparelhos

1. Ajustar o termóstato do circulador de água do farinógrafo e do extensígrafo em 30°C.
2. Ajustar a sensibilidade do farinógrafo na posição do misturador de 300 g e ajustar a posição "zero" do indicador no ponto zero. A largura da banda deve ser ajustada em 70-80 U.F.
3. Ajustar o mecanismo de balança do extensígrafo segundo as instruções fornecidas pelo fabricante do aparelho.
4. Certificar-se de que as unidades boleadora e moldadora do extensígrafo estejam limpas.

Mistura da massa:

1. Colocar 300 g de farinha (na base 14%) no recipiente limpo e seco do farinógrafo. Misturar em velocidade baixa (31,5 rpm) por 30 segundos, em seguida em velocidade alta (63 rpm) por 4,5 min para assegurar homogeneidade da amostra e permitir que a farinha atinja a temperatura do misturador.

2. Encher com água destilada a 30°C a bureta de 300 ml com ajuste automático zero; em seguida retirar aproximadamente 50 ml para dissolver o cloreto de sódio e a sacarose. Retirar ainda 50 ml para fazer uma suspensão com o fermento.

3. Ajustar o papel gráfico do farinógrafo em 0 min e ligar o registrador enquanto a solução cloreto de sódio-sacarose-água está sendo adicionada no canto direito do misturador. A seguir, adicionar a suspensão de fermento e, logo, 1 ml da solução de ácido ascórbico. Usar aproximadamente 25 ml da água remanescente da bureta para enxaguar ambos os recipientes de cloreto de sódio-sacarose e de fermento assegurando assim uma adição quantitativa dos mesmos à farinha. Em seguida, adiciona-se água suficiente para centralizar o testograma da massa com todos os ingredientes ao torque máximo sobre a linha de consistência de 500 U.F. Adicionar os lipídios e quando a massa começar a se formar, raspar as paredes internas do misturador e cobri-lo com sua tampa apropriada.

4. Todos os ingredientes devem ser adicionados nesta sequência: a solução de cloreto de sódio-sacarose, a solução de fermento, a solução de ácido-ascórbico, o restante da água para atingir a linha de 500 U.F. e os lipídios; todos devem ser adicionados em 30 segundos. Se a adição de todos os ingredientes demorar mais que 30 segundos, ou se o testograma no torque máximo não estiver centralizado na linha de consistência de 500 U.F., o teste deve ser repetido.

5. Misturar a massa (formada pela adição de todos os ingredientes em 30 segundos) a 63 rpm até que se observe uma queda de 10 U.F., após ter sido alcançado o desenvolvimento máximo (500 U.F.).

6. Imediatamente após a parada do misturador, três pedaços de massa (150 g) devem ser cortados, arredondados e moldados em forma de cilindros com as unidades boleadora e moldadora do extensígrafo. Um dos pedaços será usado para o teste de extensão e os outros dois serão usados para a fermentação e tratamento térmico.

Teste de extensão da massa

Colocar um pedaço de massa no dispositivo do extensígrafo pré-lubrificado e depositá-lo na cabine de fermentação do extensígrafo. Após 45 min de fermentação a contar de fim da moldagem, colocar o dispositivo com a massa no mecanismo de balança do extensígrafo. Ajustar a balança em zero e ligar o gancho esticador. Quando romper a massa, tirá-la do

dispositivo, arredondá-la e moldá-la novamente. Colocá-la, então, no dispositivo que deve ser em seguida colocado na cabine de fermentação. Repetir o teste de extensão após mais 45 min de fermentação com o mesmo pedaço de massa.

Fermentação e tratamento térmico:

Colocar os outros dois pedaços em formas de panificação e colocar estas na cabine de fermentação do extensígrafo por cima da forma chata contendo 25 ml de água para manter a umidade dentro da cabine de fermentação. Após 105 min, tratar termicamente os dois pedaços de massa por 20 min a 220°C.

Avaliação dos Resultados

Avaliação das propriedades da mistura:

O testograma obtido pode ser interpretado como segue:

1. Absorção de água: É a quantidade de água destilada a 30°C que é necessária para centralizar o testograma da massa (contendo todos os ingredientes acima mencionados) ao torque máximo na linha das 500 U.F. Para a correção da absorção de água devido a variação no conteúdo de umidade na farinha, deve-se usar a seguinte equação:

$$\% \text{ absorção correta} = \frac{(A + F) - 300}{3} \times 100$$

onde A = ml de água para produzir o testograma com a consistência máxima de 500 U.F. (incluindo o ml de solução de ácido ascórbico)

F = farinha usada em gramas equivalente a 300 g na base de 14% de umidade.

2. Tempo ótimo de mistura do teste: É o tempo em minutos necessário para misturar a massa até uma queda de 10 U.F. ser observada após o desenvolvimento máximo.

Avaliação das propriedades de extensão:

Pode-se determinar os seguintes parâmetros do extensigrama:

1. Resistência máxima à extensão (R_m): É a resistência à extensão em U.E., no ponto de máxima resistência.

2. Resistência à extensão (R): É a resistência à extensão em U.E. com 50 mm de extensão da massa.

3. Extensibilidade (E): É o comprimento total da curva em mm.

4. Número proporcional (R/E): É a relação entre resistência (R) e a extensibilidade (E).

5. Área: É a área total em cm^2 abaixo da curva

Avaliação da qualidade do pão:

O volume do pão produzido é determinado pelo deslocamento de sementes no aparelho medidor de volume, no espaço de uma hora. O volume específico é calculado e este valor é multiplicado por 3,33 de modo a resultar no máximo de 20 pontos para o pão com um volume específico de 6, o que é considerado ótimo. A cor da crosta (10 pontos), quebra e pestana (5 pontos), e simetria (5 pontos) foram também consideradas como características externas do pão (total máximo de 40 pontos). As características internas (35 pontos) incluíram as características internas da crosta (5 pontos),

a cor do miolo (10 pontos) e a granulabilidade e textura do miolo (10 pontos cada). O aroma (10 pontos) e o gosto (15 pontos) foram também incluídos para se obter o número de pontos máximo de qualidade de 100 pontos.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. AITKEN, T. R., FISHER, M. H., e ANDERSON, J. A. Effect of protein content and grade on farinograms, extensigrams and alveograms. *Cereal Chem.* 21: 465 (1944).
2. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). AACC Committee reports on experimental baking test. *Cereal Chem.* 2: 232 (1925)
Ibid. 3: 252 (1926)
Ibid. 4: 299 (1927)
Ibid. 5: 158 (1928)
Ibid. 6: 249 (1929)
Ibid. 7: 348 (1930)
Ibid. 8: 63 (1931)
Ibid. 8: 265 (1931)
Ibid. 9: 404 (1932)
Ibid. 10: 531 (1933)
Ibid. 11: 360 (1934)
Ibid. 11: 363 (1934)
Ibid. 13: 724 (1936)
Ibid. 21: 556 (1944)
3. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). Approved Methods of the AACC, Métodos 08-01, 10-10, 10-11, 22-10, 30-26, 32-10, 44-15A, 46-13, 54-10, 54-21, 84-10. The Association: St. Paul, Minn. (1976).

4. ASSOCIATION OF OPERATIVE MILLERS. Cereal Millers Handbook, vol. 1. Burgess Publishing Co.: Minneapolis, Minn. (1963).
5. BARBER, J., e KENNEDY, B. M. Relationship among dough ingredients, water absorption, moisture content of bread and bread yield. Cereal Chem. 35: 201 (1958).
6. BETSCHART, A. A., SAUNDERS, R. M., BEAN, M. M., e KOHLER, G. O. Effect of processing on the baking quality of wet alkaline process wheat protein concentrate. Cereal Chem. 52: 812 (1975).
7. BLISH, M. J. The present status of the "standard" AACC baking test. Cereal Chem 13: 728 (1936).
8. BLOKSMA, A. H. Rheology and chemistry of dough. Chap. II in Wheat Chemistry and Technology, Y. Pomeranz, ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minn. (1971).
9. BRABENDER, C. W. Physical dough testing. Cereal Science Today 10: 291 (1965).
10. CANADIAN GRAIN COMMISSION - AGRICULTURE CANADA. Canadian Wheat Cargoes, Quarterly Bulletin n^o 165. Supply and Services Canada: Ottawa, Canada (1977).
11. CARTER, J. E., e PACE, J. Some interrelationships of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in the presence of flour suspensions and in dough. Cereal Chem. 42: 201 (1965).

12. COOKSON, M. A., e RITCHIE, M. L. A semi micro baking procedure with mechanical dough handling, primarily designed for evaluation of additives. *Cereal Chem.* 33: 102 (1956).
13. D'APPOLONIA, B. L. Effect of bread ingredients on starch gelatinization properties as measured by the amylograph. *Cereal Chem.* 49: 532 (1972).
14. D'APPOLONIA, B. L., e GILLES, K. A. Effect of various starches in baking. *Cereal Chem.* 48: 625 (1971).
15. D'APPOLONIA, B. L., GILLES, K. A., e MEDCALF, D. G. Effect of water soluble pentosans on gluten-starch loaves. *Cereal Chem.* 47: 194 (1970).
16. DE LANGE, P. e HINTZER, H. M. R. Studies on wheat proteins II. Significance of sulfhydryl group and disulfide bonds for baking strength. *Cereal Chem.* 32: 314 (1955).
17. DEMPSTER, C. J., HLYNKA, I., e WINKLER, C. A. Quantitative extensograph studies of relaxation of internal stresses in nonfermenting bromated and unbromated doughs. *Cereal Chem.* 29: 39 (1952).
18. EL-DASH, A., e JOHNSON, J. A. Protease enzymes: Effect on bread flavor. *Cereal Science Today* 12: 282 (1967).
19. FINNEY, K. F., e BARMORE, M. A. Yeast variability in wheat variety test baking. *Cereal Chem.* 20: 194 (1943).
20. FINNEY, P. L., MAGOFFIN, C. D., HOSENEY, R. C., e FINNEY, K. F. Short-time baking systems. I. Inter-

- dependence of yeast concentration, fermentation time, proof time and oxidation requirement. Cereal Chem. 53: 126 (1976).
21. FISHER, M. H., AITKEN, T. R., e ANDERSON, J. A. Effect of mixing, salt and consistency on extensograms. Cereal Chem. 26: 81 (1949).
22. GEDDES, W. F., AITKEN, T. R., e FISHER, M. H. The relation between the normal farinogram and the baking strength of Western Canadian wheat. Cereal Chem. 17: 528 (1940).
23. GRACZA, R. The rate of energy consumption in mixing air classified flour fractions into doughs. Cereal Science Today 9: 274 (1964).
24. HAYASHI, M., D'APPOLONIA, B. L., e SHUEY, W. C. Baking studies on the pin-milled and air-classified flour from four hard red spring wheat varieties. Cereal Chem. 53: 525 (1976).
25. HLYNKA, I. Influence of temperature, speed of mixing and salt on some rheological properties of dough in the farinograph. Cereal Chem. 39: 286 (1962).
26. IRVINE, G. N., e MC MULLEN, E. M. The "Remix" baking test. Cereal Chem. 37: 603 (1960).
27. JOHNSON; J. A., SHELLENBERGER, J. A., e SWANSON, C. O. Farinogram and mixograms as a means of evaluating flours for specific uses. Cereal Chem. 23: 388 (1946).

28. JOHNSON, J. A., e SWANSON, C. O. Effect of fermentation, rest periods and formula ingredients on mixogram patterns. *Cereal Chem.* 22: 204 (1945).
29. JONES, I. K., e CARNEGIE, P. R. Binding of oxidized glutathione to dough proteins and a new explanation, involving thiol-disulphide exchange of the physical properties of dough. *J. Sci. Food Agr.* 22: 358 (1971).
30. KASARDA, D. D., BERNARDIN, J. E., e NIMMO, C. C. Wheat proteins. Chap. IV in *Advances in Cereal Science and Technology*, vol. 1, Y. Pomeranz, ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minn. (1976).
31. KENNEDY, B. M., FLETCHER, L. R., e SABISTON, A. R. Studies on the incorporation of nonfat milk solids in whole wheat bread. I. Dough properties and baking tests. *Cereal Chem.* 31: 347 (1954).
32. KENT-JONES, D. W., e AMOS, A. J. *Modern Cereal Chemistry*, 6th ed, pp. 262-270. Food Trade Press Ltd.: London (1967).
33. KENT-JONES, D. W., e GEDDES, W. F. A cooperative study of the utility of different methods for evaluating flour strength. *Cereal Chem.* 13: 239 (1936).
34. KUNINORI, T. e MATSUMOTO, H. Dehydro-L-ascorbic acid reducing system in flour. *Cereal Chem.* 41: 39 (1964).

35. KUNINORI, T. e MATSUMOTO, H. L-ascorbic acid oxidizing system in dough and dough improvement. Cereal Chem. 40: 647 (1963).
36. LEE, C. C. The baking quality and maltose value of flour irradiated with Co⁶⁰ gamma rays. Cereal Chem. 36: 70 (1959).
37. MERRIT, P. P., e BAILEY, C. H. Preliminary studies with extensograph. Cereal Chem. 22: 372 (1945).
38. MILLER, B. S., e JOHNSON, J. A. High levels of alpha-amylase in baking. II. Proteolysis in straight and sponge doughs. Cereal Chem. 25: 128 (1948).
39. MOEN, G. The determination of absorption in bread doughs. Trans. Am. Assoc. Cereal Chemists 8: 141 (1950).
40. MOORE, C. L., e HERMAN, R. S. The effect of certain ingredients and variations in manipulations on the farinograph curve. Cereal Chem. 19: 568 (1942).
41. MULLER, H. G. Rheology and the conventional bread and biscuit making process. Cereal Chem. 52(3), pt. II: 89r (1975).
42. NARAYANAN, K. M., e HLYNKA, I. Rheological studies of the role of lipids in dough. Cereal Chem. 39: 351 (1962).
43. OFELT, C. W., SMITH, A. K., e DERGES, R. E. Baking behavior and oxidation requirements of soy flour. I. Commercial full-fat soy flour. Cereal Chem. 31: 15 (1954).

44. ORTH, R. A., e MANDER, K. C. Effect of milling yield on flour composition and bread making quality. Cereal Chem. 52: 305 (1975).
45. RANHOTRA; G. S., e LOEWE, R. J. Breadmaking characteristics of wheat flour fortified with various commercial soy protein products. Cereal Chem. 51: 629 (1974).
46. SANDSTEDT, R. M., e FORTMANN, K. The relation of proteolysis to the characteristics of oxidation and reduction in doughs. Cereal Chem. 20: 517 (1943).
47. SANDSTEDT, R. M., e HITES, B. D. Ascorbic acid and some related compounds as oxidizing agents in doughs. Cereal Chem. 22: 161 (1945).
48. SHOGREN, M. D., FINNEY, K. F., e HOSENEY, R. C. Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. I. Solubilizing gluten and flour proteins. Cereal Chem. 46: 93 (1969).
49. SHOGREN, M. D., e SHELLENBERGER, J. A. The design, construction and use of micro baking equipment. Cereal Chem. 31: 475 (1954).
50. SHUEY, W. C. Effect of malt supplement on farinograms. Cereal Science Today 3: 280 (1958).
51. SHUEY, W. C. Factors influencing faronograms. Chap. IV. in The Farinogram Handbook, 2nd ed., W. C. Shuey, ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minn. (1972).

52. SHUEY, W. C. Interpretation of the farinogram. Chap. V. in The Farinogram Handbook, 2nd ed., W. C. Shuey, ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minn. (1972).
53. SMITH, D. E., e ANDREWS, J. S. The uptake of oxygen by flour dough. Cereal Chem. 34: 16 (1957).
54. SWANSON, C. O., e ANDREWS, A. C. Factors which influence the physical properties of dough IV. The effects of surface active agents on the characteristics of the curves made by the recording dough mixer. Cereal Chem. 19: 102 (1942).
55. SWANSON, C. O., e JOHNSON, J. A. The effect of some wetting and reducing agents on the mixing time and on the quality of bread. Cereal Chem. 21: 222 (1944).
56. TANAKA, K., FURUKAWA, K., e MATSUMOTO, H. The effect of acid and salt on the farinogram and extensogram of dough. Cereal Chem. 44: 675 (1967).
57. TANAKA, K., e TIPPLES, K. H. Relation between farinograph mixing curves and mixing requirements. Cereal Science Today 14: 296 (1969).
58. TIPPLES, K. H. Breadmaking technology. Chap. D-8 in Grains and Oilseed Handling, Marketing, Processing, 2nd ed. Canadian International Grain Institute: Winnipeg, Manitoba (1975).

59. TIPPLES, K. H., e KILBORN, R. N. Factors affecting mechanical dough development. V. Influence of rest period on mixing and unmixing characteristics of dough. *Cereal Chem.* 54: 92 (1977).
60. TSEN, C. C. The improving mechanism of ascorbic acid. *Cereal Chem.* 42: 86 (1965).
61. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE STABILIZATION AND CONSERVATION SERVICE. Purchase of soy fortified bread wheat flour for use in export programs. Announcement WF-9, 27 de setembro de 1972.
62. WALL, J. S. Cereal proteins. Chap. 14 in *Symposium on Foods: Proteins and their Reactions*, A. W. Schultz, ed. AVI Publishing Co.: Westport, Conn. (1964).
63. WATSON, C. A., PITTS, D. W., HAGER, M. B., e SHUEY, W. C. Comparison of five spring and five winter wheats baked by conventional and continuous methods. *Bakers Digest* 42: 46 (1968).
64. ZIEGLER, E., e GREER, E. N. Principles of milling. Chap. IV. in *Wheat Chemistry and Technology*, Y. Pomeranz, ed. American Association of Cereal Chemists: St. Paul, Minn. (1971).

VII. APÉNDICES

FARINOGRAPH METHOD, FOR FLOUR

Definition

The farinograph measures and records the resistance of a dough to mixing. It is used to evaluate absorption of flours and to det. stability and other characteristics of doughs during mixing.

Two basically different methods are in common use: Constant Flour Weight Procedure and Constant Dough Weight Procedure. *Since the two procedures may not yield identical results, method employed must be specified when absorption and other farinogram values are reported.*

Apparatus

Brabender Farinograph, with large (300 g. flour) and small (50 g. flour) mixing bowls.

Procedure*Adjustment of farinograph:*

1. Adjust farinograph thermostat to maintain temp. of $30^{\circ} \pm 0.2^{\circ}$ at entrance to mixing bowl. Check temp. of circulating water as indicated by thermoregulator against high-grade thermometer. Make sure that thermostat water is circulating freely thru hose and bowl jackets.
2. With help of spirit level mounted on base plate, adjust position of latter to horizontal by means of four footscrews. Then fix footscrews by means of their locknuts.
3. Make certain that chart paper runs exactly horizontal. Two small plates on spring-loaded hinges at front of recording device operate as guides for paper and may be swung open to make this adjustment.

Use of large and small mixing bowls:

In changing from one bowl to another, following adjustments are involved:

1. Sensitivity. Three sensitivities are provided by alternative positions for linkage between dynamometer lever arm at top of machine, and scalehead lever arm below base plate. Position toward back of machine provides least sensitivity and is used with large mixing bowl. Middle position is not ordinarily used with flour dough. Most sensitive position at front of lever arm is always used with small mixing bowl. Connecting linkage between upper and lower lever arms is moved from one setting to the other by pushing lever arms toward each other, disengaging both.

linkage ends from lever knife edges, and sliding them to desired position.

2. Zero position of scalehead pointer. Adjust scalehead pointer to zero position of dial by changing position of threaded balance wts. when instrument is running at fast speed with mixer bowl empty. Smaller of the two wts. should be removed entirely when small bowl is used. Make final writing-arm adjustment with knurled screw on left side of scalehead shaft so that scalehead pointer and writing pen give identical readings.

3. Adjustment of band width. Damping device should be adjusted only after oil in damping chamber has been at operating temp. at least 1 hr. and after damping piston has been moved up and down several times. To make adjustment: raise dynamometer lever arm until scalehead pointer indicates 1,000. Release lever arm and measure with stopwatch the time required for pointer to go from 1,000 to 100 on scalehead (should be between 0.6 and 0.8 sec.). Damping adjustment controls band width of farinogram. To obtain wider damper opening and quicker movement of scalehead pointer and thus wider curve, turn adjustment screw in counterclockwise direction. Opposite adjustment produces narrower band. Band width at peak of curve of 70 to 80 B.U. is recommended. It may be advantageous to mark damper adjustment screw at correct setting.

4. Cleaning. At completion of each test and while machine is running, add dry flour to bowl to make stiff dough with consistency of 800-900 B.U. within 1 min. of mixing with test dough. Then stop machine, unscrew bowl wing nuts, take off front section of mixing bowl, and discard dough. Remove any adhering particles quickly before they dry, using small plastic spatula for scraping blades and side walls of bowl. (Spatula should be of softer material than mixing bowl in order not to damage the latter.) Finally, clean bowl with dampened cloth and wipe all parts dry, including space behind paddles. (CAUTION: Never use chemical agents such as borax, or any dough stiffeners other than flour, since traces of chemicals can affect subsequent curves and may even react with metal surfaces of bowl.)

For bronze bowls, put cleaning dough thru mixing bowl every morning, or after machine has stood for several hr., to rub off thin film of oxidation on surface. If preliminary titration of flour sample is carried out (as explained below), this may be regarded as cleaning dough. A stainless steel bowl does not require cleaning dough. Also, after standing, small particles of dough may harden between shafts and blades at back of mixing bowl and cause resistance to turning. Correct this by placing few drops of water on inside back wall of bowl directly over shafts, with blades turning, to soften dough particles. Then use strong jet of water or blast of air or CO_2 to remove dough. Return of

scalehead pointer to zero position indicates that these dough particles have been softened and removed.

Clean titrating buret periodically with soln. made of 10 parts concd. sulfuric acid to one part satd. potassium dichromate soln. Fill buret with this soln. and let it stand overnight. *This soln. is extremely corrosive and should be handled with caution.* After draining buret, rinse it repeatedly with tapwater and finally with distd. water. After recording each titration, and when not in use, keep buret, including tip, filled with water at all times.

Place chart writing pen in water at end of each day to prevent drying of ink, or wash pen thoroly before it dries.

A. CONSTANT FLOUR WEIGHT (VARIABLE DOUGH WEIGHT) PROCEDURE

Large bowl:

Specify the procedure used.

1. Turn on thermostat and circulating pump at least 1 hr. prior to using instrument.
2. Det. moisture content of flour as directed in any oven method for flour (Methods 44-15 ff.). (Keep flour samples in moisture-proof containers. Accurate moisture values are very important.)
3. Place in bowl 300 g. \pm 0.1 g. flour (14% m.b.; Note 1; Table, 82-23).
4. Fill large buret with water at room temp.; making sure that tip is full and automatic zero adjustment of buret is functioning properly.
5. Put few drops of ink in pen and place it in contact with 9-min. position on chart. Turn on machine to high-speed setting and run for 1 min. until zero-min. line is reached. At this instant begin adding water to right front corner of bowl from large buret, to vol. nearly that of expected absorption of flour. When dough begins to form, scrape down sides of bowl with plastic scraper, starting on right side, front, and working counterclockwise. Cover with glass plate. If it appears that mixing curve will level off at value larger than 500 B.U., cautiously add more water. After water is added, again cover bowl with glass plate to prevent evapn.
6. The first titration attempt rarely produces a curve which has max. resistance centered on 500-B.U. line; therefore, in a subsequent titration adjust absorption either up or down until this is achieved to within 20 B.U. A titration producing wider variation affects scoring of curve. As guide to correcting preliminary titration values, it can be reckoned that difference between each horizontal line (20 B.U.) corresponds approx. to 0.6 to 0.8% absorption (1.8 to 2.4 ml. water) depending upon flour. When correct absorption is achieved, curve at max. dough development is centered on 500-B.U. line.

7. For final titration, add all water within 25 sec. after opening buret stopcock. Permit machine to run until adequate curve is available for evaluation as desired (see *Interpretation*), i.e., absorption, slightly beyond peak; stability, until top of curve recrosses 500-B.U. line after peak; valorimeter, 12 min. beyond peak. At this point lift pen from paper by means of small locking knob on pen arm, add dry flour to bowl, and proceed with cleaning of bowl.

8. Report absorption values to nearest 0.1%. Calc. absorption on 14% m.b. detd. with large bowl, by means of following equation: $\text{Absorption \%} = (x + y - 300)/3$; where $x = \text{ml. water to produce curve with max. consistency centered on 500-B.U. line}$, and $y = \text{g. flour used, equiv. to 300 g., 14\% m.b.}$

Small bowl:

The principle is same as for large bowl, but 50 g. + 0.1 g. flour (14% m.b.; Note 2; Table, 82-23) are used. Titration is conducted with *small* buret. In this case, each interval between horizontal lines of chart (20 B.U.) corresponds to ca. 0.4 ml. water.

Calc. absorption on 14% m.b., detd. with small bowl, using equation: $\text{Absorption \%} = 2(x + y - 50)$; where $x = \text{ml. water to produce curve with max. consistency centered on 500-B.U. line}$, and $y = \text{g. flour used, equiv. to 50 g., 14\% m.b.}$

B. CONSTANT DOUGH WEIGHT PROCEDURE

Large bowl:

Specify procedure used.

1. Turn on thermostat and circulating pump at least 1 hr. prior to using instrument.
2. Det. moisture content of flour as directed in any oven method for flour (44-15 ff.). (Keep flour samples in moisture-proof containers. Accurate moisture values are very important.) Correction of absorption to 14% m.b. under this procedure may be postponed until *as-is* farinograph absorption is detd.
3. Make estimate of *as-is* absorption to produce curve centered on 500-B.U. line. From Table, 54-28, det. wts. of flour and water which correspond to estimated *as-is* absorption. Add flour, weighed to $\pm 0.1 \text{ g.}$, to bowl. Set pen point at 9-min. mark on chart.
4. Start mixer and run at high speed with dry flour 1 min. until the zero-min. line is reached. At this instant, begin adding water from large buret at right front corner of mixing bowl. All water must be added within 25 sec. Scrape down sides of bowl with plastic spatula. Cover with glass plate to prevent evapn.

5. Since first attempt rarely produces a curve centered on 500-B.U. line at max. consistency, re-estimate absorption according to approx. relationship: 20 B.U. = 0.6% absorption, det. corresponding flour and water wts. from Table, 54-28, and carry out second run. When curve is obtained with max. consistency centered at 500 ± 20 B.U., continue mixing until adequate curve is available for evaluation as desired (see *Interpretation*).

6. At this point, lift pen from paper by means of small locking knob on pen arm, add dry flour to bowl, and proceed with cleaning of bowl.

Flour absorption corr. to 14% m.b., reported to nearest 0.1% is obtained by calcn. as illustrated in Note 2, from Table, 54-29, or preferably from Table, 82-21.

Small bowl:

Principle is same as for large bowl.

1. Use dough wt. of 80 g. (Table, 54-28) and make water addn. with *small* buret. Weigh flour to ± 0.1 g.

2. Obtain absorptions on 14% m.b., (a) by calcns. as illustrated in Note 2, (b) from Table, 54-29, or preferably (c) from Table, 82-21.

Interpretation:

Values other than absorption are frequently derived from farinograph curves. Among those which have been proposed are the following:

1. Dough development time. This is interval, to nearest 0.5 min., from first addn. of water to that point in max-consistency range immediately before first indication of weakening. This value has also been referred to as "peak" or "peak time". For flours having a curve that is nearly flat for several minutes, peak time may be detd. by taking mean between midpoint of flat portion of top of curve and highest point of arc of bottom of curve. Occasionally two peaks may be observed; the second should be taken for detn. of dough development time.

2. Valorimeter value. This is empirical single-figure quality score based on dough development time and tolerance to mixing which is derived from farinogram by means of special template supplied by mfrs. of farinograph equipment.

3. Tolerance index. This value is difference in B.U. from top of curve at peak to top of curve measured at 5 min. after peak is reached. A related measurement called "drop-off" refers to difference in B.U. from 500-B.U. line to center of curve measured at 20 min. from addn. of water.

4. Stability. This is defined as time difference, to closest 0.5 min., between point where top of curve first

intersects 500-B.U. line (arrival time) and point where top of curve leaves 500-B.U. line (departure time). If curve is not centered exactly on 500 line at max. resistance but rather, for example, at 490 or 510 level, a line must be drawn at 490 or 510 level parallel to 500 line. This new line is then used in place of 500 line to det. arrival time, departure time, and stability.

5. Time to breakdown. This is time from start of mixing until there has been a decrease of 30 units from peak point. It is detd. by drawing horizontal line thru center of curve at its highest point and then drawing another parallel line at 30-unit lower level. Time from start of mixing until center of descending curve crosses this lower line is "time to breakdown."

Notes

1. Farinograms of various flours are affected differently with addn. of malt supplement. In general, addn. of malt shortens dough development time and lowers absorption. Practical evaluation of a flour may require addn. of malt in amount required for proper diastatic activity.

2. Example: If flour sample contains 12.5% moisture, amt. of flour required for 300-g. test would be: $(86.0/87.5) \times 300 = 294.9$ g. For the 50-g. test this would be: $(86.0/87.5) \times 50 = 49.1$ g.

3. Following equation may be used to convert *as-is* absorption detd. by Constant Dough Weight procedure to absorption at 14% moisture content.

$$A = 86 \frac{(B + M)}{(100 - M)} - 14$$

where A = absorption, 14% m.b.

B = absorption, *as-is* m.b., and

M = flour moisture, *as-is* basis.

This equation is derived from following considerations: One may equate two doughs of equal wt., of same consistency in farinograph, made from same flour but at different moisture contents. Total water in each dough is same. Then

$$\frac{\text{H}_2\text{O added} + \text{H}_2\text{O in flour}}{\text{dry wt. of flour}} = \frac{\text{H}_2\text{O added} + \text{H}_2\text{O in flour}}{\text{dry wt. of flour}}$$

For example, to calc. absorption (A) at 14% moisture equiv. to 70% absorption (B) at 11.1% moisture (M),

$$\frac{A + 14}{100 - 14} = \frac{70 + 11.1}{100 - 11.1} \quad \text{or}$$

$$A = 86 \frac{(B + M)}{(100 - M)} - 14 = 86 \frac{(81.1)}{(88.9)} - 14 = 64.5\%$$

EXTENSIGRAPH METHOD, GENERAL

Definition

The extensigraph records a load-extension curve for test piece of dough stretched until it breaks. Characteristics of load-extension curves or extensigrams are used to assess general quality of flour and its response to improving agents.

Scope

Applicable to flour.

Apparatus

Farinograph and extensigraph. These instruments are set up and operated in accordance with manufacturer's instructions. Temperature of humidity cabinet where doughs for extensigraph test are stored should be $30^{\circ} \pm 2^{\circ}$. Ratio setting of extensigraph scale is 500 g. = 500 B.U. Other ratios may be used but should be specified.

Procedure

For routine testing of flours, procedure descr. by manufacturers, or variants of such procedures, is used. Summary of general method follows.

Preparation of dough:

1. Make normal farinograph curve to obtain estimate of absorption.
2. Prep. doughs in large farinograph bowl from 300 g. flour (14% moisture), water, and 6 g. salt dissolved in part of water. Amt. of water taken is equal to farinograph absorption, less roughly 2% to compensate for effect of salt.
3. Mix dough 1 min., stop for 5 min., and resume mixing to full development time of farinogram, which is reached when center of curve at max. consistency has reached 500-unit line. Correct absorption is amt. of water which will give 500-unit consistency at maximum. Dough development as shown in normal farinogram may be taken as guide.

Preparation of test piece:

When mixing is complete, scale off 150 g. \pm 0.1 g. dough and give it 20 revolutions in extensigraph rounder. Carefully center dough ball on shaping unit and roll it into cylindrical test piece; clamp this in lightly greased dough holders. Store test pieces on dough holders in humidified chamber until required for testing. Remainder of dough in

farinograph mixer may be used for replicate test.

Load-extension test:

1. After rest period of nearly 45 min. from end of shaping operation, place test sample on balance arm of extensigraph and adjust horizontal position of pen to zero line on chart by means of adjusting screw on pen. Check writing of pen. At exactly 45 min. from end of shaping operation, start stretching hook, and stop it when test piece breaks. The instrument records load-extension curve or extensigram.

2. Remove dough of first test from holder, reshape, and as before allow it a rest period of 45 min. and then stretch again.

3. Make third test on same dough by reshaping test piece and allowing further rest period of 45 min. before stretching. In this way, dough is tested at 45, 90, and 135 min., and sometimes at 180 minutes' total time.

Evaluation:

The three most common measurements made on load-extension charts or extensigrams are:

1) Resistance to extension: obtain as height of curve in Brabender Units or in cm. either at max. or at 5 cm. on kymograph chart.

2) Extensibility: total length of curve in cm.

3) Evaluate area under curve with planimeter and report in sq. cm.

Variants of method:

A number of variants of this basic method which deviate in one or more points, especially in prepn. of dough, are used in different laboratories. If method differs from basic method, difference should be specified.

Note

Water should be placed in holding chamber to keep dough from drying out.

BAKING QUALITY OF WHEAT BREAD FLOUR--
STRAIGHT-DOUGH METHODApparatus

1. Mixer. Conventional experimental dough mixer designed to mix a quantity of dough contg. between 100 and 500 g. flour. Calibrate mixer by one of methods described in Cereal Chem. 12: 665 (1935) for each wt. of dough to be used. Swanson type mixers are recommended.
2. Thermometers. For dough, AACC thermometers graduated from 15° to 40° C (59° to 104° F) (Cereal Chem. 7: 362; 1930); for ovens, thermometers graduated from 100° to 260° C (212° to 500° F) are recommended.
3. Fermentation bowls. Use aluminum or graniteware "oatmeal" bowls, top diam. 14.5 cm., bottom diam. 5 cm., depth 6.5 cm.
4. Fermentation cabinet, capable of maintaining temp. of 86° + 1° F and r.h. at least 75%. Cabinets similar to those descr. in Cereal Chem. 7: 341 (1930) or 8: 233 (1931) are recommended.
5. Sheeter and moulder. Punching and moulding machines similar to those described in Cereal Chem. 16: 24 (1939) or 17: 384 (1940) are recommended. If hand punching is used, app. shown in Fig. 1 should be available.
6. Baking pans, constructed of 2xx tin. Use tall- or low-form tins with i.e.: *Low-form--top*: length 11.5 cm., width 7.0 cm.; bottom: length 9.5 cm., width 5.5 cm.; depth: 5.0 cm.; *tall-form--top*: length 10.5 cm., width 6.0 cm.; bottom: length 9.3 cm., width 5.3 cm.; depth: ends 6.8 cm., sides 8.5 cm.
7. Baking oven, capable of maintaining temp. of 446° + 9° F. A rotating plate or reel should be used to carry the pans. Types similar to that descr. in Cereal Chem. 16: 289 (1939) are recommended.
8. Volume-measuring app. An app. similar to those descr. in Cereal Chem. 7: 307 (1930) or Cereal Chem. 15: 235 (1938) is satisfactory. App. should be accurately calibrated. For this purpose a set of aluminum loaf models (Cereal Chem. 7: 346, 1930) is convenient. It is suggested that enough stds. be employed to define calibration curve over expected operating range.
9. Miscellaneous: rough and fine balances, scoops, spatulas, pipets, burets, flasks, beakers, etc.

Reagents

1. Yeast suspension. Suspend 12 g. fresh refrigerated compressed yeast in water and make up to 100 ml. Prep. freshly for each series of tests.

2. Salt-sugar soln. Dissolve 4 g. NaCl and 20 g. sucrose and make up to 100 ml.

Procedure

A. General Baking Characteristics

Mixing:

1. From diastatic activity (Method 22-15) or gassing power (Method 22-11 or 22-14), estimate amt. of sugar to be added by one of methods descr. in Cereal Chem. 10: 588 (1933), 12: 302 (1935) or 17: 45, lines 20-27, (1940). Place in mixing bowl a quantity of flour equiv. to 100 g. on 14% m.b. (86 g. dry matter) and add 25 ml. yeast suspension, 1 g. NaCl, and estimated amt. of sugar in suspension or soln. If gassing power is not known, or if preferred, add 25 ml. salt-sugar soln. (reagent 2) in place of 1 g. salt and estimated quantity of sugar. Now add sufficient addnl. water to bring dough to desired std. consistency after mixing. Multiples of this charge may be used according to capacity of mixer.

2. Start mixer and mix for 2 min. if Swanson type is used, or until std. consistency is obtained. Adjust temp. of solns., flour, room, and mixing bowl so that final dough temp. is 86° F, but avoid heating yeast suspension.

Fermentation:

1. Remove dough from mixing bowl and, if multiple charge was used, scale to appropriate wt. Round up by folding 20 times in the hands, put into fermentation bowl, and place in fermentation cabinet. Ferment for total of 180 min., giving dough first punch after 105 min., second after addnl. 50 min.; mould after addnl. 25 min. (See Note 1.)

Punching:

1. Machine method. Remove dough from fermentation bowl, lightly seal over wet side of dough by drawing dry edges together with thumb and fingers. Elongate dough ball slightly and pass once through sheeting rolls set with clearance of 9/32 in. Roll up dough sheet lightly without rounding or sealing edges, replace in fermentation bowl, and return to cabinet.

2. Hand method (see ref. 54). Remove dough from fermentation bowl and place, wet side down, on piece of canvas belting provided with wooden track giving 5/16 in. clearance. With rolling pin, roll once each way from center of dough, overlap opposite ends, replace, seam side down, in fermentation bowl, and return to cabinet.

Moulding:

1. Machine method. Sheet dough for moulding as descr. under *Punching* above, passing dough twice thru rolls, first with setting of 9/32 in., and second with setting of 3/16 in.

Lightly roll up dough and place in moulder with outside end of dough sheet as far away from revolving drum as possible. Run dough thru moulder and place in baking pan, seam down. Pans may be very lightly greased only when absolutely necessary to prevent loaves from sticking.

2. Sheetting roll method. Sheet dough as descr. under 1, above. Lightly roll up dough, seal seam, roll lightly under palm of hand, and place seam down in pan. Length of dough should not exceed that of pan before final light rolling. Pans may be very lightly greased only when absolutely necessary to prevent loaves from sticking.

3. Hand method. Sheet dough as descr. under *Punching*, para. 2. Overlap opposite ends of dough sheet, invert, and turn parallel with long axis of wooden track. Roll once each way from center, turn dough over and, starting at more remote end, roll it up by hand toward operator. Seal seam, roll dough lightly under palm of hand, and place, seam down, in baking pan. Length of dough should not exceed that of pan prior to final light rolling. Pans may be very lightly greased only when absolutely necessary to prevent loaves from sticking.

Proofing:

Proof dough at 86°F and at least 75% r.h.

Baking:

Bake for 25 min. at temp. of 446° ± 9°F, as detd. by oven thermometer placed at level of top of baking pan and 5 cm. distant therefrom on side next axis of rotation of shelf. Precise control of temp. is essential. An open pan of water should be placed in oven. To provide more uniform oven conditions bake a series of "dummy" loaves just prior to and following the exptl. series.

Measurement and scoring:

Calc. absorption on 14% m.b. from following equation:

$$\% \text{ Absorption} = W - (100 - F)$$

where W = total ml. water added and

F = wt. of flour taken.

1. In calcg. total water added, the 25 ml. yeast suspension is equiv. to 22.5 ml. water, and 25 ml. of the salt-sugar soln. is equiv. to 21.5 ml. water.

Weigh loaf and measure its vol. 1 hr. after removal from oven. Place loaves in fairly air-tight cabinet until scored. Score for *external characteristics*, crust color and symmetry; and for *internal characteristics*, crumb color, grain, and texture. Helpful suggestions for classifying and scoring loaves are given in *Cereal Chem* 5: 289 (1928), 6: 164, 253 (1929), 10: 545 (1933).

Where alternative details of procedure are given, specify alternative used, in report; e.g. pan size, diastatic

compensation, machine or hand moulding, etc.

B. Responses

Mixing response:

Proceed as directed under Section A. Mix doughs for varying lengths of time, keeping final dough temp: as close to 86°F as possible, and note changing character of resulting loaves. Report optimum mixing time and mixing tolerance under specified conditions.

Fermentation response:

Proceed as directed under Section A. Vary fermentation time by increments above and below that recommended and note character of resulting loaves. Report optimum fermentation time and tolerance under specified conditions.

Bromate or oxidation response:

Proceed as directed under Section A. Add increments of KBrO_3 in a series of tests and note character of resulting set of loaves. Report optimum amt. of bromate and range of bromate tolerance in %, based on flour, under conditions specified. Optimum bromate level for av. flours seldom exceeds 0.005%.

Notes

1. Two methods of scaling are employed by baking technologists, namely, to constant dough wt. (usually 150 g. to 175 g. depending upon type of flour under test and pan form used) or to constant flour wt. (usually 100 g. on 14% m.b.).
2. This roll setting has been found satisfactory for most flours (see ref. 55), but may have to be modified slightly to obtain optimum results with extreme types of flours.
3. Two methods of proofing are employed by baking technologists, namely, to constant time (usually 55 min.) or to constant height (9.5 cm. has been suggested) (refs. 60,61). The method used depends upon purpose of test and interpretation to be placed upon results.

APPENDICE D

AACC Method 10-11

BAKING QUALITY OF BREAD FLOUR--
SPONGE-DOUGH, POUND-LOAF METHODApparatus

1. Electric mixer, Hobart A-120 or Hobart A-200, equipped with CT jacketed mixing bowl and fork. Height of pin in bowl, 4 1/4 in.
2. Thermometers: dough-testing, red-spirit-filled; 5 1/2-in. pierce type; graduated. Equiv. dial thermometers may be used, but should be tested frequently for accuracy.
3. Fermentation cabinet, maintained at const. temp. of $86^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{F}$ ($30^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$) and 85% r.h.
4. Moulder: National Sheeter and Moulder (6-in. rolls), or equiv.
5. Proofing cabinet, maintained at const. temp. of $96^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{F}$ ($35.5^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$) and 92% r.h.
6. Fermentation bowls, No. 9045 Wear-Ever aluminum or equiv.; diam., top 9 1/2 in., and bottom, 4 3/4 in.; depth 4 1/2 in.; capacity, 4 qt.
7. Baking pans: 4x tinplate, unglazed; dimensions, top inside, 10 by 4 3/8 in.; bottom outside, 9 1/2 by 3 3/4 in.; depth inside, 2 3/4 in. Official pans can be obtained from either of two suppliers: 1) Ekco Engineering Co., Div. of Ekco Products, Chicago, Ill.; stock No. 4019, Code 171 (Bake Prep Conditioned). 2) Chicago Metallic Mfg. Co., Chicago, Ill.; stock No. 60 (Shur-Bake Conditioned).
8. Scales: trip scale or torsion balance, 1-kg. capacity and 0.1-g. sensitivity.
9. Flour cans, capacity ca. 1 1/2 qu., with tight-fitting lids.
10. Oven; rotating reel or plate, capable of maintaining const. temp. of 425°F (220°C).

ProcedureSponge:

1. Formula:

| | <i>Flour Basis</i> | |
|--------------------------------|--------------------|---------------|
| | <i>700-g.</i> | <i>100 g.</i> |
| | <i>g.</i> | <i>g.</i> |
| Flour (14.0% m.b.) | 420.0 | 60.0 |
| Water | 252.0 | 36.0 |
| | (variable) | (variable) |
| Yeast, compressed | 14.0 | 2.0 |
| Yeast food (see formula below) | 3.5 | 0.5 |
| Malt (See Note 1) | | |

Yeast food formula: ammonium chloride, 9.4%; potassium bromate, 0.3%; calcium sulfate, 30.0%; sodium chlorite, 35.5%; starch, 24.8%.

2. Add yeast to mixing bowl as suspension in portion of ingredient water.

3. Add yeast food in dry form with flour. Do not dissolve yeast food in yeast suspension.

4. Mix sponge 0.5 min. in 1st speed and 1 min. in 2nd speed, or until smooth. Temp. of sponge after mixing: $80^{\circ} + 0.5^{\circ} \text{F}$ ($26.5^{\circ} \pm 0.3^{\circ} \text{C}$).

5. Place sponge in fermentation bowl and set aside in fermentation cabinet for 4 hr.

Dough:

1. Formula:

| | Flour Basis | |
|-------------------------------------|-------------|------------|
| | 700-g. | 100-g. |
| | g. | g. |
| flour (14% m.b.) | 280.0 | 40.0 |
| Water | 168.0 | 24.0 |
| (See Note 2) | (variable) | (variable) |
| Sugar (sucrose) | 35.0 | 5.0 |
| Salt (CP NaCl) | 14.0 | 2.0 |
| Shortening, hydrogenated, vegetable | 21.0 | 3.0 |

2. Place ingredient water in mixing bowl, add dry ingredients and shortening, start mixer in 1st speed, add sponge in three approx. equal proportions at 15, 25, and 35 sec. mixing time. Continue mixing in 1st speed until 1 min. has elapsed from beginning of mixing.

3. Shift mixer into 2nd speed and mix to optimum development (see Note 3), noting total time dough was mixed. Dough temp. out of mixer: $81^{\circ} \pm 0.5^{\circ} \text{F}$ ($27.0^{\circ} \pm 0.3^{\circ} \text{C}$).

Makeup:

1. Recovery time. Round up dough lightly as it comes from mixer; place in lightly greased fermentation bowl, place bowl in fermentation cabinet, and leave for 30 min. (See Note 4).

2. Scaling. After 30 min. rest in fermentation cabinet, remove dough and divide into two 500-g. dough pieces.

3. Intermediate proof. Round each piece lightly and place in fermentation cabinet. Allow 12-15 min. in cabinet for relaxation before moulding (see Note 4).

4. Moulding. Pass dough piece thru National Sheeter twice. For first pass, set rolls at 5/16 in.; for second pass, set rolls at 3/16 in. Curl "as a ribbon," seal, and elongate to 9 1/2 in., using National Moulder. Place in lightly greased baking pan, seam down.

Proof:

Place panned dough in proofing cabinet at 96°F (35.5°C) and 92% r.h. Proof to template of 3/8 in. above center of pan.

Bake:

Bake 25 min. at 425°F (220°C).

Score:

1. Measure vol. of loaf within 10 min. after removal from oven.
2. When loaf has cooled to internal temp. of 90°F (32°C), wrap it in waxed paper or place in polyethylene bag and close bag.
3. Score for external characteristics and internal characteristics 18 hr. after baking.

Notes

1. Malt supplementation. Malted wheat flour or malted barley flour should be added only if flour is deficient in diastatic activity. It is believed that no supplementation will be needed if flour under test shows amylograph value of less than 600 B.U., or shows 6th-hr. gassing power over 425 mm.
2. Total absorption is detd. by test baker's judgment. Directions may be obtained by consulting farinograph absorption of flour sample. It may be desirable in some cases to bake a series of doughs at differing levels of absorption. Whenever such a series is conducted, it is recommended that 2% absorption increment be used.
3. Optimum mixing time for dough is detd. by test baker. Directions may be obtained by consulting farinograph "time to mixing peak" for flour sample.
It may be desirable in some cases to bake a series of doughs which have been mixed to differing degrees of development. In studies of this kind, mixing time increments should not be varied by more than 2 min.
4. Experienced operators may det. that doughs made from some types of flour respond favorably to slightly different recovery (and intermediate proof) time than outlined in this procedure.